

научно-теоретический и производственный журнал

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN
SCIENCE

ISSN 0869-8155 (print)
ISSN 2686-701X (online)

6
2024



БЕСПЛАТНО
скачать журнал
и подписаться



Подпишитесь
на наш
Telegram канал!



СТРАТЕГИЯ

Развитие АПК: цели,
задачи и перспективы

12

ЗООТЕХНИЯ

Использование селекционного
индекса для оценки продуктивного
долголетия коров симментальской
породы

62

АГРОНОМИЯ

Сравнение современных
сортов малины, выращиваемых
по системе Long Cane

100

23-25 ОКТЯБРЯ 2024 г

ФЕДЕРАЛЬНАЯ ТЕРРИТОРИЯ «СИРИУС»

ASIA EXPO | 2024

II Международный сельскохозяйственный конгресс ASIAEXPO



Мероприятие организовано при государственной поддержке в интересах российского аграрного бизнеса

50 стран-участниц

76 000 м² выставочного пространства

350 ведущих компаний отрасли

300 экспертов-практиков

10 000 целевой аудитории

Комьюнити гарантов продовольственной безопасности – стань одним из нас!

АЗИЯЭКСПО – открываем мир возможностей!





ПРОДАЖА ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ МАСЛИЧНЫХ

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР - ООО «КРЦ «ЭФКО-КАСКАД»

МЫ
ЗНАЕМ,
ЧТО ВЫ
ЛЮБИТЕ

РЕКЛАМА



ПРОДУКЦИЯ

ШРОТ

соевый, рапсовый, подсолнечный

ЗАЩИЩЁННЫЙ ПРОТЕИН

соевый, подсолнечный

СОЕВАЯ ОБОЛОЧКА

МАСЛО

соевое, рапсовое, подсолнечное

ЗАЩИЩЕННЫЙ ЖИР

Кормовая добавка:
Жир модифицированный ULTRA FEED F

Кормовой концентрат:
Защищенный жир ULTRA FEED F

Кальциевые соли жирных кислот
CALCI FEED MAX (для КРС)

КОНТАКТЫ

ОТДЕЛ ПРОДАЖ В Г. ВОРОНЕЖЕ
(в т.ч. поставки с Тольяттинского
комбината пищевых продуктов)

Тел.: +7 (473) 206-67-49
E-mail: opvmsd@efko.ru

ОТДЕЛ ПО РАЗВИТИЮ
ПРОДАЖ В Г. ВОРОНЕЖЕ

E-mail: orpmsd@efko.ru

ОТДЕЛ ПРОДАЖ В Г. АЛЕКСЕЕВКЕ

Тел.: +7 (47234) 4-59-62
E-mail: opmsd@efko.ru

© журнал «Аграрная наука»
© авторы

DOI журнала 10.32634/0869-8155

Журнал «Аграрная наука» решением ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Распоряжение Минобрнауки России от 12 февраля 2019 г. № 21-р

Журнал «Аграрная наука» включен в базу данных AGRIS (Agricultural Research Information System) — Международную информационную систему по сельскому хозяйству и смежным с ним отраслям.

Журнал «Аграрная наука» включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Полные тексты статей доступны на сайте eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru>

Учредитель: Общество с ограниченной ответственностью «ВИК — здоровье животных»

Шеф-редактор Костромичева И.В.
Научный редактор Долгая М.Н.
Дизайн и верстка Антонов С.Н.
Корректор Кузнецова Г.М.
Библиограф Нерозик Д.С.
Журналист Седова Ю.Г.
Менеджер по работе с клиентами Теплова А.С.

Юридический адрес: 107053, РФ, г. Москва, ул. Садовая-Спаская, д. 20
Почтовый адрес: 109147, РФ, г. Москва, ул. Марксистская, д. 3, стр. 2
Тел. редакции +7 (916) 616-05-31
agrovetpress@inbox.ru
www.vetpress.ru
<https://agrarnayanauka.ru>
Реклама в журнале: +7 (927) 155-08-10

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77-76484 от 02 августа 2019 года.

На печатный журнал можно подписаться: в редакции по тел. +7 (495) 777 67 67, доб. 1453, agrovetpress@inbox.ru; в агентстве подписки ООО «Урал-Пресс Округ» — <https://www.ural-press.ru/catalog/>; Бесплатная подписка на электронную версию — <https://agrarnayanauka.ru> Подписка на архивные номера и отдельные статьи: на сайте научной редакции <https://www.vetpress.ru/jour> на сайте научной электронной библиотеки www.elibrary.ru

Свободная цена.

Тираж 2000 экз.

Подписано в печать 11.06.2024

Дата выхода в свет 18.06.2024

Отпечатано в типографии ООО «Объединенный полиграфический комплекс»: 115114, г. Москва, Дербеневская наб., д. 7, стр. 2, эт. 2, пом. 1, к. 3-4. Тел. +7 (499) 130-60-19, info@opk.bz, <https://opk.bz>

В октябре 1956 г. был основан журнал «Вестник сельскохозяйственной науки», а в 1992 г. он стал называться «Аграрная наука».

Издатель:

Автономная некоммерческая организация «Редакция журнала «Аграрная наука» 107053, Россия, г. Москва, ул. Садовая-Спаская, д. 20

Главный редактор:

Виолин Борис Викторович, кандидат ветеринарных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал Федерального научного центра — «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук», г. Москва, Россия

Редколлегия:

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

Аббас Рао Захид, доктор, доцент, Сельскохозяйственный университет Фейсалабад, Фейсалабад, Пакистан.

Абилов А.И., доктор биологических наук, профессор, Федеральный научный центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, Московская обл., Россия.

Алиев А.Ю., доктор ветеринарных наук, Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт, г. Махачкала, Россия.

Ансори Ариф Нур Мухаммад, доктор ветеринарных наук, Университет Эйрланга, Сурабая, Индонезия.

Андреева А.В., доктор биологических наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.

Баймуканов Д.А., доктор сельскохозяйственных наук, доцент, член-корреспондент Национальной академии наук Республики Казахстан, Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства, г. Алматы, Казахстан.

Василевич Ф.И., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, г. Москва, Россия.

Горелик О.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Россия.

Гриценко С.А., доктор биологических наук, доцент, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.

Дахели Маджид Джаванмард, доктор ветеринарной медицины, Иранская научно-исследовательская организация по науке и технологиям, г. Тегеран, Иран.

Дерхо М.А., доктор биологических наук, профессор, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.

Зайц Йосеф, доктор ветеринарных наук, Университет ветеринарии и фармацевтики в Брно, г. Брно, Чехия.

Карынбаев А.К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан.

Концевая С.Ю., доктор ветеринарных наук, профессор, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия.

Косилов В.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия.

Кушалиев К.Ж., доктор ветеринарных наук, профессор, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, г. Уральск, Казахстан.

Лоретц О.Г., доктор биологических наук, профессор, Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Россия.

Лысенко Ю.А., доктор биологических наук, доцент, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия.

Миколайчик И.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева — филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курганский государственный университет», г. Курган, Россия.

Миронова И.В., доктор биологических наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.

Морозова Л.А., доктор биологических наук, профессор, Курганский государственный университет, г. Курган, Россия.

Некрасов Р.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, г. Подольск, Московская обл., Россия.

Омбаев А.М., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, иностранный член РАН, Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства, г. Алматы, Казахстан.

Панин А.Н., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия.

Подобед Л.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Институт животноводства Национальной академии аграрных наук Украины, г. Харьков, Украина.

Позябин С.В., доктор ветеринарных наук, профессор, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, г. Москва, Россия.

Радчиков В.Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, г. Жодино, Беларусь.

Ребезов М.Б., доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, г. Москва, Россия.

К основным целям издания относятся: продвижение российской и мировой аграрной науки, содействие прогрессивным разработкам и развитию инновационных технологий, формирование теоретических основ для производителей сельскохозяйственной продукции, поддержка молодых ученых, освещение и популяризация передовых научных исследований.

Научная концепция издания предполагает публикацию современных достижений в аграрной сфере, результатов ключевых национальных и международных исследований. К публикации приглашаются как отечественные, так и зарубежные авторы.

Журнал «Аграрная наука» способствует обобщению практических достижений в области сельского хозяйства, повышению научной и практической квалификации исследователей и практиков данной отрасли.

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна. Мнение редакции может не совпадать с точкой зрения авторов публикуемых материалов. Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.

Топурия Л.Ю., доктор биологических наук, профессор, Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия.

Уша Б.В., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия.

Фисинин В.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства Российской академии наук, г. Сергиев Посад, Россия.

Херремов Ш.Р., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Союз промышленников и предпринимателей Туркменистана, г. Ашхабад, Туркменистан.

Щербяков П.Н., доктор ветеринарных наук, доцент, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.

Юлдашбаев Ю.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Ятусевич А.И., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины, г. Витебск, Беларусь.

АГРОНОМИЯ

Бунин М.С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Центральная научная сельскохозяйственная библиотека, г. Москва, Россия.

Годсвилл Нтсомбо Нтсефонг, PhD, Университет Яунде I, г. Яунде, Камерун.

Гричанов И.Я., доктор биологических наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, г. Пушкин, Россия.

Джалилов Ф.С., доктор биологических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Джураев М.Я., PhD, доцент, Андижанский институт сельского хозяйства и агротехнологий, г. Андижан, Узбекистан.

Долженко Т.В., доктор биологических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия.

Драгавцева И.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия, г. Краснодар, Россия.

Зейналов А.С., доктор биологических наук, Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, г. Москва, Россия.

Исламгулов Д.Р., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.

Казахмедов Р.Э., доктор сельскохозяйственных наук, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, г. Дербент, Россия.

Калмыкова Е.В., доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, г. Волгоград, Россия.

Насиев Б.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Республики Казахстан, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, г. Уральск, Казахстан.

Никитин С.Н., доктор сельскохозяйственных наук, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.С. Немцева, г. Ульяновск, Россия.

Тирувенгадам Мутху, PhD, Университет Конкук, г. Сеул, Южная Корея.

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Афрасьяб Хан, доктор гидромеханики и гидротехники, Университет Кебангсаан Малайзия, г. Банги, Малайзия.

Бабич О.О., доктор технических наук, доцент, Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, г. Калининград, Россия.

Дарвиш Амира М. Галал, PhD, доцент Научно-исследовательского института возделывания засушливых земель (ALCRI), Город научных исследований и технологических приложений (SRTA-City), г. Александрия, Египет.

Дидманидзе О.Н., доктор технических наук, профессор, академик РАН, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Зенгин Гохан, PhD, профессор, Сельчукский университет, г. Сельчук-Конья, Турция.

Иванов Ю.Г., доктор технических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Ишевский А.Л., доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия.

Кребс Каролина де Соуза, PhD, Региональный университет Блюменау, г. Блюменау, Бразилия.

Кузнецова Е.А., доктор технических наук, доцент, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел, Россия.

Максимова С.Н., доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток, Россия.

Мамедов Г.Б., доктор технических наук, профессор, Азербайджанский государственный аграрный университет, г. Гянджа, Азербайджан.

Моника Миронеску, доктор технических наук, профессор, Университет Лучиана Блага в Сибиу, г. Сибиу, Румыния.

Саркар Танмай, PhD, Политехнический институт Мальды, г. Мальда, Индия.

Смауи Слим, PhD, Университет Сфакса, г. Сфакс, Тунис.

Суйчинов А.К., PhD, Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности, г. Алматы, Казахстан.

Третьяк Л.Н., доктор технических наук, доцент, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия.

Трояновская И.П., доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.

Фавзи М. Махомулдали, PhD, профессор, Маврикийский университет, г. Редут, Маврикий.

Хан Мухаммад Усман, PhD, Сельскохозяйственный университет Фейсалабада, г. Фейсалабад, Пакистан.

Хатко З.Н., доктор технических наук, доцент, Майкопский государственный технологический университет, г. Майкоп, Россия.

Чернопольская Н.Л., доктор технических наук, доцент, Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, г. Омск, Россия.

Шехата Мохамед Гамаль Мохамед, PhD, доцент, Исследовательский институт возделывания засушливых земель (ALCRI), Город научных исследований и технологических приложений (SRTA City), г. Каир, Египет.

Эль-Сохайми Собхи Ахмед, PhD, профессор пищевой биохимии, Город научных исследований и технологических приложений, г. Александрия, Египет.

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

Алещенко В.В., доктор экономических наук, Институт экономики и организации промышленного производства, г. Новосибирск, Россия.

Баутин В.М., доктор экономических наук, профессор, академик РАН, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Гордеев А.В., доктор экономических наук, профессор, академик РАН, г. Москва, Россия.

Гусаков В.Г., доктор экономических наук, профессор, академик, Национальная академия наук, г. Минск, Беларусь.

Киреева А.А., кандидат экономических наук, Институт экономики, г. Алматы, Казахстан.

Кузьменко В.В., доктор экономических наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия.

Попова Е.В., доктор экономических наук, профессор, Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Россия.

Рахметова Р.У., доктор экономических наук, профессор, университет Туран, г. Астана, Казахстан.

6 · 2024

Agrarnaya nauka

Том 383, номер 6, 2024

Volume 383, number 6, 2024

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

© journal «Agrarian science»
© authors

DOI журнала 10.32634/0869-8155

The journal is included in the list of leading scientific journals and editions peer-reviewed by Higher Attestation Commission (directive of the Ministry of Education and Science № 21-p by 12 February 2019), in the AGRIS database (Agricultural Research Information System) and in the system of Russian index of scientific citing (RSCI).

Full version is available by the link <http://elibrary.ru>

The journal is a member of the Association of science editors and publishers. Each article is assigned a number Digital Object Identifier (DOI).

Founder: Limited liability company "VIC Animal Health"

Senior editor Kostromicheva I.V.

Executive editor Dolgaya M.N.

Design and layout Antonov S.N.

Proofreader Kuznetsova G.M.

Bibliographer Neroznik D.S.

Journalist Sedova Yu.G.

Account Manager Teplova A.S.

Legal address: 107053, Russian Federation, Moscow, Sadovaya Spasskaya, 20

Postal address: 109147, Russian Federation, Moscow, 3 Marxistskaya Str., 2 building

Editorial phone +7 (916) 616-05-31
agrovetpress@inbox.ru

Websites: www.vetpress.ru
<https://agrarnayanauka.ru>

Advertising: +7 (927) 155-08-10

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media Certificate PI No. FS 77-76484 dated August 02, 2019. You can subscribe to the journal at any post office.

You can subscribe to the print magazine:

— in the editorial office by phone. +7 (495) 777 67 67, ext. 1453, agrovetpress@inbox.ru

— in the subscription agency Ural-Press Okrug LLC — <https://www.ural-press.ru/catalog/>

Free subscription to the electronic version of the magazine — <https://agrarnayanauka.ru>

Subscription to archived issues and individual articles:

— on the website of the Scientific editorial staff

<https://www.vetpress.ru/jour>

— on the website of the Scientific Electronic Library www.elibrary.ru

The circulation of 2000 copies.

Signed in print 11.06.2024

Release date 18.06.2024

The journal is printed in the printing house of United Printing Complex LLC: 7, building 2, fl. 2, room 1, Derbenevskaya embankment, Moscow 115114. Tel. +7 (499) 130-60-19, info@opk.bz, <https://opk.bz>

16+

АГРАРНАЯ АГРАРИАН НАУКА SCIENCE

Scientific-theoretical and production journal coming out once a month.

The journal is edited since October 1956, first under the name "Agricultural science's bulletin". Since 1992 the journal is named "Agrarian science".

Publisher:

Autonomous non-commercial organisation "Agrarian science" edition" 107053, Russia, Moscow, st. Sadovaya-Spasskaya, 20.

Editor-in-chief:

Violin B.V., candidate of veterinary science, Leading Researcher of All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant — a branch of the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre VIEV", Moscow, Russia

Editorial board:

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

Abbas Rao Zahid, Dr. Associate Professor, University of Agriculture, Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Abitov A.I., Doctor of Biological Sciences, Professor, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, Russia.

Aliev A.Yu., Doctor of Veterinary Sciences, Caspian Regional Research Veterinary Institute, Makhachkala, Russia.

Andreeva A.V., Doctor of Biological Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.

Ansoni Arif Nur Muhammad, Doctor in Veterinary Science, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia.

Baimukanov D.A., Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Kazakh Research Institute of Animal Husbandry and Feed Production, Corresponding member of National Academy of Sciences, Almaty, Kazakhstan.

Vasilevich F.I., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA by K.I. Skryabin, Moscow, Russia.

Dakheli Majid Javanmard, doctor of Veterinary Medicine, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran.

Gorelik O.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia.

Gritsenko S.A., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Chelyabinsk Region, Russia.

Derkho M.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Chelyabinsk Region, Russia.

Zaits J., Doctor of Veterinary Sciences, University of Veterinary Medicine and Pharmacy in Brno, Brno, Czech Republic.

Karynbaev A.K., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan.

Kontsevaya S.Yu., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia.

Kosilov V.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia.

Kushaliyev K.Zh., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan.

Loretts O.G., Doctor of Biological Sciences, Professor, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia.

Lysenko Yu.A., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia.

Mikolaichik I.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kurgan State University, Kurgan, Russia.

Mironova I.V., Doctor of Biological Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.

Morozova L.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Kurgan State University, Kurgan, Russia.

Nekrasov R.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, Russia.

Ombaev A.M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Foreign Member of the Russian Academy of Sciences, Kazakh Research Institute of Animal Husbandry and Forage Production, Almaty, Kazakhstan.

Panin A.N., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University (ROSBIO TECH), Moscow, Russia.

Podobed L.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Institute of Animal Husbandry of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

Pozybabin S.V., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA by K.I. Skryabin, Moscow, Russia.

Radchikov V.F., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Scientific and Practical Center for Animal Husbandry of the National Academy of Sciences of Belarus, Zhodino, Belarus.

Rebezev M.B., Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, V.M. Gorbатов Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Topuria L.Yu., Doctor of Biological Sciences, Professor, Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia.

The journal is designed to advance Russian and world agrarian science, promotes innovative technologies' development. Our main goals consist in supporting young scientists, highlight scientific researches and best agricultural practices.

The scientific concept of the publication involves the publication of modern achievements in the agricultural sector, the results of key national and international studies.

The journal "Agrarian Science" contributes to the generalization of practical achievements in the field of agriculture and improves the scientific and practical qualifications in the area.

Both Russian and foreign authors are invited to publication.

For reprinting of materials the references to the journal are obligatory. The opinions expressed by the authors of published articles may not coincide with those of the editorial team. Advertisers carry responsibility for the content of their advertisements.

Fisinin V.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research and Technological Institute of Poultry Farming of the Russian Academy of Sciences, Sergiev Posad, Russia.

Kherremov Sh.R., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Union of Industrialists and Entrepreneurs of Turkmenistan, Ashgabat, Turkmenistan.

Shcherbakov P.N., Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Chelyabinsk region, Russia.

Usha B.V., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia.

Yuldashbaev Yu.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia.

Yatusevich A.I., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine, Vitebsk, Belarus.

AGRONOMY

Bunin M.S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Central Scientific Agricultural Library, Moscow, Russia.

Godswill Ntsomboh Ntsefong, PhD, University of Yaoundé I, Yaounde, Cameroon.

Grichanov I.Ya., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, All-Russian Research Institute of Plant Protection, Pushkin, Russia.

Jalilov F.S., Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia.

Juraev M.Ya., PhD, Associate Professor, Andijan Institute of Agriculture and Agrotechnologies, Andijan, Uzbekistan

Dolzhenko T.V., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Saint-Petersburg state agrarian university, Pushkin, St. Petersburg, Russia.

Dragavtseva I.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Winemaking, Krasnodar, Russia.

Zeynalov A.S., Doctor of Biological Sciences, Federal Scientific Selection and Technological Center for Horticulture and Nursery, Moscow, Russia.

Islamgulov D.R., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.

Kazakhmedov R.E., Doctor of Biological Sciences, North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking, Derbent, Russia.

Kalmykova E.V., Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Aforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia.

Nasiev B.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan.

Nikitin S.N., Doctor of Agricultural Sciences, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture named after N.S. Nemtsev, Ulyanovsk, Russia.

Thiruvengadam Muthu, PhD, Konkuk University, Seoul, South Korea.

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Afrasyab Khan, Doctor of Fluid Mechanics and Fluid engineering Machinery, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia.

Babich O.O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.

Darwish Amira M. Galal, PhD, Associate Professor, Arid Lands Cultivation Research Institute (ALCRI), City of Scientific Research and Technological Applications (SRTA-City), Alexandria, Egypt.

Didmanidze O.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia.

Zengin Gokhan, PhD, Professor, Selcuk University, Seljuk-Konya, Turkey.

Ivanov Yu.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia.

Ishevsky A.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research University ITMO, St. Petersburg, Russia.

Krebs Caroline de Souza, PhD, Blumenau Regional University, Blumenau, Brazil.

Kuznetsova E.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia.

Maksimova S.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia.

Mammadov G.B., Doctor of Technical Sciences, Professor Azerbaijan State Agrarian University, Ganja, Azerbaijan.

Monica Mironescu, Doctor in Industrial Engineering, Professor Eng., University Lucian Blaga of Sibiu, Sibiu, Romania.

Sarkar Tanmai, PhD, Malda Polytechnic Institute, Malda, India.

El-Sohaimy Sobhy Ahmed, PhD, Professor of Food Biochemistry City of Scientific Research and Technological Applications, Alexandria, Egypt.

Shehata Mohamed Gamal Mohamed, PhD, Associate Professor Arid Lands Cultivation Research Institute (ALCRI) City of Scientific Research and Technological Applications (SRTA City), Cairo, Egypt.

Smaoui Slim, PhD, University of Sfax, Sfax, Tunisia.

Suychinov A.K., PhD, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan.

Tretyak L.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia.

Troyanovskaya I.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk Chelyabinsk region, Russia.

Khan Muhammad Usman, PhD, Faisalabad Agricultural University, Faisalabad, Pakistan.

Khatko Z.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Maikop State Technological University, Maikop, Russia.

Chernopolskaya N.L., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia.

Fawzi M. Mahomoodally, PhD, Professor, University of Mauritius, Reduit, Mauritius.

REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

Aleshchenko V.V., Doctor of Economics, Institute of Economics and Organization of Industrial Production, Novosibirsk, Russia.

Bautin V.M., Doctor of Economics, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia.

Gordeev A.V., Doctor of Economics, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Gusakov V.G., Doctor of Economics, Professor, Academician of the National Academy of Sciences, Minsk, Belarus.

Kireeva A.A., Candidate of Economic Sciences, Institute of Economics, Almaty, Kazakhstan.

Kuzmenko V.V., Doctor of Economics, Professor, North Caucasian Federal University, Stavropol, Russia.

Popova E.V., Doctor of Economics, Professor, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.

Rakhmetova R.U., Doctor of Economics, Professor, University of Turan, Astana, Kazakhstan.

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ	8
СОБЫТИЯ ОТРАСЛИ, ТРЕНДЫ, НОВИНКИ	
3 вопроса эксперту. Новый инсектицид Сектор, КЭ от ГК "Шанс".....	11
Стратегия развития АПК: цели, задачи, перспективы	12
Юбилейный, 50-й комбикормовый завод от «Доза-Агро»	14
В России малым формам хозяйствования ежегодно направляется около 50% всех средств, предусмотренных на развитие сельхозпроизводства	16
Новосибирская область – в тройке лидеров по поголовью молочных коров среди регионов России	18
Индукторы интерферона в схемах лечения вирусных заболеваний телят	20
Криптоспоридиоз: профилактика и лечение.....	22
Сухое молоко: значение, эффективность и перспективы применения	24
Разработка блокчейн-платформ для краудфандинга и инвестирования в сельскохозяйственные проекты.....	26
Применение блокчейна для защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в сфере агробихотехнологий	28
Анализ влияния изменения климата на сельское хозяйство с помощью больших данных	30
ВЕТЕРИНАРИЯ	
Головин В.В., Абрамов С.В., Балышев А.В., Кочетков П.П., Виолин Б.В. Изучение биоэквивалентности лекарственных препаратов для ветеринарного применения «Авекардит» и «Ветмедин S» в организме собак	33
Галеева А.Г., Ефимова М.А., Фролов Г.С., Зубринкин Д.А., Хисамутдинов А.Г., Гарипов Л.Н., Мингалеев Д.Н., Равилов Р.Х. Функциональная оценка <i>in vivo</i> рекомбинантных аденоассоциированных вирусов, несущих гены протективно значимых антигенов вируса африканской чумы свиней.....	39
Шемельков Е.В., Шемелькова Г.О., Иванов Е.В., Булгаков А.Д., Верховский О.А., Алипер Т.И. Влияние адьювантов ISA 61 и ISA 50 на антигенную активность, способность формировать колостральный иммунитет и эффективность, экспериментальных образцов вакцины эффективность, экспериментальных образцов вакцины КОМБОВАК-А.....	44
Лящук Ю.О., Овчинников А.Ю., Бежиков М.В., Самарин Г.Н., Калашников М.В. Обзор средств антибиотикотерапии, активных в отношении возбудителей инфекционного мастита	50
ЗООТЕХНИЯ	
Сабетова К.Д., Лемякин А.Д., Чаицкий А.А., Щеголев П.О., Баданина Л.С., Метляев Н.Ю., Дудихин А.С., Кочуева Н.А. Молочная продуктивность и уровень кетоновых тел в крови коров костромской породы разных генотипов LEP	56
Игнатъева Л.П., Янглева А.А. Использование селекционного индекса для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы	62
Белоус А.А., Сермягин А.А., Елаткин Н.П., Зиновьева Н.А. Идентификация генов, ассоциированных с цветовыми характеристиками мясной и жировой ткани скота абердин-ангусской породы	68
Николаев С.В., Ялуга В.Л. Генетическая характеристика быков-производителей холмогорской породы в зависимости от их линейной принадлежности и уровня голштинизации	77
Косилов В.И., Юлдашбаев Ю.А., Никонова Е.А., Рахимжанова И.А., Калякина Р.Г., Седых Т.А., Долгая М.Н. Эффективность потребления и усвоения питательных веществ кормов рациона в зависимости от генотипа и кастрации.....	82
Шейда Е.В., Кван О.В., Гречкина В.В., Сечнев Ю.А., Харламов А.В. Эффективная значимость разных вариантов заготовки ферментированных кормов	87
АГРОНОМИЯ	
Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Бадамшина Е.В., Юлдыбаев И.Р. Влияние предпосевной обработки семян молибденом на урожайность зерна гороха в условиях Республики Башкортостан	93
Ladyzhenskaya O.V., Letunovsky S.S., Aniskina T.S., Kryuchkova V.A., Simakhin M.V. Comparison of modern raspberry varieties long cane.....	100
Тулинов А.Г., Косолапова Т.В. Оценка экологической пластичности сортообразцов ежи сборной в условиях Республики Коми.....	106
Бакулова И.В., Плужникова И.И., Криушин Н.В. Оптимизация приемов возделывания конопли посевной при рядовом способе посева.	112
АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Тетерин В.С., Панфёров Н.С., Пехнов С.А., Митрофанов С.В. Теоретические исследования движения гранул минеральных удобрений в камере смешивания тукосмесительной установки центробежного действия.....	118
Орлов В.А., Лукьянов А.А. Детектирование индексов вегетации виноградных насаждений как один из инструментов при мониторинге состояния виноградников	126
Попова Н.В., Каменева К.С., Васильев А.К. Интенсификация процесса ферментации напитка на растительной основе комплексной закваской «Бифидо плюс»	132
Новости из ЦНСХБ	139

ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ

XXIX МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

МВС: ЗЕРНО-КОМБИКОРМА-ВЕТЕРИНАРИЯ - 2024



19-21 ИЮНЯ

МОСКВА, ЭКСПОЦЕНТР, ПАВИЛЬОН № 7



СПЕЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



МИНСЕЛЬХОЗ РОССИИ



РОССИЙСКИЙ
ЗЕРНОВОЙ СОЮЗ



АССОЦИАЦИЯ
«РОСРЫБХОЗ»



СОЮЗ
КОМБИКОРМЩИКОВ



СОЮЗРОССАХАР



НАЦИОНАЛЬНАЯ
ВЕТЕРИНАРНАЯ
АССОЦИАЦИЯ



АССОЦИАЦИЯ ПТИЦЕВОДОВ
СТРАН ЕВРАЗИЙСКОГО
ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА



СПЗ СОЮЗ ПРЕДПРИЯТИЙ
ЗООБИЗНЕСА



АССОЦИАЦИЯ
«ВЕТБИОПРОМ»



АССОЦИАЦИЯ
«ВЕТБЕЗОПАСНОСТЬ»



НАЦИОНАЛЬНЫЙ СОЮЗ
СВИНОВОДОВ



РОСПТИЦЕСОЮЗ



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР
МОСКОВСКАЯ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ: ООО «ЭМ-ВИ-СИ»



ТЕЛ.: (495) 755-50-35, 755-50-38
E-MAIL: INFO@EXPOKHLEB.COM
WWW.MVCEXPO.RU



16+

CONTENTS

NEWS	8	
INDUSTRY EVENTS, TRENDS, NOVELTIES		
3 questions to the expert. New insecticide from GC "Chance"	11	
Development strategy of the agro-industrial complex	12	
50th feed mill from Doza-Agro	14	
In Russia, about 50% of all funds allocated for the development of agricultural production are annually allocated to small businesses	16	
The Novosibirsk region is in the top three in terms of the number of dairy cows among Russian regions	18	
Interferon inducers in treatment regimens for viral diseases of calves	20	
Cryptosporidiosis: prevention and treatment	22	
Dry colostrum: significance, effectiveness and prospects for use	24	
Development of blockchain platforms for crowdfunding and investing in agricultural projects	26	
Application of blockchain for intellectual property protection and licensing in the field of agrobiotechnologies	28	
Analyzing the impact of climate change on agriculture using big data	30	
VETERINARY MEDICINE		
<i>Golovin V.V., Abramov S.V., Balyshv A.V., Kochetkov P.P., Violin B.V.</i> Study of the bioequivalence of drugs for veterinary use "Avecardit" and "Vetmedin S" in the body of dogs	33	
<i>Galeeva A.G., Efimova M.A., Frolov G.S., Zubrinkin D.A., Hisamutdinov A.G., Garipov L.N., Mingaleev D.N., Ravilov R.Kh.</i> In vivo functional assessment of recombinant adenoassociated viruses carrying genes of protectively significant antigens of the African swine fever virus	39	
<i>Shemelkov E.V., Shemelkova G.O., Ivanov E.V., Bulgakov A.D., Verkhovsky O.A., Aliper T.I.</i> The influence of adjuvants ISA 61 and ISA 50 on the antigenic activity, the ability to form colostrum immunity and the effectiveness of experimental samples of the vaccine KOMBOVAC-A	44	
<i>Lyashchuk Yu.O., Ovchinnikov A.Yu., Belyakov M.V., Samarin G.N., Kalashnikov M.V.</i> Review of antibiotic agents active against infectious mastitis pathogens	50	
ZOOTECHNICS		
<i>Sabetova K.D., Lemyakin A.D., Chaitsky A.A., Schiogolev P.O., Badanina L.S., Metlyaev N.Yu., Dudikhin A.S., Kochueva N.A.</i> Milk productivity and the concentration of ketones in the blood of Kostroma cows of different LEP genotypes	56	
<i>Ignatieva L.P., Yanglyaeva A.A.</i> Using the selection index for predict the lifelong productivity of simmental cows	62	
<i>Belous A.A., Sermyagin A.A., Elatkin N.P., Zinovieva N.A.</i> Identification of genes associated with color characteristics of meat and fat tissue of aberdeen-angus cattle	68	
<i>Nikolaev S.V., Yaluga V.L.</i> Genetic characteristics of producing bulls of the Kholmogorsky breed, depending on their linear affiliation and the level of Holstein	77	
<i>Kosilov V.I., Yuldashbaev Yu.A., Nikonova E.A., Rakhimzhanova I.A., Kalyakina R.G., Sedykh T.A., Dolgaya M.N.</i> The efficiency of consumption and assimilation of nutrients in the diet depending on the genotype and castration	82	
<i>Sheida E.V., Kvan O.V., Grechkina V.V., Sechnev Yu.A., Kharlamov A.V.</i> The effective significance of different options for harvesting fermented feed	87	
AGRONOMY		
<i>Davletov F.A., Gainullina K.P., Badamshina E.V., Yuldybayev I.R.</i> The influence of pre-sowing treatment of seeds with molybdenum on the yield of pea grain in the conditions of the Republic of Bashkortostan	93	
<i>Ladyzhenskaya O.V., Letunovsky S.S., Aniskina T.S., Kryuchkova V.A., Simakhin M.V.</i> Comparison of modern raspberry varieties long cane	100	
<i>Tulinov A.G., Kosolapova T.V.</i> Assessment of the ecological plasticity of cocksfoot specimens in the Komi Republic	106	
<i>Bakulova I.V., Pluzhnikova I.I., Kriushin N.V.</i> Optimization of methods of cultivation of seed hemp with an ordinary method of sowing	112	
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES		
<i>Teterin V.S., Panferov N.S., Pehnov S.A., Mitrofanov S.V.</i> Theoretical studies of the movement of mineral fertilizer granules in the mixing chamber of a centrifugal mixing plant	118	
<i>Orlov V.A., Lukyanov A.A.</i> Detection of vegetation indices of grape plantations as one of the tools for monitoring the condition of vineyards	126	
<i>Popova N.V., Kameneva K.S., Vasiliev A.K.</i> Intensification of the fermentation process of a plant-based drink with complex starter "Bifido Plus"	132	
News from CSAL	139	

КормВет экспо Грэйн 2024

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ВЫСТАВКА КОРМОВ, КОРМОВЫХ ДОБАВОК,
ВЕТЕРИНАРИИ И ОБОРУДОВАНИЯ

22-24 ОКТЯБРЯ

МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО», ПАВИЛЬОН 2

ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ



СВИНОВОДСТВО | ПТИЦЕВОДСТВО | ЖИВОТНОВОДСТВО | АКВАКУЛЬТУРА
ПРОИЗВОДСТВО КОМБИКОРМОВ | ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА ЗЕРНА



FEEDVET-EXPO.RU

НАС ВЫБИРАЮТ ПРОФЕССИОНАЛЫ!

ТЕЛ.: +7 (499) 649-50-20
E-MAIL: INFO@FEEDVET-EXPO.RU

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ ООО "ДЕКАРТС СИСТЕМ"
119049, Г. МОСКВА, ЛЕНИНСКИЙ ПРОСПЕКТ, 2/2А, ОФИС 326

ГОСДУМА УТВЕРДИЛА ОКСАНУ ЛУТ НА ДОЛЖНОСТЬ МИНИСТРА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Парламентарии на пленарном заседании проголосовали за утверждение кандидатуры первого замминистра сельского хозяйства РФ Оксаны Лут на должность главы Минсельхоза России, сообщает ТАСС.

«Учитывая, что вы работали и работаете первым заместителем министра, надо сказать, что министерство многого добилося. Безусловно, это и ваш вклад. Председатель Правительства РФ учел это, и ваша кандидатура внесена», — сказал председатель ГД РФ Вячеслав Володин в ходе обсуждения кандидатуры Оксаны Лут. Работа министром — это уже другой уровень, заявил он. «Крайне важно, чтобы вы сделали всё, для того чтобы министерство не потеряло те позиции, которые сегодня есть. У нас сельское хозяйство — драйвер экономики, и это сильная сторона нашей страны», — отметил Вячеслав Володин.



источник фото: официальный сайт Минсельхоза России

ПРОИЗВОДСТВО САХАРА В РОССИИ ЗА I КВАРТАЛ 2024 ГОДА УВЕЛИЧИЛОСЬ В 1,5 РАЗА

С января по март 2024 года в России произведено 744,2 тыс. т сахара, что на 47% больше показателей аналогичного прошлого периода, сообщили в Минсельхозе России.

Как пояснил председатель правления Союза сахаропроизводителей России Андрей Бодин, такие показатели объясняются высоким урожаем сахарной свеклы в 2023 году, когда, по данным Росстата, ее было собрано 53,1 млн т, что на 8,6% выше показателей 2022 года.

В связи с ростом объемов заготовки сахарной свеклы длительность текущего сезона ее переработки выросла, как и количество переходящих остатков сырья по состоянию на 1 января 2024 года. Как результат, объем переработанной свеклы за I квартал 2024 года составил 5,95 млн т, то есть на 61% больше показателя по итогам I квартала 2023 года, что и привело к росту объемов производства сахара, отметил эксперт.

В КРЫМ ЗАВЕЗЛИ 10 БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ УНИКАЛЬНОЙ ПОРОДЫ ЛИМУЗИН

Как сообщила врио министра сельского хозяйства Республики Крым Алимэ Заредина, в регион из Татарстана завезены 10 быков породы лимузин.

На текущий момент в Крыму более 10 хозяйств занимаются производством говядины. Единственное хозяйство, расположенное в с. Заветном Бахчисарайского р-на, выращивает КРС породы Лимузин (поголовье насчитывает 950 голов КРС, из которых 520 находятся на откорме), сюда и завезли 10 быков-производителей из Татарстана, отметила чиновник.

В ЗАСЕДАНИИ КОМИССИИ ПАРЛАМЕНТСКОГО СОБРАНИЯ БЕЛАРУСИ И РОССИИ ПРИНЯЛА УЧАСТИЕ ГРУППА КОМПАНИЙ ВИК

Совместное заседание Комиссии Парламентского собрания Союза Беларуси и России по промышленности и торговле и Комиссии Парламентского собрания по аграрным вопросам прошло 24 мая в Витебске (Республика Беларусь). Председателем комиссии с российской стороны стал первый заместитель председателя Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Сергей Митин. В заседании приняли участие представители Постоянного комитета Союзного государства, Министерства промышленности РБ, Министерства промышленности и торговли РФ, Министерства сельского хозяйства и продовольствия РБ, Министерства сельского хозяйства РФ, Министерства науки и высшего образования РФ, руководители крупнейших предприятий Витебской области, в том числе «ВИК — здоровье животных».

На мероприятии обсуждались вопросы развития агропромышленного комплекса Союзного государства и сотрудничества Витебской области с регионами РФ в сфере сельского хозяйства и потребительского рынка.

Директор витебского предприятия ГК ВИК Илья Курганов в своем выступлении отметил, что современное высокотехнологичное производство ВИК в Беларуси, выпускающее ветеринарные препараты для сельскохозяйственных животных, уже 25 лет вносит свой вклад в развитие агропромышленного комплекса Союзного государства. Потребителями производимой продукции является ЕАЭС, в первую очередь Россия и Беларусь, а также страны Азии, Африки, ЕС и других регионов мира — всего более 50 государств. Сертификаты ГК ВИК, соответствующие стандартам GMP, признаны в более чем 100 странах мира. «В этом году на территории производственного комплекса в Витебске введено в эксплуатацию новое предприятие по производству стерильных инъекционных порошков, суспензий и противомасляных шприцев. Недавно был дан старт проекту по строительству нового цеха для производства гранулированных антибактериальных препаратов и уникальной линейки препаратов-фитобиотиков, разработанных в ГК ВИК», — сообщил Илья Курганов.

После заседания парламентарии посетили предприятие «ВИК — здоровье животных» — крупный инвестиционный проект с российским капиталом. Депутаты ознакомились с историей предприятия, осмотрели лаборатории и производство, обсудили с руководством основные направления деятельности, структуру поставок, сбыта продукции и перспективы развития.



Подпишитесь на наш Telegram-канал!



НОВЫЙ ИНСЕКТИЦИД СЕКТОР, КЭ ОТ ГК «ШАНС»



Журнал «Аграрная наука» при поддержке одного из лидеров отечественного рынка средств защиты растений (СЗР) Группы компаний «Шанс» представляет рубрику «Три вопроса эксперту». Руководитель отдела по поддержке и развитию продукции ГК «Шанс» Василий Соннов — о новом инсектициде Сектор, КЭ от ГК «Шанс», который представляет собой средство для борьбы с насекомыми вредителями сельскохозяйственных культур.



1 Что такое инсектицид Сектор, КЭ? Расскажите о его основных действующих веществах.

В поисках лучшего способа защиты урожая аграрии всегда ищут новые продукты и решения. Именно поэтому я сегодня расскажу о новом инсектициде Сектор, КЭ от ГК «Шанс», состоящем из двух действующих веществ — хлорпирифоса 500 г/л и циперметрина 50 г/л.

Хлорпирифос относится к классу фосфорорганических соединений (ФОС), который проявляет высокую эффективность против сосущих и грызущих насекомых, а также против клещей. Его механизм действия направлен на нарушение нервно-мышечной передачи у насекомых, что приводит к их параличу и гибели. Скорость действия хлорпирифоса зависит от пути введения в организм насекомого (контактного или через пищеварительный тракт) и может проявляться от нескольких секунд до нескольких минут. Препараты на основе хлорпирифоса обладают длительным защитным действием. Хлорпирифос применяется для защиты пшеницы, ячменя, сахарной свеклы и других культур от широкого спектра вредителей, включая блошек, тлей, совок и клещей.

Циперметрин, в свою очередь, принадлежит к классу пиретроидов и обладает контактно-кишечным действием. Он быстро действует на нервную систему насекомых, что позволяет минимизировать ущерб, причиняемый растениям. В зависимости от условий окружающей среды защитное действие продолжается до 14 суток. Это действующее вещество рекомендовано для защиты различных культур от широкого спектра грызущих и сосущих вредных насекомых. Блошки, злаковая тля, клоп вредная черепашка, пшеница, рапсовый цветоед, тли — переносчики вирусных заболеваний, хлебные трипсы, хлебный клопик и другие. Особенно эффективен против личинок, но может использоваться и против имаго.



2 Какие преимущества имеет инсектицид Сектор, КЭ?

Сектор, КЭ обладает рядом преимуществ, делающих его предпочтительным выбором для сельхозпроизводителей:

широкий спектр действия (благодаря комбинации двух действующих веществ инсектицид обеспечивает защиту от множества вредных насекомых);

высокая эффективность (различные механизмы действия обеспечивают быстрое и надежное избавление от вредителей, что позволяет минимизировать урон, причиняемый растениям);

надежность и безопасность (разработка препарата основана на соблюдении высочайших стандартов качества и безопасности, что делает его безопасным для сельхозрастений).

3 Где можно применять инсектицид Сектор, КЭ?

Препарат можно применять для защиты различных видов культурных растений, таких как пшеница, сахарная свекла, рапс, против широкого спектра жесткокрылых, полужесткокрылых и чешуекрылых вредителей. Сектор, КЭ представляет собой инсектицид, который сочетает в себе высокую эффективность и широкий спектр действия. Его применение



способствует сохранению урожайности и качества сельскохозяйственной продукции, что делает его необходимым инструментом в арсенале современного агрария.

Читайте в следующем номере о системном фунгициде профилактического и лечебного действия **Фея, КЭ**.

ГК «Шанс»
Тел. 8 (800) 700-90-36
shans-group.com

ООО «Шанс Трейд» — генеральный партнер завода-производителя «Шанс Энтерпрайз» по реализации продукции на территории РФ.

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ АПК: ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, ПЕРСПЕКТИВЫ

В рамках деловой программы Дня продовольственной безопасности Недели технического лидерства на Международной выставке-форуме «Россия», проходящей с 04.11.2023 по 08.07.2024 в Москве на ВДНХ, состоялась пленарная сессия «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности». В мероприятии приняла участие министр сельского хозяйства РФ Оксана Лут.

Наша страна по многим направлениям достигла продовольственной самообеспеченности. Помимо этого, в последние годы она демонстрирует выдающиеся успехи в осуществлении экспорта продукции АПК, отметила в ходе пленарной сессии глава Минсельхоза России Оксана Лут. Она сообщила о работе ведомства по реализации ряда национальных целей развития, определенных Указом Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». Это — «устойчивая и динамичная экономика», «технологическое лидерство» и «комфортная и безопасная среда для жизни». Как напомнила министр, в документе в том числе предусмотрено увеличение объема производства продукции АПК к 2030 году (по сравнению с показателями 2021 года) не менее чем на 25% и ее экспорта не менее чем в 1,5 раза (эквивалентно 55 млрд долл.), а также улучшение качества среды для жизни в опорных населенных пунктах и обеспечение технологической независимости в сфере продовольственной безопасности.

Сейчас отрасль сельского хозяйства входит в новый цикл — следующий этап развития, при этом одной из ключевых задач для достижения поставленных президентом РФ Владимиром Путиным целей является обеспечение технологического суверенитета, отметила министр. В настоящее время ведется работа над национальным проектом «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности», реализация которого позволит снизить зависимость России от импорта, пояснила она (как следует из презентации докладчика, бюджет проекта до 2030 года составит порядка 1 трлн рублей, его руководителем будет Оксана Лут, куратором — вице-премьер РФ Дмитрий Патрушев).



Министр сообщила, что в новый национальный проект будут включены (как планируется Минсельхозом на текущий момент) восемь федеральных проектов:

- «Селекционная и генетическая независимость АПК»;
- «Обеспеченность АПК критически важными ферментами, пищевыми и кормовыми добавками»;
- «Обеспеченность АПК отечественными ветпрепаратами и вакцинами»;
- «Техническая и технологическая независимость в сельхозмашиностроении»;
- «Технико-технологическая независимость животноводства, пищевой и перерабатывающей промышленности»;
- «Технологическая независимость производства средств защиты растений»;
- «Отечественный флот для нужд АПК и РХК»;
- «Кадровое и научное обеспечение АПК и РХК».



Спикер подробно описала этапы реализации национальных целей развития в сфере АПК в рамках разрабатываемого нацпроекта. В частности, она сообщила, что к 2030 году экспорт отечественного семенного материала, составившего по итогам минувшего года 129,8 млн долларов, выйдет на сумму в 155,8 млн долларов, экспорт племенной продукции (материала) собственной селекции — 3,5 млн долларов против 2,84 млн долларов в 2023 году. Помимо этого, к 2030 году уровень самообеспеченности России семенами отечественной селекции должен составлять 75%, из них семенами озимой и яровой пшеницы — 95%

и 82% соответственно, кукурузы — 77%, подсолнечника — 75%, зернобобовых культур — 55%, сахарной свеклы и картофеля — по 50%.

Согласно презентации спикера, от базового 2023-го к целевому 2030 году должна возрасти обеспеченность российского АПК отечественными основными аминокислотами от 38 до 85%, основными ферментами — от 6 до 45%, основными модифицированными крахмалами — от 10 до 70%, специализированными рыбными кормами для ценных (лососевых) видов рыб — от 20 до 95%. К указанному году самообеспеченность основными кормовыми витаминами должна достигнуть 40%, основными органическими кислотами — 40% (сейчас ни тех и ни других в России не выпускают), при этом экспорт отечественных основных ферментов, пищевых и кормовых добавок должен составлять порядка 15 тыс. т, уточнила министр.

Кроме того, через шесть лет доля локализации действующих веществ, необходимых для производства средств защиты растений (СЗР), должна составлять 20%, а доля химических СЗР отечественного производства в потреблении должна достичь 95% (от 70% в прошлом году), сообщила докладчик.

По данным спикера, к 2030 году обеспеченность отрасли животноводства ветеринарными химфармпрепаратами российского производства должна составить 70%, отечественными ветеринарными вакцинами — 47% (в 2023 году самообеспеченность АПК ветпрепаратами составила 50%, вакцинами — 30%). В России ряд крупных компаний готовы разрабатывать необходимые вакцины и уже этим занимаются, проинформировала она. «Вопрос только в интенсификации и еще, конечно, в том, чтобы разработанные российскими компаниями вакцины по качеству и сохранению стада были эффективными, не хуже иностранных аналогов, — заметила министр. — Понимание задачи у наших предприятий есть. Считаем, что с этими цифрами мы справимся».

Министерство сельского хозяйства РФ совместно с Минпромторгом будет работать над качеством (а не только количеством) российской сельхозтехники,



сообщила чиновник, отметив, что к 2030 году в агрохозяйствах доля отечественных тракторов должна достичь 40%, комбайнов — 42%, селекционных комбайнов — 60%, культиваторов, плугов, сеялок — по 25%, опрыскивателей — 30%. «В целом по сельхозмашиностроению самообеспеченности достичь удалось, тем не менее впереди большой фронт работ, — сказала Оксана Лут. — Например, по оборудованию для пищевой и перерабатывающей промышленности у нас еще много импорта, к сожалению». Такое положение дел Минсельхоз совместно с Минпромторгом собирается кардинально изменить, заявила она. «Нами создана рабочая группа по обратному инжинирингу. Мы набрали хорошую динамику и ритмичность для замещения иностранных компонентов (особенно из недружественных стран) отечественными аналогами. В работу включились производители такого оборудования. Так что по данному направлению прослеживаются хорошие перспективы», — отметила спикер.

Министр сообщила и о планах по строительству в России в ближайшие 6 лет 20 судов для перевозки сельхозпродукции на отечественных верфях, при этом количество построенных судов в рамках первого и второго этапов инвестквот должно возрасти до 129 (от 21 в 2023 году). У Минсельхоза уже есть первый проект, заказчиком которого выступил «Росагролизинг», уточнила она. «Мы получили проект в прошлом году, теперь надо найти верфь, на которой построить это первое судно», — добавила руководитель ведомства.

Оксана Лут акцентировала внимание на необходимости решения кадрового вопроса, в том числе оттока кадров из сектора АПК. С этой целью, по ее данным, в РФ ежегодно должны будут выпускать более 13 тыс. специалистов среднего профессионального образования, 68 тыс. специалистов высшего образования и 1,3 тыс. научных сотрудников. Помимо этого, к 2030 году в России должны появиться 18 тыс. агротехнологических классов (8–11-й классы). «Мы сделаем ставку на производительность труда и популяризацию сельхозпрофесий. Работать в нашей отрасли должно быть модно, престижно и перспективно, и совместно с бизнесом будем это продвигать», — отметила министр.

Ю.Г. Седова

ЮБИЛЕЙНЫЙ, 50-Й КОМБИКОРМОВЫЙ ЗАВОД ОТ «ДОЗА-АГРО»

ООО «Доза-Агро» более 20 лет проектирует и строит комбикормовые заводы и системы хранения. В апреле 2024 года компания ввела в эксплуатацию юбилейный, 50-й комбикормовый завод. Проект реализован в Республике Татарстан на птицефабрике ООО «ФХ Чайка».

В торжественном мероприятии открытия нового комбикормового завода приняли участие заместитель премьер-министра Республики Татарстан — министр сельского хозяйства и продовольствия Марат Зябаров, глава Муслюмовского муниципального района Альберт Хузин, директор ООО «ФХ Чайка» Дамир Шангараев и коммерческий директор ООО «Доза-Агро» Роман Саванин. Высокопоставленные гости традиционно перерезали красную ленту и ознакомились с оборудованием комбикормового завода «ДозаМIX-10 Профи».

ООО «ФХ Чайка» — племенной репродуктор второго порядка по работе с кроссом «Родонит 3». Годовая вместимость инкубатора — 6 млн яиц. Хозяйство является и поставщиком биоматериала для вакцин против гриппа. К производимому для этих целей сырью предъявляются очень высокие требования. В хозяйстве высокий уровень автоматизации.

В 2023 году руководством «Чайки» принято решение организовать собственное кормопроизводство. На основании потребностей ООО «ФХ Чайка» специалистами «Доза-Агро» было сформировано техническое задание с указанием необходимых параметров и характеристик. Для решения поставленных задач наилучшим образом подошел проект «ДозаМIX-10 Профи». В результате тесной совместной работы представителей заказчика и исполнителя были доработаны технические решения узлов и участков. Проектным отделом «Доза-Агро» выполнено решение, которое абсолютно точно соответствует задачам заказчика. Подготовка строительной площадки, общестроительные работы, подводка коммуникаций, строительство нового цеха размером 48 x 14 м — эти работы выполнены силами ООО «ФХ Чайка» в соответствии с проектным решением, разработанным «Доза-Агро». Монтаж оборудования и пусконаладочные работы выполнены монтажным подразделением «Доза-Агро». Специалистами «Доза-Агро» проведено обучение специалистов хозяйства по работе с оборудованием «Доза-Агро».

Комбикормовый завод «ДозаМIX-10 Профи» включает в себя участки приемки сырья, измельчения, макро- и микродозирования, смешивания, термообработки, гранулирования, охлаждения и отгрузки готового продукта.

Загрузка основных компонентов происходит через завальную яму БПТ 40, хранение зерновых осуществляется в силосах демпферных СК 4 x 42 м³, хранение шротов, жмыхов — в СК 4 x 37 м³, количество компонентов: основных — до 8, макро — до 4, микро — до 6. Отгрузка готовой продукции осуществляется через экспедиционные бункеры на проездной эстакаде СКЭ 4 x 48 м³. Управление всеми процессами кормопроизводства происходит с помощью программного обеспечения DOZA PRO, разработанного специалистами «Доза-Агро».

Технологии «Доза-Агро» позволяют очень эффективно вести бизнес в сфере кормопроизводства за счет минимального количества персонала, интеграции всех процессов учета с «1С» и оптимальной стоимости данных решений.



ООО «Доза-Агро» — ведущий российский производитель комбикормового оборудования. Компания является разработчиком эффективных технологических решений в сфере производства комбикорма и имеет более 50 патентов на полезные модели и изобретения. Оперативно отвечая на запросы предприятий агропромышленного сектора, «Доза-Агро» регулярно выпускает на рынок новинки сельскохозяйственного оборудования. В 2021 году специалистами «Доза-Агро» были разработаны типовые проекты комбикормовых заводов серий «Премиум», «Профи», «Мастер» производительностью от 1 до 20 т/ч для разных групп животных. В 2022 году освоен выпуск умных комбикормовых заводов серии «Оптимум» производительностью 1, 2, 3 и 5 т/ч. В 2023 году на заводе «Доза-Агро» введена в эксплуатацию линия производства силосов, расширен модельный ряд систем хранения.



Умные комбикормовые заводы «Оптимум»

1, 2, 3, 5 т/ч



Автоматизированная
отгрузка



Ввод жидких
компонентов



Ввод микро-
и макродобавок



Гранулирование

г. Нижний Новгород, ул. шоссе Жиркомбината, д. 20

Линии, оборудование, запчасти

8 800 200 24 76

office@dozaagro.ru

Служба сервиса

8 800 200 85 90

service@dozaagro.ru

Комбикормовые и семенные заводы

8 800 551 54 50

office@dozamix.com



www.dozaagro.com

В РОССИИ МАЛЫМ ФОРМАМ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ ЕЖЕГОДНО НАПРАВЛЯЕТСЯ ОКОЛО 50% ВСЕХ СРЕДСТВ, ПРЕДУСМОТРЕННЫХ НА РАЗВИТИЕ СЕЛЬХОЗПРОИЗВОДСТВА

Актуальные вопросы развития сельхозотрасли, в том числе малого агробизнеса, обсудили участники юбилейного, XXXV съезда Ассоциации крестьянских (фермерских) хозяйств и сельскохозяйственных кооперативов (АККОР), приуроченного к 35-летию возрождения фермерства в России. Мероприятие прошло в Москве, в Колонном зале Дома союзов.

Доля продукции КФХ в общем объеме сельскохозяйственного производства в минувшем году, по предварительным данным, достигла 15%, сообщил, выступая на съезде, Дмитрий Патрушев (на дату мероприятия — министр сельского хозяйства РФ, в настоящее время — вице-премьер России). Около половины всего зерна было собрано фермерами и малыми сельхозорганизациями, отметил он. «Значителен ваш вклад и в показатели производства молока, мяса, картофеля, овощей и ягодной продукции. Рассчитываем, что вы продолжите развивать хозяйства, внедрять современные технологии и повышать качество продукции, а мы будем и далее совершенствовать меры господдержки», — сказал чиновник. В целом государство ежегодно направляет малым формам хозяйствования практически половину всех средств, предусмотренных на развитие сельхозпроизводства, в том числе стабильно увеличивает финансирование адресных мер, на которые в текущем году заложено 14,6 млрд руб., проинформировал он. «Сохранены все виды грантов. При этом для наиболее востребованных из них стараемся увеличивать лимиты», — добавил спикер, отметив, что с 2024 года в линейке господдержки появился новый грант, направленный на поддержку начинающих кооперативов. «Мы рассчитываем, что он станет дополнительным стимулом для развития сельхозкооперативов», — сказал он. В числе ключевых задач, стоящих перед фермерским сообществом, чиновник выделил необходимость проведения мониторинга правоприменительной практики норм земельного законодательства, связанного с малым агробизнесом, а также вовлечения личных подсобных хозяйств в процессы производства и объединения их в кооперативы первого уровня, а затем и второго.

«Учитывая серьезное представительство АККОР в регионах страны, ждем вашего участия в анализе кадровой потребности отрасли и формировании механизмов престижа аграрных профессий. Сегодня это особенно важно, это одна из основных наших задач», — отметил Дмитрий Патрушев.

В числе приоритетных задач верхней палаты российского парламента — создание системы поддержки фермеров, сообщил председатель Комитета Совета



Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Александр Двойных. Он напомнил о запущенном (по предложению отечественных фермеров, поддержанному председателем СФ ФС РФ Валентиной Матвиенко) эксперименте по созданию агроагрегаторов по сбыту фермерской продукции. Это помогает малым формам аккумулировать сельхозпродукцию, пояснил парламентарий. Первые пилотные проекты по сбыту продукции фермеров были запущены в Тульской и Липецкой областях, а сегодня эта практика поддерживается по многим регионам страны, отметил сенатор.

Президент ассоциации «Росспецмаш» Константин Бабкин заострил внимание на вопросах развития отечественного сельхозмашиностроения. Согласно его презентации, в 2023 году производство сельхозтехники в России (по сравнению с 2019 годом) выросло в 2,4 раза, превысив 271 млрд руб., при этом постоянно повышается уровень интеллектуализации, точности и производительности сельхозмашин. Большую роль в процессе технического перевооружения АПК играет Программа 1432. Данный механизм позволяет сглаживать негативный эффект от снижения цен и сохранять темпы производства и обновления парка, отметил докладчик. Так, благодаря реализации этого постановления цены на российскую сельхозтехнику в 2021–2023 годах выросли только на 30–40%, что соответствует индексу цен производителей, ежегодно утверждаемому Правительством РФ, тогда как стоимость отдельных моделей иностранного производства за рассматриваемый период увеличилась более чем в 2 раза, пояснил он. Необходимо создать все условия, для того чтобы в России было выгодно производить сельхозмашины, станки, комплектующие, сельхозпродукцию, защищать внутренний рынок как в направлении сельхозмашиностроения, так и аграрного бизнеса. Для этого существуют эффективные механизмы, которые следует более активно использовать, отметил эксперт.

Ю.Г. Седова

агро ВОЛГА 2024

МЕЖДУНАРОДНАЯ
АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ
ВЫСТАВКА

3-5 июля

Казань

Международный выставочный
центр «Казань Экспо»



agrovolga.org

НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ — В ТРОЙКЕ ЛИДЕРОВ ПО ПОГОЛОВЬЮ МОЛОЧНЫХ КОРОВ СРЕДИ РЕГИОНОВ РОССИИ

В ходе Первого Сибирского молочного форума (г. Новосибирск) состоялось обсуждение перспектив развития молочного животноводства региона и текущего положения дел в отрасли. Организаторами мероприятия выступили Национальный союз производителей молока (Союзмолоко) и Союзмолоко.Сибирь при содействии Министерства сельского хозяйства РФ и Минсельхоза Новосибирской области.



Как сообщил заместитель председателя правительства Новосибирской области — министр сельского хозяйства региона Евгений Лещенко, область находится на 3-м месте в России по поголовью молочных коров, на 6-м месте — по производству и реализации молока, а в СФО и за Уралом занимает по данным показателям лидирующие позиции. Это, по его мнению, обусловлено продуктивной, успешной деятельностью сельхозорганизаций, реализацией инвестиционных проектов, увеличением числа крестьянских фермерских хозяйств (КФХ) и индивидуальных предпринимателей. В настоящее время молочным скотоводством в регионе занимаются 239 сельхозорганизаций и КФХ.

Производство молока — важная сфера экономики, приносящая доход и создающая рабочие места, заявил спикер. Одним из факторов, положительно влияющих на развитие животноводства в регионе, является эффективная племенная база, отметил он, добавив, что к организациям по племенному животноводству относятся три племенных завода и семь племенных репродукторов по разведению крупного рогатого скота (КРС) молочного направления. По информации чиновника, в областных племенных организациях, занимающихся разведением КРС, содержатся 30 794 коровы молочного направления продуктивности. На текущий момент новосибирские племенные предприятия полностью удовлетворяют потребность региональных сельхозорганизаций в племенном молодняке КРС молочного и мясного направлений продуктивности. Продуктивность молочных коров по итогам прошлого года составила 6750 кг молока на одну корову, что на 400 кг выше уровня 2022 года, отметил он. Вырос объем молока сырого, переработанного на пищевую продукцию: от 394 тыс. т в 2022 году до 408 тыс. т в 2023-м (в планах на 2024 год — 427 тыс. т), рассказал спикер.

Докладчик проинформировал, что господдержка по отрасли животноводства за 2023 год была направлена в том числе на финансовое обеспечение части затрат на поддержку производства молока, а также на финансовое обеспечение племенного маточного поголовья сельскохозяйственных животных и частично — племенных быков-производителей

старше 16 месяцев, проверенных по качеству потомства или находящихся в процессе оценки данного качества. Помимо этого, господдержка была направлена на частичное возмещение затрат на проведение диагностических исследований на лейкоз КРС и содержание товарного маточного поголовья КРС молочного направления продуктивности, на возмещение стоимости молодняка КРС, приобретенного ЛПХ, и на приобретение семени племенных животных-производителей, добавил спикер.

Как сообщил директор Новосибирского филиала Россельхозбанка Станислав Тишуров, в 2023 году банк поддержал реализацию проектов предприятий молочного животноводства Новосибирской области, направив на эти цели 4,8 млрд рублей. Всего по итогам прошлого года банк профинансировал агросектор региона на сумму в 19 млрд рублей, что составляет 80% от общего объема выданных кредитных средств предприятиям Новосибирского АПК, резюмировал он.

Что касается ситуации в целом по стране, то, согласно данным генерального директора Национального союза производителей молока (Союзмолоко) Артема Белова, валовой объем потребления молочной продукции в прошлом году составил 31,2 млн т, а в текущем году прогнозируется на уровне 32 млн т. Учитывая, что темпы роста доходов «населения чуть замедлятся и составят не 5%, а несколько ниже, то, соответственно, будет и несколько ниже прирост темпов спроса на молочную продукцию», но 2–3% в этом году можно ожидать, отметил он. По мнению спикера, экспорт продукции в 2024 году может вырасти на 15–20% (как результат прогнозируемого роста производства на 1 млн т товарного молока, или около 4% от текущего производства). При этом импорт, составивший по итогам 2023 года около 6,4 млн т, из которых 5,6 млн т пришлось на долю Белоруссии, сохранится на прошлогоднем уровне. «Мы не планируем, что серьезно изменится импорт, — уточнил он. — Из дальнего зарубежья поставок практически нет, из Белоруссии фактически и так забираем все излишки». Поэтому импорт, по прогнозу Союза, будет достаточно стабильным, заключил эксперт.

Ю.Г. Седова



✉ Консультация
по применению
препарата
avzagro@vetmag.ru

АНАНДИН® 10%

раствор для инъекций

**ПРОФИЛАКТИКА
ИНФЕКЦИОННЫХ
ЗАБОЛЕВАНИЙ
МОЛОДНЯКА**

профилактика респираторных и
желудочно-кишечных заболеваний
телят и поросят в критические
периоды жизни, когда существует
угроза вспышки инфекции

**ПОВЫШЕНИЕ
КАЧЕСТВА
ВАКЦИНАЦИИ**

активация иммунной системы
перед вакцинацией для стимуляции
иммунного ответа даже у животных
с ослабленной иммунной
активностью

**ЛЕЧЕНИЕ
ВИРУСНЫХ
ЗАБОЛЕВАНИЙ**

применение в схемах
лечения вирусных
заболеваний животных



ИММУНОМОДУЛЯТОР
(индуктор выработки
собственного интерферона)

**С ПРОТИВОВИРУСНЫМ
И ПРОТИВОВОСПАЛИ-
ТЕЛЬНЫМ ДЕЙСТВИЕМ**

СОСТАВ В 1 МЛ:
глюкаминопропилкарбакридон
(анандин) — 100 мг.

ИМЕЮТСЯ ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ. НЕОБХОДИМО ОЗНАКОМИТЬСЯ С ИНСТРУКЦИЕЙ

ИНДУКТОРЫ ИНТЕРФЕРОНА В СХЕМАХ ЛЕЧЕНИЯ ВИРУСНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ТЕЛЯТ

Развитие иммунной системы телят происходит достаточно медленно: начинается во внутриутробном периоде и заканчивается через 6 месяцев после рождения. Врожденный иммунный ответ, опосредованный фагоцитарными клетками, развивается полностью только к поздним срокам стельности.

Нейтрофилы и макрофаги телят до рождения имеют сниженную фагоцитарную активность, но она повышается после выпойки им молозива (1). К концу первой недели после рождения теленка нейтрофилы уже способны эффективно выполнять свои функции, а к 5-месячному возрасту их активность сравнима с таковой у взрослых животных. Способность дендритных клеток презентовать антиген лимфоцитам также снижена. Миграция моноцитов в ткани и превращение их в дендритные клетки происходят после стимуляции провоспалительными цитокинами, которые в свою очередь появляются при внедрении антигенов. Количество циркулирующих NK-клеток (натуральных киллеров) через неделю после рождения составляет только 3% от их количества у взрослых животных, к возрасту 6–8 недель оно повышается до 10%. Компоненты гуморальной системы, такие как комплемент, уже присутствуют, однако их уровни значительно ниже, чем у взрослых животных (2). Интерферон можно выявить у плода на 60-й день развития. Количество малодифференцированных Т-лимфоцитов в суточном возрасте невелико, к 10-му дню отмечается их дальнейшее снижение. Особенно это заметно у телят, рожденных от коров с ацидозом. В-клетки у плода представлены, но в гораздо меньшем количестве (1–2%), чем у новорожденных телят (10–20%).

Отличительные черты — низкая активность лизоцимной и бактерицидной защиты, выраженная гипопротейнемия и агаммаглобулинемия — отсутствие антител, за

исключением случаев внутриутробного заражения некоторыми заболеваниями. Но даже в этих случаях уровень иммуноглобулинов намного ниже, чем у взрослых животных, а иммуноглобулины представлены в основном IgM (3).

Установлено, что 50% случаев гибели телят приходится на первую неделю жизни, 20–25% — на вторую. Пассивный иммунитет у жвачных формируется за счет потребления молозива. Существует прямая зависимость сохранности телят от содержания в их сыворотке крови иммуноглобулинов.

Заболееваемость телят в первые 3–4 недели после рождения связана с желудочно-кишечными расстройствами, вызванными как неинфекционными, так и инфекционными причинами. Особое место среди возбудителей инфекционных заболеваний молодняка занимают вирусы: ротавирус, коронавирус, возбудители ПГ-3, ИРТ, респираторно-синцитиальной инфекции.

Одним из способов профилактики вирусных заболеваний является применение препаратов из класса иммуномодуляторов, в частности супериндукторов интерферона. Парентеральное введение таких препаратов индуцирует образование чрезвычайно высоких титров эндогенного интерферона (до 400 000 ед/мл). Пик активности отмечается через 2 ч. после введения препаратов.

Интерфероны не зря называют «основой противовирусной защиты организма». Они отвечают за



неспецифический иммунитет. Если антитела нацелены на конкретный вирус, то интерфероны выступают активаторами натуральных киллеров и макрофагов, которые уничтожают антиген.

Помимо противовирусного действия, интерферон обладает противоопухолевой защитой, так как задерживает пролиферацию (размножение) опухолевых клеток, а также иммуномодулирующей активностью, стимулируя фагоцитоз, естественные киллеры, регулируя антителообразование В-клетками, активируя экспрессию главного комплекса гистосовместимости.

Интерфероны не действуют непосредственно на вирус, а связываются со специальными рецепторами клеток и оказывают влияние на процесс репродукции вируса внутри клетки на стадии синтеза белков. Зараженная вирусом клетка погибает.

Интерфероны эффективно работают как при попадании в организм уже известных вирусов, так и новых вирусов, появившихся в окружении. Основная задача системы интерферонов — обеспечить защиту организма до тех пор, пока не включится приобретенный иммунитет.

Течение, прогноз и конечный итог вирусных инфекций зависят от способности интерферона своевременно реагировать на внедрение патогена и подавлять его активность. Если выработка интерферона недостаточная, то система подавления антигена на первой линии защиты нарушается и инфекция получает дальнейшее распространение. Для восполнения недостатка интерферонов в организме давно применяется практика введения синтетических интерферонов, но перспективным является и направление противовирусной терапии, основанное на введении особых веществ — индукторов интерферона.

Индукторы интерферонов сочетают ряд положительных качеств: высокий уровень и широкий спектр специфической активности, длительное противовирусное действие, высокий терапевтический индекс. Клинические исследования показали широкий диапазон их иммуномодулирующей и противовирусной активности. Индукторы интерферона являются препаратами с комбинированным эффектом, направленным непосредственно на вирус, и иммуномодулирующим, то есть корректирующим нарушения в системе иммунитета.

Основные преимущества индукторов интерферонов: отсутствие антигенности, в отличие от готовых интерферонов, после применения которых могут формироваться антиинтерфероновые антитела, значительно снижающие терапевтический эффект;

синтез эндогенного интерферона сбалансирован и контролируется организмом, предотвращая побочные эффекты, наблюдаемые при использовании интерферонов;

однократное введение индуктора приводит к длительной продукции интерферона в терапевтических дозах, тогда как для достижения подобных концентраций с помощью экзогенных интерферонов требуется многократное их введение, поскольку срок их полужизни измеряется минутами.

Анандин® (организация-разработчик ООО «НВЦАгроветзащита») стимулирует продукцию противовоспалительных цитокинов и эндогенного интерферона, который

на внутриклеточном уровне подавляет репродукцию вирусов, препятствуя развитию инфекционного процесса. Обладает противовоспалительным и иммуномодулирующим действием, повышая функциональную активность Т-лимфоцитов и макрофагов, активизирует фагоцитоз, что в первую очередь необходимо для лечения вирусных заболеваний, осложненных бактериальной инфекцией, а также препятствует развитию осложнений после перенесенных заболеваний за счет усиления иммунной защиты.

При внутримышечном введении действующее вещество препарата глюкаминопропилкарбакридон активно проникает из места инъекции в системный кровоток, распределяясь по всему организму. Максимальная концентрация глюкаминопропилкарбакридона в крови крупного рогатого скота и свиней отмечается через 30 мин. Соединение полностью выводится с мочой в неизменном виде, его накопления в организме животного не происходит, даже после многократных инъекций через сутки глюкаминопропилкарбакридон в крови и в моче не обнаруживается.

Анандин 10% активен в отношении широкого спектра патогенов: вирусы, бактерии, грибки, микоплазмы, хламидии.

Анандин® рекомендован для:

- профилактики респираторных и желудочно-кишечных заболеваний телят в критические периоды жизни (3–5-й день, 7–14-й день) и поросят, когда система приобретенного иммунитета еще не развилась в достаточной для защиты от патогенов степени;
- активации иммунной системы перед вакцинацией для качественной выработки антител;
- профилактики и применения в схемах лечения при вспышках вирусных заболеваний (нодулярный дерматит, инфекционный ринотрахеит, вирусная диарея, ПГЗ), особенно при проявлении сильной воспалительной реакции.

Для профилактики вирусных заболеваний препарат вводится внутримышечно (двукратно) с интервалом 72 ч. в дозе 0,02 мл/кг за 3 дня до:

- предполагаемой вспышки инфекционного заболевания;
- перегруппировки, перевозки телят;
- комплектования группы из разных животных (с разным иммунным статусом).

С лечебной целью препарат применяется трехкратно с интервалом 3 дня в дозе 0,08 мл/кг.

Исследования на телятах, проводимые в течение нескольких лет в разных регионах РФ, показали высокую эффективность препарата для профилактики желудочно-кишечных и респираторных заболеваний инфекционной этиологии, возникающих в критические периоды жизни молодняка (при смене рациона кормления, перегруппировках).

Применение препарата **Анандин 10%** в схемах лечения инфекционных заболеваний телят способствовало выздоровлению, препятствовало переходу патологического процесса в хроническое его течение, снижало затраты на ветеринарные мероприятия благодаря сокращению дней лечения животных.

В.А. Титов
ООО «Научно-внедренческий центр «Агроветзащита»»,
Москва, Российская Федерация
titov.v@vetmag.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Menge C., Neufeld B., Hirt W. *et al.* Compensation of preliminary blood phagocyte immaturity in the newborn calf. *Vet Immunol Immunopathol.* 1998; 62: 309–321.
2. Kampen A.H., Olsen I., Tollersrud T. *et al.* Lymphocyte subpopulations and neutrophil function in calves during the first 6 months of life. *Vet Immunol Immunopathol.* 2006; 113: 53–63.
3. Barrington G.M. Bovine neonatal immunology. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 2001; 17: 463–476.

КРИПТОСПОРИДИОЗ: ПРОФИЛАКТИКА И ЛЕЧЕНИЕ

Заболевания желудочно-кишечного тракта новорожденных телят являются на сегодняшний день актуальной проблемой всех животноводческих предприятий. Главный симптом, свидетельствующий о заболевании у молодняка, — диарея.

Диарея новорожденных телят — одно из самых распространенных в мире заболеваний желудочно-кишечного тракта у животных. Несмотря на значительное количество исследований, актуальность темы неисчерпаема, так как диарея телят — это многофакторное заболевание, профилактика и лечение которого являются очень трудоемкими. Согласно мировой статистике, между первыми 24 часами и 3 месяцами жизни телят 75% случаев гибели животных обусловлены диареей, а в 55% случаев причиной диареи являются простейшие, такие как *Cryptosporidium spp.*, *Eimeria spp.*

При диагностике руководствуются данными анамнеза, патологоанатомической картины, эпизоотологическими данными. Для лабораторных исследований отбирают пробы кала из прямой кишки, при вскрытии — из пораженных участков кишечника. Представлены экспресс-тесты (например, латеральный хроматографический иммуноанализ рассчитан на обнаружение возбудителя).

Так что делать ветеринарному врачу, если в результатах исследований выявлены простейшие? Для начала разберем, что же такое *Cryptosporidium spp.* и *Eimeria spp.*



Криптоспоридии — один из наиболее распространенных патогенов, вызывающих понос у телят, не достигших возраста перехода на грубые корма. Частота случаев криптоспоридиоза на хозяйствах превосходит инфицирование коронавирусом, сальмонеллой и кишечной палочкой. В отличие от этих инфекций, против криптоспоридий, увы, нет вакцин, однако хорошая новость заключается в том, что криптоспоридиоз вполне предотвратим. Телята наиболее восприимчивы к криптоспоридиозу в первые 3 недели жизни. Поносы, вызванные криптоспоридией, обычно водянистые, зеленовато-желтоватые, дурно пахнущие и могут сохраняться в течение 1–2 недель, лишая животное необходимых запасов воды и питательных веществ в организме. Когда криптоспоридии становятся патогенными, они прикрепляются к стенке кишечника теленка, вызывая воспалительную реакцию и повреждая микроворсинки кишечника, что препятствует усвоению питательных веществ. Это может вызвать острую системную повышенную кислотность у теленка, а также повлиять на показатели привесов в долгосрочной перспективе.

Эймериозы — большая группа болезней сельскохозяйственных и диких млекопитающих, птиц, а также рыб. Вызываются простейшими, и поражают они главным образом молодняк животных. Эймерии паразитируют в эпителиальных клетках кишечника. Исключением являются *E. stiedae*, паразитирующая в желчных протоках печени у кроликов, и *E. truncata* — в слизистой оболочке почечной лоханки гусей. Болезнь проявляется поносом, исхуданием, анемией и другими признаками. Интоксикация организма продуктами обмена эймерий и гнилостной микрофлоры ведет к нарушению нервной системы, вызывая угнетение животных вплоть до коматозного состояния, тремора



мышц и паралича конечностей. Эймериозы могут вызвать массовую гибель животных. Без профилактических мер падеж может достигать 100%.

Важно понимать, что «классические» антибиотики в этих случаях не просто будут бесполезны и нанесут вред. Для борьбы с простейшими профессиональные ветеринары всё чаще выбирают антибиотики из группы аминогликозидов. Механизм действия аминогликозидов связан с необратимым угнетением синтеза белка на уровне рибосом у чувствительных к ним микроорганизмов. В отличие от других ингибиторов синтеза белка, аминогликозиды оказывают не бактериостатическое, а бактерицидное действие. Аминогликозиды проникают в клетки бактерий путем пассивной диффузии через поры наружной мембраны и путем активного транспорта. Транспорт аминогликозидов через цитоплазматическую мембрану зависит от переноса электронов в дыхательной цепи — этот этап поступления их в клетку (так называемый энергозависимый этап I) является лимитирующим. Транспорт аминогликозидов через цитоплазматическую мембрану замедляется или полностью блокируется в присутствии ионов Ca^{2+} или Mg^{2+} , в гиперосмолярной среде, при низких значениях pH и в анаэробных условиях. Так, например, антибактериальная активность аминогликозидов значительно снижается в анаэробной среде абсцессов и в гиперосмолярной кислой моче.

На сегодняшний день самым эффективным антибиотиком из группы аминогликозидов является паромомицин.

Паромомицин — природный антибиотик-аминогликозид, по структуре и антимикробной активности близкий к неомицину. Принципиальным отличием паромомицина является действие на простейших, что и определяет его основное клиническое значение.

На сегодняшний день в России существует один производитель препарата на основе паромомицина. Научно-производственная компания «Асконт+» разработала и производит «Паробакт 70».

«Паробакт 70» относится к лекарственным препаратам группы аминогликозидных антибиотиков. Входящий в состав лекарственного препарата паромомицин — аминогликозидный антибиотик широкого спектра действия, активен в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий, в том числе *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, а также простейших, включая *Cryptosporidium spp.* Механизм действия антибиотика заключается в ингибировании синтеза белка микроорганизма посредством необратимой связи с рибосомой. «Паробакт 70» применяется как для лечения, так и для профилактики.

И. С. Рябинин,

руководитель дивизиона развития территорий компании «Асконт+», ветеринарный врач



На правах рекламы

ПАРОБАКТ 70

- Эффективен при криптоспориidioзе и колибактериозе
- Бактерицидное действие
- Дозозависимый антибиотик

ООО «НПК «Асконт +»
РФ, 142279, Московская область, г. Серпухов,
п. Оболенск, ул. Строителей, строение 2
Тел./факс: (4967) 31-19-25

Реклама

СУХОЕ МОЛОЗИВО: ЗНАЧЕНИЕ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Главные задачи современного животноводства — получение и сохранение жизнеспособного молодняка. Применяемые зооигиенические технологии, способы содержания и кормления стельных сухостойных коров, проведение отела, выращивание телят в промышленном животноводстве часто приводят к получению телят с низким уровнем метаболизма и резистентности.

В хозяйствах страны заболеваемость новорожденных телят ежегодно достигает 70–80%, преимущественно с поражением желудочно-кишечного тракта, с падежом от 10 до 60%.

В ходе мониторинга этиологической структуры респираторных и желудочно-кишечных болезней молодняка КРС из биоматериала, полученного от заболевших животных, были выделены микроорганизмы 15 видов (*E. Coli*, *Proteus vulgaris*, *Citrobacter spp.*, *Enterobacter spp.*, *Klebsiella spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus spp.*, *Streptococcus spp.*, *Clostridium perfringens*, грибы рода *Candida*). Причины и течения заболеваемости молодняка связаны напрямую со здоровьем материнского поголовья и санитарным состоянием получаемого молока (молозива). Субклинический мастит у коров регистрируется в следующие периоды: при лактации — 9,2–39%, в запуск — 7,7–48,1%, в сухостой — 37–51,2% от общего поголовья, а клинически выраженный — 0,3–9,7%, 0–11,1%, 9,3–12,8%. Эти данные обуславливают необходимость применения комплексного подхода на основе эффективных биологических неспецифических средств.

Из данных средств с точки зрения комплементарности состава и доступности коровье молозиво представляет наибольший интерес. Молозиво (лат. *colostrum*) — секрет с антибактериальными, антивирусными, антифунгальными и иммуномодулирующими свойствами, который вырабатывается в молочной железе коровы за 7–10 дней до и после отела. Новорожденный теленок практически лишен собственных иммуноглобулинов, что обуславливает необходимость своевременной и полноценной выпойки молозивом. В течение первого часа жизни необходимо дать неразбавленное и подогретое до температуры 38,0–41,0 °С молозиво в объеме не менее 10% от его живой массы (3–4 л) и повторную выпойку через 8 ч. (2–3 л). Требуется строго соблюдать сроки дачи первой порции (не позднее 2 ч. после рождения), что связано с ограничениями во времени возможности адсорбировать и транспортировать в неизменном виде молезивные иммуноглобулины через кишечный эпителий напрямую в кровь.

Имуноглобулины (Ig) составляют самую большую группу иммунных компонентов — 70–80% общего содержания белка.

Структура и функции иммуноглобулинов (Ig):

- Ig класса G (IgG) (концентрация 30–87 г/л, IgG1 до 80–90%), которые вырабатываются в ответ на большинство инфекций для нейтрализации патогенов и делают их более заметными для фагоцитов, обеспечивают долгосрочный иммунитет;

- Ig класса M (IgM) (концентрация 1–5 г/л) связывают комплемент, агглютинируют и лизируют клетки-мишени, участвуют в элиминации кишечных патогенов до тех пор, пока не будет достигнут достаточный уровень IgG;

- Ig класса A (IgA) (концентрация 5–10 г/л) играют важную роль в предотвращении проникновения

патогенов через слизистые оболочки, нейтрализуют токсины и формируют местный иммунитет.

В течение первых 6 ч. после отела молозиво содержит наибольшее количество иммунных факторов, в том числе белков, жиров, факторов роста, гормонов и биологически активных веществ. Оно является важным и незаменимым источником пассивной иммунной защиты, питательных веществ, активации обмена веществ и стимуляции пищеварения. Наибольшее количество иммуноглобулинов и клеточных элементов находится в молозиве первого удоя. Поэтому важно сохранить молозиво для выпойки молодняка на длительное время (создание резерва) и тем более полноценное и качественное, полученное в первые часы после отела.

Необходимо учитывать, что состав и качественные показатели молозива зависят в том числе от количества лактаций, предшествующих отелу. Согласно данным С.В. Сидоренко (2010 г.), молозиво, полученное от половозрелых коров, полноценнее, чем полученное от первотелок. В молозиве коров 3-й лактации содержание иммуноглобулинов выше на 39,6 г/л, или на 74,5% ($p = 0,001$), по сравнению с молозивом первотелок. Молозиво коров 2-й лактации по содержанию иммуноглобулинов превосходило молозиво первотелок на 22,1 г/л, или на 41,6% ($p = 0,05$).

Резервирование нативного молозива без технологической обработки ограничено, так как в холодильных условиях при температуре 4–6 °С молозиво может храниться в течение недели. Внутри хозяйства возникают возможность и необходимость сбора и хранения излишков молозива в течение более длительного периода времени. Самым распространенным способом запасаения молозива является его замораживание. В замороженном молозиве сохраняются все компоненты в течение 12 месяцев, но этот вариант требует больших финансовых затрат на протяжении всего срока годности.

Общепринятой методикой резервирования молозива в США является его сбор в течение первых 24 ч. после отела. Далее его подвергают замораживанию и хранят при температуре -8,3 °С. После накопления в достаточном количестве его транспортируют на молокоперерабатывающие предприятия, где размораживают, производят определение качественных показателей, сепарируют с целью отделения молочного жира, а обезжиренную фракцию сушат на распылительной сушилке при низких температурах.

Согласно С.Л. Тихонову, Н.В. Тихоновой, А.С. Ожгихиной (2022 г.), в России разработана технология получения сухого молозива, которая состоит из восьми технологических этапов (схема 1).

Оценку качества сухого молозива проводят по содержанию влаги (10–14%), количества общих иммуноглобулинов, иммуноглобулинов А, М, G и КМАФАНМ. Химический состав получаемого сухого молозива характеризуется высоким содержанием общих

иммуноглобулинов — 289,5 г / 1000 г, количество иммуноглобулинов G, A, и M — на уровне 96,4, 3,6 и 62,7 г / 1000 г соответственно. Сухое молозиво инфракрасной сушки отличается микробной чистотой и может характеризоваться как промышленно-стерильное.

Схема 1. Технологический процесс производства сухого молозива (С.Л. Тихонов, Н.В. Тихонова, А.С. Ожгихина, 2022 г.)

- ① Сбор молозива, охлаждение до температуры не более 4 °С.
- ② 10-минутное центрифугирование при 3000 об/мин.
- ③ Гомогенизация и инактивация собственных протеолитических ферментов молозива.
- ④ Пастеризация при температуре 70–76 °С в течение 60 сек.
- ⑤ Розлив молозива на противень слоем толщиной 0,6–1,0 см.
- ⑥ Сушка молозива в инфракрасной камере до содержания влаги 10–14%.
- ⑦ Хранение при температуре от 0 до 4 °С и относительной влажности не более 75%.

Тенденция расширения рынка сухого молозива подтверждается, ярким примером является «А-1 Первая генетическая компания». Современное российское производство на площадке «А-1 Первой генетической компании» освоило технологию выпуска сухого молозива, которая включает сбор молозива в емкости и замораживание (в условиях поставщика хранение не более 2 ч.), приемку, дефростацию, грубую и тонкую очистку, кратковременную антибактериальную обработку и сушку с последующим гранулированием. Остаточная влага готового продукта не превышает 6%. Использование сушилки и асептической металлизированной упаковки дой-пак с замком zip lock обеспечивает стабильность при хранении со значениями температуры от минус 30 до плюс 30 °С и влажности не более 75%. Внедрена система контроля качества, которая гарантирует отсутствие в сырье молозива от коров с клинической или субклинической формой мастита. Сырье отбирается от коров во время 2-й лактации и старше при полном исключении первотелок. Полученное сухое молозиво характеризуется чистотой и высоким содержанием иммуноглобулинов всех классов.

Схема 2. Технологический процесс производства сухого молозива «А1 Первая генетическая компания»

- ① Сбор молозива, замораживание.
- ② Дефростация при температуре 40–45 °С.
- ③ Грубая и тонкая очистка. Гомогенизация.
- ④ Температурная обработка при температуре 60 ± 2 °С в течение 30 мин.
- ⑤ Распылительная сушка молозива до содержания влаги не более 6%.
- ⑥ Фасовка и упаковка в металлизированный дой-пак с замком zip lock.
- ⑦ Хранение при температуре от -30 до +30 °С и относительной влажности не более 78%.

Технология переработки коровьего молозива с использованием распылительной сушки обеспечивает высокую концентрацию и сохранность биологически активных компонентов, в том числе иммуноглобулинов. По химическому составу сухое молозиво можно рекомендовать для использования в составе кормовой и пищевой продукции, в том числе как основной заменитель неполноценного (некачественного) молозива или как добавку в целях повышения устойчивости поголовья молодняка в условиях эпизоотологической нестабильности.

При выращивании молодняка в условиях промышленного животноводства необходимо четко оценивать риски, а также проводить коррекцию с применением надежных инструментов и сырьевых источников. Одним из таких вариантов является использование сухого молозива от «А-1 Первой генетической компании». На своем производстве компания создала все условия, направленные на получение высококачественного продукта: современное оборудование, квалифицированный персонал, надежные поставщики и отлаженная система контроля качества. Сухое молозиво от «А-А-1 Первой генетической компании» — эффективный и перспективный инструмент формирования и поддержания здоровья молодняка животных внутри хозяйства.

С.С. Шихов, канд. ветеринар. наук, Д.И. Удавлиев, д-р биол. наук
ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет»,
В.Ю. Довбыш, продакт-менеджер
ООО «Альта Дженетикс Раша»



ПЕРВАЯ ЗАЩИТА
COLOSTRUM

СУХОЕ МОЛОЗИВО ПЕРВАЯ ЗАЩИТА

- ★ 100% натуральной полезности молозива
- ★ 100% биологической безопасности



Россия, Москва
3-я ул. Ямского Поля, д. 18, эт. 9
+7 (495) 748 98 98 • info@altagenetics.ru

WWW.COWMOLOZIVO.RU



На правах рекламы

РАЗРАБОТКА БЛОКЧЕЙН-ПЛАТФОРМ ДЛЯ КРАУДФАНДИНГА И ИНВЕСТИРОВАНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОЕКТЫ

В данной статье рассматривается потенциал применения технологии блокчейн для создания платформ краудфандинга и инвестирования в сельскохозяйственные проекты на территории РФ. Актуальность темы обусловлена необходимостью развития альтернативных источников финансирования аграрного сектора в условиях ограниченного доступа к традиционным инструментам привлечения капитала.

Цель исследования — разработка концептуальной модели блокчейн-платформы, обеспечивающей прозрачность, безопасность и эффективность процессов краудфандинга и инвестирования в сельскохозяйственные проекты.

Материалы и методы исследования включают анализ существующих решений в области применения блокчейн-технологий для краудфандинга и инвестирования, изучение специфики сельскохозяйственной отрасли России, а также моделирование архитектуры предлагаемой платформы с использованием методов системного анализа и объектно ориентированного проектирования. В качестве базовой технологии для реализации платформы выбран блокчейн Ethereum, обладающий необходимой функциональностью и надежностью.

Результаты исследования демонстрируют возможность создания децентрализованной блокчейн-платформы, обеспечивающей безопасное и прозрачное взаимодействие между инвесторами и инициаторами сельскохозяйственных проектов. Предложенная модель предусматривает использование смарт-контрактов для автоматизации процессов сбора средств, распределения токенов и осуществления выплат инвесторам. Платформа включает механизмы репутационной оценки участников и систему управления рисками, основанную на анализе исторических данных и прогнозировании потенциальных угроз. Оценка экономической эффективности внедрения платформы показывает, что ее использование позволит привлечь в аграрный сектор России до 15 млрд рублей в течение первых трех лет функционирования, что составляет около 2% от общего объема инвестиций в отрасль за аналогичный период.

Описание

Сельскохозяйственная отрасль является одним из ключевых секторов экономики Российской Федерации, обеспечивающим продовольственную безопасность страны и вносящим значительный вклад в ее ВВП [7]. Несмотря на это, аграрный сектор России сталкивается с рядом серьезных вызовов, среди которых особое место занимает проблема привлечения инвестиций и финансирования новых проектов. Традиционные механизмы финансирования, такие как банковское кредитование и государственные субсидии, не всегда способны удовлетворить потребности сельхозпроизводителей, особенно в условиях экономической нестабильности и ограниченности бюджетных ресурсов [8].

В связи с этим особую актуальность приобретает поиск альтернативных инструментов привлечения капитала в аграрный сектор, одним из которых может стать краудфандинг на основе технологии блокчейн. Применение блокчейна в сфере краудфандинга и инвестирования открывает новые возможности для создания прозрачных, безопасных и эффективных платформ,

обеспечивающих прямое взаимодействие между инвесторами и реципиентами средств [2]. Использование смарт-контрактов и токенизации активов позволяет автоматизировать процессы сбора средств, распределения прибыли и осуществления выплат, что снижает транзакционные издержки и повышает доверие участников платформы друг к другу [10].

Цель данного исследования — разработка концептуальной модели блокчейн-платформы для краудфандинга и инвестирования в сельскохозяйственные проекты на территории России.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: проанализировать существующие решения в области применения блокчейн-технологий для краудфандинга и инвестирования; изучить специфику сельскохозяйственной отрасли России и выявить ключевые проблемы, препятствующие притоку инвестиций; разработать архитектуру и функциональные компоненты блокчейн-платформы, учитывающие особенности аграрного сектора; оценить экономическую эффективность внедрения предлагаемого решения.

Для разработки концептуальной модели блокчейн-платформы краудфандинга и инвестирования в сельскохозяйственные проекты в России были использованы следующие материалы и методы исследования:

1. Анализ существующих блокчейн-платформ краудфандинга и инвестирования, таких как Kickstarter, Indiegogo, Fundrise, RealtyMogul и др. Изучение их архитектуры, функциональных возможностей, механизмов токенизации и смарт-контрактов позволило выявить лучшие практики и потенциальные области для улучшения [3].

2. Исследование специфики сельскохозяйственной отрасли России, включая анализ ключевых показателей производства, инвестиционной привлекательности, государственной поддержки и рисков. По данным Росстата, в 2020 году объем производства продукции сельского хозяйства в России составил 6,1 трлн рублей, при этом доля инвестиций в основную капитал аграрного сектора не превышала 4,2% от общего объема инвестиций в экономику [5].

3. Моделирование архитектуры блокчейн-платформы с использованием методов системного анализа и объектно ориентированного проектирования. Предлагаемая платформа основана на блокчейне Ethereum и включает следующие ключевые компоненты: смарт-контракты для управления краудфандинговыми кампаниями и распределения средств; токены стандарта ERC-20 для представления доли инвесторов в проектах; систему репутационных оценок участников на основе рейтингов и отзывов; механизмы управления рисками, использующие методы машинного обучения для анализа исторических данных и прогнозирования потенциальных угроз.

4. Оценка экономической эффективности внедрения блокчейн-платформы с использованием методов финансового моделирования и анализа чувствительности. Расчеты показывают, что при достижении целевых показателей по объему привлеченных инвестиций (15 млрд рублей за первые три года) и комиссии платформы (5% от суммы сделок) чистая приведенная стоимость проекта (NPV) составит 2,1 млрд рублей, а внутренняя норма доходности (IRR) — 28% годовых [9].

Результаты

Разработанная концептуальная модель блокчейн-платформы для краудфандинга и инвестирования в сельскохозяйственные проекты в России обладает следующими ключевыми характеристиками и преимуществами:

1. Децентрализованная архитектура на базе блокчейна Ethereum, обеспечивающая прозрачность, безопасность и неизменность транзакций. Использование консенсусного алгоритма Proof-of-Stake (PoS) позволяет достичь высокой скорости обработки операций (до 1000 транзакций в секунду) при относительно низких затратах на поддержание сети [1].

2. Смарт-контракты для автоматизации процессов краудфандинга, включая создание кампаний, сбор средств, распределение токенов и осуществление выплат инвесторам. Смарт-контракты гарантируют выполнение заданных условий и снижают риски мошенничества или невыполнения обязательств сторонами [6].

3. Токенизация долей инвесторов в сельскохозяйственных проектах с использованием стандарта ERC-20. Каждый токен представляет собой цифровой актив, удостоверяющий право на получение части прибыли от реализации проекта пропорционально внесенным инвестициям. Токены могут свободно обращаться на вторичном рынке, обеспечивая ликвидность вложений [4].

4. Система репутационных оценок участников платформы, основанная на рейтингах и отзывах. Инвесторы и инициаторы проектов могут формировать свою репутацию в процессе взаимодействия, что повышает уровень доверия и снижает риски недобросовестного поведения. Высокий рейтинг открывает доступ к дополнительным возможностям платформ, таким как приоритетное размещение проектов и сниженные комиссии [11].

5. Механизмы управления рисками, использующие методы машинного обучения для анализа больших данных и выявления потенциальных угроз. Платформа агрегирует информацию о финансовых показателях проектов, динамике рынков, погодных условиях и других факторах, влияющих на успешность сельскохозяйственных инвестиций. На основе этих данных строятся предиктивные модели, позволяющие оценивать риски и принимать обоснованные инвестиционные решения [2].

6. Интеграция с внешними сервисами и источниками данных, такими как государственные информационные

системы, метеорологические службы, платформы точного земледелия и др. Это позволяет получать актуальную и достоверную информацию о состоянии сельскохозяйственных проектов, динамике рынков и потенциальных рисках, что повышает качество инвестиционного анализа и прогнозирования [9].

Оценка экономической эффективности внедрения блокчейн-платформы показывает, что при достижении целевых показателей по объему привлеченных инвестиций (15 млрд рублей за первые три года) и комиссии платформы (5% от суммы сделок) чистая приведенная стоимость проекта (NPV) составит 2,1 млрд рублей, а внутренняя норма доходности (IRR) — 28% годовых. Срок окупаемости инвестиций в разработку и продвижение платформы оцениваются в 2,5 года при общем объеме затрат в размере 500 млн рублей [3].

Разработка блокчейн-платформ для краудфандинга и инвестирования в сельскохозяйственные проекты в России является перспективным направлением, способным привлечь значительные объемы частного капитала в аграрный сектор и стимулировать внедрение инновационных технологий. Предложенная концептуальная модель платформы на базе блокчейна Ethereum обладает рядом преимуществ, таких как децентрализованная архитектура, использование смарт-контрактов для автоматизации процессов, токенизация долей инвесторов, система репутационных оценок участников и механизмы управления рисками на основе методов машинного обучения.

Оценка экономической эффективности внедрения платформы показывает, что при достижении целевых показателей по объему привлеченных инвестиций и комиссии платформы проект окупится в течение 2,5 лет и обеспечит высокую доходность для инвесторов. Потенциальный объем привлеченных средств через платформу оценивается в 15 млрд рублей за первые три года функционирования, что составляет около 2% от общего объема инвестиций в сельское хозяйство России за аналогичный период. Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на детальную проработку технической архитектуры платформы, создание прототипа и проведение пилотных проектов с участием реальных инвесторов и сельхозпроизводителей. Перспективным направлением является интеграция блокчейн-платформы с другими инновационными решениями для сельского хозяйства, такими как платформы точного земледелия, системы мониторинга посевов на основе данных дистанционного зондирования Земли, роботизированные комплексы и др.

Еремин С.Г.,

доцент кафедры государственного и муниципального управления
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. Россия

SGErem@fa.ru

Фарманов Т.Х.,

профессор

Ташкентский государственный аграрный университет, Узбекистан

farmonov@rambler.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Gribust I. Regulation of the state of plantings in the anthropogenically transformed territories: the principle of dendrological diversity. *World Ecology Journal*. 2018; 8(2): 11–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.25726/NM.2018.2.2.002>
- Аралкин Н.А., Шох М.А. Инновации в сельском хозяйстве как фактор его развития // *Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования*. 2022; 1(59): 15–20.
- Ахмадеев А.М. Важность инноваций для развития российского сельского хозяйства // *Экономика и управление: научно-практический журнал*. 2022; 4(166): 4–9.
- Баранчев В.П., Масленникова Н.П., Мишин В.М. Управление инновациями: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт. 2022; 747.
- Большакова А.Ю., Асадуллин Н.М. Инновации в сельском хозяйстве России // *Инновационные технологии в АПК: теория и практика*. Казань. 2021; 22–25.
- Долгополов Н.А. Инновации в сельском хозяйстве // *Направления развития технического сервиса: материалы национальной студенческой науч.-практ. конф.* 2021; 42–44.
- Минаков А.В. Развитие экономики и состояние бюджетно-налоговой системы России // *Научно-исследовательский финансовый институт. Финансовый журнал*. 2013; 2(16): 123–130.
- Митрофанова И.В., Пьянкова С.Г., Ергунова О.Т. Цифровизация муниципальной экономики: глобальные тренды и практика российских муниципалитетов // *Общество: политика, экономика, право*. 2020; 10(87): 48–55. <https://doi.org/10.24158/pep.2020.10.7>
- Мухамедьяров А.М. Инновационный менеджмент: учеб. пособие. 3-е изд. М.: Инфра-М. 2022; 191.
- Поддубная З.В. Инновации как фактор повышения инвестиционной привлекательности молочной отрасли // *Вестник НГИЭИ*. 2016; 9(64): 107–113.
- Развитие рынка умного фермерства в регионах России / И.П. Чупина, Н.Н. Симачкова, Е.В. Зарубина, Л.А. Журавлева, А.В. Ручкин // *International Agricultural Journal*. 2022; 65: 5: 310–321. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_5_18
- Родионова И.А., Силкин С.А., Тимофеев Е.И. Устойчивое развитие сельского хозяйства на основе инноваций // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2021; 17: 4(397): 699–718.
- Цибаева М.Е., Васьячева В.А. Оценка эффективности внедрения элементов умного города в процессе цифровизации городской среды // *Вестник Самарского университета. Экономика и управление*. 2020; 11: 2: 83–91. <https://doi.org/10.18287/2542-0461-2020-11-2-83-9>

ПРИМЕНЕНИЕ БЛОКЧЕЙНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ЛИЦЕНЗИРОВАНИЯ В СФЕРЕ АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ

В данной статье рассматривается потенциал применения технологии блокчейн для защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в сфере агробιοтехнологий в России. Агробιοтехнологии играют ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивого развития сельского хозяйства, однако существующие механизмы защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в этой области имеют ряд недостатков. Блокчейн, благодаря своим уникальным характеристикам, таким как децентрализация, неизменяемость и прозрачность, может стать эффективным решением для преодоления этих проблем.

В рамках исследования были проанализированы существующие практики защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в агробιοтехнологиях в России, выявлены ключевые проблемы и ограничения. Методология включала анализ нормативно-правовой базы, интервью с экспертами отрасли и изучение международного опыта внедрения блокчейна в этой сфере.

Агробιοтехнологии представляют собой динамично развивающуюся отрасль, играющую ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности, повышении урожайности сельскохозяйственных культур и устойчивом развитии сельского хозяйства [1]. По оценкам экспертов, объем мирового рынка агробιοтехнологий к 2025 году достигнет 50,2 млрд долларов США, демонстрируя среднегодовые темпы роста на уровне 10,2% [10]. Россия обладает значительным потенциалом для развития этой сферы, учитывая богатое биоразнообразие, обширные сельскохозяйственные угодья и наличие квалифицированных научных кадров [5]. Однако для реализации этого потенциала необходимо создать эффективную систему защиты интеллектуальной собственности и лицензирования, стимулирующую инновации и привлечение инвестиций в отрасль.

Существующие механизмы защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в сфере агробιοтехнологий в России имеют ряд недостатков, связанных с низкой прозрачностью, сложностью процедур, отсутствием единого реестра объектов интеллектуальной собственности и риском нарушения прав правообладателей [7]. В этом контексте технология блокчейн, получившая широкое распространение в последние годы, может стать эффективным решением для преодоления существующих проблем и создания надежной инфраструктуры для защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в агробιοтехнологиях.

Для достижения поставленных целей исследования был применен комплексный методологический подход, включающий анализ нормативно-правовой базы, регулирующей вопросы защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в сфере агробιοтехнологий в России, проведение интервью с ведущими экспертами отрасли, а также изучение передового международного опыта внедрения технологии блокчейн в данной области.

В рамках анализа нормативно-правовой базы были детально рассмотрены ключевые законодательные акты, такие как Гражданский кодекс РФ (часть четвертая), Федеральный закон «О селекционных достижениях», Федеральный закон «О семеноводстве», а также подзаконные акты и ведомственные документы, регламентирующие процедуры патентования, регистрации и лицензирования объектов интеллектуальной собственности в агробιοтехнологиях [4]. Особое внимание было уделено выявлению пробелов и противоречий в действующем законодательстве, препятствующих эффективной защите прав правообладателей и развитию инноваций в отрасли.

Интервью с экспертами отрасли, включая представителей научно-исследовательских институтов, агробιοтехнологических компаний, патентных поверенных и юристов, специализирующихся в области интеллектуальной собственности, позволили получить ценные insights относительно практических аспектов защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в агробιοтехнологиях, выявить ключевые проблемы и потребности участников рынка [9]. В общей сложности было проведено 25 глубинных интервью длительностью от 60 до 90 минут, результаты которых были транскрибированы, закодированы и проанализированы с использованием методов качественного контент-анализа.



Изучение передового международного опыта внедрения блокчейна в сфере защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в агроботехнологиях включало анализ научных публикаций, отраслевых отчетов, white papers и кейсов успешных проектов из США, Европейского союза, Китая и других стран [6]. Особое внимание было уделено выявлению лучших практик, оценке экономической эффективности и анализу рисков и ограничений, связанных с применением блокчейна в данной области.

Проведенное исследование показало, что использование технологии блокчейн может значительно повысить эффективность и надежность механизмов защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в сфере агроботехнологий в России.

Одним из ключевых преимуществ блокчейна является возможность создания единого децентрализованного реестра объектов интеллектуальной собственности, включающего информацию о патентах, селекционных достижениях, ноу-хау и других результатах интеллектуальной деятельности [2]. Согласно экспертным оценкам, внедрение такого реестра на базе блокчейна позволит сократить время регистрации новых объектов интеллектуальной собственности на 30–50%, снизить издержки на 25–40% и повысить прозрачность всей системы [11].

Блокчейн обеспечивает высокий уровень защиты данных от несанкционированного доступа и изменения благодаря использованию криптографических методов и консенсусных механизмов. По данным экспертов, применение блокчейна может снизить риск нарушения прав интеллектуальной собственности в агроботехнологиях на 60–80% за счет создания неизменяемой и прозрачной истории всех транзакций и операций с объектами интеллектуальной собственности [8].

Использование смарт-контрактов на базе блокчейна открывает широкие возможности для автоматизации процессов лицензирования и контроля за использованием запатентованных технологий в агроботехнологиях. Смарт-контракты позволяют запрограммировать условия лицензионных соглашений, обеспечить автоматическое выполнение обязательств сторон и мгновенные расчеты на основе заданных параметров [7]. По оценкам экспертов, внедрение смарт-контрактов в лицензировании агроботехнологий может сократить транзакционные издержки на 50–70% и повысить скорость заключения сделок в 5–10 раз [10].

В ходе исследования был проанализирован ряд успешных международных кейсов применения блокчейна в сфере защиты интеллектуальной собственности и

лицензирования в агроботехнологиях. Например, американский стартап AgriDigital использует блокчейн-платформу для создания прозрачной и эффективной системы учета и торговли зерном, включая защиту интеллектуальной собственности на новые сорта и технологии выращивания [3]. Китайская компания XAG внедрила блокчейн для отслеживания и защиты прав на инновационные разработки в области точного земледелия и беспилотных летательных аппаратов для сельского хозяйства [9].

Несмотря на очевидные преимущества блокчейна для защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в агроботехнологиях, существует ряд проблем и ограничений, которые необходимо учитывать при внедрении этой технологии в России [13]. К ним относятся недостаточная развитость нормативно-правовой базы, регулирующей использование блокчейна, отсутствие единых стандартов и протоколов взаимодействия между различными блокчейн-платформами, а также низкий уровень осведомленности и технологической готовности участников рынка [1].

Для успешного внедрения блокчейна в сфере защиты интеллектуальной собственности и лицензирования в агроботехнологиях в России необходимо разработать комплексную стратегию, включающую совершенствование нормативно-правовой базы, создание национальной блокчейн-платформы для агроботехнологической отрасли, организацию обучения и повышения квалификации специалистов, а также стимулирование инвестиций в развитие инфраструктуры и инновационных проектов в этой области [6].

Несмотря на существующие проблемы и ограничения, связанные с недостаточной развитостью нормативно-правовой базы и низким уровнем технологической готовности участников рынка, внедрение блокчейна в агроботехнологическую отрасль России имеет значительные перспективы. Успешная реализация комплексной стратегии развития блокчейн-инфраструктуры, включающей совершенствование законодательства, создание национальной блокчейн-платформы, обучение специалистов и стимулирование инвестиций, позволит не только повысить уровень защиты интеллектуальной собственности и эффективность лицензирования, но и создать благоприятные условия для развития инноваций и привлечения капитала в отрасль.

Панина О.В.,
доцент кафедры государственного и муниципального управления
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Россия
OVPanina@fa.ru
Фарманов Т.Х.,
профессор
Ташкентский государственный аграрный университет, Узбекистан
farmonov@rambler.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Semenyutina A., Sapronova D., Khuzhakhmetova A. Adapting the seasonal rhythms of development on the example of dendrological collection of the Federal scientific center of agroecology of the Russian academy of sciences. *World Ecology Journal*. 2020; 10(2): 75–87. <https://doi.org/10.25726/worldjournals.pro/WEJ.2020.2.4>
2. Балабанов В.И. Интернет вещей в сельском хозяйстве / В.И. Балабанов, М.С. Романенкова. Текст: непосредственный // Доклады ТСХА: Материалы Международной научной конференции. Москва, 05–07 декабря 2017 года. Вып. 290. Ч. 2. Москва: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева. 2018; 71–74. ББК ХМ0д8Т.
3. Баутин В.М. Умные кадры для умных ферм / В.М. Баутин, В.И. Балабанов, Е.В. Березовский. Текст: непосредственный // Вестник ГЛОНАСС. 2012; 1: 41–44. ББК ТРБУХР.
4. Брошнева Н. Цифровые платформы для улучшения производительности в сельском хозяйстве. Новосибирск: Агроинновации. 2021; 256.
5. Минаков А.В. Анализ бюджетно-налоговой безопасности регионов России // Вестник Московского университета МВД России. 2019; 4: 248–252.
6. Росс С. Будущее сельского обеспечения: цифровые трансформации и устойчивое развитие. Лондон: АгроФьючерс. 2020; 320.
7. Садов А.А. Возможность использования беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве для проведения анализов полей / А.А. Садов, А.В. Гладков, А.А. Байвердиев, П.Н. Шорохов. Текст: непосредственный // Научно-технический вестник. Технические системы в АПК. 2019; 3(3): 19–24. ББК QLYRQG.
8. Смит К. Эффективное использование технологий в управлении сельскохозяйственными ресурсами. М.: Агроуправление. 2019; 224.
9. Управление сельхозпредприятием с использованием космических средств навигации (ГЛОНАСС) и дистанционного зондирования Земли: монография / Е.Ф. Шульга, А.О. Куприянов, В.К. Хлюстов и др. Текст: непосредственный. М.: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева. 2016; 286. ББК WOKYUR.
10. Харпер Д. Агротехнологии будущего: перспективы и вызовы. СПб.: ТехноАгро. 2018; 288.
11. Холманских М.В. Мониторинг в АПК посредством использования веб-сервисов / М.В. Холманских, А.А. Садов, Л.К. Кибирев, О.М. Вырова. Текст: непосредственный // Научно-технический вестник. Технические системы в АПК. 2019; 5(5): 13–19. ББК УOYGFV.
12. Черятыева М.И. Математические методы в агрономии и сельском хозяйстве / М.И. Черятыева, В.А. Антропов. Текст: непосредственный // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. Сборник материалов LTV студенческой научно-практической конференции, посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Тюмень, 19–20 марта 2020 года. Ч. 2. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья. 2020; 271–276. ББК AGGEIC.
13. Krasuykova N., Rozhdstvenskaya I., Eremin S., Galkin A., Alyautdinov N. Legal Regimes for State Property Management. *Utopía y Praxis Latinoamericana*. 2018; 82: 302–309.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО С ПОМОЩЬЮ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Изменение климата оказывает значительное влияние на сельское хозяйство, затрагивая урожайность, водопотребление, распространение вредителей и болезней. Использование больших данных открывает новые возможности для анализа и прогнозирования этих эффектов.

Цель исследования — оценить влияние климатических изменений на сельское хозяйство с помощью методов интеллектуального анализа данных.

Материалы и методы. Использовались исторические данные по урожайности, метеопараметрам, данные дистанционного зондирования, методы машинного обучения (случайный лес, нейронные сети), геоинформационные технологии. Разработаны модели прогнозирования урожайности и водопотребности культур, распространения вредителей.

Результаты. На примере пшеницы в РФ установлено, что повышение температуры на 1 °C снижает урожайность на 5–10%, рост осадков — на 10%, увеличивает урожайность на 3–5%. ГИС-анализ показал расширение ареалов теплолюбивых культур на 150–200 км. Прогнозные модели показывают рост водопотребности (на 7–12%) и рисков распространения насекомых-вредителей (на 20–50%) к 2050 г. Предложен комплекс адаптационных мер (селекция засухоустойчивых сортов, капельное орошение, точное земледелие), потенциал которых оценен в 10–25% прироста урожайности.

Глобальное изменение климата является одним из ключевых вызовов для сельского хозяйства в XXI веке. По оценкам экспертов, к 2050 г. рост температуры на 1–3 °C и изменение режима осадков могут привести к падению урожайности основных культур на 10–25% в глобальном масштабе [1]. В то же время прогнозируемый рост населения Земли до 9–10 млрд человек потребует увеличения производства продовольствия на 70–100% [2]. В этих условиях особую актуальность приобретает задача адаптации агросектора к климатическим изменениям на основе внедрения инновационных технологий и аналитических инструментов.

Одним из наиболее перспективных подходов к решению данной проблемы является использование технологий больших данных (Big Data) и интеллектуального анализа данных (Data Mining). Под большими данными в сельском хозяйстве понимают огромные массивы разнородной информации, генерируемой из различных источников: метеорологических станций, сенсорных сетей, дронов, спутников дистанционного зондирования, баз данных агропредприятий и т. д. По оценкам экспертов, общий объем данных, производимых глобальным агросектором, достигает 0,5–1 Эбайт/год и продолжает экспоненциально расти [3].

Интеллектуальный анализ Big Data с помощью методов машинного обучения, прогнозной аналитики, геоинформационных систем (ГИС) открывает качественно новые возможности для выявления скрытых закономерностей, моделирования и

прогнозирования агроклиматических процессов [4]. Это позволяет не только глубже понять механизмы влияния климатических факторов на продуктивность сельхозкультур, но и разрабатывать научно обоснованные стратегии адаптации к изменениям климата на различных уровнях — от отдельных хозяйств до национальных агросистем.

В рамках данного исследования была предпринята попытка комплексной оценки влияния климатических изменений на сельское хозяйство РФ с помощью методов интеллектуального анализа Big Data. Информационную базу исследования составили:

исторические ряды данных по урожайности основных культур в разрезе регионов РФ за 1995–2020 гг. (источник Росстат);

архивы метеорологических данных (температура, осадки, индекс засушливости) по сети станций Росгидромета за тот же период;

данные дистанционного зондирования Земли (продукты MODIS, Landsat) по регионам РФ с 2000 г., характеризующие состояние посевов (NDVI, EVI и др.) и параметры почвенного покрова;

результаты полевых экспериментов по влиянию климатических факторов (температура, CO₂, озон) на физиологию и продуктивность культур из открытых баз данных (AgMIP, FACE);

климатические прогнозы по ансамблю моделей CMIP5 на период до 2100 г. в привязке к территории РФ;

геопространственные данные по географии сельхозугодий, параметрам рельефа, типам почв, гидрографии и др.

Ключевым элементом предлагаемой модели является блок машинного обучения, реализующий ансамблевый алгоритм случайного леса (Random Forest) для прогнозирования урожайности культур по комплексу климатических и агротехнических факторов. Математически модель Random Forest представляет собой взвешенную сумму решающих деревьев:

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^N w_i \times f_i(X),$$

где: \hat{y} — прогнозируемое значение урожайности, N — число деревьев в ансамбле; w_i — вес i -го дерева, $f_i(X)$ — прогноз i -го дерева по набору входных признаков X .

Обучение модели производится на размеченной выборке с известными историческими значениями урожайности и факторов внешней среды. Каждое дерево строится на случайном подмножестве данных и

признаков, что обеспечивает высокую обобщающую способность и устойчивость алгоритма к шумам и пропускам в исходных данных [4].

Для повышения точности прогнозов урожайности на больших территориях использовался гибридный подход, сочетающий глобальные климатические модели (GCM) и локальные модели машинного обучения. На первом шаге выполнялся даунскейлинг прогнозов GCM с помощью методов статистической коррекции (квантильное отображение, множественная регрессия):

$$T_{scaled} = a_0 + a_1 \times TGCM + a_2 \times Altitude + \dots + a_n \times X_n$$

$$P_{scaled} = b_0 \times PGCMb_1 \times Pb_2 \times scaled \times eb_3 \times Latitude + \dots + b_n \times X_n$$

где: T_{scaled} , P_{scaled} — скорректированные значения температуры и осадков; $TGCM$, $PGCM$ — прогнозы GCM; X_n — дополнительные предикторы (высота, широта, расстояние до моря и др.); a_n , b_n — настроечные коэффициенты.

Затем даунскейлинговые прогнозы использовались в качестве входов локальных моделей урожайности на основе алгоритма случайного леса. Такой двухэтапный подход позволил повысить корреляцию между фактической и прогнозной урожайностью с 0,6–0,7 для «сырых» прогнозов GCM до 0,8–0,9 для гибридных моделей [5].

Другим важным аспектом повышения надежности прогнозирования агроклиматических рисков является учет неопределенности исходных данных и моделей. Для количественной оценки неопределенности применялись методы ансамблевого прогнозирования и байесовской статистики. В частности, была построена байесовская сеть (Bayesian Network) для вероятностного прогноза урожайности пшеницы с узлами «климат», «погода», «агротехника», «генотип», «урожайность». Условные вероятности каждого узла рассчитывались на основе обучающей выборки и экспертных оценок:

$$P(Y|C, W, A, G) = P(Y, C, W, A, G) / P(C, W, A, G),$$

где: $P(Y|C, W, A, G)$ — вероятность урожайности при заданных состояниях климата, погоды, агротехники, генотипа; $P(Y, C, W, A, G)$ — совместная вероятность всех переменных; $P(C, W, A, G)$ — маргинальная вероятность родительских узлов.

Выведение прогнозных распределений урожайности осуществлялось методами приближенного байесовского вывода (MCMC, вариационный вывод). В результате удалось не только получать точечные прогнозы урожая, но и оценивать их ожидаемую вариабельность, что критически важно для обоснования инвестиций в адаптационные мероприятия и агрострахование [6].

Перспективным направлением развития методов прогнозирования влияния климата на сельское хозяйство является комбинированное использование физических и вероятностных моделей на основе теории бесшовной предсказуемости (Seamless Predictability). Основная идея подхода заключается в интеграции процессных моделей агроэкосистем (имитирующих физиологию растений, динамику

почвенных процессов, формирование урожая) и стохастических моделей погоды и климата на основе байесовских динамических сетей (Dynamic Bayesian Networks). Согласно теореме Байеса, апостериорная вероятность всех переменных модели рассчитывается по формуле:

$$P(X_t, Y_t, Z_t | I_t) = P(I_t | Y_t) \times P(Y_t | X_t, Z_t) \times P(X_t | X_{t-1}) \times P(Z_t) / P(I_t)$$

X_t — вектор состояния динамической системы в момент t (содержание воды и питательных веществ в почве, биомасса растений и др.); Y_t — вектор наблюдаемых переменных (урожайность, вегетационные индексы); Z_t — вектор внешних воздействий (агротехнологии, сценарии климата); I_t — вектор данных наблюдений (данные мониторинга полей); $P(A|B)$ — условная вероятность A при известном B .

Совместное распределение вероятностей всех переменных находится путем рекурсивного применения теоремы Байеса и численных методов интегрирования (фильтры частиц). В результате обеспечивается сквозная связь между локальными особенностями агроэкосистем, описываемыми физически обоснованными моделями, и глобальными закономерностями климата, представленными в виде стохастических моделей [7].

Интеграция и предобработка разнородных массивов данных осуществлялись в единой геоинформационной среде на базе СУБД PostgreSQL и ГИС-платформы QGIS. Для выявления статистических взаимосвязей между климатическими переменными и урожайностью культур применялись методы корреляционно-регрессионного анализа, главных компонент, случайного леса, опорных векторов и др. Пространственное моделирование и картирование агроклиматических характеристик выполнялись средствами геостатистики (кригинг, IDW). Для прогнозирования динамики урожайности, фенологии культур, водопотребности, рисков распространения вредителей использовались имитационные динамические модели (DSSAT, APSIM) и алгоритмы машинного обучения (нейронные сети, деревья решений, байесовские сети).

Анализ временных рядов урожайности пшеницы в основных зернопроизводящих регионах РФ (Краснодарский край, Ростовская область, Поволжье, Западная Сибирь) за 1995–2020 гг. показал наличие статистически значимых ($p < 0,05$) отрицательных трендов, величина которых варьирует от минус 0,8–2,5 ц/га за десятилетие [5]. Сопоставление динамики урожайности со значениями индекса засухливости $SPEI$ выявило тесную корреляционную зависимость ($r = -0,78-0,92$), указывающую на определяющее влияние засухи на продуктивность культуры. Регрессионные модели показывают, что рост летних температур на 1 °C приводит к снижению урожайности пшеницы на 5–10%, в то время как увеличение количества осадков на 10% обеспечивает прирост урожайности на 3–5%. Ансамблевые климатические прогнозы предполагают усиление засухливости (рост $SPEI$ на 0,3–0,8) и увеличение повторяемости экстремальных засух ($SPEI < -2$) на юге европейской части РФ и в Поволжье на 10–15% к середине XXI века, что может привести к дальнейшему падению урожайности зерновых на 15–25% [6].

ГИС-анализ пространственно-временной динамики теплообеспеченности территории РФ показал

существенный сдвиг изотерм суммы активных температур (САТ) на север и восток страны за последние 30 лет. Так, изотерма САТ 1000 °С, ограничивающая ареал возделывания теплолюбивых культур (кукуруза, подсолнечник, соя), продвинулась на 150–200 км в северном и на 200–250 км в восточном направлении. Потепление климата уже привело к расширению посевных площадей данных культур в Нечерноземной зоне РФ на 20–30% и повышению их урожайности на 10–15% [7]. В то же время в южных регионах РФ при сохранении текущих темпов потепления (0,4–0,6 °С/10 лет) к 2050 г. ожидается сокращение ареалов возделывания зерновых культур на 15–20% из-за роста засушливости и снижения урожайности.

Прогнозные оценки на основе динамических имитационных моделей показывают, что изменение климата существенно повлияет на водопотребность и режим орошения сельхозкультур. При реализации сценария RCP8.5 к середине века прогнозируется увеличение сезонной суммарной водопотребности на 7–12% для зерновых и на 10–15% для пропашных культур в южных регионах РФ [6]. Это потребует увеличения объемов водозабора для орошения на 1,3–2,8 км³/год и приведет к росту затрат сельхозпроизводителей на 12–18%. Для адаптации к этим изменениям необходимы внедрение водосберегающих технологий полива (капельное орошение, дождевание) и повышение КПД оросительных систем. Компьютерное моделирование показывает, что комплексная модернизация мелиоративной инфраструктуры может компенсировать до 70% прогнозируемого роста водопотребности и обеспечить прирост урожайности на 15–20% [7].

Одно из негативных последствий потепления климата — повышение рисков распространения вредителей и болезней сельхозкультур. Энтомологические модели, основанные на нейросетевых алгоритмах обучения, прогнозируют расширение ареалов и рост вредоносности насекомых (колорадский жук, хлопковая совка, тли) на 20–50% в зерновом поясе РФ к 2050 г. [5]. ГИС-анализ показывает увеличение числа поколений вредителей за сезон на 2–3 и продвижение на 200–400 км к северу зон, благоприятных для их перезимовки. В этих условиях потребуются увеличение кратности обработок пестицидами на 25–40% и использование новых средств защиты растений, что приведет к удорожанию технологий возделывания на 15–20%. Для снижения химической нагрузки необходимы биологизация систем защиты растений и внедрение превентивных мер на основе фитосанитарного прогнозирования.

Обобщение результатов компьютерного моделирования позволяет оценить суммарные потери урожайности основных культур в РФ под воздействием прогнозируемых климатических изменений на уровне 9–28% в период до 2050 г. Наиболее уязвимыми регионами являются юг европейской части РФ, Поволжье, Западная Сибирь, где падение продуктивности может достичь 15–25% без принятия адаптационных мер. В то же время в Нечерноземье, на Урале и Дальнем Востоке прогнозируется рост биоклиматического потенциала на 5–15%, связанный с улучшением теплообеспеченности и увлажнения [7].

Для минимизации климатических рисков и использования новых возможностей необходимо масштабное внедрение таких инновационных технологий адаптации, как:

селекция новых сортов и гибридов, устойчивых к засухе, жаре, болезням и вредителям;

модернизация мелиоративных систем, переход на водосберегающие режимы орошения и фертигацию; цифровая трансформация АПК, внедрение систем точного земледелия и интеллектуального управления агротехнологиями;

развитие систем агрострахования с учетом климатических рисков;

диверсификация структуры посевных площадей и севооборотов, сдвиг ареалов культур на север и восток.

Моделирование показывает, что комплексная реализация адаптационных мер позволит компенсировать до 50–70% прогнозируемых потерь урожайности и обеспечить прирост производства зерна на 10–25% к 2050 г. [6]. При этом в структуре посевов ожидается увеличение доли засухоустойчивых и жаростойких культур (кукуруза, сорго, просо, нут), расширение площадей под масличными и зернобобовыми. Оптимизация системы удобрений и химизации с помощью технологий точного земледелия позволит на 15–20% повысить окупаемость средств интенсификации и минимизировать экологические риски. Экономия оросительной воды за счет водосберегающих технологий орошения составит 20–25%, что эквивалентно приросту irrigated crop yields by 10–15%.

*Красюкова Н.Л.,
профессор кафедры государственного и муниципального управления
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
Россия
Krasuyukova@fa.ru*

*Фарманов Т.Х.,
профессор
Ташкентский государственный аграрный университет, Узбекистан
farmonov@rambler.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Easterling W., Apps M. Assessing the Consequences of Climate Change for Food and Forest Resources: A View from the IPCC // *Climatic Change*. 2005; 70: 165–189.
2. Olesen J.E., Bindi M. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy // *European Journal of Agronomy*. 2002; 16(4): 239–262.
3. Ewert F. et al. Crop modelling for integrated assessment of risk to food production from climate change // *Environmental Modelling & Software*. 2015; 72: 287–303.
4. Feng P. et al. Machine learning-based integration of remotely-sensed drought factors can improve the estimation of agricultural drought in South-Eastern Australia // *Agricultural Systems*. 2019; 173: 303–316.
5. Hoffman A.L. et al. Simulating the Effects of Climate Change on Rice Production in the Philippines Using Neural Networks and Bayesian Models // *Global Environmental Change*. 2021; 69: 102322.
6. Kadiyala M.D.M. et al. A Bayesian Framework to Assess Uncertainties in the Impacts of Climate Change on Yield and Adaptation Strategies in Rice // *Scientific Reports*. 2021; 11: 8932.
7. Peng B. et al. Dynamic Bayesian Network-Based Probabilistic Climate Model Ensemble Averaging for Seamless Crop Yield Prediction // *Journal of Agricultural and Food Engineering*. 2021; 1(1): 11.

УДК 619:615.033

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-33-38

В. В. Головин¹ ✉

С. В. Абрамов²

А. В. Балышев²

П. П. Кочетков¹

Б. В. Виолин³

¹ ООО «Биовизор», Москва, Россия

² Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясо-молочной продукции, Волгоград, Россия

³ Федеральный научный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук, Москва, Россия

✉ v.golovin@biovizor.ru

Поступила в редакцию:
01.04.2024

Одобрена после рецензирования:
15.05.2024

Принята к публикации:
30.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-33-38

Vyacheslav V. Golovin¹ ✉

Sergey V. Abramov²

Andrey V. Balyshchev²

Pavel P. Kochetkov¹

Boris V. Violin³

¹ LLC "Biovizor", Moscow, Russia

² The Volga region research institute of manufacture and processing of meat-and-milk production, Volgograd, Russia

³ Federal Scientific Centre VIEV, Moscow, Russia

✉ v.golovin@biovizor.ru

Received by the editorial office:
01.04.2024

Accepted in revised:
15.05.2024

Accepted for publication:
30.05.2024

Изучение биоэквивалентности лекарственных препаратов для ветеринарного применения «Авекардит» и «Ветмедин S» в организме собак

РЕЗЮМЕ

В рамках данной статьи отражены результаты фармакокинетического сопоставления воспроизводимого препарата на основе пимобендана «Авекардит» с препаратом сравнения «Ветмедин S» при применении собакам. В эксперименте использовали последовательный дизайн исследования. Была сформирована группа экспериментальных собак, состоящая из семи голов (шесть основных, одно запасное животное). Отбор крови проводили до введения и через 10, 20, 40 мин.; 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 6, 8, 10, 12 и 24 ч. после введения препаратов. Ключевые параметры, оцениваемые в процессе исследования: максимальная концентрация (C_{max}) и время ее достижения, площадь под кривой «концентрация — время» (AUC) действующего вещества препаратов в сыворотке крови собак. В статье описаны основные этапы эксперимента, реактивы и стандартные образцы, процесс пробоподготовки образцов сыворотки крови и ВЭЖХ-МС/МС-анализ, представлены результаты исследования биоэквивалентности препаратов «Авекардит» и «Ветмедин S».

Время достижения максимальной концентрации пимобендана (T_{max}) в сыворотке крови в среднем составило 0,67–1 ч. для препарата «Авекардит», 1–1,5 ч. для препарата «Ветмедин S».

Максимальные сывороточные концентрации (C_{max}) пимобендана находились в диапазоне 53,995–62,873 нг/мл для исследуемого препарата и 49,956–61,108 нг/мл для референтного препарата. 90% доверительные интервалы соотношений $C_{max}T/C_{max}R$ и $AUC_{0-t}/AUC_{0-t}R$ пимобендана находились в пределах диапазона 80–125%. Полученные результаты научно-исследовательской работы с научной точки зрения являются достаточным основанием для признания фармакокинетической эквивалентности воспроизведенного препарата референтному.

Ключевые слова: пимобендан, кардиология, собаки, воспроизведенный препарат, биоэквивалентность, фармакокинетика, кровь

Для цитирования: Головин В. В., Абрамов С. В., Балышев А. В., Кочетков П. П., Виолин Б. В. Изучение биоэквивалентности лекарственных препаратов для ветеринарного применения «Авекардит» и «Ветмедин S» в организме собак. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 33–38.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-33-38>

© Головин В. В., Абрамов С. В., Балышев А. В., Кочетков П. П., Виолин Б. В.

Study of the bioequivalence of drugs for veterinary use “Avecardit” and “Vetmedin S” in the body of dogs

ABSTRACT

This article reflects the results of a pharmacokinetic comparison of the reproducible drug based on pimobendan “Avecardit” with the reference drug “Vetmedin S” when used in dogs. The experiment used a sequential study design. A group of experimental dogs was formed, consisting of 7 animals (6 main and 1 reserve animal). Blood sampling was carried out before administration and after 10, 20, 40 min; 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 6, 8, 10, 12 and 24 hours after drug administration. Key parameters assessed during the study: maximum concentration (C_{max}) and time to reach it, area under the concentration-time curve (AUC) of the active substance of the drug in the blood serum of dogs. The article describes the main stages of the experiment, reagents and standard samples, the process of sample preparation of blood serum samples and HPLC-MS/MS analysis, and presents the results of a study of the bioequivalence of the drugs “Avecardit” and “Vetmedin S”.

The time to reach the maximum concentration of pimobendan (T_{max}) in the blood serum averaged 0.67–1 hour for the drug “Avecardit”, 1–1.5 hours for the drug “Vetmedin S”.

Maximum blood serum concentrations (C_{max}) of pimobendan were in the range of 53,995–62,873 ng/ml for the study drug and 49,956–61,108 ng/ml for the reference drug. The 90% confidence intervals for the $C_{max}T/C_{max}R$ and $AUC_{0-t}/AUC_{0-t}R$ ratios of pimobendan were within the range of 80–125%. The obtained results of the research work, from a scientific point of view, are a sufficient basis for recognizing the pharmacokinetic equivalence of the reproduced drug to the reference one.

Key words: pimobendan, cardiology, dogs, generic drug, bioequivalence, pharmacokinetics, blood

For citation: Golovin V.V., Abramov S.V., Balyshchev A.V., Kochetkov P.P., Violin B.V. Study of the bioequivalence of drugs for veterinary use “Avecardit” and “Vetmedin S” in the body of dogs. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 33–38 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-33-38>

© Golovin V.V., Abramov S.V., Balyshchev A.V., Kochetkov P.P., Violin B.V.

Введение/Introduction

В настоящее время ветеринарная фармацевтическая наука в первую очередь нацелена на непрерывный поиск новых перспективных соединений с высокой фармакологической активностью и заданными фармакодинамическими и фармакокинетическими свойствами. Как правило, этот путь очень длительный и занимает многие годы, поэтому для быстрого вывода на рынок уже известных и высокоэффективных молекул, особенно в рамках импортозамещения, используется подход создания отечественной лекарственной формы (джеренерика) и подтверждение его эффективности и безопасности на основании изучения биоэквивалентности в сравнении с референтным препаратом, уже зарегистрированным в России [1–4]. Соответствие воспроизведенных лекарственных средств оригинальному препарату доказывают прежде всего на основании фармацевтической и фармакокинетической эквивалентности по ряду фармакокинетических параметров действующих веществ препаратов, таких как уровень и скорость всасывания, распределения и выведения из организма [5, 6].

В ветеринарной терапевтической практике для лечения кардиопатологий у мелких домашних животных широко востребованы препараты на основе пимобендана [7, 8]. Это связано с положительным инотропным (увеличение силы сердечных сокращений) и вазодилатирующим (сосудорасширяющим) действием пимобендана. Пимобендан — производное бензимидазол-пиридазинона, в организме метаболизируется до о-десметил-пимобендана [9].

Согласно литературным данным, у собак пимобендан проявляет положительные инотропные и вазодилатирующие свойства через 1 ч. после приема внутрь, в то время как о-десметил-пимобендан оказывает сердечно-сосудистое действие в течение 8–12 ч. после введения¹. Положительный инотропный эффект действующего вещества обусловлен повышением чувствительности волокон сердечной мышцы к кальцию, а вазодилатирующий эффект связан с ингибированием активности фосфодиэстеразы III.

Анализ результатов клинических исследований показал, что применение препаратов на основе пимобендана обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами лечения по уровню эффективности и отсутствию побочных эффектов. Назначение пимобендана в составе терапии значительно улучшает качество и продолжительность жизни собак с наследственными, а также приобретенными кардиологическими патологиями [10–14].

К числу препаратов на основе пимобендана относят разработанный в Российской фармацевтической компании ООО «ВИК — здоровье животных» лекарственный препарат «Авекардит» (далее — воспроизведенный препарат), а также препарат «Ветмедин S», (далее — референтный препарат), производимый компанией Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH (Германия). Препараты «Авекардит» и «Ветмедин S» применяют собакам для лечения сердечной недостаточности, вызванной дилатационной кардиомиопатией, недостаточностью двух- или трехстворчатого клапана, с выраженными

клиническими проявлениями: кашлем, одышкой, обмороками, понижением активности, непереносимостью физических нагрузок или асцитом [15].

Референтный и воспроизведенный препараты выпускают в форме таблеток. Препараты «Ветмедин S» и «Авекардит» в зависимости от массы таблетки содержат в качестве действующего вещества 1,25 мг, 5 мг и 10 мг пимобендана.

Ввиду того что целевым видом для данных лекарственных препаратов являются собаки, изучение фармакокинетической биоэквивалентности препаратов «Ветмедин S» и «Авекардит» было проведено на этой целевой группе животных.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент был проведен на 7 клинически здоровых собаках-метисах (1 сука, 6 кобелей) возраста 2–3 года массой 21,4–25 кг. За 15 дней до и во время опыта собаки не получали никаких лекарственных средств, кроме исследуемых препаратов. За 8 часов до введения препаратов и в течение 2 ч. после введения животным ограничивали доступ к корму, воду собаки получали вволю. Во время исследования соблюдали принципы гуманного отношения к экспериментальным животным².

Для эксперимента был применен последовательный дизайн исследований, что соответствует требованиям законодательства в части исследования биоэквивалентности³.

Препараты вводили собакам пероральным путем, однократно, индивидуально в максимальной терапевтической дозе — 0,6 мг пимобендана на 1 кг массы животного. Интервал между введениями референтного и воспроизведенного лекарственных препаратов животным составлял 48 ч. Выбор такого промежутка времени был обусловлен требованиями нормативного документа, регламентирующего правила проведения исследований биоэквивалентности². Согласно этим правилам, период между введениями референтного и воспроизведенного препаратов группе животных должен быть не менее шестикратного периода полувыведения действующего вещества и его метаболитов. В случае с пимобенданом: период его полувыведения из организма животных не превышает 2 ч. Таким образом, временной промежуток между введениями препаратов «Авекардит» и «Ветмедин S» при применении последовательного дизайна не должен быть меньше 12 ч.

Отбор крови проводили до введения препаратов и через 10, 20, 40 мин.; 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 6, 8, 10, 12 и 24 ч. — после введения. Образцы отбирали в промаркированные одноразовые пробирки с активатором свертывания. Сразу после получения кровь центрифугировали и отделяли сыворотку. В биоаналитическую лабораторию «Биовизор» (г. Москва) сыворотку транспортировали в термоконтейнере. Образцы сыворотки крови собак до анализа хранили в замороженном виде в промаркированных шифром пробы пробирках типа Eppendorf при температуре минус 20 ± 4 °C.

В процессе исследования определяли концентрации действующего вещества препаратов и его метаболита

¹ Papich M.G., Saunders V.B. Pimobendan in the saunders handbook of veterinary drugs. 4th ed. 2016; 638–640.

² Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123) [рус., англ.]. Страсбург. 18.03.1986.

³ Приказ Минсельхоза от 6 марта 2018 г. № 101 «Об утверждении правил проведения доклинического исследования лекарственного средства для ветеринарного применения, клинического исследования лекарственного препарата для ветеринарного применения, исследования биоэквивалентности лекарственного препарата для ветеринарного применения». <https://fsvps.gov.ru/ru/fsvps/laws/5823.html>

в сыворотке крови собак. На основании полученных результатов осуществляли расчет фармакокинетических параметров действующего вещества в организме собак и проводили оценку биоэквивалентности препаратов. В исследовании использовали стандартные образцы пимобендана CAS Number: 74150-27-9, кат. № P447500, чистота 99,03% (TRC Canada), о-десметил-пимобендана, CAS Number: 108381-22-2, чистота 92,56 (Россия). В качестве внутреннего стандарта при определении пимобендана и его метаболита использовали стандартный образец фенобендазола сульфата CAS Number: 54029-20-8, кат. № 32544, чистота 99,9% (Sigma Aldrich).

Для проведения операций пробоподготовки использовали химические реактивы квалификации «хч» и «осч», для выполнения хромато-масс-спектрометрического анализа — органические растворители квалификации «для LCMS» и деионизированную воду, полученную с помощью системы очистки воды Millipore Direct-Q 5 UV Smart (Франция).

Концентрацию пимобендана и о-десметил-пимобендана определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектированием на хромато-масс-спектрометре Shimadzu LCMS-8060 (Япония). Использованный в работе метод анализа был валидирован согласно требованиям международных нормативных документов⁴. Методика была валидирована по показателям: линейность, матричный эффект, степень извлечения, специфичность, селективность, эффект переноса, прецизионность, правильность, наименьший предел количественного определения, допустимость разбавления, стабильность аналитов и внутреннего стандарта.

Полученные концентрации пимобендана и о-десметил-пимобендана в сыворотке крови собак использовали для расчета их фармакокинетических параметров: период полувыведения действующего вещества ($T_{1/2}$), максимальную концентрацию действующего вещества (C_{max}), площадь под кривой «концентрация действующего вещества — время» в интервале времени от 0 до момента (t) отбора последней пробы биоматериала (AUC_{0-t}), площадь под кривой «концентрация действующего вещества — время» в интервале времени от 0 до ∞ ($AUC_{0-\infty}$), среднее время удержания вещества в системном кровотоке (MRT), соотношение $AUC_{0-t}/AUC_{0-\infty}$.

Наличие (отсутствие) биоэквивалентности между воспроизведенным препаратом и референтным препаратом, отобранным для исследований по лекарственной форме и содержанию действующего вещества, оценивали в соответствии с Правилами проведения исследований биоэквивалентности лекарственных средств Евразийского экономического союза⁵. Биоэквивалентность препаратов оценивали на основе предположения о логнормальном распределении измеренных величин C_{max} , $AUC_{(0-t)}$, $AUC_{(0-\infty)}$ и $C_{max}/AUC_{(0-t)}$. Диапазон линейности методики соответствовал диапазонам концентраций действующего вещества и его метаболита в сыворотке крови собак после введения воспроизведенного и референтного препаратов.

Статистическую обработку полученных индивидуальных данных проводили стандартными методами с использованием программного обеспечения Microsoft Excel (США). Расчеты фармакокинетических параметров были выполнены с использованием ПО PKSolver 2.0 (надстройка для Microsoft Excel) с применением

некомпарментальной (бескамерной) модели распределения действующего вещества исследуемых препаратов. Рисунки были выполнены с использованием программ Shimadzu LabSolutions (Realtime Analysis, Postrun Analysis, Quant Browser) v.5.99 SP2 и Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На основании полученных данных установлено, что пимобендан быстро всасывается и обнаруживается в сыворотке крови собак спустя 10 мин. у всех собак после введения референтного препарата и у большинства животных, которым вводили воспроизведенный препарат.

T_{max} пимобендана для референтного препарата составила от 1 до 1,5 ч. после введения, при этом максимальные концентрации пимобендана находились в диапазоне 49,956–61,108 нг/мл. Далее его содержание в сыворотке крови собак постепенно снижалось, и спустя 8 ч. у всех испытуемых животных было ниже предела количественного определения методики (1 нг/мл) (НПКО).

Для воспроизведенного препарата «Авекардит» пик концентрации пимобендана в крови был достигнут через 0,67–1 ч. Максимальные концентрации пимобендана находились в диапазоне 53,995–62,873 нг/мл. В дальнейшем содержание пимобендана в сыворотке крови уменьшалось. Так, концентрации пимобендана не превышали НПКО методики через 6 ч. у 4 собак, у 2 собак — через 8 ч.

График изменения концентраций пимобендана в сыворотке крови собак представлен на рисунке 1.

Полученные значения концентрации пимобендана в сыворотке крови позволили рассчитать его фармакокинетические параметры, которые представлены в таблице 1.

Рис. 1. Динамика изменения концентрации пимобендана

Fig. 1. Dynamics of changes in the concentration of pimobendan

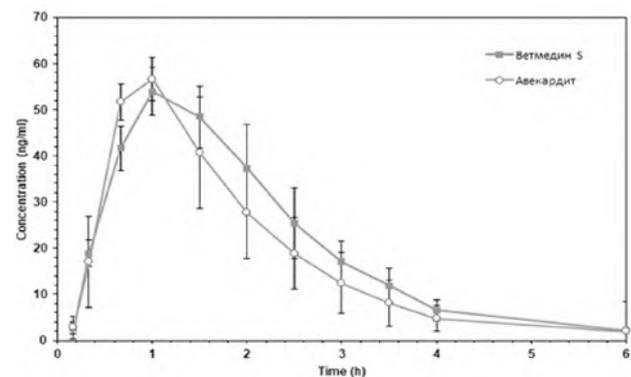


Таблица 1. Фармакокинетические параметры пимобендана

Table 1. Pharmacokinetic parameters of pimobendan

Параметр	«Ветмедин S»		«Авекардит»	
	Среднее значение	RSD, %	Среднее значение	RSD, %
$T_{1/2}$, ч	0,87	11	0,80	19,2
T_{max} , ч	1,17	22,1	0,89	19,1
C_{max} , нг/мл	54,949	7,5	57,955	5,5
AUC_{0-t} , нг/мл·ч	119,45	16,2	103,73	23,6
$AUC_{0-\infty}$, нг/мл·ч	122,76	15,4	107,08	23,4
$AUMC_{0-\infty}$, нг/мл·ч ²	242,71	24,2	188,91	38,2
MRT, ч	1,95	10,7	1,71	15,8
$AUC_{0-t}/AUC_{0-\infty}$	0,97	1,1	0,97	1,3

⁴ Committee for Medicinal Products for Human Use, Guideline on Bioanalytical Method Validation. EMEA/CHMP/EWP/192217/2009 Rev. 1 (21 July 2011).

⁵ Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 03.11.2016 № 85 (ред. от 15.02.2023) «Об утверждении Правил проведения исследований биоэквивалентности лекарственных препаратов в рамках Евразийского экономического союза».

В ходе исследования были получены данные о том, что пимобендан метаболизируется до о-десметил-пимобендана. Для воспроизведенного препарата «Авекардит» в сыворотке крови собак максимальные концентрации о-десметил-пимобендана были отмечены через 1–1,5 ч. после введения и находились в диапазоне 47,245–60,327 нг/мл. Снижение концентрации более чем в 2 раза отмечено к 2,5–4 ч. после введения препарата. Далее содержание аналита снижалось, и к 10–24 ч. концентрация метаболита не превышала НПКО.

После введения референтного препарата максимальные концентрации о-десметил-пимобендана наблюдали через 1–2 ч. в диапазоне 45,193–64,855 нг/мл. К 8 часам концентрация снижалась до уровня 1,955–4,173 нг/мл, а к 10–24 ч. не превышала НПКО (рис. 2).

На основании значений концентраций о-десметил-пимобендана в сыворотке крови собак были рассчитаны его фармакокинетические параметры, которые представлены в таблице 2.

Значения C_{max} и $AUC_{(0-t)}$, полученные при фармакокинетическом анализе, были подвергнуты логарифмическому преобразованию. Оценка нормальности распределения значений показала, что параметры C_{max} и $AUC_{(0-t)}$ характеризуются логнормальным распределением ($p > 0,05$).

Полученные фармакокинетические величины подвергли статистическому анализу (однократный дисперсный анализ, ANOVA) с оценкой влияния периода и последовательности расчетом среднеквадратической ошибки и расчетом 90% доверительного интервала для отношения максимальных концентраций исследуемого и референтного препаратов ($C_{max} T / C_{max} R$) и отношения площадей под фармакокинетическими кривыми исследуемого и референтного препаратов ($AUC_{(0-t)} T / AUC_{(0-t)} R$).

Результаты вычисления доверительных интервалов для отношений фармакокинетических параметров пимобендана и о-десметил-пимобендана представлены в таблицах 3, 4.

Таблица 3. Сравнение фармакокинетических параметров пимобендана после применения препаратов «Ветмедин S» (R) и «Авекардит» (T)

Table 3. Comparison of pharmacokinetic parameters of pimobendan after the use of «Vetmedin S» (R) and «Avecardit» (T)

Параметр	Отношение GMEAN, %	90% доверительные интервалы		Критерии приемлемости, %
		Доверительный интервал отношений фармакокинетических параметров препаратов X(T)/X(R)		
		L90, %	H90, %	
C_{max}	105,62	93,42	107,05	80–125
AUC_{0-t}	85,75	80,77	123,80	80–125

Таблица 4. Сравнение фармакокинетических параметров о-десметил-пимобендана после применения препаратов «Ветмедин S» (R) и «Авекардит» (T)

Table 4. Comparison of pharmacokinetic parameters of o-desmethyl-pimobendan after the use of «Vetmedin S» (R) and «Avecardit» (T)

Параметр	Отношение GMEAN, %	90% доверительные интервалы		Критерии приемлемости, %
		Доверительный интервал отношений фармакокинетических параметров препаратов X(T)/X(R)		
		L90, %	H90, %	
C_{max}	93,89	87,91	113,75	80–125
AUC_{0-t}	90,47	84,15	118,84	80–125

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

Рис. 2. Динамика изменения концентрации о-десметил-пимобендана

Fig. 2. Dynamics of changes in the concentration of o-desmethyl-pimobendan

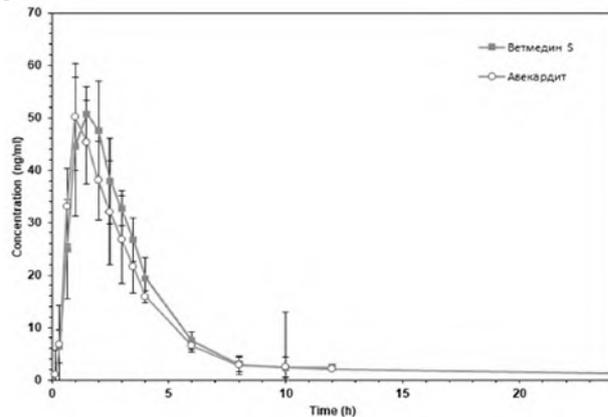


Таблица 2. Фармакокинетические параметры о-десметил-пимобендана

Table 2. Pharmacokinetic parameters of o-desmethyl-pimobendan

Параметр	«Ветмедин S»		«Авекардит»	
	Среднее значение	RSD, %	Среднее значение	RSD, %
$T_{1/2}$, ч	2,78	76,3	4,18	100,1
T_{max} , ч	1,50	29,8	1,17	22,1
C_{max} , нг/мл	54,890	13,3	51,387	11,5
AUC_{0-t} , нг/мл·ч	175,06	7,2	161,75	20,9
$AUC_{0-\infty}$, нг/мл·ч	183,98	8,7	171,34	23,9
$AUMC_{0-\infty}$, нг/мл·ч ²	678,22	31,2	771,46	73,3
MRT, ч	3,65	25,0	4,19	54,9
$AUC_{0-t} / AUC_{0-\infty}$	0,95	4,6	0,95	4,1

Полученные результаты свидетельствовали о том, что 90% доверительные интервалы для отношений C_{max} и AUC_{0-t} пимобендана и о-десметил-пимобендана находятся в пределах диапазона 80–125, и, следовательно, гипотеза о биоэквивалентности препаратов «Ветмедин S» и «Авекардит» принимается.

Выводы/Conclusion

Результаты изучения сравнительной фармакокинетики воспроизведенного препарата «Авекардит» и референтного препарата «Ветмедин S» в организме собак продемонстрировали, что они являются фармацевтически эквивалентными. Доказательством послужило то, что двусторонние доверительные интервалы для отношений C_{max} , AUC_{0-t} находились в диапазоне 80–125%.

Итогом проведенных исследований служит вывод о сопоставимости фармакокинетического профиля препарата для собак «Авекардит» с аналогичными значениями фармакокинетических параметров препарата «Ветмедин S», который ранее был зарегистрирован в РФ на основании результатов доклинических и клинических исследований, подтвердивших его качество, эффективность и безопасность. Таким образом, результаты полученных исследований продемонстрировали наличие достаточных оснований для признания безопасности и эквивалентной терапевтической активности разработанного в РФ препарата «Авекардит» и дальнейшей его апробации в ветеринарной практике.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Горлов И.Ф., Балышев А.В., Стариков Н.М., Абрамов С.В., Головин В.В. Сравнительная фармакокинетическая оценка двух лекарственных препаратов для ветеринарного применения на основе доксицилина Докситарт 500 и Мизоксин® у бройлеров. *Ветеринария*. 2023; (8): 46–49. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.8.46-49>
- Понамарев В.С., Лунегов А.М. Релевантные дизайны исследования на биоэквивалентность лекарственных средств для ветеринарного применения. *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2021; (2): 81–84. <https://doi.org/10.17238/issn2072-6023.2021.2.81>
- Яичков И.И. Особенности исследований воспроизведенных лекарственных препаратов. *Медицинская этика*. 2019; 7(1); 84–101. <https://elibrary.ru/xfrvew>
- Горячев Д.В., Уварова Н.Е. Оценка биоэквивалентности воспроизведенных препаратов иматиниба и такролимуса на основе косвенного сравнения результатов изучения их биоэквивалентности. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения*. 2019; 9(3): 184–190. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2019-9-3-184-190>
- Коновалова Г.В., Лобова П.С., Грицук В.А., Морозова А.В., Токарь В.В. Особенности планирования и проведения доклинических исследований лекарственных препаратов для ветеринарного применения. *Ветеринария*. 2022; (2): 58–62. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.2.58-62>
- Герасимов С.В., Понамарев В.С., Андреева Н.Л., Лунегов А.М., Попова О.С. Анализ нормативных документов, регламентирующих требования к проведению доклинических исследований ветеринарных препаратов. *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2020; (3): 27–29. <https://doi.org/10.17238/issn2072-6023.2020.3.27>
- Сергеев Д.Б. Анализ сердечных патологий у собак. *Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России. Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 100-летию высшего аграрного образования в Ивановской области*. Иваново: Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. акад. Д.К. Беляева. 2018; 491–494. <https://elibrary.ru/mpwalq>
- Saengklub N., Boonyarattanasoonthorn T., Kijtaornrat A., Chantasart D. Preliminary Bioequivalence of an Oral Pimobendan Solution Formulation with Reference Solution Formulation in Beagle Dogs. *Veterinary Sciences*. 2022; 9(3): 141. <https://doi.org/10.3390/vetsci9030141>
- Pichayapaiboon P. et al. Pharmacodynamics and Pharmacokinetics of Injectable Pimobendan and Its Metabolite, O-Desmethyl-Pimobendan, in Healthy Dogs. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 656902. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.656902>
- Сергеева П.Б., Сергеев Д.Б. Влияние повышенных дозировок пимобендана на собак с дилатационной кардиомиопатией. *Актуальные вопросы современной науки: теория, методология, практика, инноватика: Сборник научных статей по материалам IV Международной научно-практической конференции*. Уфа: Вестник науки. 2020; 43–45. <https://elibrary.ru/bmopor>
- Анников В.В., Анникова Л.В., Егунова А.В., Михалкин А.С., Пантюлин А.М., Шайхразиева Э.Ш. Структура заболеваемости собак сердечно-сосудистой патологией в Южной части Московской области. *Инновационные технологии в науке и образовании. Сборник статей XII Международной научно-практической конференции*. Пенза: Наука и Просвещение. 2019; 330–332. <https://elibrary.ru/fqdasg>
- Петров В.В., Белко А.А., Мацинович М.С., Романова Е.В., Новиков Е.А. Эффективность применения таблеток «Кардиосэйф 5 мг» при сердечной недостаточности, обусловленной хронической дегенерацией клапанов сердца у собак и дилатационной кардиомиопатией (результаты клинических исследований). *Ветеринарный журнал Беларуси*. 2022; (2): 46–49. <https://elibrary.ru/jvotty>
- Бадова О.В., Лебедева А.Л., Тагирова Л.Р. Влияние ранней клинической диагностики дилатационной кардиомиопатии собак породы доберман на течение патологии. *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020; (4): 31–36. <https://elibrary.ru/fzeqwa>
- Дружинина В.С., Боев В.И., Морозов И.А. Особенности диагностики и терапия собак с дилатационной кардиомиопатией. *Сборник научных трудов двенадцатой международной межвузовской конференции по клинической ветеринарии в формате Partners*. М.: Сельскохозяйственные технологии. 2022; 389–398. <https://elibrary.ru/wymmhe>
- Назарова М.В. Применение пимобендана (Ветмедин®) в клинической практике при эндокардиозе митрального клапана. *VetPharma*. 2016; (4): 60–63. <https://elibrary.ru/wnhzon>

REFERENCES

- Gorlov I.F., Balyshev A.V., Starikov N.M., Abramov S.V., Golovin V.V. Comparative pharmacokinetic study of two drugs for veterinary use based on doxycycline Doxitar 500 and Misoxin® in broilers. *Veterinary medicine*. 2023; (8): 46–49 (in Russian). <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.8.46-49>
- Ponamarev V.S., Lunegov A.M. Relevant bioequivalence study designs of medicinal products for veterinary use. *Issues of legal regulation in veterinary medicine*. 2021; (2): 81–84 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2072-6023.2021.2.81>
- Yaichkov I.I. The features of researches of generic drugs. *Medical ethics*. 2019; 7(1); 84–101 (in Russian). <https://elibrary.ru/xfrvew>
- Goryachev D.V., Uvarova N.E. Evaluation of Bioequivalence of Generic Imatinib Products and Generic Tacrolimus Products Based on Indirect Comparison of the Results of Their Bioequivalence Studies. *The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products*. 2019; 9(3): 184–190 (in Russian). <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2019-9-3-184-190>
- Konvalova G.V., Lobova P.S., Gritsuk V.A., Morozova A.V., Tokar V.V. Specifics of planning and conducting preclinical studies of medicinal products for veterinary use. *Veterinary medicine*. 2022; (2): 58–62 (in Russian). <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.2.58-62>
- Gerasimov S.V., Ponamarev V.S., Andreeva N.L., Lunegov A.M., Popova O.S. Analysis of regulatory documents regulating the requirements for conducting pre-clinical research of the veterinary drugs. *Issues of legal regulation in veterinary medicine*. 2020; (3): 27–29 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2072-6023.2020.3.27>
- Sergeev D.B. Analysis of cardiac pathologies in dogs. *Agricultural science in the context of modernization and innovative development of the Russian agro-industrial complex. Collection of proceedings of the All-Russian scientific and methodological conference with international participation, dedicated to the 100th anniversary of higher agricultural education in the Ivanovo region*. Ivanovo: Ivanovo State Agricultural Academy by academician D.K. Belyaev. 2018; 491–494 (in Russian). <https://elibrary.ru/mpwalq>
- Saengklub N., Boonyarattanasoonthorn T., Kijtaornrat A., Chantasart D. Preliminary Bioequivalence of an Oral Pimobendan Solution Formulation with Reference Solution Formulation in Beagle Dogs. *Veterinary Sciences*. 2022; 9(3): 141. <https://doi.org/10.3390/vetsci9030141>
- Pichayapaiboon P. et al. Pharmacodynamics and Pharmacokinetics of Injectable Pimobendan and Its Metabolite, O-Desmethyl-Pimobendan, in Healthy Dogs. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 656902. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.656902>
- Sergeeva P.B., Sergeev D.B. Effect of increased dosages of pimobendan on dogs with dilated cardiomyopathy. *Current issues of modern science: theory, methodology, practice, innovation: Collection of scientific articles based on the proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference*. Ufa: Vestnik nauki. 2020; 43–45 (in Russian). <https://elibrary.ru/bmopor>
- Annikov V.V., Annikova L.V., Egunova A.V., Mikhalkin A.S., Pantulyin A.M., Shaikhrazieva E.Sh. Structure of the morbidity of dogs of the cardiovascular pathology in the southern part of Moscow region. *Innovative technologies in science and education. Collection of articles of the XII International scientific and practical conference*. Penza: Nauka i Prosveshchenie. 2019; 330–332 (in Russian). <https://elibrary.ru/fqdasg>
- Petrov V.V., Belko A.A., Matsinovich M.S., Romanova E.V., Novikov E.A. Effectiveness of the tablets “Cardiosafe 5 mg” for heart failure caused by chronic degeneration of heart valves in dogs and dilated cardiomyopathy (results of clinical studies). *Veterinarnyy zhurnal Belarusi*. 2022; (2): 46–49 (in Russian). <https://elibrary.ru/jvotty>
- Badova O.V., Lebedeva A.L., Tagirova L.R. Influence of early clinical diagnostics of dilated cardiomyopathy in doberman dogs on the course of pathology. *Vestnik Chuvash State Agricultural Academy*. 2020; (4): 31–36 (in Russian). <https://elibrary.ru/fzeqwa>
- Druzhinina V.S., Boev V.I., Morozov I.A. Features of diagnosis and therapy of dogs with dilated cardiomyopathy. *Collection of scientific papers of the Twelfth International interuniversity conference on clinical veterinary medicine in the Partners format*. Moscow: Sel'skokhozyaystvennyye tekhnologii. 2022; 389–398 (in Russian). <https://elibrary.ru/wymmhe>
- Nazarova M.V. Use of pimobendan (Vetmedin®) in clinical practice for mitral valve endocardiosis. *VetPharma*. 2016; (4): 60–63 (in Russian). <https://elibrary.ru/wnhzon>

ОБ АВТОРАХ

Сергей Владиславович Абрамов¹
кандидат ветеринарных наук
120.net@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9445-4577>

Андрей Владимирович Балышев²
кандидат биологических наук
bav898@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9186-2671>

Вячеслав Викторович Головин²
кандидат биологических наук
v.golovin@biovizor.ru
<https://orcid.org/0009-0001-5123-9068>

Павел Павлович Кочетков¹
Руководитель лаборатории
kochetkov@biovizor.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6688-5540>

Борис Викторович Виолин³
кандидат ветеринарных наук
b_viol@yahoo.com

¹ ООО «Биовизор», ул. Нагорная, 3А, Москва, 117186, Россия

² Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, ул. им. Рокоссовского, 6, Волгоград, 400131, Россия

³ Федеральный научный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук, Рязанский пр-т, 24, корп. 1, Москва, 109428, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Sergey Vladislavovich Abramov¹
Candidate of Veterinary Sciences
Email 120.net@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9445-4577>

Andrey Vladimirovich Balyshv²
Candidate of Biological Sciences
bav898@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9186-2671>

Vyacheslav Viktorovich Golovin²
Candidate of Biological Sciences
v.golovin@biovizor.ru
<https://orcid.org/0009-0001-5123-9068>

Pavel Pavlovich Kochetkov¹
Head of the Laboratory
kochetkov@biovizor.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6688-5540>

Boris Viktorovich Violin³
Candidate of Veterinary Sciences
b_viol@yahoo.com

¹ LLC "Biovizor", 3A Nagornaya Str., Moscow, 117186, Russia

² The Volga region research institute of manufacture and processing of meat-and-milk production, 6 Rokossovskiy Str., Volgograd, 400131, Russia

³ Federal Scientific Centre VIEV, 24/1 Ryazansky Prospekt, Moscow, 109428, Russia



Достойное вознаграждение за привлеченную рекламу от ИД «Аграрная наука»

Вы

-  общительны и активны
-  владеете связями в сфере АПК
-  есть время и желание
-  хотите заработать

Мы гарантируем

-  интересную работу по привлечению рекламы в проекты ИД
-  свободный, удобный график
-  официальное оформление
-  щедрый % за принесенную вами рекламу

Звоните +7 (916) 616-05-31

УДК 619:616.988.27:636.4

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-39-43

А.Г. Галеева^{1, 2} ✉М.А. Ефимова^{1, 2}Г.С. Фролов¹Д.А. Зубринкин¹А.Г. Хисамутдинов³Л.Н. Гарипов⁴Д.Н. Мингалеев^{1, 2}Р.Х. Равилов¹¹ Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана, Казань, Россия² Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия³ Главное управление ветеринарии Кабинета министров Республики Татарстан, Казань, Россия⁴ Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан, Казань, Россия

✉ antonina-95@yandex.ru

Поступила в редакцию:
07.03.2024Одобрена после рецензирования:
15.05.2024Принята к публикации:
30.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-39-43

Antonina G. Galeeva^{1, 2} ✉Marina A. Efimova^{1, 2}Gennady S. Frolov¹Danil A. Zubrinkin¹Almaz G. Hisamutdinov³Lenar N. Garipov⁴Danil N. Mingaleev^{1, 2}Rustam Kh. Ravilov¹¹ Kazan state academy of veterinary medicine named after N.E. Bauman, Kazan, Russia² Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russia³ Main Directorate of Veterinary, Cabinet of Ministers of Republic of Tatarstan, Kazan, Russia⁴ Ministry of Agriculture and Food of Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

✉ antonina-95@yandex.ru

Received by the editorial office:
07.03.2024Accepted in revised:
15.05.2024Accepted for publication:
30.05.2024

Функциональная оценка *in vivo* рекомбинантных аденоассоциированных вирусов, несущих гены протективно значимых антигенов вируса африканской чумы свиней

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Африканская чума свиней (АЧС) — вирусное геморрагическое заболевание с исключительно высокой летальностью представителей семейства *Suidae*, влекущее за собой серьезные экономические последствия, связанные с производственными потерями, торговыми ограничениями и реализацией программ эрадикации. По сей день эффективная коммерческая вакцина против АЧС не разработана. Особый интерес в конструировании кандидатных вакцин представляют вирусные векторы, в частности аденоассоциированный вирус 2-го серотипа (AAV2), успешно зарекомендовавший себя в качестве генотерапевтического средства. Ранее авторами сообщалось о способности rAAV2 эффективно доставлять гены вируса АЧС B646L, E183L, CP530R, CP204L в клетки свиней *in vitro*.

Цель исследования — оценка функциональности *in vivo* аденоассоциированных вирусов 2-го серотипа, несущих гены протективно значимых антигенов вируса африканской чумы свиней.

Методы. Путем клонирования попарно объединенных генов B646L-CP530R, E183L-CP204L в вектор rAAV-MCS были созданы бицистронные конструкции с самощепляющимся пептидом P2A. Сборка rAAV2 осуществлялась путем кальций-фосфатной трансфекции клеток AAV293. После очистки в градиенте плотности йодиксанола rAAV2 вводили свиньям в дозе 3×10^{11} вирусных частиц и оценивали показатели гуморального и клеточного иммунитета в течение 180 дней. Динамику антителогенеза оценивали в непрямом ИФА, иммунофенотипирование Т-лимфоцитов периферической крови — методом проточной цитометрии.

Результаты. Установлено, что разработанные бицистронные конструкции на основе rAAV2 безопасны и легко переносимы животными и вызывают индукцию как гуморального, так и клеточного иммунного ответа: наблюдалось образование вирусспецифических антител, сохранившихся до конца эксперимента, а также повышенная экспрессия CD8+ и CD4+ лимфоцитов. Предлагаемая AAV-платформа является перспективным инструментом для создания вакцины, однако комплексная характеристика rAAV2 может быть составлена только после оценки их протективного эффекта.

Ключевые слова: африканская чума свиней, аденоассоциированные вирусы, вирусный вектор, гуморальный иммунитет, клеточный иммунитет

Для цитирования: Галеева А.Г. и др. Функциональная оценка *in vivo* рекомбинантных аденоассоциированных вирусов, несущих гены протективно значимых антигенов вируса африканской чумы свиней. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 39–43.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-39-43>

© Галеева А.Г., Ефимова М.А., Фролов Г.С., Зубринкин Д.А., Хисамутдинов А.Г., Гарипов Л.Н., Мингалеев Д.Н., Равилов Р.Х.

In vivo functional assessment of recombinant adeno-associated viruses carrying genes of protectively significant antigens of the African swine fever virus

ABSTRACT

Relevance. African swine fever (ASF) is a viral hemorrhagic disease with exceptionally high mortality in members of the family *Suidae*, with serious economic consequences associated with production losses, trade restrictions and eradication programs. To date, no effective commercial vaccine against ASF has been developed. Of particular interest in the design of candidate vaccines are viral vectors, in particular the adenoassociated virus of the 2nd serotype (AAV2), which has successfully proven itself as a gene therapy agent. We previously reported the ability of rAAV2 to effectively deliver ASF virus genes B646L, E183L, CP530R, CP204L into porcine cells *in vitro*.

The aim of the study was to evaluate the *in vivo* functionality of adenoassociated viruses of the 2nd serotype carrying genes of protectively significant antigens of the African swine fever virus.

Methods. By cloning pairwise combined genes *B646L-CP530R*, *E183L-CP204L* into the pAAV-MCS vector, bicistronic constructs with the self-cleaving P2A peptide were created. Assembly of rAAV2 was accomplished by calcium phosphate transfection of AAV293 cells. After iodixanol density gradient purification, rAAV2 was administered to pigs at a dose of 3×10^{11} viral particles and humoral and cellular immunity was assessed for 180 days. The dynamics of antibody genesis were assessed by indirect ELISA, and immunophenotyping of peripheral blood T-lymphocytes was assessed by flow cytometry.

Results. It was found that the developed bicistronic constructs based on rAAV2 are safe and easily tolerated by animals and cause the induction of both humoral and cellular immune responses: the formation of virus-specific antibodies was observed, which persisted until the end of the experiment, as well as increased expression of CD8+ and CD4+ lymphocytes. The AAV platform we propose is a promising tool for creating a vaccine, however, a comprehensive characterization of rAAV2 can only be compiled after assessing its protective effect.

Key words: african swine fever, adeno-associated virus, viral vector, humoral immunity, cellular immunity

For citation: Galeeva A.G. *et al.* *In vivo* functional assessment of recombinant adeno-associated viruses carrying genes of protectively significant antigens of the African swine fever virus. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 39–43 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-39-43>

© Galeeva A.G., Efimova M.A., Frolov G.S., Zubrinkin D.A., Hisamutdinov A.G., Garipov L.N., Mingaleev D.N., Ravilov R.Kh.

Введение/Introduction

Африканская чума свиней (АЧС) — вирусное геморрагическое заболевание с исключительно высокой летальностью представителей семейства *Suidae* (преимущественно домашних свиней и диких кабанов). Несмотря на ограниченный круг хозяев и отсутствие зоонозного потенциала, социально-экономическое воздействие данного заболевания очень велико [1]. АЧС является заболеванием, подотчетным Всемирной организации здравоохранения животных (МЭБ)¹, так как влечет за собой серьезные экономические последствия, связанные с производственными потерями, торговыми ограничениями и реализацией программ эрадикации [2]. Несмотря на то что исследования в области изыскания вакцины против АЧС ведутся с 1920-х гг. [3], все существующие на сегодняшний день экспериментальные вакцины, включая живые аттенуированные вакцины, субъединичные вакцины, ДНК-вакцины и вирус-векторные вакцины, не обеспечивали достаточного протективного эффекта [4, 5]. Критическим фактором, препятствующим разработке эффективных и безопасных вакцин против АЧС, является отсутствие достаточных данных о патогенезе вируса, а также глубокого понимания стратегий уклонения вируса от врожденного иммунитета. Таким образом, несмотря на многообразие предложенных подходов к разработке вакцины против АЧС, многообещающих вакцин-кандидатов по-прежнему недостаточно [6].

Особый интерес в конструировании кандидатных вакцин представляют вирусные векторы. В подобных вакцинах геном вирусной частицы содержит один или несколько иммунодоминантных генов целевого вируса, которые могут ингибировать его репликацию [7]. Кроме того, вирус-векторные вакцины позволяют осуществлять дифференциацию инфицированных и вакцинированных животных (серологический подход DIVA) за счет использования иммуногена, кодируемого вирусным вектором, в качестве вакцинного маркера [4]. Имеются сведения об исследованиях функциональности различных вирусных инструментов для доставки генов вируса АЧС [8], одним из которых, на взгляд авторов, является аденоассоциированный вирус (AAV), успешно зарекомендовавший себя в качестве генотерапевтического средства в гуманной медицине [9]. AAV, принадлежащие к роду *Dependovirus* семейства *Parvoviridae*, содержат одноцепочечную ДНК с инвертированным терминальным повтором (ITR) и белковый капсид [10]. К основным преимуществам AAV относятся способность трансдуцировать делящиеся и неделящиеся клетки, низкая иммуногенность и долговременная экспрессия трансгена *in vivo* [11]. Ранее сообщалось о способности генетических конструкций на основе AAV2 серотипа и генов вируса АЧС B646L, E183L, CP204L, CP530R эффективно трансдуцировать клетки свиней *in vitro* [12, 13].

Цель данного исследования — функциональная оценка *in vivo* аденоассоциированных вирусов 2-го серотипа, несущих гены протективно значимых антигенов вируса африканской чумы свиней.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проведены в межфакультетской лаборатории биотехнологии и иммунологии ФГБОУ ВО «Казанская ГАВМ» (г. Казань, Россия) в 2023 г.

Генетические конструкции. Последовательности генов B646L, CP204L, E183L, CP530R, кодирующих целевые белки p72, p30, p54, pp62 соответственно, были *in silico* оптимизированы по кодонам, при этом в качестве оптимальных кодонов использовались наиболее часто встречающиеся кодоны организма-реципиента — свиньи). Синтезированные на аутсорсинге (ЗАО «Евроген») гены, содержащие трансген и его регуляторные элементы, фланкированные инвертированными концевыми повторами (ITR), клонировали в плазмиду pAAV-MCS (Stratagene, США). Для создания бицистронных конструкций были попарно объединены гены E183L и CP204L, так как белки p54 и p30 задействованы в процессе интернализации вируса АЧС в клетку, и B646L и CP530R, так как белки p72 и pp62 являются доминирующими структурными вирусными белками и, как следствия, мишенями для серологической диагностики. Целевые фрагменты в бицистронных конструкциях были разделены линкером P2A.

Общую структуру вставки можно представить как CMV-ген1-P2A-ген2-stop-polyA. Бицистронные вставки были клонированы в вектор по сайтам рестрикции BamHI и EcoRI, правильность последовательных этапов клонирования подтверждали секвенированием. Целевые моно- и бицистронные конструкции, а также оболочечную (pAAV-RepCap2) и упаковочную (pHelper) плазмиды (Stratagene, США), необходимые для сборки вирусного капсида, нарабатывали в клетках *E. Coli* DH5 α , трансформированных методом теплового шока, с селекцией по ампициллину. Плазмидную ДНК выделяли при помощи коммерческого набора MidiPrep (ЗАО «Евроген»), эффективность очистки подтверждали электрофоретически.

Сборка rAAV2. Для сборки рекомбинантных AAV2 (rAAV2) использовали клеточную линию AAV293 — производную линии эмбриональных клеток почки человека HEK293, стабильно экспрессирующую ген E1 аденовируса. Клетки AAV293 культивировали в культуральных блюдах (10 см²) на среде DMEM с добавлением 10% бычьей эмбриональной сыворотки, L-глутамина и пенициллина-стрептомицина до 70% плотности монослоя, после чего осуществляли кальций-фосфатную котрансфекцию тремя плазмидами (с геном интереса, оболочечной и упаковочной) из расчета по 10 мкг каждой на одно блюдо. Через 6 ч. инкубации при +37 °C в атмосфере 5% CO₂ среду в блюдах заменяли на поддерживающую и инкубировали до 72 ч. Дополнительно осуществляли сборку rAAV2, содержащих ген дальнекрасного белка TurboFP635 для флуоресцентного контроля трансдукции клеток восприимчивых животных на следующих этапах исследования. По истечении срока инкубации среду собирали, клетки снимали механически и подвергали трехкратному криолизу при -80 °C с последующим переосаждением. В полученных образцах определяли титр rAAV2: образцы обрабатывали бензоназой (Benzonase Nuclease) из расчета 50 ед/мл и инкубировали при +37 °C в течение 30 мин. для избавления от неинкапсидированной ДНК, далее образцы инкубировали при +95 °C в течение 10 мин. для инактивации бензоназы и разрушения вирусных капсидов, после чего проводили количественную ПЦР-РВ с использованием праймеров и зонда на ITR, а также специфических праймеров, фланкирующих локусы целевых генов [13]; референсом служила плазмиды, содержащая локус ITR, в разведениях 10²–10⁸. Дополнительно наличие rAAV2 в

¹ WOAH: African swine fever. <https://www.woah.org/en/disease/african-swine-fever/>

образцах контролировалось белковым электрофорезом в 12,5%-ном полиакриламидном геле, при этом визуализировался мажорный капсидный белок VP3 с молекулярной массой 62 кДа.

Эксперименты на животных. В эксперименте использовали клинически здоровых свиней крупной белой породы обоего пола в возрасте 3 месяцев ($n = 6$) массой 35–40 кг, закупленных в эпизоотически благополучном хозяйстве Республики Татарстан. Эксперименты с участием животных проводились в соответствии с протоколом «Руководство по уходу и использованию лабораторных животных» и были одобрены локальным этическим комитетом (решение ЛЭК № 12/2022). Свиньи содержались в изолированных боксах в условиях вивария ФГБОУ «Казанская ГАВМ» и на протяжении эксперимента имели свободный доступ к корму и воде. Свиней опытной группы ($n = 3$) иммунизировали внутримышечно в трапециевидную мышцу шеи материалом, содержащим коктейль бицистронных конструкций на основе gAAV2 (3×10^{11} вирусных частиц), предварительно очищенных в градиенте плотности йодиксанола и ресуспендированных в конечном объеме 2 см³ фосфатно-солевого буфера (ФСБ) (прайм-иммунизация); буст-иммунизацию проводили через 30 суток. Свиньям контрольной группы ($n = 3$) инъектировали ФСБ в эквивалентном объеме. Температуру тела свиней измеряли ректально ежедневно в течение 14 суток, отслеживая местные и системные реакции на введение лабораторного образца вакцины. Образцы крови у свиней брали из задней ушной вены на 0, 15, 30, 45, 60, 90 и 180-е сутки после введения gAAV2.

Индикация вирусспецифических антител. Образцы сыворотки крови тестировали в трех повторностях с использованием набора ID Screen[®] African Swine Fever Indirect (Ingenasa, Испания). Согласно инструкциям производителя, статус каждой тестируемой сыворотки выражали с помощью коэффициента ингибирования ($K_{инг}$) (x%).

Иммунофенотипирование субпопуляций лимфоцитов периферической крови. Для дальнейшего изучения типов реактивных лимфоцитов методом проточной цитометрии определяли процентное содержание CD4⁺ и CD8⁺ Т-клеток в периферической крови иммунизированных свиней на 30, 60 и 90-й день после иммунизации. Клеточную суспензию метили моноклональными антителами FITC (Bio-Rad, США) и соответствующими изотипическими контролями. Анализ субпопуляционного состава лимфоцитов проводили с помощью цитометра FACS Canto II (Facs Calibur, BD, США) с использованием программного обеспечения FACS Diva 7.0.

Статистический анализ. Обработку первичных данных и статистические тесты проводили с использованием пакетов программ MS Excel и Statistica 6.0 (StatSoft, США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Известно, что первоначальные исследования в области применения AAV для разработки вакцин проводились именно с применением AAV2 серотипа, которые, несмотря на низкую эффективность трансдукции относительно других серотипов, были способны к индукции наиболее мощных иммунных ответов [14]. Выбор пути введения генетической конструкции на основе AAV2 был продиктован доказанной способностью последнего к наиболее эффективной экспрессии трансгена после однократного внутримышечного введения. AAV2 являются наиболее безопасными используемыми вирусными

векторами, однако уровни гуморального и клеточного иммунного ответа, вызываемые разными дозами, у разных видов животных остаются дискуссионными [15]. Учитывая это, был рассмотрен критерий безопасности кандидатной вакцины на основе бицистронных gAAV2, несущих гены B646L, E183L, CP204L, CP530R.

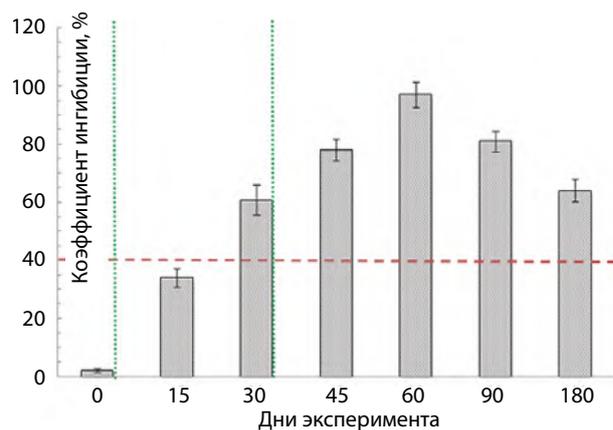
В результате исследований было установлено, что состояние животных опытной группы оставалось удовлетворительным как после прайм-, так и после бустерной иммунизации, признаков системных либо местных реакций на введение gAAV2 зафиксировано не было. Показатели температуры тела незначительно повышались на 1–2-е сутки после введения первой дозы gAAV2 и составили в среднем ($39,9 \pm 0,3$) °C против ($39,1 \pm 0,1$) °C в контрольной группе, однако ни у одного животного показатели не превысили фебрильный порог ($40,5$ °C) и до конца срока наблюдений статистически не отличались от показателей контрольной группы. Умеренная гипертермия может быть связана с кратковременной провоспалительной реакцией организма на вирусные капсиды [16].

Было доказано, что животные опытной группы отвечали на введение gAAV2 образованием вирусспецифических антител. Через 15 суток после прайм-иммунизации образцы сывороток свиней имели статус сомнительных — $K_{инг}$ ($37,8 \pm 3,4$)%, однако к 30-м суткам все животные были серопозитивными — $K_{инг}$ ($60,8 \pm 5,1$)%. Повышение уровня антител после бустерной иммунизации наблюдалось вплоть до 60-х суток эксперимента ($K_{инг}$ ($95,1 \pm 4,2$)%) и несколько снижалось к 180-м суткам — $K_{инг}$ ($79,2 \pm 3,2$)% (рис. 1).

На следующем этапе исследования оценивалось влияние кандидатной вакцины на функциональный ответ Т-лимфоцитов (в частности, во внимание брались такие критерии, как распределение субпопуляций CD8⁺ и CD4⁺ клеток). Достоверное повышение уровней маркерных показателей наблюдалось у всех опытных животных, при этом наиболее интенсивная экспрессия наблюдалась относительно CD8⁺ лимфоцитов. Так, после бустерной иммунизации их количество увеличилось на ($61,6 \pm 7,1$)% от первоначального уровня. Несколько меньшее влияние исследуемые конструкции оказывали на субпопуляцию CD4⁺, количество клеток в которой увеличилось на ($23,1 \pm 4,5$)% от первоначального уровня.

Рис. 1. Динамика уровня вирусспецифических антител у животных после иммунизации gAAV2. Данные представлены в виде групповых значений. Красной пунктирной линией отмечен порог серопозитивности, зелеными линиями — дни иммунизации

Fig. 1. Evolution of virus-specific antibodies level in animals after gAAV2 immunization. Data are presented as group values. The threshold of seropositivity is marked with a red dotted line, and the days of immunization are marked with green lines



Таким образом, было показано, что вводимые gAAV2 обеспечивают стимуляцию как гуморального, так и клеточного иммунного ответа. На сегодняшний день существуют веские доказательства роли обоих звеньев адаптивного ответа в протекции от вируса АЧС [17], чем и обусловлены современные подходы к дизайну рекомбинантных вакцин [7].

В данном исследовании было установлено, что наибольшая концентрация антител (коэффициент ингибиции — 95–97%) достигается в промежутке между 30-м и 60-м днями эксперимента при иммунизации коктейлем бицистронных конструкций в дозе 3×10^{11} в. ч. При этом коэкспрессия двух и более антигенов позволяет добиться снижения векторной нагрузки, что особенно важно при необходимости иммунизации пулом антигенов. Тем не менее конкретные механизмы нейтрализации вируса АЧС антителами остаются спорным вопросом, требующим выяснения [18].

При оценке уровней экспрессии отдельных субпопуляций Т-лимфоцитов наибольшие изменения были зарегистрированы относительно CD8+ клеток, играющих важную роль в формировании протективного эффекта. Так, Oura *et al.* (2005 г.) в своих исследованиях показали, что свиньи, лишённые CD8+ лимфоцитов, при наличии антител не были полностью защищены от летального заражения гетерологичным штаммом вируса АЧС [19].

Следует отметить, что для AAV2 ранее была документирована индукция трансгенспецифических CD8+ Т-клеточных ответов, а также сообщалось о возможности их регулирования путем внесения изменений в структуру вирусного капсида [17]. Дополнительно было

зарегистрировано повышение уровней CD4+ клеток, что может быть обусловлено наличием соответствующих эпитопов в пептидном пуле белков р30, рр62, р72. Учитывая роль NK-клеток и Т-хелперов в защитном иммунитете, а также то, что распределение данных субпопуляций может быть суррогатным маркером при вакцинации против АЧС [20], предлагаемая AAV-платформа является многообещающим инструментом для создания вакцины.

Выводы/Conclusions

В работе отражены данные предварительной оценки безопасности и иммуногенности бицистронных конструкций на основе AAV2 и иммунодоминантных генов вируса АЧС B646L, E183L, CP204L, CP530R. В ходе исследований было установлено, что предлагаемые конструкции безопасны, легко переносятся животными и вызывают индукцию как гуморального, так и клеточного иммунного ответа, однако комплексная характеристика кандидатной вакцины на основе AAV2 может быть составлена после проведения летального заражения. Детерминанты баланса между переносимостью и иммуногенностью AAV2 до конца не изучены, поэтому дальнейшая перспектива разработки темы лежит в области оптимизации механизма доставки целевых генов в клетки организма-хозяина, а также поиска дополнительных консервативных антигенов, что будет особенно актуальным при конструировании экономичной и эффективной вакцины для регионов, эндемичных по АЧС и характеризующихся высоким генетическим разнообразием циркулирующих штаммов.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-76-00013 «Оценка эффективности векторной системы на основе аденоассоциированного вируса для доставки генов, кодирующих иммунодоминантные белки вируса африканской чумы свиней, в клетки млекопитающих».

FUNDING

The materials were prepared as part of the grant of Russian Science Foundation No. 22-76-00013 "Evaluation of the effectiveness of a vector system based on adeno-associated virus for the delivery of genes encoding immunodominant proteins of the African swine fever virus into mammalian cells".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров В.В. Африканская чума свиней. *Российский ветеринарный журнал*. 2018; 6: 15–19. https://doi.org/10.32416/article_5c050abbcf8d70.94861250
2. Brown V.R., Bevins S.N. A Review of African Swine Fever and the Potential for Introduction into the United States and the Possibility of Subsequent Establishment in Feral Swine and Native Ticks. *Frontiers in Veterinary Science*. 2018; 5: 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00011>
3. Netherton C.L. *et al.* Identification and Immunogenicity of African Swine Fever Virus Antigens. *Frontiers in Immunology*. 2019; 10: 1318. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.01318>
4. Gaudreault N.N., Richt J.A. Subunit Vaccine Approaches for African Swine Fever Virus. *Vaccines*. 2019; 7(2): 56. <https://doi.org/10.3390/vaccines7020056>
5. Колбасов Д. Африканская чума свиней: создание вакцины актуально. *Животноводство России*. 2020; 7: 29–33. <https://doi.org/10.25701/ZZR.2020.48.46.008>
6. Chathuranga K., Lee J.-S. African Swine Fever Virus (ASFV): Immunity and Vaccine Development. *Vaccines*. 2023; 11(2): 199. <https://doi.org/10.3390/vaccines11020199>
7. Zhang H., Zhao S., Zhang H., Qin Z., Shan H., Cai X. Vaccines for African swine fever: an update. *Frontiers in Microbiology*. 2023; 14: 1139494. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1139494>
8. Ravirov R.Kh. *et al.* Viral Vector Vaccines Against ASF: Problems and Prospectives. *Frontiers in Veterinary Sciences*. 2022; 9: 830244. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.830244>
9. Wang D., Tai P.W.L., Gao G. Adeno-associated virus vector as a platform for gene therapy delivery. *Nature Reviews Drug Discovery*. 2019; 18(5): 358–378. <https://doi.org/10.1038/s41573-019-0012-9>
10. Pillay S. *et al.* An essential receptor for adeno-associated virus infection. *Nature*. 2016; 530(7588): 108–112. <https://doi.org/10.1038/nature16465>
11. Deyle D.R., Russell D.W. Adeno-associated virus vector integration. *Current Opinion in Molecular Therapeutics*. 2009; 11(4): 442–447.

REFERENCES

1. Makarov V.V. African swine fever. *Russian veterinary journal*. 2018; 6: 15–19 (in Russian). https://doi.org/10.32416/article_5c050abbcf8d70.94861250
2. Brown V.R., Bevins S.N. A Review of African Swine Fever and the Potential for Introduction into the United States and the Possibility of Subsequent Establishment in Feral Swine and Native Ticks. *Frontiers in Veterinary Science*. 2018; 5: 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00011>
3. Netherton C.L. *et al.* Identification and Immunogenicity of African Swine Fever Virus Antigens. *Frontiers in Immunology*. 2019; 10: 1318. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.01318>
4. Gaudreault N.N., Richt J.A. Subunit Vaccine Approaches for African Swine Fever Virus. *Vaccines*. 2019; 7(2): 56. <https://doi.org/10.3390/vaccines7020056>
5. Kolbasov D. African swine fever: creation of vaccine is urgent. *Animal Husbandry of Russia*. 2020; 7: 29–33 (in Russian). <https://doi.org/10.25701/ZZR.2020.48.46.008>
6. Chathuranga K., Lee J.-S. African Swine Fever Virus (ASFV): Immunity and Vaccine Development. *Vaccines*. 2023; 11(2): 199. <https://doi.org/10.3390/vaccines11020199>
7. Zhang H., Zhao S., Zhang H., Qin Z., Shan H., Cai X. Vaccines for African swine fever: an update. *Frontiers in Microbiology*. 2023; 14: 1139494. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1139494>
8. Ravirov R.Kh. *et al.* Viral Vector Vaccines Against ASF: Problems and Prospectives. *Frontiers in Veterinary Sciences*. 2022; 9: 830244. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.830244>
9. Wang D., Tai P.W.L., Gao G. Adeno-associated virus vector as a platform for gene therapy delivery. *Nature Reviews Drug Discovery*. 2019; 18(5): 358–378. <https://doi.org/10.1038/s41573-019-0012-9>
10. Pillay S. *et al.* An essential receptor for adeno-associated virus infection. *Nature*. 2016; 530(7588): 108–112. <https://doi.org/10.1038/nature16465>
11. Deyle D.R., Russell D.W. Adeno-associated virus vector integration. *Current Opinion in Molecular Therapeutics*. 2009; 11(4): 442–447.

12. Ефимова М.А., Галеева А.Г., Хамидуллина А.И., Равилов Р.Х. Анализ иммунодоминантных пептидов вируса африканской чумы свиней для конструирования кандидатных вакцин. *Аграрная наука*. 2023; 3: 40–45. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-40-45>
13. Ravirov R. *et al.* Efficient delivery of the immunodominant genes of African swine fever virus by adeno-associated virus serotype 2. *Veterinary World*. 2023; 16(12): 2425–2430. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.2425-2430>
14. Nieto K., Salvetti A. AAV vectors vaccines against infectious diseases. *Frontiers in Immunology*. 2014; 5: 5. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2014.00005>
15. Zhou X. *et al.* Comparison of mucosal immune responses to African swine fever virus antigens intranasally delivered with two different viral vectors. *Research in Veterinary Science*. 2022; 150: 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.06.025>
16. Mingozzi F., High K.A. Overcoming the Host Immune Response to Adeno-Associated Virus Gene Delivery Vectors: The Race Between Clearance, Tolerance, Neutralization, and Escape. *Annual Review in Virology*. 2017; 4(1): 511–534. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-101416-041936>
17. Goatley L.C. *et al.* Cellular and Humoral Immune Responses after Immunisation with Low Virulent African Swine Fever Virus in the Large White Inbred Babraham Line and Outbred Domestic Pigs. *Viruses*. 2022; 14(7): 1487. <https://doi.org/10.3390/v14071487>
18. Silva E.B. *et al.* The Presence of Virus Neutralizing Antibodies Is Highly Associated with Protection against Virulent Challenge in Domestic Pigs Immunized with ASFV live Attenuated Vaccine Candidates. *Pathogens*. 2022; 11(11): 1311. <https://doi.org/10.3390/pathogens11111311>
19. Oura C.A.L., Denyer M.S., Takamatsu H., Parkhouse R.M.E. *In vivo* depletion of CD8⁺ T lymphocytes abrogates protective immunity to African swine fever virus. *Journal of General Virology*. 2005; 86(9): 2445–2450. <https://doi.org/10.1099/vir.0.81038-0>
20. Attreed S.E. *et al.* A Highly Effective African Swine Fever Virus Vaccine Elicits a Memory T Cell Response in Vaccinated Swine. *Pathogens*. 2022; 11(12): 1438. <https://doi.org/10.3390/pathogens11121438>
12. Efimova M.A., Galeeva A.G., Khamidullina A.I., Ravirov R.Kh. Analysis of immunodominant African swine fever virus peptides for candidate vaccine design. *Agrarian science*. 2023; 3: 40–45 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-40-45>
13. Ravirov R. *et al.* Efficient delivery of the immunodominant genes of African swine fever virus by adeno-associated virus serotype 2. *Veterinary World*. 2023; 16(12): 2425–2430. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.2425-2430>
14. Nieto K., Salvetti A. AAV vectors vaccines against infectious diseases. *Frontiers in Immunology*. 2014; 5: 5. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2014.00005>
15. Zhou X. *et al.* Comparison of mucosal immune responses to African swine fever virus antigens intranasally delivered with two different viral vectors. *Research in Veterinary Science*. 2022; 150: 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.06.025>
16. Mingozzi F., High K.A. Overcoming the Host Immune Response to Adeno-Associated Virus Gene Delivery Vectors: The Race Between Clearance, Tolerance, Neutralization, and Escape. *Annual Review in Virology*. 2017; 4(1): 511–534. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-101416-041936>
17. Goatley L.C. *et al.* Cellular and Humoral Immune Responses after Immunisation with Low Virulent African Swine Fever Virus in the Large White Inbred Babraham Line and Outbred Domestic Pigs. *Viruses*. 2022; 14(7): 1487. <https://doi.org/10.3390/v14071487>
18. Silva E.B. *et al.* The Presence of Virus Neutralizing Antibodies Is Highly Associated with Protection against Virulent Challenge in Domestic Pigs Immunized with ASFV live Attenuated Vaccine Candidates. *Pathogens*. 2022; 11(11): 1311. <https://doi.org/10.3390/pathogens11111311>
19. Oura C.A.L., Denyer M.S., Takamatsu H., Parkhouse R.M.E. *In vivo* depletion of CD8⁺ T lymphocytes abrogates protective immunity to African swine fever virus. *Journal of General Virology*. 2005; 86(9): 2445–2450. <https://doi.org/10.1099/vir.0.81038-0>
20. Attreed S.E. *et al.* A Highly Effective African Swine Fever Virus Vaccine Elicits a Memory T Cell Response in Vaccinated Swine. *Pathogens*. 2022; 11(12): 1438. <https://doi.org/10.3390/pathogens11121438>

ОБ АВТОРАХ

Антонина Глебовна Галеева^{1, 2}

кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник¹
кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник²
antonina-95@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2650-6459>

Марина Анатольевна Ефимова^{1, 2}

доктор биологических наук, профессор¹
доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник²
marina-2004r@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8786-1310>

Данил Александрович Зубринкин¹

аспирант
zubrinkin-yande2013@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0007-2186-1300>

Алмаз Габтраупович Хисамутдинов³

кандидат ветеринарных наук
guv@tatar.ru

Ленар Наилевич Гарипов⁴

заместитель министра
Garipov.Lenar@tatar.ru

Данил Наильевич Мингалеев^{1, 2}

доктор ветеринарных наук, доцент¹
доктор ветеринарных наук, врио директора²
damin80@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7217-4083>

Рустам Хаметович Равилов¹

доктор ветеринарных наук, профессор, член-корреспондент
Академии наук Республики Татарстан
rustam.ravirov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7210-7470>

¹Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана, Сибирский тракт, 35, Казань, 420029, Россия

²Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Научный городок, 2, Казань, 420075, Россия

³Главное управление ветеринарии Кабинета министров Республики Татарстан, ул. Федосеевская, 36, Казань, 420111, Россия

⁴Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан, ул. Федосеевская, 36, Казань, 420111, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Antonina Glebovna Galeeva^{1, 2}

Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher¹
Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher²
antonina-95@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2650-6459>

Marina Anatolyevna Efimova^{1, 2}

Doctor of Biological Sciences, Professor¹
Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher²
marina-2004r@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8786-1310>

Danil Aleksandrovich Zubrinkin¹

Graduate Student
zubrinkin-yande2013@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0007-2186-1300>

Almaz Gabtraupovich Hisamutdinov³

Candidate of Veterinary Sciences
guv@tatar.ru

Lenar Nailevich Garipov⁴

Deputy Minister
Garipov.Lenar@tatar.ru

Danil Nailevich Mingaleev^{1, 2}

Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor¹
Doctor of Veterinary Sciences, Acting Director²
damin80@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7217-4083>

Rustam Khametovich Ravirov¹

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan
rustam.ravirov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7210-7470>

¹Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman, 35 Sibirsky trakt, Kazan, 420029, Russia

²Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, 2 Nauchny gorodok, Kazan, 420075, Russia

³The Main Department of Veterinary Medicine of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan, 36 Fedoseevskaya Str., Kazan, 420111, Russia

⁴Ministry of Agriculture and Food of Tatarstan Republic, 36 Fedoseevskaya Str., Kazan, 420111, Russia

Е.В. Шемельков ✉
Г.О. Шемелькова
Е.В. Иванов
А.Д. Булгаков
О.А. Верховский
Т.И. Алипер

ООО «Ветбиохим», Москва, Россия

✉ Shemelkov@mail.ru

Поступила в редакцию:
04.03.2024

Одобрена после рецензирования:
15.05.2024

Принята к публикации:
30.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-44-49

Evgeny V. Shemelkov ✉
Galina O. Shemelkova
Evgeny V. Ivanov
Alexander D. Bulgakov
Oleg A. Verkhovsky
Taras I. Aliper

LLC "Vetbiohim", Moscow, Russia

✉ Shemelkov@mail.ru

Received by the editorial office:
04.03.2024

Accepted in revised:
15.05.2024

Accepted for publication:
30.05.2024

Влияние адъювантов ISA 61 и ISA 50 на антигенную активность, способность формировать колостральный иммунитет и эффективность, экспериментальных образцов вакцины КОМБОВАК-А

РЕЗЮМЕ

В статье дана сравнительная оценка двух экспериментальных образцов семикомпонентной вакцины КОМБОВАК-А, изготовленных с адъювантами ISA 61 и ISA 50, по показателям: антигенная активность (на лабораторных и естественно-восприимчивых животных); влияние на формирование колострального иммунитета у телят при вакцинации стельных коров, а также эффективность в условиях животноводческого хозяйства, неблагоприятного по основным респираторным и кишечным заболеваниям телят вирусной этиологии. Установлено, что образец вакцины на основе адъюванта ISA 61 отличался более высокой антигенной активностью по сравнению с аналогичным образцом на основе адъюванта ISA 50, индуцируя более высокий уровень синтеза поствакцинальных антител. Применение вакцины в условиях неблагоприятного животноводческого хозяйства позволило снизить заболеваемость и смертность телят, при этом образец вакцины, изготовленный на основе масла ISA 61, оказался более эффективным.

Ключевые слова: адъюванты, вакцина, вирусы КРС, безвредность, антигенная активность, динамическая вязкость

Для цитирования: Шемельков Е.В., Шемелькова Г.О., Иванов Е.В., Булгаков А.Д., Верховский О.А., Алипер Т.И. Влияние адъювантов ISA 61 и ISA 50 на антигенную активность, способность формировать колостральный иммунитет и эффективность, экспериментальных образцов вакцины КОМБОВАК-А. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 44–49.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-44-49>

© Шемельков Е.В., Шемелькова Г.О., Иванов Е.В., Булгаков А.Д., Верховский О.А., Алипер Т.И.

The influence of adjuvants ISA 61 and ISA 50 on the antigenic activity, the ability to form colostral immunity and the effectiveness of experimental samples of the vaccine KOMBOVAC-A

ABSTRACT

The article provides a comparative assessment of two experimental samples of the seven-component vaccine KOMBOVAC-A, manufactured with adjuvants ISA 61 and ISA 50, in terms of: antigenic activity (in laboratory and naturally susceptible animals); influence on the formation of colostral immunity in calves when vaccinating pregnant cows, as well as effectiveness in livestock farming conditions unfavorable for the main respiratory and intestinal diseases of calves of viral etiology. It was found that the vaccine sample based on the ISA 61 adjuvant had a higher antigenic activity compared to a similar sample based on the ISA 50 adjuvant, inducing a higher level of synthesis of post-vaccination antibodies. The use of the vaccine in conditions of a dysfunctional livestock farm has reduced the morbidity and mortality of calves, while the vaccine sample made on the basis of ISA 61 oil proved to be more effective.

Key words: adjuvants, vaccine, bovine viruses, vaccine safety, antigenic activity, dynamic viscosity

For citation: Shemelkov E.V., Shemelkova G.O., Ivanov E.V., Bulgakov A.D., Verkhovsky O.A., Aliper T.I. The influence of adjuvants ISA 61 and ISA 50 on the antigenic activity, the ability to form colostral immunity and the effectiveness of experimental samples of the vaccine KOMBOVAC-A. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 44–49 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-44-49>

© Shemelkov E.V., Shemelkova G.O., Ivanov E.V., Bulgakov A.D., Verkhovsky O.A., Aliper T.I.

Введение/Introduction

При современном уровне интенсивности животноводства вирусные респираторные и кишечные инфекции телят и взрослого скота — значимый негативный фактор, который наносит существенный экономический ущерб отрасли. Особенностью таких инфекционных заболеваний является то, что они часто протекают в смешанной форме, и зачастую невозможно дифференцировать ведущую роль того или иного патогена. Соответственно, эффективная специфическая вакцинопрофилактика достигается за счет применения комбинированных многокомпонентных вакцин, содержащих в своем составе несколько актуальных антигенов [1, 2].

Однако большое количество разных антигенных компонентов в одной иммунизирующей дозе ведет к уменьшению количества каждого антигена, вводимого в организм животного. Кроме того, в целом инактивированные вирусные антигены за счет своего строения являются гораздо более слабыми иммуногенами по сравнению, например, с бактериями [3, 4]. Поэтому второй, не менее важной составляющей любой инактивированной вакцины, помимо ее специфической (то есть антигенной) части, является адъювант, который должен обеспечивать значительное повышение антигенных и иммуногенных свойств вирусных компонентов препарата, стимулируя образование длительного и напряженного поствакцинального иммунитета. При этом повышение антигенности и иммуногенности вакцины не должно быть осуществлено в ущерб ее безвредности и безопасности [4–6].

Наиболее ранние предположения о механизме действия адъювантов сложились как о вспомогательных веществах, которые создают эффект депо в месте введения вакцины, предотвращая быструю элиминацию антигена. В дальнейшем за счет длительного высвобождения антигена осуществляется более продолжительная стимуляция иммунокомпетентных клеток, что в свою очередь ведет к формированию более выраженного иммунного ответа. Однако хирургическое удаление антигена с адъювантом вместе с окружающими тканями из места введения через четыре дня после инъекции не предотвращает развитие иммунного ответа к данному антигену, а многократное введение свободного от адъюванта антигена не всегда приводит к формированию иммунного ответа, эквивалентного таковому при введении антигена с адъювантом [7, 8].

Таким образом, задержка антигена в месте введения не является единственным проявлением механизма адъювантного действия. В процессе развития иммунного ответа антиген вакцины должен достигнуть вторичной лимфоидной ткани (обычно это дренирующие лимфатические узлы) [9, с. 102–164].

Механизм действия адъювантов, помимо эффекта депо, может протекать по одному или нескольким нижеперечисленным путям:

- оптимизация контакта между антигенпрезентирующими клетками (АПК) иммунной системы хозяина и антигенами, входящими в состав вакцины [10];

- активация АПК, участие в процессе презентации антигена и активации эффекторных клеток (которые непосредственно занимаются обезвреживанием, уничтожением и элиминацией патогенов) иммунной системы [11, 12];

- оказание общего иммуномодулирующего эффекта [13].

То есть воздействие адъюванта на антиген и организм животного имеет сложный и многогранный характер, разные адъюванты могут иметь разные механизмы действия и оказывать неодинаковое влияние на развитие поствакцинального иммунного ответа. Поэтому подбор эффективного и безопасного адъюванта для конкретной вакцины с учетом специфики входящих в ее состав антигенов всегда является актуальной задачей [4, 9].

Цель данных исследований — сравнительная оценка антигенной активности, влияния на формирование колострального иммунитета у телят при вакцинации стельных коров, а также эффективности в условиях животноводческого хозяйства, неблагоприятного по основным респираторным и кишечным заболеваниям телят вирусной этиологии, экспериментальных образцов семикомпонентной инактивированной комбинированной вакцины против инфекционного ринотрахеита, парагриппа-3, вирусной диареи, респираторно-синцитиальной, ротавирусной и коронавирусной болезни и аденовирусной инфекции крупного рогатого скота КОМБОВАК-А, изготовленной с использованием двух адъювантов — ISA 61 и ISA 50.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Получение антигенов вирусов, изготовление экспериментальных образцов, определение плотности и вязкости, постановку всех серологических реакций проводили на базе ООО «Ветбиохим» (г. Москва) в 2012–2013 гг.

Антигенами при изготовлении экспериментальных образцов вакцины служили инактивированные вирусы КРС: инфекционного ринотрахеита (ИРТ), парагриппа-3 (ПГ-3), вирусной диареи (ВД), респираторно-синцитиальный вирус (РС), ротавирус (РВ), коронавирус (КВ) и аденовирус КРС I типа (АВ), выращенные в перевиваемой культуре клеток почки теленка MDBK. Все штаммы указанных вирусов и культура клеток являются производственными, принадлежат ООО «Ветбиохим», штаммы депонированы в государственной коллекции вирусов ФГБУ «НИИ вирусологии им. Д.И. Ивановского» (г. Москва, Россия).

В качестве адъювантов использовали коммерческие продукты ISA 61 и ISA 50 (SEPPIC, Франция). Поскольку оба адъюванта предназначены для конструирования одного типа эмульсий (вода в масле), то и соотношение антигенной (вирусной) части и адъюванта в каждом экспериментальном образце было идентичным.

Для определения динамической вязкости эмульсии каждый образец вакцины предварительно выдерживали при температуре 19–21 °С в течение 6 часов. Первоначально у каждого образца определяли кинематическую вязкость (при помощи вискозиметра капиллярного стеклянного ВНЖ в соответствии с требованиями ГФ РФ XV¹), затем определяли плотность (при помощи вибрационного измерителя плотности жидкостей ВИП-2МР в соответствии с требованиями ГФ РФ XV²), после чего рассчитывали динамическую вязкость как произведение кинематической вязкости и плотности эмульсии.

При проведении исследований на морских свинках и КРС использовали образец плацебо, состоящий из физиологического раствора и адъюванта ISA 61, в пропорциях, сопоставимых первым двум образцам. Опыты по определению антигенной активности с использованием

¹ ОФС.1.2.1.0015 Вязкость.

² ОФС.1.2.1.0014 Плотность. Метод 4.

морских свинок и телят проводили в условиях экспериментальной базы ФНЦ ВИЭВ РАН (о. Лисий, Тверская обл.).

Экспериментальной моделью животных для оценки антигенной активности служили морские свинки породы агути массой 300–350 г ($n = 6$ на каждый образец) и разнополые телята в возрасте 2–4 месяцев, полученные из небольшой фермы телят, благополучной по основным вирусным респираторным и кишечным заболеваниям³.

Морских свинок вакцинировали внутримышечно в дозе 1,0 мл (однократно). Кровь брали до и через 21 день после вакцинации³.

Телят разделили на три группы по принципу аналогов. Вакцинировали внутримышечно в дозе 2,0 мл (двукратно) с интервалом 21 сутки. Для иммунизации группы № 1 ($n = 12$) использовали образец на основе ISA 61, телят группы № 2 ($n = 10$) вакцинировали образцом, изготовленным с использованием адьюванта ISA 50, группа № 3 (отрицательный контроль), для вакцинации животных в которой использовали образец плацебо, насчитывала 6 голов. Кровь брали у всех животных до вакцинации (D_0) и через 21 день после первой (D_{21}) и второй иммунизации (D_{42})³.

Эффективность образцов вакцины, изготовленных с адьювантами ISA 61 и ISA 50, изучали в животноводческом хозяйстве Московской области, неблагополучном по вирусным респираторным и кишечным инфекциям молодняка, используя критерии «заболеваемость телят респираторными и кишечными инфекциями», «смертность и вынужденная выбраковка» в соответствующих группах. Кроме того, оценивали уровень колострального иммунитета у телят, полученных от коров, иммунизированных разными образцами вакцины.

Стельных коров иммунизировали двукратно с интервалом 20–21 день с таким расчетом, чтобы первая вакцинация приходилась за 55–61 день до отела. Вакцину вводили внутримышечно в дозе 3,0 мл.

Телят, полученных от вакцинированных коров, иммунизировали соответствующим экспериментальным образцом двукратно (первый раз в возрасте 7–8 суток, второй — через 21–22 дня) внутримышечно в дозе 2 мл (согласно проекту инструкции по применению вакцины).

Общую и местную реакцию на введение экспериментальных образцов отслеживали, наблюдая за общим состоянием животных, а также визуально и методом palpации места инъекции.

Для оценки напряженности гуморального иммунитета в каждой группе животных (по 10 голов коров и телят) брали кровь: у коров — перед вакцинацией (D_0), непосредственно перед проведением второй вакцинации (I) и сразу после отела (II); у телят — через 48–72 часа после рождения. При этом отслеживали обязательную выпойку молозива телятам.

Специфические антитела к каждому вирусному антигену определяли в реакции нейтрализации, которую ставили микрометодом в 96-луночных полистироловых планшетах по стандартной методике⁴ с рабочей дозой соответствующего вируса 100–300 ТЦД₅₀/0,1 мл. Вируснейтрализующий титр сыворотки выражали как предельное ее разведение, ингибирующее развитие ЦПД вируса в 50% зараженных культур клеток.

Статистическую обработку результатов проводили общепринятыми методами с использованием компьютерных программ Microsoft Office Excel 2007–2016 (США) и статистических онлайн-калькуляторов⁵.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Динамическая вязкость образца вакцины на основе адьюванта ISA 61 составила 76,5 мПа·с, то есть в 2,4 раза меньше, чем у аналогичного образца, изготовленного на основе ISA 50 (183,3 мПа·с), что в свою очередь положительно влияет на такие характеристики, как текучесть готовой вакцины и удобство ее применения в хозяйствах.

У коров и телят в группе, где использовали первый вариант вакцины, количество случаев образования болезненных припухлостей на месте инъекции было гораздо меньше, чем во второй группе.

В результате изучения антигенной активности экспериментальных образцов вакцины в опыте на морских свинках и телятах было установлено, что вакцина, изготовленная на основе адьюванта ISA 61, более активно стимулирует поствакцинальный синтез антител к соответствующим вирусным компонентам по сравнению с образцом, для изготовления которого использовали адьювант ISA 50 ($p < 0,05$) (табл. 1, 2).

У морских свинок после однократной иммунизации образцом вакцины, содержащей адьювант ISA 61, обеспечивал более высокий уровень вируснейтрализующих антител к вирусам инфекционного ринотрахеита, парагриппа-3, респираторно-синцитиальному вирусу, ротавирусу, коронавирусу и аденовирусу КРС I типа.

Таблица 1. Сравнительная оценка антигенной активности семикомпонентной вакцины с адьювантами ISA 61 и ISA 50 в опыте на морских свинках

Table 1. Comparative assessment of the antigenic activity of a seven-component vaccine with adjuvants ISA 61 and ISA 50 in an experiment on guinea pigs

Адьювант/ образец	Уровень антител к вирусу*						
	ИРТ	ВД	ПГ-3	РС	РВ	КВ	АВ
№ 1, ISA 61	57	91	114	32	102	128	57
№ 2, ISA 50	51	102	102	29	91	114	51
№ 3, плацебо	0	0	0	0	0	0	0

Примечание: * здесь и далее приведены средние геометрические значения титра антител в сыворотке крови животных соответствующих групп, выраженные в обратных величинах.

Таблица 2. Сравнительная оценка антигенной активности семикомпонентной вакцины с адьювантами ISA 61 и ISA 50 в опыте на телятах

Table 2. Comparative assessment of the antigenic activity of the seven-component vaccine with adjuvants ISA 61 and ISA 50 in an experiment on calves

Адьювант	Срок исследования	Титр антител к вирусу						
		ИРТ	ВД	ПГ-3	РС	РВ	КВ	АВ
№ 1, ISA 61	D_0	0	20	13	0	0	0	0
	D_{21}	54	144	121	38	114	119	51
	D_{42}	136	203	161	85	228	256	121
№ 2, ISA 50	D_0	0	28	11	0	0	0	0
	D_{21}	45	147	128	34	104	126	46
	D_{42}	128	181	169	74	208	274	111
№ 3, плацебо	D_0	0	23	10	0	0	0	0
	D_{21}	0	36	23	0	0	0	0
	D_{42}	0	32	40	0	0	0	0

³ Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

⁴ Белоусова Р.В., Троценко Н.И., Преображенская Э.А. Практикум по ветеринарной вирусологии. М.: КолосС. 2006; 248.

⁵ <https://math.semestr.ru>, <https://medstatistic.ru>

У телят (образец вакцины на основе ISA 61) индуцировал более высокий уровень специфических антител к четырем антигенным компонентам после первой вакцинации и к пяти вирусным антигенам из семи после второй по сравнению с аналогичным образцом, содержащим адьювант ISA 50. При этом у животных, которым вводили образец плацебо, антител к вирусам инфекционного ринотрахеита, респираторно-синцитиальному вирусу, рота-, корона- и аденовирусу КРС I типа обнаружено не было.

Количество иммунизированных коров разными образцами вакцины и количество полученного потомства в условиях неблагополучного хозяйства представлено в таблице 3.

Таким образом, выход телят в группе коров, для вакцинации которых использовали вакцину на основе ISA 61, выход телят составил 98%, а в группе животных, иммунизированных вакциной, содержащей ISA 50, — 100%. Аналогичный показатель у коров, которым вводили образец плацебо, составил 94%.

Вакцинация стельных коров вызывала соответствующий иммунологический эффект, индуцируя в том числе синтез специфических антител, которые в последующем обеспечили формирование напряженного колострального иммунитета у телят (табл. 4).

У животных, вакцинированных образцом на основе адьюванта ISA 61, был зафиксирован более высокий уровень поствакцинальных антител у взрослых животных, соответственно, и у телят в этой группе уровень колостральных антител был выше, чем у животных, полученных от коров, для иммунизации которых использовали вакцину на основе ISA 50 ($p < 0,05$).

Коровы, которым вводили образец плацебо, не смогли обеспечить передачу антител и формирование колострального иммунитета у потомства.

Оценка эффективности экспериментальных образцов в условиях хозяйства, неблагополучного по основным респираторным и кишечным инфекциям телят показала следующие результаты. В группе, где применяли вакцину, изготовленную с адьювантом ISA 61, заболеваемость телят составила 17,3%, смертность и вынужденная выбраковка — 2,3%. В группе, в которой животных иммунизировали вакциной на основе ISA 50, данные показатели составили 21,4% и 3,1% соответственно, а в группе отрицательного контроля (животным вводили образец плацебо) — 62,1% и 8,3% (рис. 1).

Таким образом, применение вакцины позволило снизить заболеваемость и смертность телят при включении в состав адьюванта ISA 61 в 3,59 и 3,61 раза, а при использовании вакцины на основе адьюванта ISA 50 — в 2,90 и 2,68 раза соответственно.

Выводы/Conclusion

Экспериментальные образцы семикомпонентной инактивированной комбинированной вакцины против инфекционного ринотрахеита, парагриппа-3, вирусной диареи, респираторно-синцитиальной, рота- и коронавирусной болезни и аденовирусной инфекции крупного рогатого скота КОМБОВАК-А, изготовленные с адьювантами ISA 61 и ISA 50, вызывают формирование напряженного гуморального иммунного ответа у лабораторных и естественно-восприимчивых животных.

Однако при использовании образца вакцины, изготовленного на основе адьюванта ISA 61, уровень поствакцинальных вируснейтрализующих антител к подавляющему количеству антигенных компонентов, входящих в состав вакцины, был выше как в опыте на

Таблица 3. Выход телят (количество полученных живых телят от вакцинированных коров)

Table 3. Calf yield (number of live calves obtained from vaccinated cows)

Адьювант/образец	Вакцинировано коров, гол	Получено телят, гол
№ 1, ISA 61	79	78
№ 2, ISA 50	58	58
№ 3, плацебо	34	32

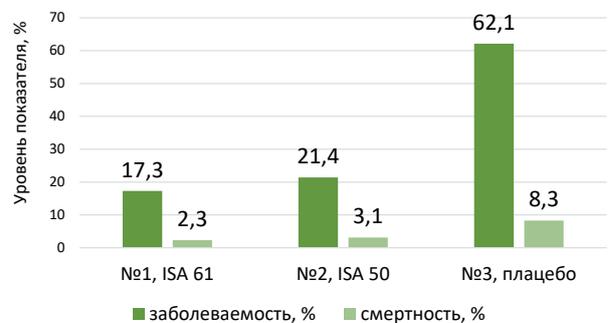
Таблица 4. Результаты оценки колострального иммунитета при применении образцов семикомпонентной вакцины с адьювантами ISA 61 и ISA 50

Table 4. Results of assessing colostrum immunity when using seven-component vaccine samples with adjuvants ISA 61 and ISA 50

Адьювант	Срок исследования	Титр антител к вирусу						
		ИРТ	ВД	ПГ-3	РС	РВ	КВ	АВ
№ 1, ISA 61	D ₀	30	69	32	0	17	34	0
	I	91	194	111	45	169	181	60
	II	239	274	223	111	256	294	147
телята	---	119	128	119	48	147	137	60
№ 2, ISA 50	D ₀	34	73	38	0	24	30	0
	I	84	208	97	39	147	137	56
	II	223	294	223	104	239	256	137
телята	-	111	147	104	39	137	119	69
№ 3, плацебо	D ₀	32	79	34	0	30	42	0
	I	42	84	30	0	39	49	0
	II	45	78	49	0	52	42	0
телята	-	22	34	26	0	26	16	0

Рис. 1. Эффективность применения экспериментальных образцов в условиях животноводческого хозяйства

Fig. 1. Efficiency of using experimental samples in livestock farming conditions



морских свинок, так и в опыте на телятах и стельных коровах. Уровень колостральных антител был выше в группе новорожденных телят, полученных от коров, вакцинированных данным экспериментальным образцом.

Эффективность применения вакцины на основе адьюванта ISA 61 в условиях животноводческого хозяйства, неблагополучного по основным респираторным и кишечным заболеваниям вирусной этиологии, была выше по показателям заболеваемости и смертности телят, которые на 4,1% и 0,8%, соответственно, были ниже, чем в группе животных, которых вакцинировали образцом на основе ISA 50, и на 44,8% и 6% ниже, чем в группе животных, которым вводили образец плацебо.

При этом динамическая вязкость образца вакцины на основе адьюванта ISA 61 была в 2,4 раза меньше, чем у аналогичного образца, изготовленного на основе ISA 50, что в свою очередь положительно влияет на такие характеристики, как текучесть готовой вакцины и удобство ее применения.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красочко П.А. и др. Адьюванты при конструировании ассоциированных вакцин против инфекционных энтеритов молодняка крупного рогатого скота. *Ветеринарна біотехнологія*. 2019; 35: 90–99. <https://www.elibrary.ru/ymlmoa>
2. Шемелькова Г.О. и др. Специфическая профилактика аденовирусной инфекции крупного рогатого скота с использованием комбинированной вакцины. *Ветеринария Кубани*. 2013; 3: 3–5. <https://elibrary.ru/qcorxr>
3. Веселовский С.Ю. Испытание гидроксипатита в качестве адьюванта на лабораторных животных. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021; 6: 251–255. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-251-255>
4. Trier N.H., Güven E., Skogstrand K., Ciplys E., Slibinskas R., Houen G. Comparison of immunological adjuvants. *Journal of Pathology, Microbiology and Immunology*. 2019; 127(9): 635–641. <https://doi.org/10.1111/apm.12976>
5. Балашов А.Н., Лозовой Д.А., Борисов А.В., Михалишин Д.В., Доронин М.И. Оценка эффективности и безопасности применения для крупного рогатого скота инактивированных антирабических вакцин из штамма «ВНИИЗЖ» с использованием разных адьювантов. *Ветеринария сегодня*. 2019; 4: 37–42. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2019-4-31-37-42>
6. Пукач Ю.С., Виршич А.В., Герасименко В.И. Применение адьювантов и иммуностимуляторов в современном производстве вирусных вакцин (обзор). *Эпизоотология. Иммунология. Фармакология. Санитария*. 2018; 1: 18–24. <https://elibrary.ru/rsbnic>
7. Chen X. et al. Comparison of four adjuvants revealed the strongest protection against lethal pneumococcal challenge following immunization with PsaA-PspA fusion protein and AS02 as adjuvant. *Medical Microbiology and Immunology*. 2019; 208(2): 215–226. <https://doi.org/10.1007/s00430-019-00579-9>
8. Johnson L., Duschl A., Himly M. Nanotechnology-Based Vaccines for Allergen-Specific Immunotherapy: Potentials and Challenges of Conventional and Novel Adjuvants under Research. *Vaccines*. 2020; 8(2): 237. <https://doi.org/10.3390/vaccines8020237>
9. Алипер Т.И. и др. Актуальные инфекционные болезни крупного рогатого скота. Руководство. М.: ЗооВетКнига. 2021; 832. ISBN 978-5-6045813-8-4 <https://www.elibrary.ru/qxnytt>
10. Алпатова Н.А., Авдеева Ж.И., Лыскова С.Л., Головинская О.В., Гайдерова Л.А. Общая характеристика адьювантов и механизм их действия (ч. 1). БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение. 2020; 20(4): 245–256. <https://doi.org/10.30895/2221-996X-2020-20-4-245-256>
11. Heath M.D. et al. Shaping Modern Vaccines: Adjuvant Systems Using MicroCrystalline Tyrosine (MCT®). *Frontiers in Immunology*. 2020; 11: 594911. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.594911>
12. Tizard I.R. Bovine vaccines. Tizard I.R. Vaccines for Veterinarians. *Elsevier*. 2021; 193–214.e1. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-68299-2.00025-3>
13. Kaurav M., Madan J., Sudheesh M.S., Pandey R.S. Combined adjuvant-delivery system for new generation vaccine antigens: alliance has its own advantage. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*. 2018; 46(S3): 818–831. <https://doi.org/10.1080/21691401.2018.1513941>

REFERENCES

1. Krasochko P.A. et al. Adjuvants in construction of mixed vaccines against infectious enteritis of calves. *Veterinarna biotekhnologiya*. 2019; 35: 90–99 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ymlmoa>
2. Shemelkova G.O. et al. Specific prevention of adenoviral infection of cattle with combined vaccine. *Veterinaria Kubani*. 2013; 3: 3–5 (in Russian). <https://elibrary.ru/qcorxr>
3. Veselovsky S.Yu. Testing of hydroxyapatite as an adjuvant in laboratory animals. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 6: 251–255 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-251-255>
4. Trier N.H., Güven E., Skogstrand K., Ciplys E., Slibinskas R., Houen G. Comparison of immunological adjuvants. *Journal of Pathology, Microbiology and Immunology*. 2019; 127(9): 635–641. <https://doi.org/10.1111/apm.12976>
5. Balashov A.N., Lozovoy D.A., Borisov A.V., Mikhailishin D.V., Doronin M.I. Assessment of efficacy and safety of inactivated rabies vaccines based on “ARRIAH” strain and formulated with different adjuvants in cattle. *Veterinary Science Today*. 2019; 4: 37–42. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2019-4-31-37-42>
6. Pukach Yu.S., Virsich A.V., Gerasimenko V.I. The use of adjuvants and immunostimulants in the modern production of viral vaccines (review). *Epizootology. Immunobiology. Pharmacology. Sanitation*. 2018; 1: 18–24 (in Russian). <https://elibrary.ru/rsbnic>
7. Chen X. et al. Comparison of four adjuvants revealed the strongest protection against lethal pneumococcal challenge following immunization with PsaA-PspA fusion protein and AS02 as adjuvant. *Medical Microbiology and Immunology*. 2019; 208(2): 215–226. <https://doi.org/10.1007/s00430-019-00579-9>
8. Johnson L., Duschl A., Himly M. Nanotechnology-Based Vaccines for Allergen-Specific Immunotherapy: Potentials and Challenges of Conventional and Novel Adjuvants under Research. *Vaccines*. 2020; 8(2): 237. <https://doi.org/10.3390/vaccines8020237>
9. Aliper T.I. et al. Topical infectious diseases of cattle. Guide. Moscow. *ZooVetKniga*. 2021; 832 (in Russian). ISBN 978-5-6045813-8-4 <https://www.elibrary.ru/qxnytt>
10. Alpatova N.A., Avdeeva Zh.I., Lysikova S.L., Golovinskaya O.V., Gayderova L.A. General Characteristics of Adjuvants and Their Mechanism of Action (Part 1). *BIOpreparations. Prevention, Diagnosis, Treatment*. 2020; 20(4): 245–256 (in Russian). <https://doi.org/10.30895/2221-996X-2020-20-4-245-256>
11. Heath M.D. et al. Shaping Modern Vaccines: Adjuvant Systems Using MicroCrystalline Tyrosine (MCT®). *Frontiers in Immunology*. 2020; 11: 594911. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.594911>
12. Tizard I.R. Bovine vaccines. Tizard I.R. Vaccines for Veterinarians. *Elsevier*. 2021; 193–214.e1. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-68299-2.00025-3>
13. Kaurav M., Madan J., Sudheesh M.S., Pandey R.S. Combined adjuvant-delivery system for new generation vaccine antigens: alliance has its own advantage. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*. 2018; 46(S3): 818–831. <https://doi.org/10.1080/21691401.2018.1513941>

ОБ АВТОРАХ

Евгений Владимирович Шемельков
кандидат ветеринарных наук, заместитель директора по производству и инновациям
shemelkov@mail.ru

Галина Олеговна Шемелькова
кандидат биологических наук,
старший микробиолог ОКК
shemelckova@yandex.ru

Евгений Валерьевич Иванов
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
doctor2112@yandex.ru

Александр Дмитриевич Булгаков
кандидат ветеринарных наук, начальник цеха
bulgakov_ad@mail.ru

Олег Анатольевич Верховский
доктор биологических наук, профессор, заведующий отделом научно-исследовательских работ
verkhovsky@rosvet.ru

Тарас Иванович Алипер
доктор биологических наук,
профессор, председатель совета директоров
aliper@vetbio.ru

ООО «Ветбиохим»,
Волгоградский пр-т, 42, Москва, 109316, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Evgeny Vladimirovich Shemelkov
Candidate of Veterinary Sciences,
Deputy Director for Production and Innovation
shemelkov@mail.ru

Galina Olegovna Shemelkova
Candidate of Biology Sciences, Senior Microbiologist of the Quality Control Department
shemelckova@yandex.ru

Evgeny Valerievich Ivanov
Candidate of Biology Sciences, Leading Researcher
doctor2112@yandex.ru

Alexander Dmitrievich Bulgakov
Candidate of Veterinary Sciences, Head of Department
bulgakov_ad@mail.ru

Oleg Anatolyevich Verkhovsky
Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Scientific Research
verkhovsky@rosvet.ru

Taras Ivanovich Aliper
Doctor of Biological Sciences,
Professor, Chairman of the Board of Directors
aliper@vetbio.ru

LLC “Vetbiohim”,
42 Volgogradsky Prospekt, Moscow, 109316, Russia

ВАКЦИНЫ ДЛЯ НАДЕЖНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЕЗНЕЙ КРС

ВАКЦИНА ПРОТИВ
НЕКРОБАКТЕРИОЗА
УНГОВАК FN



СЕРИЯ ВАКЦИН
ПРОТИВ ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ
КОМБОВАК

ВАКЦИНА ПРОТИВ
КЛОСТРИДИОЗОВ
КЛОСТБОВАК-8



www.vetbio.ru

info@vetbio.ru

+7 (495) 640-1714, +7 (800) 777-9814

Ю.О. Лящук¹ ✉
А.Ю. Овчинников¹
М.В. Беляков¹
Г.Н. Самарин^{1, 2}
М.В. Калашников³

¹ Федеральным научным агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

² Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

³ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский университет), Москва, Россия

✉ ularzn@mail.ru

Поступила в редакцию:
17.02.2024

Одобрена после рецензирования:
15.05.2024

Принята к публикации:
30.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-50-55

Julia O. Lyashchuk¹ ✉
Alexey Yu. Ovchinnikov¹
Mikhail V. Belyakov¹
Gennady N. Samarin^{1, 2}
Maxim V. Kalashnikov³

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

² State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

³ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russia

✉ ularzn@mail.ru

Received by the editorial office:
17.02.2024

Accepted in revised:
15.05.2024

Accepted for publication:
30.05.2024

Обзор средств антибиотикотерапии, активных в отношении возбудителей инфекционного мастита

РЕЗЮМЕ

Эффективность лечения животных во многом зависит от правильно подобранных ветеринарных препаратов. В последние годы наблюдается снижение активности антимикробных средств в отношении как грамположительных, так и грамотрицательных микроорганизмов. Данная тенденция связана с естественными процессами адаптации бактерий к условиям жизни. Попадая внутрь организма животного, бактериальные клетки гибко реагируют как на иммунный ответ, так и на лечение антимикробными средствами. В случае когда медицинская помощь была оказана антибиотиками с низкой активностью в отношении конкретного возбудителя, имело место несоблюдение сроков или отклонения от схемы лечения, часть бактериальных клеток может не только не погибнуть, но и обрести лекарственную устойчивость. Выжившие микроорганизмы могут сменить тип колониального роста, форму оболочки (множество исследований современности посвящено L-формам бактерий, которые образуются под воздействием неблагоприятных факторов, в том числе антибиотиков) или приобрести новые качества посредством мутационных изменений. Именно эти процессы являются драйвером появления штаммов бактерий, резистентных к антимикробным препаратам. В итоге многие схемы лечения перестают давать желаемый результат, поскольку включают в себя препараты, действующие компоненты которых не оказывают должного бактерицидного эффекта на резистентные штаммы. Чтобы лечение животных обладало терапевтической эффективностью, необходимы тщательный мониторинг антимикробных средств и составление их актуального перечня с опорой на действующие вещества и лекарственную устойчивость возбудителей инфекционных заболеваний. Таким образом, обзоры эффективных средств антибиотикотерапии являются актуальным направлением ветеринарной медицины.

Ключевые слова: инфекционные заболевания, крупный рогатый скот, бактериальные маститы, лечение животных, антибиотикотерапия, молочная продуктивность

Для цитирования: Лящук Ю.О., Овчинников А.Ю., Беляков М.В., Самарин Г.Н., Калашников М.В. Обзор средств антибиотикотерапии, активных в отношении возбудителей инфекционного мастита. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 50–55.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-50-55>

© Лящук Ю.О., Овчинников А.Ю., Беляков М.В., Самарин Г.Н., Калашников М.В.

Review of antibiotic agents active against infectious mastitis pathogens

ABSTRACT

The effectiveness of animal treatment largely depends on correctly selected veterinary drugs. In recent years, there has been a decrease in the activity of antimicrobial agents against both gram-positive and gram-negative microorganisms. This trend is associated with the natural processes of adaptation of bacteria to living conditions. Once inside the animal's body, bacterial cells react flexibly to both the immune response and treatment with antimicrobial agents. In cases where medical care was provided with antibiotics with low activity against a specific pathogen, there was a failure to comply with deadlines or deviations from the treatment regimen, some bacterial cells may not only not die, but also acquire drug resistance. Surviving microorganisms can change the type of colonial growth, the shape of the shell (many modern studies are devoted to L-forms of bacteria, which are formed under the influence of unfavorable factors, including antibiotics) or acquire new qualities through mutational changes. It is these processes that drive the emergence of bacterial strains resistant to antimicrobial drugs. As a result, many treatment regimens cease to give the desired result, since they include drugs whose active components do not have the proper bactericidal effect on resistant strains. In order for the treatment of animals to have therapeutic effectiveness, careful monitoring of antimicrobial agents and the compilation of an up-to-date list of them is necessary, based on the active substances and drug resistance of pathogens of infectious diseases. Thus, reviews of effective antibiotic therapy are a current area of veterinary medicine.

Key words: infectious diseases, cattle, bacterial mastitis, animal treatment, antibiotic therapy, milk production

For citation: Lyashchuk Yu.O., Ovchinnikov A.Yu., Belyakov M.V., Samarin G.N., Kalashnikov M.V. Review of antibiotic agents active against infectious mastitis pathogens. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 50–55 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-50-55>

© Lyashchuk Yu.O., Ovchinnikov A.Yu., Belyakov M.V., Samarin G.N., Kalashnikov M.V.

Введение/Introduction

Мастит является одним из наиболее распространенных заболеваний вымени у лактирующих коров и наносит существенный урон молочному животноводству [1].

Заболевание может быть вызвано факторами инфекционной этиологии, травматическими факторами, а также факторами, предрасполагающими и способствующими возникновению мастита [1, 2].

Травматические факторы негативного воздействия выделяют в следующие группы:

Механические факторы. К ним относится самая большая группа причин, вызывающих микро- и макротравмы вымени и сосков. Среди макротравм выделяют раны, ушибы и трещины кожи. Возникновение микротравм обусловлено несовершенством доильной техники, ее неисправностью, нарушениями технологии машинного доения (уровень вакуума, его стабильность, изменение частоты пульсации и др.).

Температурные факторы. К ним относится действие низких и высоких температур (охлаждение, обморожение, ожог, повышенная влажность на выгульных площадках и в помещениях при отсутствии подстилочного материала).

Химические факторы. В данную группу входят раздражающие вещества, воздействующие на ткани вымени (щелочи, кислоты, соли, фитоэстрогены, токсины и др.).

Среди предрасполагающих факторов (создающих условия для возникновения и развития воспалительного процесса) выделяют:

1. Нарушение условий содержания (скученность, неудовлетворительный микроклимат в животноводческих помещениях, лежание на полах с повышенной теплопроводностью без утепляющих покрытий, отсутствие активного моциона).

2. Нарушение условий кормления (особенно перед отелом и сразу после него, скармливание недоброкачественных кормов, резкий переход от одного корма к другому, отравления карбамидами, нитратами, нитритами, ядовитыми растениями).

3. Наличие заболеваний ЖКТ (гастроэнтериты, атония преджелудков).

4. Нарушение обмена веществ (остеомалация, ацетонемия, гиповитаминозы и авитаминозы).

5. Наличие гинекологических заболеваний (задержка последа, атония матки, метриты).

6. Нарушение режима эксплуатации животных (пропуск очередного доения, неполное выдаивание в результате неисправностей доильного аппарата или грубого обращения с животными, игнорирование проведения машинного додаивания, неправильный запуск коров).

К факторам, способствующим заболеванию маститом, относятся индивидуальные особенности организма коров: неправильная форма вымени и сосков; наследственная, генетически обусловленная предрасположенность к маститу, передающаяся по линии быка и семейству матери.

Болезнь может протекать с явными клиническими признаками (диагностируется у 20–25% коров молочного стада) или латентно — субклинически [2]. Субклинический мастит может быть диагностирован у 35–50% коров молочного стада с помощью

специальных тестов [3]. Субклиническая форма чаще встречается в регионах с развитым молочным скотоводством, особенно на фермах с высоким уровнем технического оснащения и высокой молочной продуктивностью животных [4].

Возбудители инфекционного мастита могут иметь различную этиологию, однако наиболее часто заболевание имеет бактериальное происхождение и вызвано патогенными и условно патогенными микроорганизмами [5]. Ущерб, наносимый маститами сельскому хозяйству, обусловлен снижением молочной продуктивности и преждевременной выбраковкой животных, затратами на диагностику и лечение, а также безвозвратными потерями денежных средств в результате ухудшения качества молока и снижения его ценовой категории [6].

Для минимизации ущерба, наносимого маститами, необходимы надлежащие условия кормления и содержания животных, поскольку скученность способствует антисанитарии и распространению инфекции [7], снижение уровня стресса и негативной нагрузки на организм [8, 9], а также своевременное и эффективное лечение антибактериальными препаратами, активными в отношении возбудителей, вызвавших заболевание [10].

В настоящее время в ветеринарной практике применяется довольно широкий спектр антимикробных препаратов. Однако подбор эффективной лечебной комбинации порой является сложной задачей, поскольку всё большее количество бактерий начинает проявлять устойчивость к антимикробным средствам, в результате чего многие схемы лечения перестают давать желаемый результат, поскольку включают в себя препараты, действующие компоненты которых не оказывают должного бактерицидного эффекта на резистентные штаммы.

Чтобы лечение животных обладало терапевтической эффективностью, необходимы тщательный мониторинг антимикробных средств и составление их актуального перечня с опорой на действующие вещества и лекарственную устойчивость возбудителей инфекционных заболеваний.

Цель исследования — анализ современных средств антибиотикотерапии, активных в отношении возбудителей инфекционного мастита у крупного рогатого скота.

Задачи исследования: провести анализ случаев инфекционного мастита у крупного рогатого скота на территории нашей страны за шестилетний период, выявить топ-5 возбудителей и провести обзор современных средств антибиотикотерапии, активных в отношении возбудителей инфекционного мастита у крупного рогатого скота.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Анализ динамики инфекционной заболеваемости маститом крупного рогатого скота был построен на основе статистических материалов Центра ветеринарии Российской Федерации¹ и Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору². В ходе проведения исследований были проанализированы протоколы санитарно-зооигиенических исследований молока, на основе которых с помощью статистических и аналитических методов выявлен ряд возбудителей с построением полиномиальных линий тренда с 2017 по 2022 г.

¹ Официальный сайт ФГБУ «Центр ветеринарии Российской Федерации» [Электронный ресурс]: <https://xn----8sbfkavba6bf4aedue4d.xn--p1ai/>

² Официальный сайт Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору [Электронный ресурс]: <https://old.fsvps.gov.ru/>

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В ходе проведения работы были проанализированы результаты лабораторных исследований по коду 6.4.6. «Исследования молока на мастит, включая подтитровку к антибиотикам», направленных на выявление наиболее часто встречающихся возбудителей данного заболевания в 2017–2022 гг.

Пик заболеваемости инфекционным маститом пришелся на 2019 год, превысив показатели 2017 года более чем в 3 раза. Начиная с 2018 года заболеваемость пошла на спад благодаря своевременно принятым противоэпизоотическим мерам. К 2022 году показатели заболеваемости инфекционным маститом снизились в 4,5 раза по сравнению с 2019 годом и в 1,5 раза по сравнению с 2017-м.

С целью выявления наиболее часто встречающихся возбудителей мастита провели анализ результатов санитарно-зооигиенических исследований за каждый год рассматриваемого периода (рис. 1–6).

Анализ данных показывает, что по результатам исследования молока на инфекционный мастит в 2017 году преобладающим возбудителем инфекции являлись различные штаммы *Escherichia coli* (49% случаев заболеваемости), 34% случаев заболеваемости инфекционным маститом пришлось на долю *Staphylococcus aureus*, в 12% случаев инфекционный мастит был вызван стрептококками (11% *Streptococcus dysagalactiae*, 1% *Streptococcus agalactiae*). Наименьшее количество случаев заболеваемости инфекционным маститом у молочных коров пришлось на долю *Pseudomonas aeruginosa* (3%) и *Bacillus cereus* (2%).

Анализ данных показывает, что по результатам исследования молока на инфекционный мастит в 2018 году преобладающим возбудителем инфекции являлись различные штаммы *Escherichia coli* (44% случаев заболеваемости), 32% случаев заболеваемости инфекционным маститом пришлось на долю *Staphylococcus aureus*, 10% случаев инфекционный мастит был вызван стрептококками (10% *Streptococcus agalactiae*, 2% *Streptococcus dysagalactiae*). Количество случаев заболеваемости инфекционным маститом у молочных коров, выпавшее на долю *Pseudomonas aeruginosa*, составило 4%.

Анализ данных показывает, что в 2019 году преобладающим возбудителем инфекции являлись различные штаммы *Escherichia coli* (59% случаев заболеваемости), 26% случаев инфекционный мастит был вызван *Staphylococcus aureus*, 9% заболеваемости пришлось на долю стрептококков (6% *Streptococcus agalactiae*, 3% *Streptococcus dysagalactiae*). Наименьшее количество случаев заболеваемости инфекционным маститом у молочных коров пришлось на долю *Pseudomonas aeruginosa* (3%) и *Bacillus cereus* (1%).

Анализ данных показывает, что в 2020 году преобладающим возбудителем инфекции являлись различные штаммы *Escherichia coli* (48% случаев заболеваемости), 20% случаев инфекционный мастит был вызван *Staphylococcus aureus*, 13% случаев инфекционный мастит был вызван стрептококками (10% *Streptococcus agalactiae*, 3% *Streptococcus dysagalactiae*). Количество случаев заболеваемости инфекционным маститом у молочных коров, выпавшее на долю *Pseudomonas aeruginosa*, составило 6%.

Анализ данных показывает, что в 2020 году большинство случаев заболеваемости молочных коров инфекционным маститом (48%) были вызваны *Staphylococcus*

Рис. 1. Результаты санитарно-зооигиенических исследований, 2017 г.

Fig. 1. Results of sanitary and zoohygienic studies, 2017

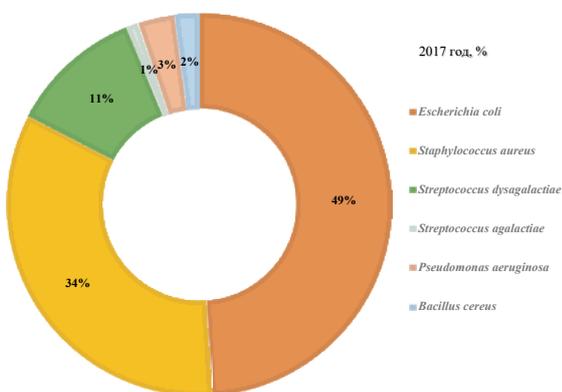


Рис. 2. Результаты санитарно-зооигиенических исследований, 2018 г.

Fig. 2. Results of sanitary and zoohygienic studies, 2018

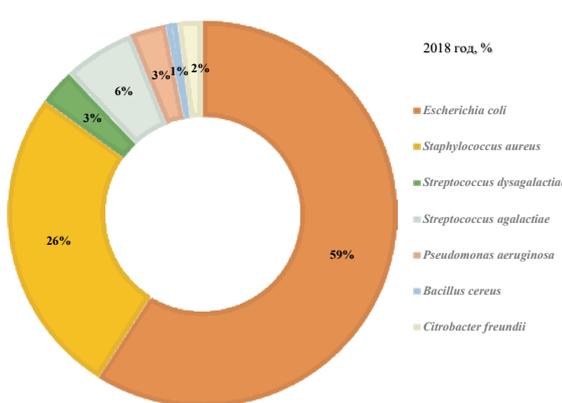


Рис. 3. Результаты санитарно-зооигиенических исследований, 2019 г.

Fig. 3. Results of sanitary and zoohygienic studies, 2019

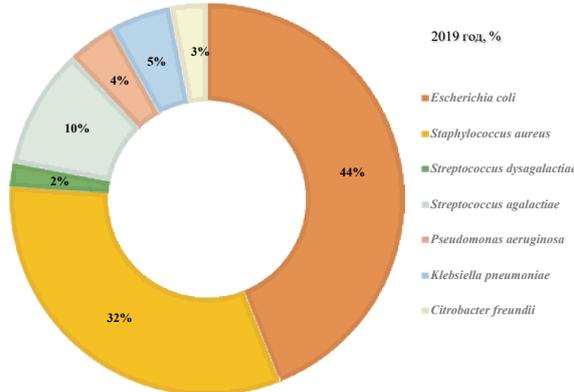


Рис. 4. Результаты санитарно-зооигиенических исследований, 2020 г.

Fig. 4. Results of sanitary and zoohygienic studies, 2020

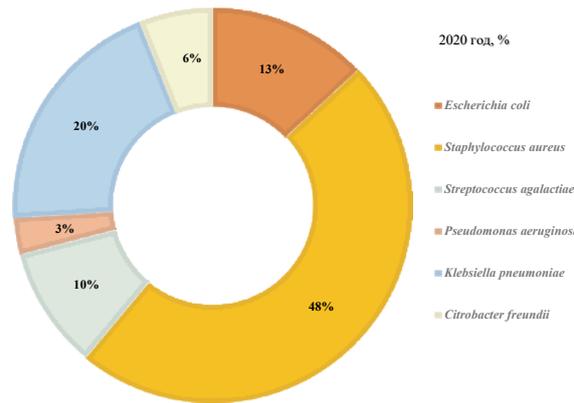
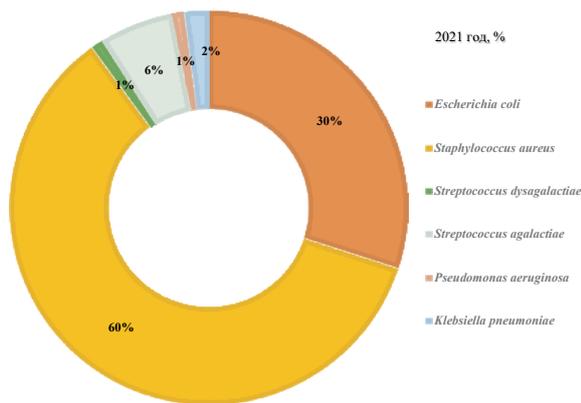


Рис. 5. Результаты санитарно-зооигиенических исследований, 2021 г.

Fig. 5. Results of sanitary and zoohygienic studies, 2021



aureus. Вторая по величине доля инфекционной заболеваемости (39%) пришлось на группу бактерий кишечной палочки (20% *Klebsiella pneumoniae*, 13% *Escherichia coli*, 6% *Citrobacter freundii*). В 10% случаев инфекционный мастит был вызван *Streptococcus agalactiae*. Наименьшее количество случаев заболеваемости инфекционным маститом у молочных коров пришлось на долю *Pseudomonas aeruginosa* (3%).

Анализ данных показывает, что в 2021 году большинство случаев заболеваемости молочных коров инфекционным маститом (60%) были вызваны *Staphylococcus aureus*. Вторая по величине доля инфекционной заболеваемости (32%) пришлось на группу бактерий кишечной палочки (2% *Klebsiella pneumoniae*, 30% *Escherichia coli*). 7% заболеваемости пришлось на долю стрептококков (6% *Streptococcus agalactiae*, 1% *Streptococcus dysgalactiae*). Наименьшее количество случаев заболеваемости инфекционным маститом у молочных коров пришлось на долю *Pseudomonas aeruginosa* (1%).

Анализ данных показывает, что в 2022 году большинство случаев заболеваемости молочных коров инфекционным маститом (71%) были вызваны *Staphylococcus aureus*, на втором месте находится *Escherichia coli* (21%), третье место занимают *Streptococcus agalactiae* (8%).

Анализ результатов санитарно-зооигиенических исследований с 2017 по 2022 год позволил выявить топ-5 возбудителей мастита у молочных коров (рис. 7).

Рис. 7. Результаты санитарно-зооигиенических исследований, 2017–2022 гг.

Fig. 7. Results of sanitary and zoohygienic studies, 2017–2022

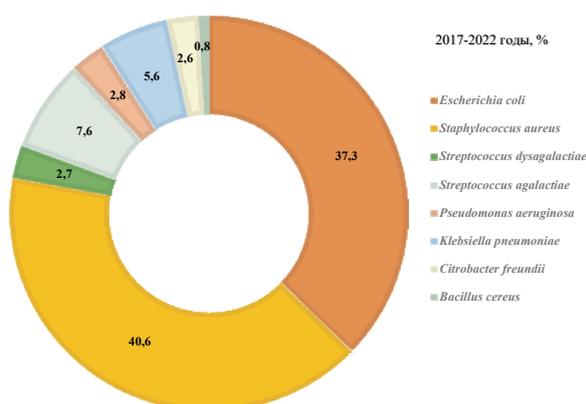
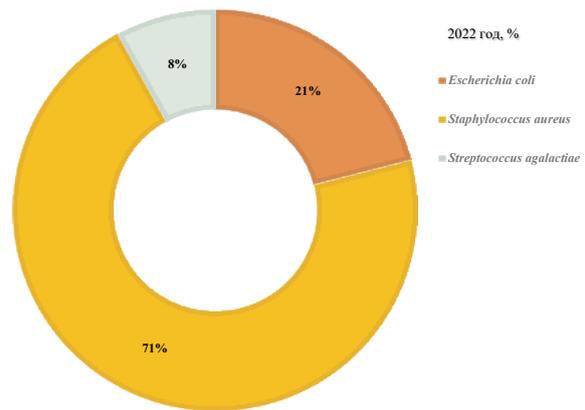


Рис. 6. Результаты санитарно-зооигиенических исследований, 2022 г.

Fig. 6. Results of sanitary and zoohygienic studies, 2022



Анализ данных показывает, что топ-5 возбудителей мастита у молочных коров за 2017–2022 годы включает:

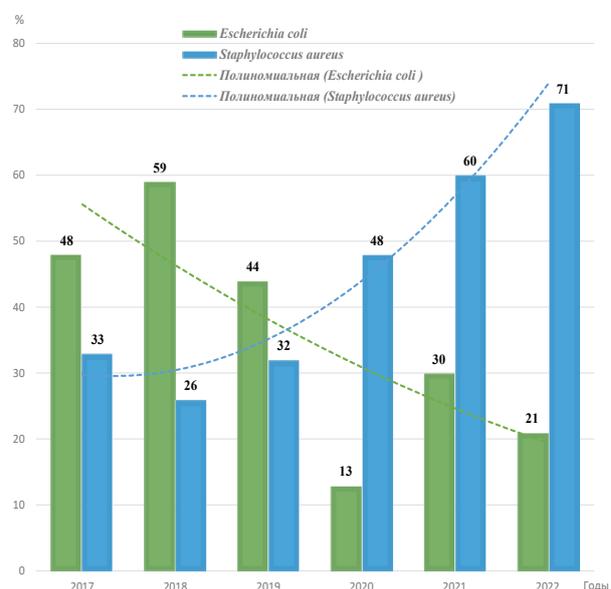
1. *Staphylococcus aureus* (40,6%).
2. *Escherichia coli* (37,3%).
3. *Streptococcus agalactiae* (7,6%).
4. *Klebsiella pneumoniae* (5,6%).
5. *Pseudomonas aeruginosa* (2,8%).

Необходимо отметить, что за рассматриваемый период *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli* динамично замещали друг друга в плане преобладания доли заболеваемости инфекционным маститом (рис. 8).

Как показывает анализ полиномиальных линий тренда, *Escherichia coli* занимала первое место по доле преобладанию в структуре инфекционной заболеваемости маститом до 2019 года включительно, начиная с 2020 года до конца рассматриваемого периода на первое место вышел *Staphylococcus aureus*, что некоторые специалисты [1, 5, 6, 11, 12] связывают с распространением метициллин-резистентных штаммов золотистого стафилококка.

Рис. 8. Динамика преобладания долей *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli* по результатам санитарно-зооигиенических исследований молока на инфекционный мастит

Fig. 8. Dynamics of the prevalence of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* according to the results of sanitary and zoohygienic studies of milk for infectious mastitis



Проведенный анализ официальных информационных источников (в том числе протоколов лечения)³ позволил сделать выводы, что среди антибактериальных средств довольно активное применение имеют комбинированные препараты, содержащие антибиотики широкого спектра действия группы пенициллинов, аминокликозидов и хинолонов.

Среди лекарственных средств российского производства ветеринарные специалисты отмечают положительный эффект препаратов для интрацестернального введения, таких как «Лактико»⁴, «Лактико профи»⁵, «Лактико профи лонг»⁶, «Гамарет»⁷, «Энрофлон гель»⁸ и «Мастигард»⁹. Широкое применение имеют препараты «Мастисан А»¹⁰ и «Амоксициллин LA»¹¹, вводимые инъекционно.

Для профилактики и лечения маститов ветеринарные специалисты рекомендуют проводить комплексную терапию, комбинируя антибактериальный препарат и иммуноукрепляющее средство [5, 12, 13].

По результатам исследований, проведенных российскими учеными [6], при лечении животных комбинациями препаратов «Лактико» + «Активитон»¹² и «Гамарет» + «Гаммавит Био»¹³ восстановленная молочная продуктивность у коров после выздоровления была выше, а сроки лечения короче по сравнению с контрольной группой, которой вводили только антимикробный препарат «Мастисан А».

Таким образом, подводя итоги анализа, необходимо отметить, что при лечении мастита у крупного рогатого скота наиболее эффективными являются комбинированные схемы лечения, в которые, помимо

антимикробных препаратов, включают иммуноукрепляющие средства.

Выводы/Conclusions

В заключение хотелось бы отметить, что для выбора эффективной схемы лечения мастита ветеринарные специалисты должны опираться на результаты санитарно-зооигиенических исследований, чтобы подобрать сочетание антимикробных средств, активных в отношении возбудителя инфекции.

Проведенный в работе анализ, показал, что среди наиболее часто встречающихся возбудителей мастита у молочных коров можно отметить различные штаммы *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Streptococcus agalactiae*, *Klebsiella pneumoniae* и *Pseudomonas aeruginosa*, в связи с чем для лечения маститов крупного рогатого скота бактериальной этиологии в современной ветеринарии применяют комбинированные антимикробные препараты (чаще всего в форме суспензий для интрацестернального введения), содержащие антибиотики широкого спектра действия группы пенициллинов, аминокликозидов и хинолонов, при этом эффективность терапии возрастает в случае сочетания антибактериального препарата с иммуноукрепляющим средством (сроки лечения короче, восстановленная молочная продуктивность после выздоровления выше по сравнению с лечением только антимикробными средствами).

Как показывает практика, своевременно принятые меры профилактики и лечения позволяют снизить заболеваемость инфекционным маститом у лактирующих коров и сохранить здоровье животных.

³ Наставление по диагностике, терапии и профилактике мастита у коров (утв. Министерством сельского хозяйства и продовольствия РФ 30 марта 2000 г. № 13-5-2/1948).

⁴ <https://vicgroup.ru/catalog/laktiko/>

⁵ <https://vicgroup.ru/catalog/laktiko-profi/>

⁶ <https://vicgroup.ru/catalog/laktiko-profi-long/>

⁷ <https://vicgroup.ru/catalog/gamaret-intramammarnaya-suspenziya/>

⁸ <https://vicgroup.ru/catalog/enroflon-gel/>

⁹ <https://www.nita-farm.ru/produksiya/mastigard/>

¹⁰ <https://www.nita-farm.ru/produksiya/mastisan/>

¹¹ <https://vicgroup.ru/catalog/amokitsillin-15-la/>

¹² <https://vicgroup.ru/catalog/aktiviton/>

¹³ <https://vicgroup.ru/catalog/gammavit-bio/>

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу.

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заузолкова О.И., Лазовский В.А., Козиков И.Н. Современный взгляд на терапию мастита в условиях промышленного животноводства. *Аграрная наука*. 2020; 9: 15–18. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-341-9-15-18>
2. Lyashchuk Yu.O., Ivanishchev K.A., Shchur A.V. Assessment of alimentary-caused biological risk factors according to the parameters of resistance to the effects of chemical disinfectants. *Аграрный вестник Урала*. 2022; 12: 54–61. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-227-12-54-61>
3. Ulivanova G., Fedosova O., Karelina O., Kulakov V., Sayitkhanov E. Analysis of the influence of feeding on the change in the mineral composition of blood of the cattle of different physiological groups when intensifying production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 979: 012088. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012088>
4. Kirsanov V.V., Dorokhov A.S., Ivanov Yu.A. Графоаналитическая оценка функционирования локальных биотехнических систем в животноводстве. *Агринженерия*. 2023; 25(2): 4–9. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-4-9>
5. Алиев А.Ю., Карпусченко К.А. Альтернативное средство для лечения мастита у коров. *Аграрная наука*. 2023; 10: 30–33 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-30-33>
6. Лусин Е.А. Критерии выбора антибактериальных препаратов при лечении мастита крупного рогатого скота. *Аграрная наука*. 2021; S4: 50–52. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-347-4-50-52>
7. Цой Ю.А., Мамедова Р.А., Павкин Д.Ю., Владимиров Ф.Е. Методика расчета ското-мест при реконструкции молочной фермы. *Техника и технологии в животноводстве*. 2023; 4: 22–28. <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-4-22>

REFERENCES

1. Zauzolkova O.I., Lazovsky V.A., Kozikov I.N. A modern look at the therapy of mastitis in industrial animal husbandry. *Agrarian science*. 2020; 9: 15–18 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-341-9-15-18>
2. Lyashchuk Yu.O., Ivanishchev K.A., Shchur A.V. Assessment of alimentary-caused biological risk factors according to the parameters of resistance to the effects of chemical disinfectants. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 12: 54–61. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-227-12-54-61>
3. Ulivanova G., Fedosova O., Karelina O., Kulakov V., Sayitkhanov E. Analysis of the influence of feeding on the change in the mineral composition of blood of the cattle of different physiological groups when intensifying production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 979: 012088. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012088>
4. Kirsanov V.V., Dorokhov A.S., Ivanov Yu.A. Graph analytics of the performance of local biotechnical systems in animal husbandry. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023; 25(2): 4–9 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-4-9>
5. Aliev A.Yu., Karpuschenko K.A. An alternative remedy for the treatment of mastitis in cows. *Agrarian science*. 2023; 10: 30–33. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-30-33>
6. Lyusin E.A. Criteria for the selection of antibacterial drugs in the treatment of bovine mastitis. *Agrarian science*. 2021; S4: 50–52 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-347-4-50-52>
7. Tsoi Yu.A., Mamedova R.A., Pavkin D.Yu., Vladimirov F.E. The method of cattleplaces' calculation at dairy farms reconstruction. *Machinery and technologies in livestock*. 2023; 4: 22–28 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-4-22>

8. Иванов Ю.Г., Понизовкин Д.А., Мошонкин А.М., Жумагулов Ж.Б. Анализ математических моделей контроля параметров, характеризующих состояние теплового стресса животных на молочных фермах. *Техника и технологии в животноводстве*. 2023; 4: 36–41. <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-4-36>

9. Матвеева А.В., Сайтханов Э.О. Изменения в гематологическом и биохимическом профиле у коров при стрессе, вызванном патологиями конечностей. *Международный вестник ветеринарии*. 2019; 3: 109–113. <https://elibrary.ru/bqosqgm>

10. Britan M.N., Gerceva K.A., Kiseleva E.V., Kulakov V.V., Saytkhanov E.O., Soshkin R.S. Nosological profile of animal farms of Ryazan Oblast and evaluation of the efficiency of modern medicines for treating mastitis. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019; 11(1): 1040–1048. <https://elibrary.ru/blczzi>

11. Britan M., Saytkhanov E., Kapay N. Определение хронической токсичности и аллергизирующих свойств нового противомаститного препарата «Альвесол». *Ветеринария сельскохозяйственных животных*. 2019; 9: 28–33. <https://elibrary.ru/tpxhxx>

12. Заболотская Т.В., Штауфен А.В., Волков М.Ю. Применение инновационных технологий в управлении инфекциями в животноводстве. *Техника и технологии в животноводстве*. 2024; 1: 33–38. <https://doi.org/10.22314/27132064-2024-1-33>

13. Kashirina L.G., Ivanishchev K.A., Romanov K.I. The quality of dairy products made from the milk of cows consuming vitamin-containing preparations. *BIO Web of Conferences*. 2020; 17: 00096. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700096>

8. Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A., Moshonkin A.M., Zhumagulov J.B. The analysis of parameters control of the animals thermal stress state characterizing's mathematical models on dairy farms. *Machinery and technologies in livestock*. 2023; 4: 36–41 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-4-36>

9. Matveeva A.V., Saytkhanov E.O. Changes in the hematological profile of cows under stress caused by pathologies of the limbs. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2019; 3: 109–113 (in Russian). <https://elibrary.ru/bqosqgm>

10. Britan M.N., Gerceva K.A., Kiseleva E.V., Kulakov V.V., Saytkhanov E.O., Soshkin R.S. Nosological profile of animal farms of Ryazan Oblast and evaluation of the efficiency of modern medicines for treating mastitis. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019; 11(1): 1040–1048. <https://elibrary.ru/blczzi>

11. Britan M., Saytkhanov E., Kapay N. Determination of chronic toxicity and allergenic properties of the new anti-mastitis drug "Alvesol". *Veterinariya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh*. 2019; 9: 28–33 (in Russian). <https://elibrary.ru/tpxhxx>

12. Zabolotskaya T.V., Staufen A.V., Volkov M.Yu. Application of innovative technologies at infection's management in livestock. *Machinery and technologies in livestock*. 2024; 1: 33–38 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/27132064-2024-1-33>

13. Kashirina L.G., Ivanishchev K.A., Romanov K.I. The quality of dairy products made from the milk of cows consuming vitamin-containing preparations. *BIO Web of Conferences*. 2020; 17: 00096. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700096>

ОБ АВТОРАХ

Юлия Олеговна Ляшчук¹

кандидат технических наук, научный сотрудник
ularzn@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3612-1707>

Алексей Юрьевич Овчинников¹

научный сотрудник
aleksovchinn@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2188-1527>

Михаил Владимирович Беляков¹

доктор технических наук, главный научный сотрудник
bmw20100@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4371-8042>

Геннадий Николаевич Самарин^{1, 2}

доктор технических наук, главный научный сотрудник,
заведующий лабораторией¹;
доктор технических наук, профессор кафедры
энергообеспечения сельского хозяйства²
samaringn@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4972-8647>

Максим Вячеславович Калашников³

студент
maxim07092001@gmail.com

¹ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

² Государственный аграрный университет Северного Зауралья,
ул. Республики, 7, Тюмень, 625003, Россия

³ Первый Московский государственный медицинский
университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения
Российской Федерации (Сеченовский университет),
ул. Большая Пироговская, 2, стр. 4, Москва, 119991, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Julia Olegovna Lyashchuk¹

Candidate of Technical Sciences, Researcher
ularzn@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3612-1707>

Alexey Yurievich Ovchinnikov¹

Researcher Associate
aleksovchinn@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2188-1527>

Mikhail Vladimirovich Belyakov¹

Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher
bmw20100@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4371-8042>

Gennady Nikolayevich Samarin^{1, 2}

Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Head of the
Laboratory¹;
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Energy
Supply of Agriculture²
samaringn@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4972-8647>

Maksym Vyacheslavovich Kalashnikov³

Student
maxim07092001@gmail.com

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM
5 1st Institute Passage, Moscow, 109428, Russia

² State Agrarian University of the Northern Trans-Urals,
7 Respubliki Str., Tyumen, 625003, Russia

³ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry
of Healthcare of the Russian Federation (Sechenov University),
Moscow, Russia
2, 4 Bolshaya Pirogovskaya Str., Moscow, 119991, Russia

УДК 636.082

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-56-61

К.Д. Сабетова ✉
 А.Д. Лемякин
 А.А. Чаицкий
 П.О. Щеголев
 Л.С. Баданина
 Н.Ю. Метляев
 А.С. Дудихин
 Н.А. Кочуева

Костромская государственная
 сельскохозяйственная академия,
 Кострома, Россия

✉ kseniyasabetova@mail.ru

Поступила в редакцию:
 21.03.2024

Одобрена после рецензирования:
 15.05.2024

Принята к публикации:
 30.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-56-61

Kseniya D. Sabetova ✉
 Alexander D. Lemyakin,
 Alexey A. Chaitkiy,
 Pavel O. Schiogolev,
 Lada S. Badanina,
 Nikita Yu. Metlyaev,
 Alexey S. Dudikhin,
 Natalya A. Kochueva

Kostroma State Agricultural Academy,
 Kostroma, Russia

✉ kseniyasabetova@mail.ru

Received by the editorial office:
 21.03.2024

Accepted in revised:
 15.05.2024

Accepted for publication:
 30.05.2024

Молочная продуктивность и уровень кетоновых тел в крови коров костромской породы разных генотипов LEP

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В настоящее время учеными осуществляется поиск генов, связанных не только с повышенным уровнем молочной продуктивности, но и с сохранением функционального долголетия и здоровья коров, с высоким уровнем реализации их генетического потенциала, а также с отличительным качеством молочной продукции. Имеющиеся данные позволяют рассматривать ген лептина (LEP) в качестве одного из генов-кандидатов молочной продуктивности.

Методы. Исследования проводили в 2022–2023 гг. на коровах костромской породы ($n = 107$), разводимых в Костромской области. У них в послеродовой период определяли содержание кетоновых тел в крови и генотипы по локусу R25C гена LEP. Животных разбили по группам в зависимости от концентрации кетоновых тел в крови: 1-я – 0–1,2 ммоль/л, 2-я – выше 1,2 ммоль/л.

Результаты. Установлено наличие предрасположенности высокопродуктивных коров к кетозу: у животных 2-й группы продуктивность была на 11,9% выше, чем в 1-й группе ($p < 0,05$). Наибольшее количество кетоновых тел в крови определяли у животных 2-й группы с генотипом LEPCT. Однако, несмотря на столь небольшое различие, разница в распределении частот встречаемости аллелей LEP в 1-й и 2-й группах оказалась статистически значимой ($\chi^2 = 63,48$, $p < 0,001$). При проверке гипотезы о значимой зависимости уровня молочной продуктивности от концентрации кетоновых тел в крови носительниц генотипа CC было получено статистически значимое значение ρ среди коров с генотипом CC на уровне 0,37 ($p = 0,038$). Ранговая корреляция между удоем и содержанием кетоновых тел у носительниц генотипов СТ и ТТ была слабой и недостоверной ($p > 0,05$). Тенденция к тесной связи между уровнем кетоновых тел и содержанием жира в молоке коров генотипа ТТ ввиду низкой его концентрации в выборке требует подтверждения на большем поголовье коров с этим генотипом по гену лептина.

Ключевые слова: ген лептина, кетоз, коровы, костромская порода, кетоновые тела, метаболизм, молочная продуктивность

Для цитирования: Сабетова К.Д. и др. Молочная продуктивность и уровень кетоновых тел в крови коров костромской породы разных генотипов LEP. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 56–61. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-56-61>

© Сабетова К.Д., Лемякин А.Д., Чаицкий А.А., Щеголев П.О., Баданина Л.С., Метляев Н.Ю., Дудихин А.С., Кочуева Н.А.

Milk productivity and the concentration of ketones in the blood of Kostroma cows of different LEP genotypes

ABSTRACT

Relevance. Currently, scientists are searching for genes associated not only with an increased level of dairy productivity, but also with the preservation of functional longevity and health of cows, with a high level of realization of their genetic potential, as well as with the distinctive quality of dairy products. The available data allow us to consider the leptin gene (LEP) as one of the candidate genes of milk productivity.

Methods. The research was conducted in 2022–2023 on cows of the Kostroma breed ($n = 107$) bred in the Kostroma region. In cows in the postpartum period, the content of ketone bodies in the blood and genotypes were determined by the R25C locus of the LEP gene. The animals were divided into groups depending on the concentration of ketone bodies in the blood: 1st — 0–1.2 mmol/l, 2nd — above 1.2 mmol/l.

Results. The presence of a predisposition of highly productive cows to ketosis ($p < 0.05$) was established. The largest number of ketone bodies in the blood was determined in animals of the 2nd group with the LEPCT genotype. However, despite such a small difference, the difference in the frequency distribution of LEP alleles in groups 1 and 2 turned out to be statistically significant ($\chi^2 = 63.48$, $p < 0.001$). When testing the hypothesis of a significant dependence of the level of milk productivity on the concentration of ketone bodies in the blood of carriers of the CC genotype, a statistically significant ρ value was obtained among cows with the CC genotype, at the level of 0.37 ($p = 0.038$). The rank correlation between milk yield and ketone body content in carriers of LEPCT and LEPTT genotypes was low and unreliable ($p > 0.05$). The tendency towards a close relationship between the level of ketone bodies and the fat content in the milk of cows of the TT genotype due to its low concentration in the sample requires further confirmation in a larger sample of cows with this genotype of the leptin gene.

Key words: leptin gene, ketosis, cows, Kostroma breed, ketones, metabolism, milk productivity

For citation: Sabetova K.D. et al. Milk productivity and the concentration of ketones in the blood of Kostroma cows of different LEP genotypes. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 56–61 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-56-61>

© Sabetova K.D., Lemyakin A.D., Chaitkiy A.A., Shchegolev P.O., Badanina L.S., Metlyaev N.Yu., Dudikhin A.S., Kochueva N.A.

Введение/Introduction

В настоящее время учеными осуществляется поиск генов, связанных не только с повышенным уровнем молочной продуктивности, но и с сохранением функционального долголетия и здоровья коров, с высоким уровнем реализации их генетического потенциала, а также с отличительным качеством молочной продукции. С этой точки зрения перспективным является ген лептина (*LEP*), так как продукт его экспрессии вносит определенный вклад в энергетический обмен, регулирует нейроэндокринные процессы в организме [1, 2].

У крупного рогатого скота ген лептина расположен в четвертой хромосоме и является высокополиморфным. Из 1385 однонуклеотидных полиморфизмов (*SNP*)¹ гена в открытых литературных источниках наиболее освещены полиморфизмы *Y7F*, *A80V* и *R25C*.

Вопрос о взаимосвязи гена лептина с наиболее ценными признаками не раз поднимался учеными и исследователями по всему миру. Так, *H. Kullig* (2009 г.) установлено, что полиморфизм *A80V* гена лептина статистически значимо оказывал влияние на удой, а также выход белка и жира у коров джерсейской породы. Коровы с генотипом *TT* производили значительно меньше молока, чем сверстницы с другими генотипами ($p < 0,05$). Содержание жира в молоке коров с генотипом *CC* и *CT* было больше, чем у *TT* ($p < 0,01$) [3].

Позднее Ф.Ф. Зиннатовой с соавторами (2017 г.) в исследовании этого полиморфизма на коровах голштинской породы установлено, что высоким уровнем молочной продуктивности обладают животные с гомозиготным *CC*-генотипом гена лептина. Удой коров данной группы составил 6802,2 кг (в среднем), что на 498,7 кг молока больше, чем в группе с генотипом *TT* ($p < 0,05$). Высоким содержанием жира и белка в молоке обладали коровы гетерозиготного генотипа ($p < 0,05$) [4].

По сведениям Э.Р. Гайнутдиновой с соавторами (2021 г.), среди коров-первотелок голштинской породы наибольшими удоями за лактацию обладали животные с генотипом *CC*, а белкомолочностью — *CT*. Напротив, преобладание по МДЖ наблюдалось у коров с генотипом *TT* [5].

При изучении *L. Giblin* (2010 г.) полиморфизма *Y7F* гена лептина у крупного рогатого скота было установлено, что он ассоциирован с запасанием энергии в виде отложений жировой ткани. При этом аллель *Y* оказался достоверно связан с уменьшением выхода молочного белка [6]. В целом учеными предложено рассматривать данный полиморфизм гена лептина как маркер воспроизводительной способности коров [1].

При исследовании влияния полиморфизма *R25C* гена лептина на продуктивность *R.C. Chebel* с соавторами (2008 г.) наблюдалась тенденция к увеличению количества и качества получаемого молока у коров голштинской породы генотипов *CT* и *TT*. Особи *CC*-генотипа обладали наименее жирным молоком (3,45%) по сравнению с генотипами *CT* и *TT*. По показателям белкомолочности существенной разницы выявлено не было [7].

В исследовании другого коллектива авторов наиболее высоким уровнем молочной продуктивности отличались коровы черно-пестрой породы с генотипом *RR*, а сверстницы генотипа *CC* — наибольшим содержанием жира и белка в молоке [8]. В то же время, по данным

А.А. Ярышкина и соавторов (2022 г.), у коров генотипа *RR* черно-пестрой голштинизированной породы отмечали более высокий удой и МДЖ [9].

Продуктивные качества и технологические свойства молока тесно связаны со здоровьем коров. В условиях интенсификации молочного скотоводства система обмена веществ коровы находится в состоянии максимальной физиологической нагрузки, что может привести к развитию кетоза [10]. Кетоз сопровождается накоплением повышенного количества кетоновых тел в крови (кетонемия), моче (кетонурия) и молоке (кетонлактация), уменьшением содержания глюкозы в крови (гипогликемия). Заболевание приводит к снижению уровня и качества молочной продуктивности, сокращению срока хозяйственного использования животных, нарушению репродуктивной функции коров [11].

Исследователями было выдвинуто предположение, что ген лептина может выступать как генетический маркер кетоза. Так, при полногеномном ассоциативном исследовании на коровах голштинской породы *S. Nayeri* (2019 г.) установлено, что *LEP* достоверно связан с субклиническим кетозом [12].

Отечественными исследователями Л.И. Якушевой и др. (2019 г.) при проведении ассоциативных исследований по данному вопросу указано, что генотип *CC* гена лептина у крупного рогатого скота является одним из факторов риска развития этого заболевания [13]. Этими учеными в более поздней публикации отмечено, что комплексные генотипы полиморфизмов *R25C*, *Y7F*, *A80V* гена лептина отцов *AARRY* для дочерей и *AARCY* для коров голштинской породы характеризуются устойчивостью к кетозу [14].

Таким образом, по данным литературного обзора учеными было установлено влияние гена лептина на уровень и качество молочной продуктивности коров, а также наблюдаются попытки определения ассоциации полиморфизма гена с предрасположенностью к кетозу крупного рогатого скота. Данные исследования в основном проводились на голштинской и черно-пестрой голштинизированной породах коров.

Цель исследования — изучить молочную продуктивность и содержание кетоновых тел в крови коров костромской породы разных генотипов по гену лептина.

Задачи: определить уровень молочной продуктивности и концентрацию кетоновых тел в крови у коров костромской породы первой лактации АО «Племзавод «Караваетов»» Костромской области; установить связь субклинического кетоза с уровнем молочной продуктивности коров костромской породы первой лактации АО «Племзавод «Караваетов»» Костромской области; прогениотипировать коров костромской породы первой лактации по гену лептина; провести анализ уровня молочной продуктивности и количества кетоновых тел в крови коров костромской породы разных генотипов *LEP*.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Научную работу осуществляли в 2022–2023 гг. на материально-технической базе лаборатории генетики и ДНК технологий Костромской ГСХА.

Объект исследования — коровы костромской породы ($n = 107$) первой лактации АО «Племзавод «Караваетов»» Костромской области. Данные зоотехнического учета были получены из информационно-аналитической

¹ https://www.ncbi.nlm.nih.gov/ensembl/Bos_taurus/Gene/Variation_Gene/Table?db=core,g=ENSBTAG00000014911,r=4:92436922-92453653,t=ENSBTAT00000019853.

системы «СЕЛЭКС»² (Россия), ветеринарного учета — из программы «М-комплекс»² (Россия).

У коров в послеродовой период с 1-го по 10-й день после отела экспресс-методом с помощью анализатора TИADOC-4235E (Taidoc Technology Corporation, Тайвань) определяли количество кетоновых тел в крови. С учетом этого были сформированы группы клинически здоровых коров: 1-я — 0–1,2 ммоль/л (норма), 2-я — выше 1,2 ммоль/л (субклинический кетоз).

В качестве источника ДНК для генетических исследований использовали цельную периферическую кровь коров. Проводили отбор биоматериала из хвостовой вены коров в пронумерованные вакуумные системы с антикоагулянтном ЭДТА (Германия). Геномную ДНК получали сорбентным способом (Россия).

Поиск последовательностей генов выполнен с помощью баз данных NCBI и Ensembl. Для анализа нуклеотидных последовательностей, подбора праймеров и зондов использовали программу Oligo 6.0. Праймеры и зонды синтезированы в аккредитованной биотехнологической компании (Россия). Контроль качества ДНК и праймеров осуществляли методом агарозного электрофореза.

Полиморфизм R25C гена LEP (rs29004488) определяли методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ). Амплификацию образцов ДНК проводили с использованием амплификатора «ДТпрайм» (Россия) при температуре отжига праймеров 59 °С.

В состав смеси для постановки ПЦР (на 1 образец) входило 5 мкл образца ДНК, 20 мкл ПЦР-смеси, 0,24 мкл 25мМ дезоксирибонуклеозидтрифосфат (dNTP), 10 мкл раствора полимеразы (0,5 мкл TAQ полимеразы и 9,5 мкл ПЦР-буфера). В состав ПЦР-смеси входили следующие компоненты: зонд FAM и HEX по 0,1 мкл, зонд BHQ — 0,3 мкл, праймер rev — 0,6 мкл, праймер for — 0,1 мкл.
 LEP_for 5'-CgT gTg gTT TCT TCT gTT TTC Agg C-3'
 LEP_rev 5'-CCC AgT CCC TCC CTA CCg TgT g-3'
 LEP_BHQ (BHQ1)-5'-gAT gAC ACC AAA ACC CTC AT-3'-(P)
 LEP_C 5'-CAT CCg CAA ggT CCA g-3'-(FAM)
 LEP_T 5'-CAT CTg CAA ggT CCA g-3'-(HEX)

Генотип определяли методом анализа кривых плавления.

Частоту встречаемости генотипов LEP рассчитывали по формуле 1:

$$P = \frac{m}{N}, \quad (1)$$

где P — частота встречаемости генотипа в группе, m — количество носителей определенного генотипа, N — общее число особей.

Частоту встречаемости аллельных вариантов гена LEP в группах подопытных животных вычисляли по формуле 2:

$$p = \frac{2n_{CC} + n_{CT}}{2N} \quad \text{и} \quad q = \frac{2n_{TT} + n_{CT}}{2N}, \quad (2)$$

где p — частота встречаемости аллеля C ; q — частота встречаемости аллеля T ; n_{CC} , n_{CT} , n_{TT} — число носителей генотипов CC , CT и TT соответственно; N — общее число животных в группе.

Равномерность распределения аллелей гена в изучаемых группах животных и генное равновесие оценивали при помощи уравнения Харди-Вайнберга (3):

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1, \quad (3)$$

где p и q — частоты аллелей C и T соответственно.

Расчеты популяционно-генетических параметров проводились при помощи Microsoft Excel (2019 г.)⁴ (США). Статистическую значимость разности между группами животных определяли путем расчета t -критерия Стьюдента. Проверку гипотезы независимости распределения аллелей в подопытных группах животных осуществляли методом «хи-квадрат» (χ^2), различие между наблюдаемым и ожидаемым частотным распределением считали статистически значимым при $p < 0,05$. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена ρ вычисляли при помощи языка статистического программирования R-версии 4.3.2⁵.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В результате генотипирования по гену лептина было выявлено следующее распределение генотипов коров (рис. 1).

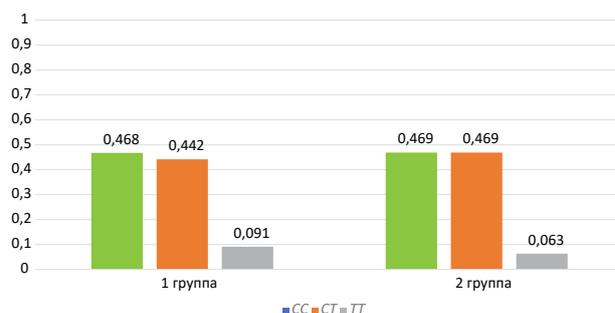
Установлено, что в 1-й группе коров наибольшее распространение имел аллельный вариант LEP^C (рис. 1). При этом носители гомозиготного генотипа LEP^{CC} встречались наиболее часто — 0,468, превосходя сверстниц с генетическими вариантами CT и TT на 5,5% и 80,5% соответственно.

Во 2-й группе, представленной коровами с субклиническим кетозом, одинаково часто регистрировались носители генетических вариантов LEP^{CC} и LEP^{CT} (0,469) на фоне сравнительно низкой частоты генотипа TT (0,063).

Сравнение распределения генотипов LEP в 1-й и 2-й группах показало, что среди коров с субклиническим кетозом чаще встречаются гетерозиготы (на 2,72%) по сравнению с группой здоровых животных, а носители генов TT , напротив, встречаются реже (на 2,84%). При этом разница между распределениями генотипов LEP в 1-й и 2-й группах была достоверной ($p < 0,001$).

В целом, по данным генотипирования, в обеих группах наблюдалось схожая частота разных генетических вариантов гена лептина. Популяционно-генетический анализ не выявил недостатка или избытка гетерозигот: теоретически ожидаемое значение, согласно закону Харди — Вайнберга, было близко к фактическому в обеих группах, что говорит о соблюдении генетического равновесия в рамках локуса LEP R25C.

Рис. 1. Частота генотипов гена LEP у коров костромской породы
 Fig. 1. Frequency of LEP genotypes in Kostroma cows



² <https://plnir.ru/solution/software/solutions/web/selex/>

³ <https://m-complex.org/>

⁴ <https://www.microsoft.com/ru-ru/microsoft-365/excel>

⁵ <https://www.r-project.org/>

Учитывая небольшую, но значимую разницу в распределении генотипов LEP между опытными группами, имеет смысл рассмотреть характер распределения частот аллельных вариантов данного локуса (рис. 2).

Согласно данным (рис. 2), в 1-й группе коров костромской породы наиболее часто определялся аллель LEP^C — у 68% коров при частоте LEP^T-аллеля на уровне 0,312. Во 2-й группе LEP^C-вариант был у 70%, а LEP^T — у 30% животных. Однако, несмотря на столь небольшое различие, разница в распределении частот встречаемости аллелей LEP в 1-й и 2-й группах оказалась статистически значимой ($\chi^2 = 63,48, p < 0,001$).

Затем провели сравнение содержания кетоновых тел в крови коров с разными генотипами по гену LEP (рис. 3).

Так, данные (рис. 3) показывают практически одинаковую концентрацию кетоновых тел в крови коров 1-й группы без влияния генотипов LEP. Среди животных 2-й группы наибольшее количество кетоновых тел в крови определяли у животных с генотипом LEP^{CT}, тогда как носители гомозиготных генотипов по данному показателю практически не различались, однако разница была статистически незначимой.

Рассмотрим молочную продуктивность (удой, массовую долю жира в молоке — МДЖ, массовую долю белка в молоке — МДБ) подопытных коров с разных генотипов по гену LEP и с различным уровнем кетоновых тел (табл. 1).

Анализ данных молочной продуктивности подопытных животных показывает отсутствие статистически значимых различий между коровами разных генотипов LEP как по удою, так и по содержанию жира и белка в молоке (табл. 1). Различия между носительницами одного и того же генотипа LEP с разным уровнем кетоновых тел оказались более выраженными: коровы с более высоким удоем и содержанием жира в молоке характеризовались тенденцией к повышенной концентрации кетонов в крови, что согласуется с данными других исследователей [15, 16]. Примечательно, что разница по удою между носительницами генотипа LEP^{CC} 1-й и 2-й групп оказалась статистически значимой ($p < 0,05$) и составила 1139 кг (11,9%) в пользу животных с повышенным уровнем кетоновых тел в крови. Имеется тенденция к наиболее высокому содержанию жира в молоке у коров 2-й группы генотипа LEP^{CT} и LEP^{TT}.

Для проверки гипотезы о значимой зависимости уровня молочной продуктивности от концентрации

Рис. 2. Частота аллелей гена LEP у коров костромской породы

Fig. 2. Frequency of LEP alleles in Kostroma cows

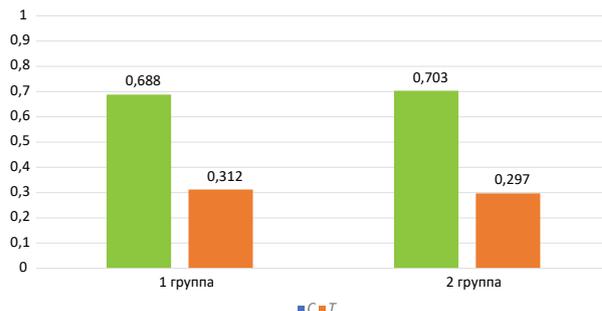
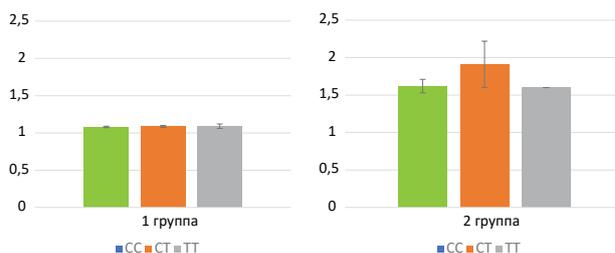


Рис. 3. Содержание кетоновых тел в крови коров костромской породы разных генотипов LEP

Fig. 3. The concentration of ketones in the blood of Kostroma cows of different LEP genotypes



кетоновых тел в крови носительниц генотипа CC был рассчитан коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ) между данными показателями. Статистически значимое значение ρ , как и ожидалось, было получено среди коров с генотипом CC на уровне 0,37 ($p = 0,038$). Ранговая корреляция между удоем и содержанием кетоновых тел у носительниц генотипов CT и TT была слабой (-0,005 и 0,088 соответственно) и недостоверной ($p > 0,05$).

Связь между уровнем кетоновых тел в крови коров и содержанием жира в молоке (вопреки ожиданиям) не проявилась в виде статистически значимой величины коэффициента ранговой корреляции. Так, для носительниц генотипа CC ρ составил -0,031 ($p = 0,867$), генотипа CT — 0,108 ($p = 0,534$), а для животных с генотипом TT — 0,716 ($p = 0,109$). Тем не менее проявленная тенденция к тесной связи между уровнем кетоновых тел и содержанием жира в молоке коров — носительниц генотипа TT может свидетельствовать о влиянии данного генотипа на МДЖ и уровень кетоновых тел в крови животных, однако для подтверждения этой теории необходимо исследование на большем поголовье коров с генотипом TT по гену лептина.

Выводы/Conclusion

Таким образом, данные исследования показывают наличие предрасположенности высокопродуктивных коров к кетозу: у животных 2-й группы продуктивность была на 11,9% выше, чем в 1-й ($p < 0,05$). Наибольшее количество кетоновых тел в крови определяли у животных 2-й группы с генотипом LEP^{CT}, однако не было установлено достоверного влияния генотипа LEP R25C на предрасположенность к кетозу коров. Однако, несмотря на столь небольшое

Таблица 1. Продуктивность коров костромской породы с разными генотипами LEP и уровнем кетоновых тел в крови

Table 1. Productivity of cows of the Kostroma breed with different LEP genotypes and the quantity of ketones in the blood

Группа	Показатель	Генотипы			Среднее
		CC	CT	TT	
1-я	<i>n</i>	36	34	7	77
	Удой, кг	8453,33 ± 193,06*	8658,30 ± 316,59	8626,25 ± 1113,76	8565,96 ± 190,34
	МДЖ, %	4,15 ± 0,05	4,15 ± 0,06	4,20 ± 0,08	4,15 ± 0,04
	МДБ, %	3,48 ± 0,03	3,44 ± 0,03	3,47 ± 0,04	3,46 ± 0,02
2-я	<i>n</i>	12	17	1	30
	Удой, кг	9592,33 ± 379,13	8691,70 ± 430,10	9466	9135,70 ± 285,41
	МДЖ, %	4,16 ± 0,09	4,23 ± 0,04	4,24	4,20 ± 0,05
	МДБ, %	3,49 ± 0,08	3,48 ± 0,04	3,49	3,49 ± 0,04
Среднее	<i>n</i>	48	51	8	107
	Удой, кг	8795,03 ± 198,20	8668,42 ± 252,59	8794,20 ± 878,91	8733,53 ± 160,44
	МДЖ, %	4,15 ± 0,04	4,17 ± 0,04	4,21 ± 0,06	4,17 ± 0,03
	МДБ, %	3,48 ± 0,03	3,45 ± 0,03	3,47 ± 0,03	3,47 ± 0,02

Примечание: обозначена статистическая значимость разности между средними показателями молочной продуктивности коров 1-й и 2-й подопытных групп: * $p < 0,05$.

различие, разница в распределении частот встречаемости аллелей LEP в 1-й и 2-й группах оказалась статистически значимой ($\chi^2 = 63,48$, $p < 0,001$). При проверке гипотезы о значимой зависимости уровня молочной продуктивности от концентрации кетоновых тел в крови носительниц генотипа СС было получено статистически значимое значение ρ среди коров с генотипом СС на уровне 0,37 ($p = 0,038$).

Ранговая корреляция между удоем и содержанием кетоновых тел у носительниц генотипов СТ и ТТ была слабой и недостоверной ($p > 0,05$). Тенденция к тесной связи между уровнем кетоновых тел и содержанием жира в молоке коров генотипа ТТ ввиду низкой его концентрации в выборке требует подтверждения на большем поголовье коров с этим генотипом по гену лептина.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-76-00006.
<https://rscf.ru/project/22-76-00006/>

FUNDING

The study was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 22-76-00006.
<https://rscf.ru/project/22-76-00006/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лемякин А.Д., Тяжченко А.Н., Сабетова К.Д., Чаицкий А.А., Щеголев П.О., Королев А.А. Воспроизводительная способность коров отечественных молочных пород с различными аллельными вариантами гена лептина. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; 23(6): 884–895. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.884-895>
2. Перчун А.В., Лазебная И.В., Белокуров С.Г., Егоров О.С., Кузьменков И.И., Сулимова Г.Е. Изменчивость генов лептина и его рецептора, вовлеченных в контроль липидного обмена, у костромской и бурой швицкой пород крупного рогатого скота. *Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе. Сборник статей 66-й Международной научно-практической конференции. Караваево: Костромская государственная сельскохозяйственная академия*. 2015; 1: 199–202. <https://www.elibrary.ru/zuigzj>
3. Kulig H., Kmiec M., Kowalewska-Luczak Ā., Andziak G. Effect of Leptin Gene Polymorphisms on Milk Production Traits of Jersey Cows. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 2009; 33(2): 143–146. <https://doi.org/10.3906/vet-0710-10>
4. Зиннатова Ф.Ф., Шамсова А.Р., Зиннатов Ф.Ф., Сафиуллина А.Р., Хамитова Л.Л. Изучение связи гена лептин (LEP) с молочной продуктивностью у коров голштинской породы с применением ПДРФ-анализа. *Фундаментальная наука и технологии — перспективные разработки. Материалы XII международной научно-практической конференции*. North Charleston, SC, USA: CreateSpace. 2017; 1–3. <https://www.elibrary.ru/zbjgif>
5. Гайнутдинова Э.Р., Сафина Н.Ю., Шакиров Ш.К., Варламова М.И. Влияние полиморфизма гена лептина (LEP) на молочную и мясную продуктивность коров-первотелок голштинской породы. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2021; 245: 24–28. <https://www.elibrary.ru/zrwohh>
6. Giblin L., Butler S.T., Kearney B.M., Waters S.M., Callanan M.J., Berry D.P. Association of bovine leptin polymorphisms with energy output and energy storage traits in progeny tested Holstein-Friesian dairy cattle sires. *BMC Genetics*. 2010; 11: 73. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-73>
7. Chebel R.C., Susca F., Santos J.E.P. Leptin genotype is associated with lactation performance and health of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2008; 91(7): 2893–2900. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0891>
8. Зиннатов Ф.Ф., Якупов Т.Р., Зиннатова Ф.Ф., Ахметов Т.М., Овсянников А.П., Четваева Н.Д. Взаимосвязь генов LEP, TG5 и SCD1 с жирномолочностью коров. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2022; 250: 85–92. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_250_85
9. Ярышкин А.А., Шаталина О.С., Лешонок О.И., Ковалюк Н.В. Влияние полиморфизма гена лептина на хозяйственно полезные признаки крупного рогатого скота. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022; (1): 260–264. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-260-264>
10. Иль Е.Н., Заболотных М.В. Выявление нарушений обмена веществ у высокопродуктивных коров. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019; (2): 83–89. <https://www.elibrary.ru/zbkjit>
11. Пустовая А.О., Секерин И.Ю., Куцевалов А.А., Тарабрин И.В., Крутякова Э.А. Кетоз у коров. *Вестник научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ*. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина. 2016; 4(1): 198–200. <https://www.elibrary.ru/ytyumu>
12. Nayeri S. et al. Genome-wide association analysis for β -hydroxybutyrate concentration in Milk in Holstein dairy cattle. *BMC Genetics*. 2019; 20: 58. <https://doi.org/10.1186/s12863-019-0761-9>
13. Якушева Л.И., Абрамов А.А., Ковалюк Н.В., Сацук В.Ф. Связь полиморфизмов R25C и A80V гена лептина бычков-производителей с оценкой их дочерей на предрасположенность к возникновению кетоза. *Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии*. 2019; 8(3): 24–27. <https://doi.org/10.34617/y47d-6h82>

REFERENCES

1. Lemyakin A.D., Tyazhchenko A.N., Sabetova K.D., Chaitsky A.A., Shchegolev P.O., Korolev A.A. Reproductive ability of cows of domestic dairy breeds with different allelic variants of the leptin gene. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23(6): 884–895 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.884-895>
2. Perchun A.V., Lazebnaya I.V., Belokurov S.G., Yegorov O.S., Kuzmenkov I.I., Sulimova G.E. Polymorphism of leptin genes and its receptor involved in the control of lipid metabolism in the Kostroma and Brown Swiss cattle breeds. *Current problems of science in the agro-industrial complex. Collection of articles of the 66th International scientific and practical conference*. Karavaevo: Kostroma State Agricultural Academy. 2015; 1: 199–202 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zuigzj>
3. Kulig H., Kmiec M., Kowalewska-Luczak Ā., Andziak G. Effect of Leptin Gene Polymorphisms on Milk Production Traits of Jersey Cows. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 2009; 33(2): 143–146. <https://doi.org/10.3906/vet-0710-10>
4. Zinnatova F.F., Shamsova A.R., Zinnatov F.F., Safiullina A.R., Khamitova L.L. To study the relationship of the leptin gene (LEP) with milk productivity in Holstein cows using PDRF analysis. *Fundamental science and technology are promising developments. Materials of the XII International scientific and practical conference*. Charleston, SC, USA: CreateSpace. 2017; 1–3 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zbjgif>
5. Gaynutdinova E.R., Safina N.Yu., Shakirov Sh.K., Varlamova M.I. Influence of leptin (LEP) gene polymorphism on dairy and meat productivity of Holstein heifers. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2021; 245: 24–28 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zrwohh>
6. Giblin L., Butler S.T., Kearney B.M., Waters S.M., Callanan M.J., Berry D.P. Association of bovine leptin polymorphisms with energy output and energy storage traits in progeny tested Holstein-Friesian dairy cattle sires. *BMC Genetics*. 2010; 11: 73. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-73>
7. Chebel R.C., Susca F., Santos J.E.P. Leptin genotype is associated with lactation performance and health of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2008; 91(7): 2893–2900. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0891>
8. Zinnatov F.F., Yakupov T.R., Zinnatova F.F., Akhmetov T.M., Ovsyannikov A.P., Chevtaeva N.D. Relationship of LEP, TG5, and SCD1 genes with milk fat in cows. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2022; 250: 85–92 (in Russian). https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_250_85
9. Yaryshkin A.A., Shatalina O.S., Leshonok O.I., Kovalyuk N.V. Influence of leptin gene polymorphism on economically useful signs of cattle. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022; (1): 260–264 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-260-264>
10. Il' E.N., Zabolotnykh M.V. Identification of material exchange disorders high-product cows. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2019; (2): 83–89 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zbkjit>
11. Pustovaya A.O., Sekerin I.Yu., Kutsevalov A.A., Tarabrin I.V., Krutyakova E.A. Ketosis in cows. *Bulletin of scientific and technical creativity of youth of Kuban State Agrarian University*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. 2016; 4(1): 198–200 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ytyumu>
12. Nayeri S. et al. Genome-wide association analysis for β -hydroxybutyrate concentration in Milk in Holstein dairy cattle. *BMC Genetics*. 2019; 20: 58. <https://doi.org/10.1186/s12863-019-0761-9>
13. Yakusheva L.I., Abramov A.A., Kovalyuk N.V., Satsuk V.F. Relationship of polymorphisms of R25C and A80V gene of the leptin gene of the sires with assessment of their daughters according to their susceptibility to ketosis. *Collection of Scientific Works of KRCAHV*. 2019; 8(3): 24–27 (in Russian). <https://doi.org/10.34617/y47d-6h82>

14. Ковалюк Н.В., Якушева Л.И., Кузьмина Е.В., Ширяева Е.В., Абрамов А.А., Семенов М.П. Связь полиморфизмов гена лептина с предрасположенностью крупного рогатого скота к кетозу. *Генетика и разведение животных*. 2020; (3): 20–26. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2020-3-20-26>
15. Иль Е.Н., Иль Д.Е., Заболотных М.В., Трофимов И.Г., Околелов В.И. Влияние метаболических нарушений на физико-химические и микробиологические показатели молока высокопродуктивных коров. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2023; (4): 62–70. <https://www.elibrary.ru/xsbttq>
16. Yang W., Zhang B., Xu C., Zhang H., Xia C. Effects of ketosis in dairy cows on blood biochemical parameters, milk yield and composition, and digestive capacity. *Journal of Veterinary Research*. 2019; 63(4): 555–560. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2019-0059>

ОБ АВТОРАХ

Ксения Дмитриевна Сабетова

кандидат ветеринарных наук, заведующая лабораторией генетики и ДНК-технологий
kseniyasabetova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>

Александр Дмитриевич Лемякин

селекционер-зоотехник
whichspecial@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

Алексей Александрович Чаицкий

кандидат биологических наук, преподаватель
aleksei_chaitskiy@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Павел Олегович Щеголев

кандидат сельскохозяйственных наук, селекционер-зоотехник
bigboy25@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

Лада Сергеевна Баданина

студент
lada.badanina2017@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1286-3714>

Никита Юрьевич Метляев

аспирант
metlyae99@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-5696-1567>

Алексей Сергеевич Дудихин

аспирант
rgs-aleksei@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0008-2658-0441>

Наталья Анатольевна Кочуева

доктор биологических наук, профессор
kochueva_n@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6637-4924>

Костромская государственная сельскохозяйственная академия,
Учебный городок, 34, Караваяво, Кострома, 156530, Россия

14. Kovalyuk N.V., Yakusheva L.I., Kuzminova E.V., Shiryayeva E.V., Abramov A.A., Semenenko M.P. Association of leptin gene polymorphisms with predisposition of cattle to ketosis. *Genetics and breeding of animals*. 2020; (3): 20–26 (in Russian). <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2020-3-20-26>

15. Il E.N., Il D.E., Zabolotnykh M.V., Trofimov I.G., Okolelov V.I. The influence of metabolic disorders on the physicochemical and microbiological parameters of milk from highly productive cows. *Vestnik of Omsk SAU*. 2023; (4): 62–70 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xsbttq>

16. Yang W., Zhang B., Xu C., Zhang H., Xia C. Effects of ketosis in dairy cows on blood biochemical parameters, milk yield and composition, and digestive capacity. *Journal of Veterinary Research*. 2019; 63(4): 555–560. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2019-0059>

ABOUT THE AUTHORS

Ksenia Dmitrievna Sabetova

Candidate of Veterinary Sciences, Head
of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies
kseniyasabetova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>

Alexander Dmitrievich Lemyakin

Livestock Breeder
whichspecial@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

Alexey Alexandrovich Chaitisky

Candidate of Biological Sciences, Lecturer
aleksei_chaitskiy@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Pavel Olegovich Schiogolev

Candidate of Agricultural Sciences, Livestock Breeder
bigboy25@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

Lada Sergeevna Badanina

Student
lada.badanina2017@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1286-3714>

Nikita Yurievich Metlyayev

Postgraduate Student
metlyae99@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-5696-1567>

Alexey Sergeevich Dudikhin

Postgraduate Student
rgs-aleksei@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0008-2658-0441>

Natalya Anatolyevna Kochueva

Doctor of Biological Sciences, Professor
kochueva_n@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6637-4924>

Kostroma State Agricultural Academy,
34 Uchebny Gorodok, Karavaevo, Kostroma, 156530, Russia

Л. П. Игнатьева ✉

А. А. Янгляева

Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ им. академика
Л. К. Эрнста, пос. Дубровицы, Россия

✉ ignatieva-lp@mail.ru

Поступила в редакцию:
14.02.2024

Одобрена после рецензирования:
15.05.2024

Принята к публикации:
30.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-62-67

Larisa P. Ignatieva ✉

Anna A. Yanglyueva

L. K. Ernst Federal Research Center for Animal
Husbandry, Dubrovitsy village, Russia

✉ ignatieva-lp@mail.ru

Received by the editorial office:
14.02.2024

Accepted in revised:
15.05.2024

Accepted for publication:
30.05.2024

Использование селекционного индекса для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы

РЕЗЮМЕ

Аннотация. Исследования были направлены на разработку селекционного индекса для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы. Для проведения исследований была сформирована база данных с поголовьем 2500 выбывших коров симментальской породы, разводимых в 14 регионах РФ, в 2008–2022 гг. Для оценки племенной ценности использовался подход BLUP Animal Model (Best Linear Unbiased Predicted — BLUP, наилучший линейный несмещенный прогноз), а для селекционно-генетических параметров — базовые процедуры теории количественных признаков (REML). Расчет оценок племенной ценности (Estimate Breeding Value — EBV) проведен с помощью программ RENUMF90, REMLF90 и BLUPF90. Животные с лучшими значениями селекционного индекса показали наиболее выгодные генетические оценки в комплексе по результатам пожизненной продуктивности: удой — +1907,92 кг, количество жира — +60,54 кг, количество белка — +67,25 кг, количество продуктивных дней — +0,98, а также экономические показатели от +86,3 до 56613,9 руб/гол. Благодаря рассчитанным коэффициентам корреляции видно, что индексные значения достоверны и на высоком уровне взаимосвязаны как с фенотипическими показателями $r = +0,62-0,64$, так и с генетическими оценками (EBV) $r = +0,98-0,99$. Рассчитанные данные селекционного индекса, которые включают в себя генетические оценки животных, а также экономический вклад показателей показывают себя как удобный инструмент в селекционной работе с популяцией симментальского скота.

Ключевые слова: симментальская порода, селекционный индекс, продуктивное долголетие, EBV, корреляция

Для цитирования: Игнатьева Л.П., Янгляева А.А. Использование селекционного индекса для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 62–67.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-62-67>

© Игнатьева Л.П., Янгляева А.А.

Using the selection index for estimation the lifelong productivity of simmental cows

ABSTRACT

Relevance. The research was aimed at developing a breeding index to assess the productive longevity of Simmental cows. To conduct the research, a database was formed with a population of 2,500 retired Simmental cows bred in 14 regions of the Russian Federation in 2008–2022. The BLUP Animal Model approach (Best Linear Unbiased Predicted — BLUP, best linear unbiased forecast) was used to assess breeding value, and the basic procedures of the theory of quantitative traits (REML) were used for breeding and genetic parameters. The calculation of breeding value estimates (Estimate Breeding Value — EBV) was carried out using the RENUMF90, REMLF90 and BLUPF90 programs. Animals with the best values of the breeding index showed the most favorable genetic estimates in the complex based on the results of lifelong productivity: milk yield — +1907.92 kg, the amount of fat — +60.54 kg, the amount of protein — +67.25 kg, the number of productive days — +0.98, as well as economic indicators from +86.3 to 56613.9 rubles/head. Due to the calculated correlation coefficients, it can be seen that the index values are reliable and at a high level interrelated with both phenotypic indicators $r = +0.62-0.64$ and genetic estimates (EBV) $r = +0.98-0.99$. The calculated data of the breeding index, which includes genetic assessments of animals, as well as the economic contribution of indicators, show themselves to be a convenient tool in breeding work with the population of Simmental cattle.

Key words: simmental breed, selection index, lifelong productivity, EBV, correlation

For citation: Ignatieva L.P., Yanglyueva A.A. Using the selection index for predict the lifelong productivity of simmental cows. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 62–67 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-62-67>

© Ignatieva L.P., Yanglyueva A.A.

Введение/Introduction

Научно-генетические основы оптимизации селекционных программ в молочном скотоводстве были разработаны G.E. Dickerson (1944 г.) [1] и L.N. Hazel [2] (1943 г.), а затем A. Robertson, J. Rendel (1950 г.) [3] и C.R. Henderson (1984 г.) [4], принципы которых в 70-х годах прошлого столетия попытались внедрить в животноводство Советского Союза Н.З. Басовский¹ и В.М. Кузнецов [5]. Наибольший интерес при этом представляет блок оценки генетических особенностей животных. Разработанные положения зарубежных исследователей нашли широкое применение в мировой практике молочного скотоводства.

Разведение молочного скота с использованием селекционного индекса основано на отборе животных по комплексу признаков с учетом их фенотипических и генотипических особенностей. Селекционный индекс дает возможность проводить анализ племенного материала, отбор и подбор скота в соответствии с задачами селекции, что позволяет повышать достоверность оценки племенной ценности отцов и матерей с учетом взаимодействия генотип × среда (а точнее, ответной реакции генотипов на изменчивость условий), генетической природы различных контролируемых признаков и доли значимости в программе селекции [6, 7].

Селекционный индекс — это инструмент, который помогает отбирать молочный скот по комплексу признаков. Животных оценивают по продуктивности, телосложению, здоровью и фертильности. Каждый признак в индексе умножается на определенный весовой коэффициент. Соответственно, веса разных признаков в индексе не будут одинаковыми: одни признаки считаются более важными, чем другие. Вес признака зависит от его экономической значимости для молочного производства. Она рассчитывается и будет различной для разных периодов времени и популяций животных [8].

На протяжении последних 10 лет в Северной Америке широко использовался индекс ETA, принятый в 1989 году:

$$ETA = PC + AC + P \times C$$

Расшифровывается этот индекс следующим образом: передающая способность *ETA* (доля потенциала, которая может быть передана потомству) складывается из генетического вклада родителей (*PC*), популяции (*AC*) и полученного потомства ($P \times C$) [9].

Индекс TPI (Total Performance Index — TPI, пер. с англ. — совокупный индекс эффективности) на сегодняшний день является общепринятым отраслевым стандартом, используемым не только в Америке, но и в других странах. В мире существуют и другие национальные племенные индексы, все они преследуют одну цель — дать простой (универсальный) способ оценки быков-производителей (и коров) с точки зрения селекционной работы. Формула расчета американского индекса племенной ценности KPC голштинской породы была разработана сотрудниками Ассоциации голштинской породы США. Этот показатель (TPI) предназначен для комплексной оценки KPC голштинской породы, сочетающей в себе высокую молочную продуктивность, правильный экстерьер и хорошие показатели по здоровью и фертильности (способности к воспроизводству)².

В 1996 году удельный вес молочной продуктивности в индексе TPI составлял 66%, экстерьера — 34%. С 2012 года в индексе TPI показатели здоровья и фертильности составляют 28%, экстерьера — 26%, и по-прежнему доминирующее положение отводится продуктивности (46%). Изменение вектора селекции молочного скота в направлении повышения здоровья животных определило появление в индексе племенной ценности показателя «жизнеспособность» (LIV) с весовым коэффициентом 3%. Дальнейшая селекция на снижение массы тела животных, а также повышение эффективности использования кормов повлияли на увеличение индекса конверсии корма (FE) с 5 до 8%. Отмечена направленность селекционного процесса на улучшение здоровья, фертильности коров и повышение экономической эффективности производства молока [9].

Долгое время селекция молочного скота велась только на повышение продуктивности. Но такая однобокая селекция ведет к сокращению продуктивного долголетия животных, снижению их фертильности и увеличению ветеринарных расходов, а это в свою очередь приводит к снижению рентабельности хозяйства в целом. Поэтому постепенно в индексы стали включать показатели здоровья и воспроизводства³. Метод индексной селекции в скотоводстве позволяет селекционеру проводить оценку животных сразу по нескольким хозяйственно полезным признакам. Однако количество признаков, участвующих в формировании селекционного индекса, не может быть большим. Обычно ограничиваются 4–6 признаками. Это связано с тем, что селекционный ответ по каждому признаку в случае индексной оценки обратно пропорционален числу признаков, участвующих в формировании индекса [10, 11].

На то, какие показатели включают в национальные индексы и какие весовые коэффициенты используют, влияет целый ряд факторов. Продуктивность животных зависит от взаимодействия между генетическими особенностями скота, которые в каждой стране свои, и факторами окружающей среды. Это: условия содержания; состав и питательность кормов (кормосмеси); общие условия климата в стране или регионе, такие как солнечная активность и уровень атмосферных осадков; основные заболевания у животных и уровень инфекционной нагрузки. Все эти факторы могут различаться для разных хозяйств (даже для отдельных животных на одном и том же хозяйстве) и меняться с течением времени. Но для определенной территории, такой как страна или регион, всё же можно определить общие паттерны, что делает возможным оценить животных с помощью индексов. [12–14].

Несмотря на отсутствие единого международного стандарта, универсальность индексов и возможность пересчета одних в другие способствуют выявлению и использованию лучших генотипов не только в пределах одной страны, но и во всем мире, что определяет выгоду и приоритетность крупномасштабной селекции.

В настоящее время российские ученые разрабатывают различные способы и подходы для оценки генетических особенностей молочных коров по признакам молочной продуктивности, воспроизводству и долголетию [12–16]. Продуктивное долголетие — один из наиболее сложных признаков для оценки и прогнозирования,

¹ Басовский Н.З., Кузнецов В.М. Методические рекомендации по разработке и оптимизации прогноза селекции в молочном скотоводстве. Москва, Ленинград. 1977; 88.

² <https://dairynews.today/news/indeks-plemennoy-tsennosti-tpi-i-reytingi-bykov-pr.html>

³ Cameron N.D. Selection indices and prediction of Genetic Merit in animal breeding. 2006; 203.

так как имеет низкий коэффициент наследуемости и оценить его можно только после выбытия животных. Разработка эффективных селекционных индексов позволяет значительно сократить время для анализа генетического потенциала продуктивности животных, тем самым активно влияя на ход их эволюционного развития. Поэтому расчет селекционного индекса, как способ раннего прогнозирования и оценки продуктивного долголетия молочных коров, является актуальной задачей для селекции крупного рогатого скота и представляет как научный, так и практический интерес.

Цель данной работы — разработка селекционного индекса для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В ИАС «СЕЛЭКС. Молочный скот» (ООО «РЦ «Пли-нор», Россия) на данный момент имеется информация по 57 905 выбывшим головам племенных коров симментальской породы из 42 племенных хозяйств 14 регионов России. Средний возраст выбытия этих животных составил 2,68 лактации. В связи с этим для отработки методологии расчета селекционного индекса была сформирована база данных коров, выбывших после третьей лактации, то есть имеющая полную информацию о молочной продуктивности за первую, вторую и третью лактации. В выборку вошли 2500 коров, внесенные в базу ИАС «СЕЛЭКС» с 2008 по 2022 г.

Построение модели и расчет селекционных индексов племенной ценности коров, выбывших после третьей лактации, были проведены по следующим показателям: пожизненные показатели удоя коров, кг; пожизненное количество молочного жира и белка, кг; количество пожизненных продуктивных дней.

Для построения уравнения селекционного индекса была произведена оценка племенной ценности коров (Estimate Breeding Value — EBV) симментальской породы в изучаемой популяции по следующему уравнению смешанной модели BLUP Animal Model (Best Linear Unbiased Predicted — BLUP, наилучший линейный несмещенный прогноз):

$$y = \mu + HYS + b_1 Age + Animal + e,$$

где: y — оцениваемый показатель животного; μ — общая средняя по популяции; Age — возраст первого отела (коварианса); HYS — эффект стада (года, сезона отела) (фиксированный); $Animal$ — эффект самого животного (рандомизированный); b_1 — коэффициент линейной регрессии, e — эффект неучтенных в модели факторов (остаточная изменчивость, рандомизированный).

При оценке племенной ценности были использованы данные пожизненной продуктивности у коров симментальской породы, выбывших после третьей лактации. Все эффекты, включенные в уравнение модели для оценки, значимо ($p > 0,95$) влияли на изменчивость селекционных признаков. Общее число оцененных коров (коэффициент достоверности оценки $r > 0,65$) составило 2500 голов.

Для оценки племенной ценности использовался подход BLUP Animal Model. Расчет оценок EBV проведен с помощью семейства программ RENUMF90, REMLF90 и BLUPF90 (Animal and Dairy Science University of Georgia, USA)⁴. Семейство программ BLUPF90 представляет собой пакет статистического программного обеспечения, который используется в количественной генетике для селекции животных. Расчет в программе ведется с использованием уравнений смешанной модели на основе метода ограниченного максимального правдоподобия (REML), а также выборки Гиббса для оценки компонентов дисперсии и прогнозирования племенной ценности с помощью наилучшего линейного несмещенного прогнозирования (BLUP). BLUPF90 закодирован на языке программирования Фортран (Fortran), может выполнять геномную оценку сотен и тысяч генотипированных животных, также существует дополнение на языке программирования R. Скомпилированные версии BLUPF90 свободно доступны для исследования и могут использоваться в Linux, Microsoft Windows и Mac OS X.

Для оценки значений селекционно-генетических параметров в оцениваемой популяции (коэффициенты наследуемости признаков, генетические и фенотипические варианты и ковариансы, генетические и фенотипические корреляции признаков) использовали базовые процедуры теории количественных признаков (Restricted Estimates of Maximum Likelihood — REML, Misztal I., 2002)⁵.

Расчет весовых коэффициентов признаков, включенных в уравнение общего селекционного индекса племенной ценности животных, выполнялся по двухшаговому алгоритму, предложенному L. Hazel (1943 г.) [2], доработанному С.Р. Henderson (1963 г.) [17] и оптимизированному С.Н. Харитоновым⁶ и Е.Е. Мельниковой [18].

Стоимость 1 кг молока была сформирована в соответствии с ценовой политикой молокоперерабатывающих предприятий по ценам 2022 года, которая включает в себя сортность молока и превышение (снижение) молочных показателей. Цена 1 кг молока при базисных жирности и белковомолочности в 3,4% и 3,0%, соответственно, составляла 23 руб. За превышение базисных показателей была предусмотрена надбавка в 10 коп. за 0,1%.

Биометрическая обработка материалов исследований была осуществлена с помощью пакета анализа Microsoft Office Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализируя фенотипические показатели и генетические оценки молочной продуктивности изучаемой популяции выбывших коров симментальской породы (табл. 1) можно увидеть, что средняя пожизненная продуктивность коров составила 14 681 кг молока (в пределах 7685–31 428) при количестве молочного жира 577,4 кг (в пределах 285,6–1273,5) и белка 468,9 кг (в пределах 225,4–1042,7). Следовательно, на одну лактацию в среднем приходится 4893,6 кг молока с содержанием жира 3,94% и белка 3,20%. Количество продуктивных дней у коров симментальской породы, выбывших после третьей лактации, в среднем составило 983,6 с колебаниями от 769 до 1336.

⁴ <http://nce.ads.uga.edu/software/>

⁵ Masuda Y. Introduction to BLUPF90 suite programs Standard Edition. University of Georgia. 2019; 199.

⁶ Харитонов С.Н. и др. Теоретические основы генетического совершенствования популяций животных: руководство. Дубровицы: ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. 2020; 151. ISBN 978-5-902483-48-9

Отмечается достаточный уровень изменчивости таких признаков, как пожизненный удой ($C_v = 19,1\%$), выход молочного жира ($C_v = 19,6\%$) и выход молочного белка ($C_v = 19,4\%$). Наряду с этим отмечаются низкие значения изменчивости содержания жира ($C_v = 7,3\%$) и белка в молоке ($C_v = 7,4$), а также по количеству продуктивных дней ($C_v = 9,3\%$).

Оценки племенной ценности (EBV), полученные благодаря методологии BLUP, находились в пределах: по пожизненному удою — от -4158,2 до +4787,6 кг, по количеству жира — от -155,7 до +191,5 кг, по количеству белка — от -132,3 до +169,1 кг, по количеству продуктивных дней — от -3,49 до +5,11.

Благодаря полученным генетическим оценкам была разработана модель селекционного индекса племенной ценности коров по комплексу изучаемых признаков продуктивного долголетия. Весовые коэффициенты параметров, включенных в модель селекционного индекса, были получены исходя из генетических оценок (EBV) и экономического влияния на получаемую прибыль.

Модель селекционного индекса была сформирована по пожизненным показателям молочной продуктивности коров симментальской породы, выбывших после третьей лактации:

$$I_3 = 0,33X_1 + 37,99X_2 + 91,59X_3 + 148,14X_4,$$

где: I_3 — селекционный индекс племенной ценности животных по 4 признакам; X_1 — количество пожизненных продуктивных дней; X_2 — пожизненный удой (3 лактации), кг; X_3 — количество пожизненного молочного жира, кг; X_4 — количество пожизненного молочного белка, кг.

В уравнении в качестве экономических компонент общих весовых коэффициентов селекционных признаков были выбраны следующие значения: X_1 — количество пожизненных продуктивных дней, X_2 — пожизненный удой, X_3 — количество молочного жира, X_4 — количество молочного белка. Последние весовые коэффициенты существенно увеличили вклад признаков X_4 (пожизненное количество молочного белка) и X_3 (пожизненное количество молочного жира) в общем уравнении, исходя из следующих соображений: изменчивость этих показателей в популяциях была минимальной в сравнении с показателями разнообразия особей по другим признакам.

Таблица 1. Средние фенотипические значения признаков пожизненной молочной продуктивности коров симментальской породы, выбывших после третьей лактации
Table 1. Average phenotypic values of lifelong milk productivity traits of Simmental cows, retired after 3 lactations

Показатели	$M \pm m$	Min	Max	$C_v, \%$
<i>Фенотипические показатели молочной продуктивности</i>				
Пожизненный удой, кг	14681,0±57,6	7685,0	31428,1	19,1
Количество жира, кг	577,4±2,2	285,6	1273,5	19,4
Количество белка, кг	468,9±1,8	225,4	1042,7	19,6
Содержание жира в молоке, %	3,94±0,01	2,39	6,27	7,31
Содержание белка в молоке, %	3,20±0,01	2,10	5,09	7,26
Количество продуктивных дней	983,6±1,7	769,5	1336,7	9,3
<i>Средние значения племенной ценности (EBV)</i>				
Удой, кг	-35,9±21,1	-4158,2	+4787,6	-
Количество продуктивных дней	+0,13±0,02	-3,49	+5,11	-
Количество жира, кг	-1,31±0,77	-155,72	+191,54	-
Количество белка, кг	-0,79±0,68	-132,33	+169,11	-

Рассчитанные индексные оценки коров предоставили возможность проранжировать всю изучаемую выборку выбывших коров симментальской породы по комплексу оценок племенной ценности изучаемых признаков (табл. 2) и получить медианные значения средних величин (EBV) и селекционного индекса. Ранжирование животных было произведено по значениям селекционного индекса, количеству продуктивных дней, пожизненному удою, количеству молочного жира и молока, в конце отбирались 10% животных с самыми высокими значениями генетических оценок (EBV).

На первый взгляд, по результатам ранжирования данных, нельзя утверждать, что селекционный индекс действительно максимально качественно помогает отбирать коров с лучшими генетическими оценками (EBV) (например, в сравнении с отбором по пожизненному удою). Выбывшие животные с лучшими значениями селекционного индекса показали наиболее выгодные генетические оценки в комплексе по результатам пожизненной продуктивности: удой — +1907,92 кг; количество жира — +60,54 кг; количество белка — +67,25 кг; количество продуктивных дней — +0,98. Однако животные с лучшими показателями селекционного индекса по всем изучаемым показателям имеют генетические оценки, равные медианным значениям или превышающие их, что в свою очередь не наблюдается у животных, отобранных по лучшим оценкам пожизненного удою. Коровы, выбранные с высокими показателям селекционного индекса, имеют лучшие генетические оценки по

Таблица 2. Ранжирование генетических оценок (EBV) и значение селекционного индекса по пожизненной продуктивности при интенсивности отбора 10% лучших животных по результатам оценки

Table 2. Ranking of genetic estimates (EBV) and the value of the selection index for lifelong productivity at the intensity of selection of the 10% best animals according to the assessment results

Показатель	Оценки племенной ценности (EBV)			Количество продуктивных дней	Значение селекционного индекса, руб.
	пожизненные показатели				
	удой, кг	количество молочного жира, кг	количество молочного белка, кг		
<i>По селекционному индексу (10% животных)</i>					
Средние значения	+1907,9	+67,3	+60,5	+0,98	87990,5
<i>По пожизненному удою (EBV)</i>					
Средние значения	+1910,4	+66,3	+60,1	+0,99	87904,2
<i>По пожизненному количеству белка (EBV)</i>					
Средние значения	+1831,8	+69,3	+60,1	+0,90	85364,2
<i>По пожизненному количеству жира (EBV)</i>					
Средние значения	+1833,6	+66,6	+62,8	+0,96	85274,6
<i>По количеству продуктивных дней (EBV)</i>					
Средние значения	+679,7	+23,3	+23,0	+2,53	31376,6
<i>Медианные значения средних величин (EBV) (за 3 лактации)</i>					
	+1831,8	+69,3	+60,1	+0,90	85267,5

комплексу признаков в сравнении с животными, отобранными с высокими оценками пожизненной продуктивности (удой, количество молочного белка и жира).

В экономическом выражении можно отметить, что при отборе по селекционному индексу получаем прибыль в сравнении с отбором по жизненным показателям: удою — +86,3 руб/гол, количеству белка — +2626,3 руб/гол, количеству жира — +2715,6 руб/гол, количеству продуктивных дней — +56 613,9 руб/гол, медианным значениям средних величин — +2723,0 руб/гол. Это говорит о том, что при отборе по селекционному индексу будут получены не только наиболее выгодные генетические оценки в комплексе признаков по результатам пожизненной продуктивности (удой, количество жира и белка), но и достигнуты лучшие экономические показатели.

Анализируя взаимосвязь между признаками пожизненной молочной продуктивности и селекционным индексом, можно говорить (табл. 3) о том, что индексные оценки имеют слабую корреляционную связь с фенотипическими показателями по количеству продуктивных дней ($r = 0,30$) и среднюю взаимосвязь с пожизненной продуктивностью ($r = +0,62-0,64$). При этом наблюдаем значительно более высокий уровень взаимосвязи между показателями селекционного индекса и генетическими оценками пожизненной молочной продуктивности (EBV) ($r = 0,983-0,988$) и слабую взаимосвязь с количеством продуктивных дней ($r = 0,35$).

Таблица 3. Коэффициенты корреляции оценок селекционного индекса коров симментальской породы с показателями пожизненной молочной продуктивности по фенотипу и генетическими оценками (EBV)

Table 3. Correlation coefficients of estimates the selection index of Simmental cows with indicators of lifelong milk productivity by phenotype and genetic estimates (EBV)

Показатели	Фенотипические показатели × индексные оценки селекционного индекса (I_2)	Генетические оценки (EBV) × индексные оценки селекционного индекса (I_2)
Пожизненный удой, кг	+0,63	+0,98
Количество молочного жира, кг	+0,64	+0,98
Количество молочного белка, кг	+0,62	+0,99
Количество продуктивных дней	+0,30	+0,35

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

В заключение можно сказать, что использование в качестве критерия оценки коров симментальской породы селекционного индекса дает возможность отбирать животных как с оптимальным соотношением признаков пожизненной молочной продуктивности и долголетия, так и предпочтительных с экономической точки зрения, что позволит прогнозировать значимый прирост по комплексу признаков, а также исключить заведомо убыточные селекционные критерии.

Выводы/Conclusion

Таким образом, животные с лучшими значениями селекционного индекса показали наиболее выгодные генетические оценки в комплексе по результатам пожизненной продуктивности: удой — +1907,92 кг; количество жира — +60,54 кг; количество белка — +67,25 кг; количество продуктивных дней — +0,98, а также экономические показатели — от +86,3 до 56 613,9 руб/гол. Благодаря рассчитанным коэффициентам корреляции видно, что индексные значения достоверны и на высоком уровне взаимосвязаны как с фенотипическими показателями $r = 0,62-0,64$, так и с генетическими оценками (EBV) $r = +0,98-0,99$.

Предложенная модель расчета селекционного индекса показала свою релевантность в применении на изучаемой выборке поголовья симментальского скота. Несмотря на то что отбор по пожизненному удою в большей степени показывает положительную тенденцию, такой отбор не позволяет отобрать лучших животных по совокупности необходимых признаков. Рассчитанные данные селекционного индекса, которые включают в себя генетические оценки животных, а также экономический вклад критериев, показывает себя как удобный инструмент в селекционной работе с популяцией симментальского скота.

Проведенные исследования по разработке селекционного индекса для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы проводятся в России впервые и имеют поисковый характер. В дальнейшем база данных будет пополняться животными с возрастном выбытия более 3 лактаций, а селекционный индекс будет корректироваться.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Научные исследования выполнены в рамках темы госзадания Минобрнауки РФ, регистрационный учет № 124020200029-4 (FGGN-2024-0013), а также в рамках работы селекционного центра (ассоциации) по крупному рогатому скоту симментальской породы.

FUNDING

Scientific research was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, registration No. 124020200029-4 (FGN-2024-0013), as well as within the framework of the work of the breeding center (association) for cattle of the Simmental breed.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Dickerson G.E., Hazel L.N. Effectiveness of selection on progeny performance as a supplement to earlier culling in livestock. *Journal of Agricultural Research*. 1944; 69(12): 459–476.
- Hazel L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*. 1943; 28(6): 476–490. <https://doi.org/10.1093/genetics/28.6.476>
- Rendel J.M., Robertson A. Estimation of genetic gain in milk yield by selection in a closed herd of dairy cattle. *Journal of Genetics*. 1950; 50(1): 1–8. <https://doi.org/10.1007/BF02986789>
- Henderson C.R. Application of linear model in animal breeding. Guelph, Ont: University of Guelph. 1984; xxiii: 462. ISBN 0889550301
- Кузнецов В.М. Племенная оценка животных: прошлое, настоящее, будущее (обзор). *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2012; (4): 18–57. <https://www.elibrary.ru/pvtlwb>
- Волохов И.М., Рыжова Н.Г., Щегольков Н.Ф., Пашченко О.В. Использование селекционных индексов при совершенствовании продуктивных качеств скота красно-пестрой породы. *Зоотехния*. 2020; (2): 12–14. <https://www.elibrary.ru/lqjwv>

REFERENCES

- Dickerson G.E., Hazel L.N. Effectiveness of selection on progeny performance as a supplement to earlier culling in livestock. *Journal of Agricultural Research*. 1944; 69(12): 459–476.
- Hazel L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*. 1943; 28(6): 476–490. <https://doi.org/10.1093/genetics/28.6.476>
- Rendel J.M., Robertson A. Estimation of genetic gain in milk yield by selection in a closed herd of dairy cattle. *Journal of Genetics*. 1950; 50(1): 1–8. <https://doi.org/10.1007/BF02986789>
- Henderson C.R. Application of linear model in animal breeding. Guelph, Ont: University of Guelph. 1984; xxiii: 462. ISBN 0889550301
- Kuznetsov V.M. Breeding estimation of animals: past, present, future (a review). *Problems of productive animal biology*. 2012; (4): 18–57 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pvtlwb>
- Volokhov I.M., Ryzhova N.G., Shchegolkov N.F., Pashchenko O.V. The use of selection indices for improvement the productive qualities of red-and-white breed of the cattle. *Zootekhnika*. 2020; (2): 12–14 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/lqjwv>

7. Катков К.А. Анализ влияния хозяйственно полезных признаков на величину селекционного индекса. *Вестник аграрной науки*. 2020; (2): 51–60. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.51>
8. Попов И.И., Шошина Ю.В., Шабанов С.А. Построение селекционных индексов и использование их в племенной работе. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2021; 62: 159–167. <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-159-167>
9. Суслов Д.Ю., Воеводин А.В., Холев С.А., Тяпугин С.Е. Современная оценка племенной ценности крупного рогатого скота молочного направления продуктивности. *Молочное и мясное скотоводство*. 2018; (1): 9–11. <https://www.elibrary.ru/wabwbv>
10. Зубенко Э.В., Некрасов Д.К. Эффективность использования индекса экономической ценности быка-производителя (ИЭЦБ) при прогнозировании пожизненной молочной продуктивности их дочерей. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2015; (2): 9–13. <https://www.elibrary.ru/udcqqh>
11. Улимбашев М.Б., Тамаев Т.И., Тамаев И.Ш., Гостева Е.Р., Коник Н.В. Новый комплексный селекционный индекс в селекции сельскохозяйственных животных. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2021; (4): 49–54. <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2021-4-49-54>
12. Кузнецов А.В., Кузнецова Н.В. Принципы и практика использования селекционного индекса. *Ветеринария, зоотехника и биотехнология*. 2021; (5): 44–56. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202105007>
13. Некрасов Д.К., Зубенко Э.В., Бабнеев С.А., Косинцева М.А. Индексная селекция быков при смене поколений на увеличение продуктивного долголетия и пожизненного удоя дочерей. *Молочное и мясное скотоводство*. 2015; (4): 13–15. <https://www.elibrary.ru/tzkdqv>
14. Отрадных П.И., Кривошеев Д.М. Принципы отбора племенного молочного скота на основе регионального селекционного индекса. *Достижения науки и техники АПК*. 2021; 35(9): 54–59. https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_9_54
15. Игнатъева Л.П. Продуктивное долголетие коров симментальской породы российской и зарубежной селекции в зависимости от региона разведения. *Пермский аграрный вестник*. 2023; (1): 79–87. <https://www.elibrary.ru/aafksm>
16. Романова Е.А., Тулинова О.В. Моделирование селекционного индекса для айрширской породы молочного скота с использованием экстерьерных показателей. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021; (1): 150–155. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-150-155>
17. Henderson C.R. Selection Index and Expected Genetic Advance. Hanson W.D., Robinson H.F. (eds.). *Statistical Genetics and Plan Breeding. Symposium and Workshop*. Washington, DC: National Academy of Sciences; National Research Council Publication. 1963; 141–163.
18. Мельникова Е.Е. и др. Селекционный индекс как экономическая составляющая основы племенной работы в молочном скотоводстве. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2018; (8): 29–33. <https://www.elibrary.ru/xvlypp>
7. Katkov K.A. Analysis of the impact of economically useful traits in selection index. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020; (2): 51–60 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.51>
8. Popov I.I., Shoshina Yu.V., Shabanov S.A. Construction of selection indices and their use in breeding work. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2021; 62: 159–167 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-159-167>
9. Suslov D.Yu., Voevodin A.V., Kholev S.A., Tyapugin S.E. Modern assessment of breeding value dairy direction. *Dairy and beef cattle farming*. 2018; (1): 9–11 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wabwbv>
10. Zubenko E.V., Nekrasov D.K. Index use efficiency of the economic value of the bull (IEVB) in the prediction of lifetime milk production of their daughters. *Agrarian journal of Upper Volga region*. 2015; (2): 9–13 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/udcqqh>
11. Ulimbashev M.B., Tamaev T.I., Tamaev I.Sh., Gosteva E.R., Konik N.V. New comprehensive breeding index in the breeding of farm animals. *Actual questions of veterinary biology*. 2021; (4): 49–54 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2021-4-49-54>
12. Kuznetsov A.V., Kuznetsova N.V. Principles and practice of using the selection index. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2021; (5): 44–56 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202105007>
13. Nekrasov D.K., Zubenko E.V., Babnseev S.A., Kosintseva M.A. Index breeding bulls in the change of generations on the expansion of productive longevity and lifetime milk yield of daughters. *Dairy and beef cattle farming*. 2015; (4): 13–15 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tzkdqv>
14. Otradnov P.I., Krivosheev D.M. Principles of pedigree dairy cattle selection based on the regional selection index. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2021; 35(9): 54–59 (in Russian). https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_9_54
15. Ignatieva L.P. Productive longevity of Simmental breed cows of Russian and foreign selection depending on the region of breeding. *Perm Agrarian Journal*. 2023; (1): 79–87 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/aafksm>
16. Romanova E.A., Tulinova O.V. Breeding index modeling for Airshire dairy cattle with application of exterior parameters. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021; (1): 150–155 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-150-155>
17. Henderson C.R. Selection Index and Expected Genetic Advance. Hanson W.D., Robinson H.F. (eds.). *Statistical Genetics and Plan Breeding. Symposium and Workshop*. Washington, DC: National Academy of Sciences; National Research Council Publication. 1963; 141–163.
18. Melnikova E.E. et al. Breeding index as an economic component of the basis of breeding work in dairy cattle breeding. *Economy of agricultural and processing enterprises*. 2018; (8): 29–33 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xvlypp>

ОБ АВТОРАХ

Лариса Павловна Игнатъева

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных
ignatieva-lp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2625-6912>

Анна Александровна Янглева

ведущий зоотехник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных
4941232@mail.ru

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, 60, г. о. Подольск, Московская обл., 142132, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Larisa Pavlovna Ignatieva

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding
ignatieva-lp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2625-6912>

Anna Alexandrovna Yanglyaeva

Leading Zootechnician of the Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding
4941232@mail.ru

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60 Dubrovitsy village, Podolsk, Moscow region, 142132, Russia

А.А. Белоус¹ ✉А.А. Сермягин¹Н.П. Елаткин²Н.А. Зиновьева¹

¹ Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, г. о. Подольск, пос. Дубровицы, Московская обл., Россия

² ООО «Мираторг-Генетика», Москва, Россия

✉ belousa663@gmail.com

Поступила в редакцию:
31.01.2024

Одобрена после рецензирования:
15.05.2024

Принята к публикации:
30.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-68-76

Anna A. Belous¹ ✉Alexander A. Sermyagin¹Nikolay P. Elatkin²Natalia A. Zinovieva¹

¹L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy village Podolsk, Moscow Region, Russia

²LLC "Miratorg-Genetika", Moscow, Russia

✉ belousa663@gmail.com

Received by the editorial office:
31.01.2024

Accepted in revised:
15.05.2024

Accepted for publication:
30.05.2024

Идентификация генов, ассоциированных с цветовыми характеристиками мясной и жировой ткани скота абердин-ангусской породы

РЕЗЮМЕ

В настоящее время полногеномные ассоциативные исследования и выявление генов-кандидатов по хозяйственно полезным признакам у сельскохозяйственных животных являются актуальными, научно обоснованными и практико-ориентированными, а также выполняют одну из задач Стратегии научно-технического развития Российской Федерации.

В данной статье приведены результаты GWAS по цветовым спектральным значениям мяса и жировой ткани крупного рогатого скота абердин-ангусской породы, известной своими мясными характеристиками высокого сорта. Гентипирование животных осуществлялось на чипах высокой плотности BovineHD Genotyping BeadChip, содержащих ≈53 тыс. SNP. После контроля качества их осталось 39 928. По результатам анализа и структурной аннотации были выявлены 25 и 26 генов-кандидатов по цвету мяса и жира соответственно. По функциональной аннотации гены были разделены на 6 групп: функции нервной системы, развитие органов, сосудов, суставов, метаболические процессы и биосинтез, клеточные процессы, мышцы, ткани и кости, репродуктивные свойства и эмбриональное развитие. Полученные гены проверили через базу данных Animal QTL, в результате которого подтверждение нашли 13 генов, из них внутри 3 локализованы SNP, в связи с чем гены *LRP2*, *SCIN* и *ANTXR1* имеют преимущества для дальнейшего их применения в молекулярной диагностике крупного рогатого скота не только мясного, но и молочного направления продуктивности.

Ключевые слова: GWAS, цветовые характеристики мяса и жира, структурная аннотация генов, функциональная аннотация генов, QTL-база, крупный рогатый скот мясного направления продуктивности

Для цитирования: Белоус А.А., Сермягин А.А., Елаткин Н.П., Зиновьева Н.А. Идентификация генов, ассоциированных с цветовыми характеристиками мясной и жировой ткани скота абердин-ангусской породы. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 68–76.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-68-76>

© Белоус А.А., Сермягин А.А., Елаткин Н.П., Зиновьева Н.А.

Identification of genes associated with color characteristics of meat and fat tissue of aberdeen-angus cattle

ABSTRACT

Currently, full genome association studies and identification of candidate genes for economically useful traits in farm animals are topical, scientifically sound and practice-oriented, and fulfill one of the objectives of the Strategy for Scientific and Technical Development of the Russian Federation. This article presents the results of GWAS on color spectral values of meat and fat tissue of Aberdeen-Angus cattle, known for its meat characteristics of high grade. The animals were genotyped on high-density BovineHD Genotyping BeadChip chips containing ≈53,000 SNPs. After quality control, 39,928 remained. By analysis and structural annotation, 25 and 26 candidate genes for meat and fat color were identified, respectively. According to functional annotation, the genes were categorized into 6 groups: nervous system functions, organ development, vascular, joints, metabolic processes and biosynthesis, cellular processes, muscle, tissue and bone, reproduction and embryonic development. The obtained genes were checked through the Animal QTL database, as a result of which 13 genes were confirmed, of which 3 were localized SNPs, in connection with which the *LRP2*, *SCIN* and *ANTXR1* genes have advantages for their further application in the molecular diagnostics of cattle not only meat, but also dairy productivity.

Key words: GWAS, meat and fat color characteristics, structural annotation of genes, functional annotation of genes, QTL base, beef cattle

For citation: Belous A.A., Sermyagin A.A., Elatkin N.P., Zinovieva N.A. Identification of genes associated with color characteristics of meat and fat tissue of aberdeen-angus cattle. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 68–76 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-68-76>

© Belous A.A., Sermyagin A.A., Elatkin N.P., Zinovieva N.A.

Введение/Introduction

Визуальные стимулы оказывают значительное влияние на мнение потребителей мясной продукции, поскольку именно от первого восприятия может зависеть покупка или отказ от конкретного продукта. Часто первым впечатлением о продукте является его визуальная ассоциация, и они часто отвергаются или выбираются не по вкусу или запаху, а по внешнему виду, в связи с чем цвет является одним из наиболее важных показателей качества и оказывает непосредственное влияние на восприятие продукта потребителем. Помимо геометрических показателей (форма, изменчивость однородности, масса), цвет является ключевой оптической характеристикой [1]. Ramanathan с соавт. (2022 г.) подсчитали, что примерно 2,55% говядины выбраковывается из-за обесцвечивания, и это приводит к экономическим потерям в 3,73 млрд долларов ежегодно только для мясной промышленности США. Данные цифры иллюстрируют масштабы экономического ущерба во всем мире [2].

Аналогичным образом розовый цвет копченого мяса является признаком правильно проведенного процесса копчения, а изменение цвета вызывает у потребителей недоверие к качеству и безопасности таких продуктов. С другой стороны, можно ожидать определенных изменений цвета, например свежего мяса, которое при нагревании меняет цвет с красного на коричневый или серый. Такое изменение связано с правильно проведенным процессом приготовления, то есть полное изменение цвета поверхности мясного фарша является показателем того, что частицы мяса были достаточно приготовлены. Для определения цветовых аспектов проводятся их измерения с помощью спектрометра, который определяет различные фракции миоглобина в определенных углублениях светового спектра, или колориметра, который количественно определяет цвет мяса путем среднего расчета точек модели Lab [3, 4]. В настоящее время была разработана и внедрена CVS (система компьютерного зрения) как более точный метод определения цвета [5, 6]. Она имеет преимущества из-за меньшего отклонения света через матрицу мяса и более широкой области обзора образца [4, 6]. Сообщается, что на интенсивность цвета свежего мяса влияет взаимодействие множества внутренних и внешних факторов во время преобразования мышц в мясо [7].

Внутренние факторы — характеристики, в основном определяемые генотипом животных, которые достаточно трудно изменить. Напротив, внешние факторы — обстоятельства, связанные с обращением человека с животными во время кормления, транспортировки, уоя и охлаждения, которые можно более гибко регулировать в ходе технологического процесса и улучшить до более высокого уровня.

В России результаты по измерению и прогнозированию цветовых характеристик мяса проводились на товарных гибридах свиней [8], филе осетровых рыб [9] и говядины [10]. Генетическая архитектура цветовой шкалы представлена на курах F2 ресурсной модельной популяции [11].

Цель исследования — определение генов-кандидатов, взаимосвязанных с цветовыми характеристиками мяса и жира у крупного рогатого скота абердин-ангусской породы, на основании полногеномного анализа ассоциаций.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Послеубойные характеристики животных оценивались на базе мясоперерабатывающего завода ООО «Брянская мясная компания» (Брянская обл., Россия) в 2022 году ($n = 180$) по следующим показателям: вес туши, мраморность, площадь мышечного глазка (рибая), толщина жира над 12-м ребром.

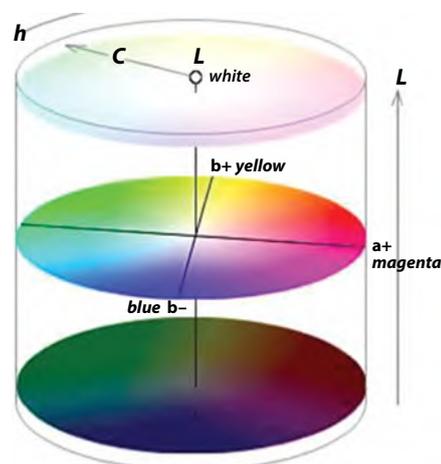
Для измерения цветовых характеристик мяса использовался спектрофотометр CM-700d¹ (Konica Minolta, Япония) по модели CIELAB. При помощи прибора были определены цветовые характеристики в пяти точках «мышечного глазка» (рис. 1).

Ранее проведенные исследования по фактическим данным спектра и его взаимосвязи с мясной продуктивностью бычков представлены в статье А.А. Сермягина с соавт. [12].

В качестве материала для молекулярно-генетических исследований использовали пробу крови, которую брали из яремной вены быка. Для этого брали кровопускательную иглу и стерильную пробирку, куда набирали биоматериал по стенке. Сосуд следует расположить к нижней трети шеи животного. Голова фиксируется, что тоже является стрессом. Чтобы вызвать быстрое наполнение вены, уменьшить ее подвижность, кровеносный сосуд можно сдавить резиновым жгутом в середине шеи. Выделение геномной ДНК проводили с помощью наборов для выделения ДНК производителя (ЗАО «Синтол», Россия) в соответствии с протоколом. Концентрацию двуцепочечной ДНК определяли с помощью флуориметра Qubit 2.0 (Invitrogen/Life Technologies, США). Для определения качества выделяемого продукта измеряли соотношение OD260/OD280 (спектрофотометр NanoDrop8000, ThermoFisher Scientific, США). Для анализа использовали ДНК с OD260/OD280 = 1,6–1,8, качество оценивали посредством гель-электрофореза в 1%-ном агарозном геле. Полногеномное генотипирование проводили с использованием высокоплотных ДНК-чипов BovineHD Genotyping BeadChip (платформа GeneSeek Genomic Profiler, Neogene, США), содержащих 53 218 SNP.

Рис. 1. Цветовая аббревиатура, полученная со спектрофотометра, работающего по платформе CIELAB: L* — устанавливает координаты света (100) и тени (0); a* — спектр от зеленого (-128) до пурпурного (127); b* — спектр от голубого (-128) до желтого (127)

Fig. 1. The color abbreviation obtained from a spectrophotometer operating on the CIELAB platform: L* — sets the coordinates of light (100) and shadow (0); a* — spectrum from green (-128) to magenta (127); b* — spectrum from blue (-128) to yellow (127)



¹ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 октября 2018 г. № 2175 спектрофотометр Konica Minolta (модель CM-700d) внесен в Госреестр средств измерений с регистрационным № 72739-18.

Тестовый анализ полногеномных ассоциаций осуществляли с помощью программы Plink 1.90 с учетом популяционной стратификации. Контроль качества и фильтрацию данных генотипирования для каждого SNP и каждого образца выполняли с использованием программного пакета PLINK 1.9², применяя следующие фильтры: call-rate по всем исследуемым SNP для индивидуального образца не ниже 90%; call-rate для каждого из исследованных SNP по всем генотипированным образцам не ниже 90%; частота встречаемости минорных аллелей (MAF) $\geq 0,05$; отклонение генотипов по SNP от распределения по Харди — Вайнбергу в совокупности протестированных образцов.

Для подтверждения достоверного влияния SNP и определения значимых регионов в геноме свиней использовали тест для проверки нулевых гипотез по Бонферрони при пороговом значении $p < 1,25 \times 10^{-6}$, $0,05/39\ 928$. Суггестивный уровень представляет собой порог, при котором при нулевой гипотезе ожидается один ложноположительный результат на одно сканирование генома.

Для поиска генов-кандидатов, локализованных в области идентифицированных SNP, использовали геномный ресурс ARS-UCD2.0³.

Функциональные аннотации и выявление обогащения генов выполняли с привлечением базы данных DAVID⁴ и Animal QTL⁵.

Экспериментальные процедуры, использованные в настоящем исследовании, не противоречат Европейской конвенции по защите позвоночных животных⁶.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В проведенном исследовании был проведен контроль качества однонуклеотидных полиморфизмов в программе PLINK 1.9 (фильтры представлены в разделе «Материал и методы исследования»), после которого количество SNP составило 39 928.

Результаты GWAS-анализа по оттенку мяса от темного к светлому (L*, рис. 2) показали значимые результаты на хромосомах 2–4, 7, 10, 12, 18, 20, 22 и 26, где достоверность (p) варьировалась от $9,85 \times 10^{-4}$ (Hарmap42518-BTA-34464 SNP) до $5,99 \times 10^{-6}$ (BTA-109138-no-rs SNP).

По зелено-пурпурному оттенку (a*, рис. 3) мяса установлены 37 SNP на 16 хромосомах из 29, и p варьировалось от $9,01 \times 10^{-4}$ (BTV-00566241) до $8,45 \times 10^{-5}$ (Hарmap50771-BTA-74233).

Рис. 2: А — распределение однонуклеотидных мутаций по хромосомам скота абердин-ангусской породы в связи с уровнем достоверности ($-\log_{10}(p)$) по вероятностному суггестивному значению (синяя линия, $p < 0,001$) и критерию Бонферрони (красная линия, $p < 1,25 \times 10^{-6}$) для показателя цветового оттенка мяса L*; **Б** — квантиль вероятностного распределения ожидаемого и наблюдаемого отклонений от нормального распределения для значений достоверности

Fig. 2: A — distribution of single nucleotide mutations on chromosomes of Aberdeen-Angus cattle in relation to the level of confidence ($-\log_{10}(p)$) by probabilistic suggestive value (blue line, $p < 0.001$) and Bonferroni criterion (red line, $p < 1.25 \times 10^{-6}$) for the meat color index L*; **B** — quartile of probability distribution of expected and observed deviations from the normal distribution for confidence values

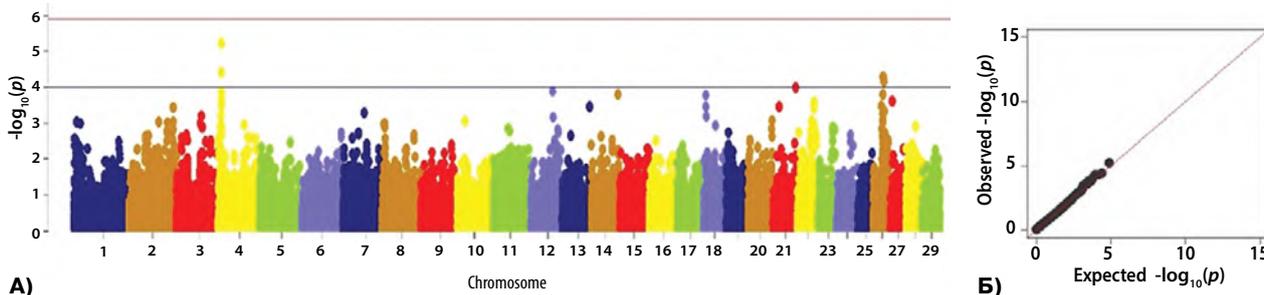
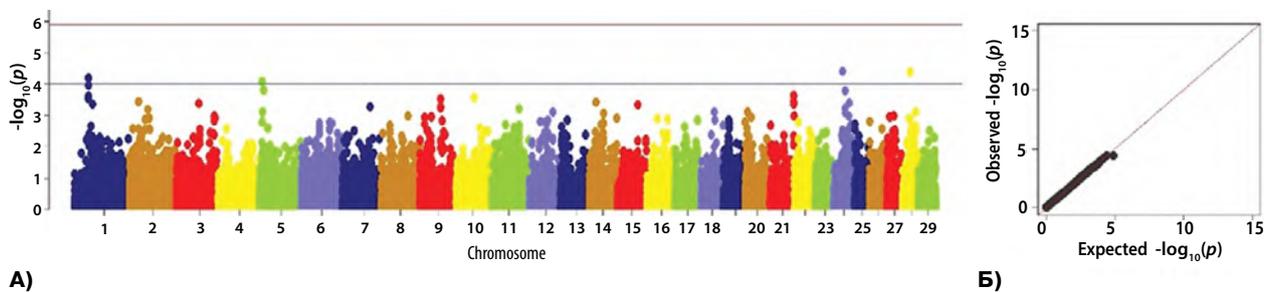


Рис. 3: А — распределение однонуклеотидных мутаций по хромосомам скота абердин-ангусской породы в связи с уровнем достоверности ($-\log_{10}(p)$) по вероятностному суггестивному значению (синяя линия, $p < 0,001$) и критерию Бонферрони (красная линия, $p < 1,25 \times 10^{-6}$) для показателя цветового оттенка мяса a*; **Б** — квантиль вероятностного распределения ожидаемого и наблюдаемого отклонений от нормального распределения для значений достоверности

Fig. 3: A — distribution of single nucleotide mutations on chromosomes of Aberdeen-Angus cattle in relation to the level of confidence ($-\log_{10}(p)$) by probabilistic suggestion (blue line, $p < 0.001$) and Bonferroni criterion (red line, $p < 1.25 \times 10^{-6}$) for meat color hue index a*; **B** — quartile of probability distribution of expected and observed deviations from the normal distribution for confidence values



² Whole genome association analysis toolset. PLINK 1.9. — URL: <https://zzz.bwh.harvard.edu/plink/>

³ National Library of Medicine. ARS-UCD2.0. — URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/genome/GCF_002263795.3/

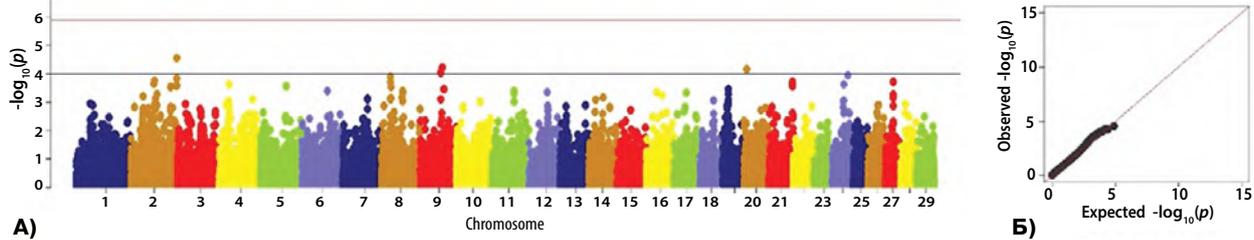
⁴ DAVID Bioinformatics Resources. — URL: <https://david.ncifcrf.gov/>

⁵ Animal QTLdb. — URL: <https://www.animalgenome.org/cgi-bin/QTLdb/index>

⁶ Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года о защите животных, использующихся для научных целей, и принципов обращения с животными согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ (Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Рис. 4: А — распределение однонуклеотидных мутаций по хромосомам скота абердин-ангусской породы в связи с уровнем достоверности ($-\log_{10}(p)$) по вероятностному суггестивному значению (синяя линия, $p < 0,001$) и критерию Бонферрони (красная линия, $p < 1,25 \times 10^{-6}$) для показателя цветового оттенка мяса b^* ; **Б** — квантиль вероятностного распределения ожидаемого и наблюдаемого отклонений от нормального распределения для значений достоверности

Fig. 4: А — distribution of single nucleotide mutations on chromosomes of Aberdeen-Angus cattle in relation to the level of confidence ($-\log_{10}(p)$) by probabilistic suggestive value (blue line, $p < 0.001$) and Bonferroni criterion (red line, $p < 1.25 \times 10^{-6}$) for meat color hue index b^* ; **Б** — quartile of probability distribution of expected and observed deviations from the normal distribution for confidence values



По желто-голубому оттенку (b^* , рис. 4) выявлено 66 SNP на 19 хромосомах из 29. Достоверность имеет диапазон от $9,98 \times 10^{-4}$ (ARS-BFGL-NGS-97889) до $9,35 \times 10^{-5}$ (VTB-00396331 и VTB-00396414).

По всем признакам цветовых характеристик мяса и жира выявлены 233 SNP, из которых 147 — по мясу, 86 — по жиру. Из данного количества однонуклеотидных полиморфизмов обнаружены 164 гена, где 102 — по мясу, 62 — по жиру, внутри которых находится SNP или сцепленных с ним ($\pm 0,2$ Мб).

Структурная аннотация SNP (табл. 1) показала наличие 25 генов, ассоциированных с цветовыми характеристиками мяса абердин-ангусской породы крупного рогатого скота. Из них в 2 генах локализованы выявленные SNP — белок 2, родственный рецептору LRP (*LRP2*), и каннабиноидный рецептор 2 (*CNR2*) на 2-й хромосоме. Ген *LRP2* аннотирован у млекопитающих, в частности у человека. Так, в исследованиях Yuan Zhou и др. он выявлен с помощью полногеномного ассоциативного исследования и ассоциирован с риском рецидива рассеянного склероза [13]. Один из полиморфизмов гена *CNR2* влияет на массу тела и резистентность к инсулину у людей, склонных к ожирению и имеющих сахарный диабет [14]. Для подчеркивания важности взаимосвязи данных генов со спектральными значениями мяса обратимся к направлению нутригеномики.

Исследования нутригеномики были проведены на людях и мышах для изучения молекулярной основы таких заболеваний, как ожирение, сердечно-сосудистые заболевания и рак, чтобы понять их через взаимодействие между генами, отвечающих за питание [15]. Обычно модели грызунов используются в научных исследованиях для изучения влияния признаков на функцию генома [16]. Хотя подобные методы на сельскохозяйственных животных всё еще находятся в состоянии развития, исследования в области нутригеномики совершенствуются, особенно в мясной промышленности, поскольку мясные продукты напрямую влияют на здоровье человека. Нутригеномные исследования помогли лучше понять клеточные пути, которые таким образом влияют на профиль жирных кислот и мраморность мяса. Данная информация может принести пользу животноводческой отрасли, стимулируя ее производить вещества или химические соединения, которые могут модулировать экспрессию генов, что приводит к улучшению качества мяса [17].

Цвет подкожной жировой ткани зависит от возраста, пола и породы крупного рогатого скота. Наиболее важным внешним фактором является состав рациона, и его влияние зависит от продолжительности кормления. У крупного рогатого скота, кормом которого является зеленая масса, обычно жир туши более желтый, чем у животных, которые получают концентраты, что вызвано

Таблица 1. Структурная аннотация значимых SNP по цветовым характеристикам мяса

Table 1. Structural annotation of significant SNPs for meat color characteristics

№ хр.	Ген*	Протяженность	SNP	признак
	<i>LRP2</i>	26854365...27031117	ARS-BFGL-NGS-39504	a^*
	<i>ABCB11</i>	27112431...27212722	ARS-BFGL-NGS-39504	a^*
2	<i>GRHL3</i>	128563980...128599988	ARS-BFGL-NGS-45691	L^*
	<i>CNR2</i>	129001537...129039179	ARS-BFGL-NGS-91346	L^*
	<i>MYOM3</i>	128788356...128840347	ARS-BFGL-NGS-91346	L^*
	<i>HMGCL</i>	129091585...129109718	ARS-BFGL-NGS-91346	L^*
4	<i>TWIST1</i>	27817880...27819874	ARS-BFGL-NGS-65240	b^*
	<i>CALD1</i>	98449568...98681120	BTA-71813-no-rs	b^*
5	<i>RBFOX2</i>	73895772...74189001	BTB-00230297	b^*
10	<i>ABHD4</i>	22200345...22212614	Hapmap47763-BTA-87494	L^*
11	<i>SDC1</i>	78629631...78653584	ARS-BFGL-NGS-53147	a^*
	<i>FGF2</i>	34801330...34860849	Hapmap51444-BTA-40815	b^*
17	<i>BBS12</i>	34936424...34948933	Hapmap51444-BTA-40815	b^*
	<i>IL21</i>	35063113...35070244	Hapmap51444-BTA-40815	b^*
18	<i>HSD17B2</i>	8586361...8679831	ARS-BFGL-NGS-34817	L^*
	<i>MLYCD</i>	10240307...10253200	ARS-BFGL-NGS-3671	L^*
19	<i>ADAP2</i>	18013982...18039921	ARS-BFGL-NGS-112779	b^*
21	<i>CRIP2</i>	69743955...69748969	ARS-BFGL-NGS-33371	a^*
	<i>TLR9</i>	48676670...48680933	ARS-BFGL-NGS-102498	L^*
22	<i>ALAS1</i>	48689689...48703919	ARS-BFGL-NGS-102498	L^*
	<i>ACY1</i>	48948307...48953175	ARS-BFGL-NGS-102498	L^*
24	<i>GREB1L</i>	34674856...34918909	Hapmap47666-BTA-57955	a^*
	<i>IER3IP1</i>	46854674...46871859	ARS-BFGL-NGS-101036	a^*
26	<i>RBM20</i>	31202078...31399463	ARS-BFGL-NGS-38183	L^*
	<i>TCF7L2</i>	33466304...33668681	ARS-BFGL-NGS-14	L^*

Примечание: жирным шрифтом выделены гены, внутри которых локализованы выявленные SNP.

содержанием каротиноидов в зеленом корме. Хотя во многих странах к желтому тушному жиру относятся негативно, данные свидетельствуют о том, что он связан с более здоровым профилем жирных кислот и содержанием антиоксидантов в говядине.

Проведенный полногеномный анализ по жиру спектра L^* (рис. 5) выявил 35 значимых SNP на хромосомах 2–11, 15, 19, 21, 22, 24, 25, 28 и 29. Наибольшее значение достоверности у SNP VTB-01576481, расположенного на 9-й хромосоме ($p = 7,47 \times 10^{-5}$), наименьшее — у BTA-72397-no-rs и VTB-00168676, находящихся на 4-й хромосоме ($p = 9,98 \times 10^{-4}$).

GWA-анализ по оттенку жира a^* (рис. 6) обнаружил 28 SNP на 15 хромосомах из 29 идентифицированных. SNP BTA-106005-no-rs на 22-й хромосоме имеет наибольшую достоверность ($p = 6,52 \times 10^{-5}$), а SNP VTB-01786632 и ARS-BFGL-NGS-117317 — наименьшую при $p = 9,70 \times 10^{-4}$.

Полногеномный анализ цветового оттенка жира b^* (рис. 7) выявил 23 SNP на хромосомах 1, 2, 4, 6, 8–11,

Рис. 5: А — распределение однонуклеотидных мутаций по хромосомам скота абердин-ангусской породы в связи с уровнем достоверности ($-\log_{10}(p)$) по вероятностному суггестивному значению (синяя линия, $p < 0,001$) и критерию Бонферрони (красная линия, $p < 1,25 \times 10^{-6}$) для показателя цветового оттенка жира L^* ; **Б** — кватиль вероятностного распределения ожидаемого и наблюдаемого отклонений от нормально-го распределения для значений достоверности

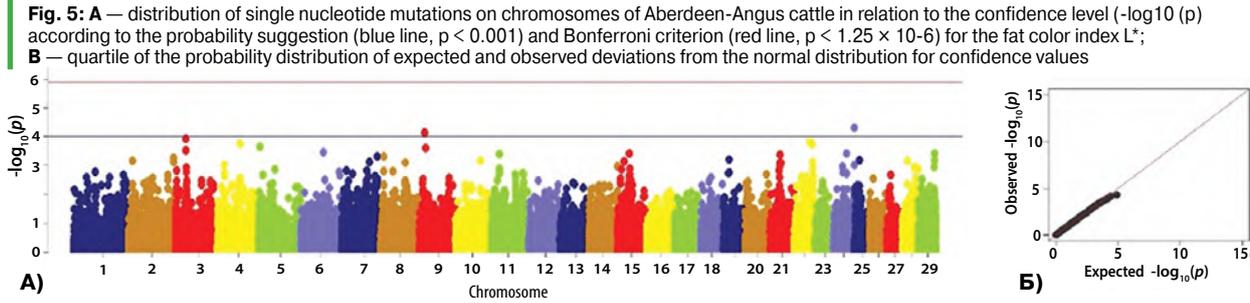


Рис. 6: А — распределение однонуклеотидных мутаций по хромосомам скота абердин-ангусской породы в связи с уровнем достоверности ($-\log_{10}(p)$) по вероятностному суггестивному значению (синяя линия, $p < 0,001$) и критерию Бонферрони (красная линия, $p < 1,25 \times 10^{-6}$) для показателя цветового оттенка жира a^* ; **Б** — кватиль вероятностного распределения ожидаемого и наблюдаемого отклонений от нормально-го распределения для значений достоверности

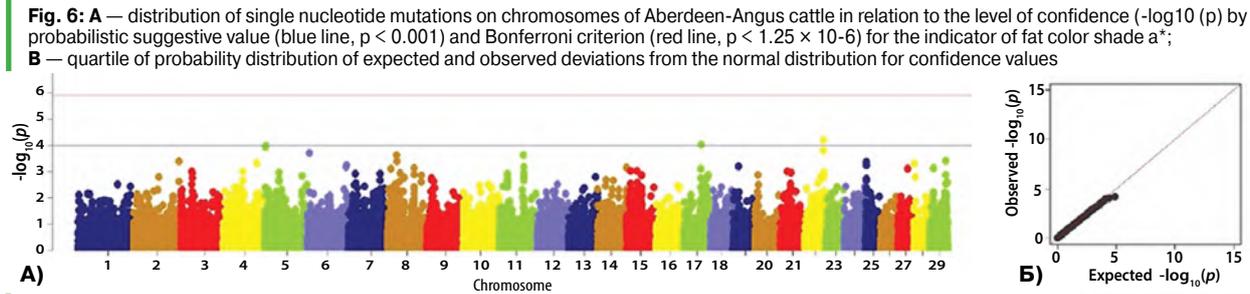


Рис. 7: А — распределение однонуклеотидных мутаций по хромосомам скота абердин-ангусской породы в связи с уровнем достоверности ($-\log_{10}(p)$) по вероятностному суггестивному значению (синяя линия, $p < 0,001$) и критерию Бонферрони (красная линия, $p < 1,25 \times 10^{-6}$) для показателя цветового оттенка жира b^* ; **Б** — кватиль вероятностного распределения ожидаемого и наблюдаемого отклонений от нормально-го распределения для значений достоверности

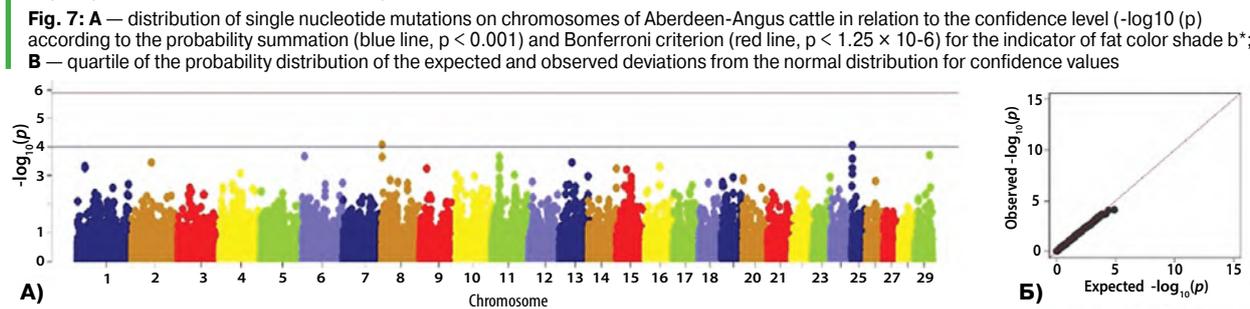


Рис. 7: А — distribution of single nucleotide mutations on chromosomes of Aberdeen-Angus cattle in relation to the confidence level ($-\log_{10}(p)$) according to the probability summation (blue line, $p < 0.001$) and Bonferroni criterion (red line, $p < 1.25 \times 10^{-6}$) for the indicator of fat color shade b^* ; **Б** — quartile of the probability distribution of the expected and observed deviations from the normal distribution for confidence values

13–16, 25 и 29. Наибольшее значение достоверности имеет SNP ВТВ-01757448 на 8-й хромосоме ($p = 8,95 \times 10^{-5}$), наименьшее — SNP Нармар48671-ВТА-17038, расположенный на 11-й хромосоме ($p = 9,98 \times 10^{-4}$).

Структурная аннотация значимых SNP (табл. 2), ассоциированных с показателем цвета жировой ткани, показала наличие 26 генов, из них внутри 2 находятся однонуклеотидные полиморфизмы ген *SCIN*, расположенный на 4-й хромосоме, и ген *ANTXR1* — на 11-й. В полногеномных ассоциативных исследованиях Slim Ven-Jемаа и др., проведенных на популяции маремманского скота, идентифицированный ген *SCIN* участвует в нескольких биологических процессах (BP), связанных с актином — важным фактором сократительных свойств мышц, таких как укупоривание нитей (GO:0051693), их разрыв (GO:0051014), полимеризация или деполимеризация (GO:0008154) и реорганизация цитоскелета (GO:0031532) [18]. Актин является строительным блоком тонких нитей скелетных мышц и вместе с миозином может влиять на качество мяса после убоя [19].

Ген *ANTXR1* (рецептор 1 сибиреязвенного токсина) участвует во множестве, казалось бы, несвязанных между собой действий, включая реакцию хозяина на инфекцию *Bacillus anthracis*, регуляцию отложения коллагена в тканях и работу в качестве рецептора сенекавируса А (SVA), также известный как вирус долины Сенека (SVV).

Таблица 2. Структурная аннотация значимых SNP по цветовым характеристикам жира
Table 2. Structural annotation of significant SNPs on fat color characteristics

№ хр.	Ген*	Протяженность	SNP	признак
	SCIN	20624490...20702627	BTA-72397-no-rs	L*
4	ARL4A	20764648...20766198	BTA-72397-no-rs	L*
	BMPER	62664281...62917010	ARS-BFGL-NGS-86043	b*
	ELP3	10592046...10734681	Нармар59136-ss46526301	a*
8	EBF2	73140595...73360337	ВТВ-00352963	L*
	RMI1	77229773...77249516	ARS-BFGL-NGS-79809	a*
11	ANTXR1	67359835...67618045	Нармар48671-BТА-17038	b*
	BMP10	67212386...67219103	Нармар48671-BТА-17038	b*
19	COPRS	18255752...18260611	ARS-BFGL-NGS-19462	L*
	CHRNA4	30996280...31015137	UA-IFASA-8902	L*
	CHRNA3	30977362...30991920	ARS-BFGL-NGS-24797	L*
	CHRNA5	30945440...30973322	UA-IFASA-8902	L*
	NRG4	31219219...31337391	UA-IFASA-8902	L*
21	CYP1A1	33949148...33955228	ARS-BFGL-NGS-24846	L*
	CYP1A2	33923109...33930076	ARS-BFGL-NGS-24846	L*
	UBL7	34210027...34223394	ARS-BFGL-NGS-24846	L*
	SEMATA	34234871...34258815	ARS-BFGL-NGS-24846	L*
24	BCL2	61396513...61589028	ARS-BFGL-BAC-36464	L*
	AMDHD2	2018233...2024929	ARS-BFGL-NGS-91926	b*
	NTN3	1975804...1978415	Нармар24932-BTC-015659	b*
25	PDPK1	2028629...2101813	ARS-BFGL-NGS-116067	b*
	PRSS21	2240109...2249064	ARS-BFGL-NGS-116067	b*
	THOC6	2441340...2444370	ARS-BFGL-NGS-91926	a*
	TMTSF2	43317941...43322617	ARS-BFGL-NGS-80659	b*
29	DPF2	43538837...43551500	ARS-BFGL-NGS-80659	b*
	DHCR7	48285095...48304736	ARS-BFGL-NGS-110729	L*

Примечание: жирным шрифтом выделены гены, внутри которых локализованы выявленные SNP.

Более того, активация гена *ANTXR1* в опухолях делает SVA удобным терапевтическим методом для целенаправленного уничтожения раковых клеток. В исследовании Paula R. Chen и др. биологическую значимость гена *ANTXR1* как рецептора SVA оценивали путем заражения свиней, у которых была делеция и (или) вставка нуклеотидов в первом экзоне. Нокаутные по гену *ANTXR1* (KO) свиньи демонстрировали признаки, соответствующие редкому заболеванию человека — синдрому ГАПО (синдром множественных врожденных аномалий соединительной ткани). Фибробласты свиней дикого типа (WT) поддерживали репликацию SVA, тогда как фибробласты свиней KO устойчивы к инфекции [20].

В совокупности все функционально полученные гены (табл. 3) в программе DAVID можно разделить на следующие группы:

1. Функции нервной системы — развитие ЦНС (гены *GRHL3*, *SCIN*, *ELP3*, *THOC6*), развитие и процесс нервной системы (гены *RBFOX2*, *CHRNA3*, *CHRNA5*, *NRG4*, *SEMA7A*, *DPF2*).

2. Развитие органов, сосудов, суставов — развитие аорты (ген *LRP2*), развитие кровеносных сосудов, развитие зачатков мочеточника (ген *BMPER*), развитие кровеносных сосудов (ген *ANTXR1*), развитие почек и сердца (гены *BMP10*, *ADAP2*, *GREB1L*, *RBM20*), развитие легких, органов животных (гены *FGF2*, *CYP1A2*), развитие мышечных органов (ген *COPRS*), мозга (ген *IER3IP1*), кровеносных сосудов (ген *TCF7L2*).

3. Метаболические процессы и биосинтез — метаболический процесс жирных кислот, желчных кислот, транспорт желчных кислот, регуляция бета-окисления жирных кислот, гомеостаз холестерина (ген *ABCB11*), регуляция метаболического процесса (ген *CNR2*), катаболический процесс лейцина, процесс их обмена, процесс биосинтеза кетоновых тел (ген *HMGCL*), положительная регуляция бета-окисления жирных кислот (ген *TWIST1*), гомеостаз глюкозы (ген *RMI1*), процесс катаболизма липидов, липидный гомеостаз (ген *ABHD4*), процесс биосинтеза жирных кислот (ген *MLYCD*), метаболический процесс длинноцепочечных жирных кислот (*CYP1A1*), процесс биосинтеза гемоглобина (ген *ALAS1*), метаболический процесс углеводов (ген *AMDHD2*) и процесс биосинтеза холестерина (гены *TM7SF2*, *DHCR7*).

4. Клеточные процессы, мышцы, ткани и кости — дифференцировка бурых жировых клеток (гены *ARL4A*, *EBF2*), регуляция минерализации костей (ген *TWIST1*), развитие жировой ткани (ген *EBF2*), развитие поперечно-полосатых мышечных клеток (ген *SDC1*), положительная регуляция пролиферации клеток сердечной мышцы, дифференцировка эпителиальных клеток молочной железы (ген *FGF2*), сокращение гладких мышц (ген *CHRN4*), связывание ионов металлов (ген *CRIP2*), развитие эритроцитов (ген *ALAS1*), клеточный процесс метаболизма аминокислот (ген *ACY1*), сокращение мышц (ген *NTN3*).

5. Иммуитет — иммунный ответ (ген *IL21*), врожденный иммунный ответ (гены *UBL7*, *TLR9*).

6. Репродуктивные свойства и эмбриональное развитие — репродуктивный процесс (ген *ABHD4*), внутриутробное эмбриональное развитие, развитие плаценты (ген *HSD17B2*), сперматогенез (ген *PRSS21*).

Один не вошел ни в одну из групп — ген *BBS12*, отвечающий за кормовое поведение животных. По исследованиям T. Chang и др., данный ген связан с выходом мяса, массой передней голяшки у китайского симментальского мясного скота [21].

Таблица 3. Функциональная аннотация генов-кандидатов по цветовым характеристикам мяса и жира в программе DAVID
Table 3. Functional annotation of candidate genes for meat and fat color characteristics in the DAVID program

Ген	Функциональная аннотация
LRP2	развитие аорты
<i>ABCB11</i>	метаболический процесс жирных кислот, метаболический процесс желчных кислот, транспорт желчных кислот, регуляция бета-окисления жирных кислот, гомеостаз холестерина
<i>GRHL3</i>	развитие центральной нервной системы, развитие эпидермиса
CNR2	регуляция метаболического процесса
<i>MYOM3</i>	сокращение мышц
<i>HMGCL</i>	катаболический процесс лейцина, процесс обмена липидов, митохондриальная организация, процесс биосинтеза кетоновых тел
SCIN	развитие центральной нервной системы
<i>ARL4A</i>	дифференцировка бурых жировых клеток
<i>TWIST1</i>	регуляция минерализации костей, положительная регуляция бета-окисления жирных кислот
<i>BMPER</i>	развитие кровеносных сосудов, развитие зачатков мочеточника
<i>CALD1</i>	мышечное сокращение
<i>RBFOX2</i>	развитие нервной системы
<i>ELP3</i>	развитие центральной нервной системы
<i>EBF2</i>	дифференцировка бурых жировых клеток, развитие жировой ткани
<i>RMI1</i>	рост многоклеточного организма, гомеостаз глюкозы
<i>ABHD4</i>	процесс катаболизма липидов, липидный гомеостаз
ANTXR1	развитие кровеносных сосудов, репродуктивный процесс
<i>BMP10</i>	развитие почек, развитие сердца
<i>SDC1</i>	развитие поперечно-полосатых мышечных клеток
<i>FGF2</i>	морфогенез органов животных, развитие легких, развитие органов животных, положительная регуляция пролиферации клеток сердечной мышцы, дифференцировка эпителиальных клеток молочной железы
<i>BBS12</i>	кормовое поведение
<i>IL21</i>	иммунный ответ
<i>HSD17B2</i>	внутриутробное эмбриональное развитие, развитие плаценты
<i>MLYCD</i>	процесс биосинтеза жирных кислот
<i>ADAP2</i>	развитие сердца
<i>COPRS</i>	развитие мышечных органов
<i>CHRN4</i>	сокращение гладких мышц, регуляция сокращения гладких мышц
<i>CHRNA3</i>	развитие нервной системы
<i>CHRNA5</i>	процесс нервной системы
<i>NRG4</i>	развитие нервной системы
<i>CYP1A1</i>	метаболический процесс длинноцепочечных жирных кислот
<i>CYP1A2</i>	развитие легких
<i>UBL7</i>	врожденный иммунный ответ
<i>SEMA7A</i>	развитие нервной системы
<i>CRIP2</i>	связывание ионов металлов
<i>TLR9</i>	врожденный иммунный ответ
<i>ALAS1</i>	процесс биосинтеза гемоглобина, развитие эритроцитов, реакция на желчную кислоту
<i>ACY1</i>	клеточный процесс метаболизма аминокислот
<i>GREB1L</i>	развитие почек, развитие сердечного желудочка
<i>IER3IP1</i>	развитие мозга
<i>BCL2</i>	процесс почечной системы
<i>AMDHD2</i>	метаболический процесс углеводов
<i>NTN3</i>	сокращение мышц
<i>PDPK1</i>	развитие клеток поджелудочной железы типа В
<i>PRSS21</i>	сперматогенез
<i>THOC6</i>	развитие центральной нервной системы
<i>RBM20</i>	развитие сердца
<i>TCF7L2</i>	развитие кровеносных сосудов
<i>TM7SF2</i>	процесс биосинтеза холестерина
<i>DPF2</i>	развитие нервной системы
<i>DHCR7</i>	процесс биосинтеза холестерина

Примечание: жирным шрифтом выделены гены, внутри которых локализованы выявленные SNP.

Интенсивное развитие молекулярно-генетических методов в последние четверть века открывает новые возможности в ускорении прогресса в селекции животных от определения отдельных генов, контролирующих единичные физиологические процессы, до локусов количественных признаков (QTL) — регионов в геноме, ответственных за наследование признаков, и однонуклеотидных замен или точечных мутаций (SNP), маркирующих комплекс продуктивных качеств животного [22], в связи с чем был проведен анализ выявленных генов по базе QTL крупного рогатого скота и свиней, после которого остались только 13 генов, ранее встречающихся в научных исследованиях (табл. 4). Так, ген *LRP2*, выявленный при GWA-анализе на телках голштинской породы, ассоциирован с числом осеменений до стельности [23] и экстерьерным признаком — бороздой вымени [24]. Ген *SCIN* (*TNC*) в популяции товарных гибридов второго поколения взаимосвязан с цветом мяса [25]. Интерес представляет ген *ANTXR1*, который ассоциирован с выходом (процентом) молочного жира в популяции молочного скота датской голштинской и джерсейской породы [26]. Остальные гены хоть и ассоциированы с цветовыми характеристиками мяса и жира крупного рогатого скота абердин-ангусской породы и имеют научное доказательство с другими признаками у животных, но не имеют конкретной точки замены SNP (внутри гена не найдена), в связи с чем для их практического применения необходимы дополнительные исследования.

Выводы/Conclusions

Проведение генетического анализа цветовых характеристик мяса и жира говядины для выявления маркерной основы и точечной замены нуклеотида является интересной и практико-обоснованной задачей. В данном исследовании были взяты фактические данные, полученные при измерении спектров мяса и жира опытной популяции крупного рогатого скота абердин-ангусской породы. Полногеномное ассоциативное исследование и аннотация полученных SNP и сцепленных с ними регионов ($\pm 0,2$ Мб) выявили наличие 25 генов по цветовым спектрам мяса и 26 — по жировой ткани. Из них 3 гена

Таблица 4. Функциональная аннотация генов-кандидатов по базе Animal QTL

Table 4. Functional annotation of candidate genes by Animal QTL database

№ хр.	Ген	Показатели количественных признаков согласно генной аннотации
2	<i>LRP2</i>	Фертильность (QTL:212457) Борозда вымени (QTL:28162)
	<i>GRHL3</i>	Пупочная грыжа (QTL:284953)
4	<i>SCIN</i>	Цвет мяса (QTL:17767)
10	<i>ABHD4</i>	Шпик на 10-м ребре (QTL:257711)
11	<i>ANTXR1</i>	Процент молочного жира (QTL:35040)
	<i>SDC1</i>	Длина корпуса (QTL:12996; QTL: 12995) Масса тела (QTL:12994)
17	<i>FGF2</i>	Соотношение кальция и фосфора (QTL:161345)
21	<i>CHRNA3</i>	Содержание гадолеиновой кислоты (QTL:193505)
	<i>NRG4</i>	Дни достижения 100 кг (QTL:262678; QTL: 262682)
	<i>CYP1A2</i>	Возраст полового созревания (QTL:220870)
24	<i>BCL2</i>	Цвет мяса (QTL:240048) Индекс массы тела (QTL:239853)
25	<i>NTN3</i>	Восприимчивость к вирусу лейкоза крупного рогатого скота (QTL:135886)
26	<i>TCF7L2</i>	Выход молочного жира (QTL:10199) Процент молочного белка (QTL:10196) Выход молочного белка (QTL:10197) Удой молока (QTL:10198) Индекс чистой прибыли (QTL:10200)

Примечание: жирным шрифтом выделены гены, внутри которых локализованы выявленные SNP.

представляют особый интерес в дальнейшем использовании — гены *LRP2*, *SCIN* и *ANTXR1*, так как в них находятся выявленные SNP, и они ассоциированы со значимыми показателями, а именно с фертильностью, цветом мяса и выходом молочного жира. В дальнейшем по данным генам необходимо провести оценку влияния их генотипов на хозяйственно полезные признаки и смоделировать тест-системы и (или) мультиплексные панели, а также провести массовый скрининг на разных популяциях крупного рогатого скота мясного и молочного направлений продуктивности.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования проведены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (регистрационный № FGGN-2022-0011 темы государственного задания).

FUNDING

The research was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (registration No. FGGN-2022-0011 topics of the state assignment).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ramanathan R., Suman S.P., Faustman C. Biomolecular Interactions Governing Fresh Meat Color in Post-mortem Skeletal Muscle: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020; 68(46): 12779–12787. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b08098>
- Ramanathan R. et al. Economic Loss, Amount of Beef Discarded, Natural Resources Wastage, and Environmental Impact Due to Beef Discoloration. *Meat and Muscle Biology*. 2022; 6(1): 13218. <https://doi.org/10.22175/mmb.13218>
- Hernández B., Sáenz C., Diñeiro J.M., Alberdi Odriozola C. CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Science*. 2019; 157: 107889. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889>
- Girolami A., Napolitano F., Faraone D., Braghieri A. Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science*. 2013; 93(1): 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.08.010>
- Tomasevic I. et al. Evaluation of poultry meat colour using computer vision system and colourimeter: Is there a difference? *British Food Journal*. 2019; 121(5): 1078–1087. <https://doi.org/10.1108/BFJ-06-2018-0376>

REFERENCES

- Ramanathan R., Suman S.P., Faustman C. Biomolecular Interactions Governing Fresh Meat Color in Post-mortem Skeletal Muscle: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020; 68(46): 12779–12787. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b08098>
- Ramanathan R. et al. Economic Loss, Amount of Beef Discarded, Natural Resources Wastage, and Environmental Impact Due to Beef Discoloration. *Meat and Muscle Biology*. 2022; 6(1): 13218. <https://doi.org/10.22175/mmb.13218>
- Hernández B., Sáenz C., Diñeiro J.M., Alberdi Odriozola C. CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Science*. 2019; 157: 107889. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889>
- Girolami A., Napolitano F., Faraone D., Braghieri A. Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science*. 2013; 93(1): 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.08.010>
- Tomasevic I. et al. Evaluation of poultry meat colour using computer vision system and colourimeter: Is there a difference? *British Food Journal*. 2019; 121(5): 1078–1087. <https://doi.org/10.1108/BFJ-06-2018-0376>

6. Trinderup C.H., Kim Y.H.B. Fresh meat color evaluation using a structured light imaging system. *Food Research International*. 2015; 71: 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.02.013>
7. Gagaoua M., Picard B., Monteils V. Associations among animal, carcass, muscle characteristics, and fresh meat color traits in Charolais cattle. *Meat Science*. 2018; 140: 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.004>
8. Белоус А.А., Сермягин А.А., Зиновьева Н.А. Цветовая характеристика мяса товарных гибридов: первые результаты. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2020; 86: 140–145. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-86-140-145>
9. Отраднов П.И., Бардуков Н.В., Никипелов В.И., Никипелова А.К., Белоус А.А., Зиновьева Н.В. Применение морфометрических признаков для прогнозирования цветовой характеристик мяса сибирского осетра ленской популяции, разводимого в условиях установки замкнутого водоснабжения. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023; 11. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.63>
10. Лисицын А.Б., Козырев И.В. Исследование цветовой характеристики мышечной и жировой ткани и мраморности говядины. *Теория и практика переработки мяса*. 2016; 1(4): 51–56. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-4-51-56>
11. Ветох А.Н., Джхагаев А.Ю., Белоус А.А., Волкова Н.А., Зиновьева Н.А. Полногеномные ассоциативные исследования качества мяса по показателям цвета грудки у кур (*Gallus gallus* L.). *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(6): 1068–1078. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.1068rus>
12. Сермягин А.А., Боголюбова Н.В., Белоус А.А., Петрякова Г.К., Елаткин Н.П., Зиновьева Н.А. Показатели мясной продуктивности, эффективности использования корма и химического состава мяса бычков абердин-ангусской породы. *Аграрная наука*. 2023; 12: 67–73. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-67-73>
13. Zhou Y. *et al.* Genetic variation in the gene *LRP2* increases relapse risk in multiple sclerosis. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 2017; 88(10): 864–868. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2017-315971>
14. de Luis D.A., Izaola O., Primo D., de la Fuente B., Aller R. El polimorfismo rs3123554 en el gen receptor canabinoide tipo 2 (*CNR2*) se relaciona con el peso corporal y la resistencia a la insulina en obesos. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*. 2017; 64(8): 440–445. <https://doi.org/10.1016/j.endinu.2017.06.001>
15. Ahluwalia M.K. Nutrigenetics and nutrigenomics — A personalized approach to nutrition. *Advances in Genetics*. 2021; 108: 277–340. <https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2021.08.005>
16. Chmurzynska A., Mlodzik M.A., Radziejewska A., Szwengiel A., Malinowska A.M., Nowacka-Woszuik J. Caloric restriction can affect one-carbon metabolism during pregnancy in the rat: A transgenerational model. *Biochimie*. 2018; 152: 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2018.07.007>
17. Aiken C.E., Ozanne S.E. Transgenerational developmental programming. *Human Reproduction Update*. 2014; 20(1): 63–75. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmt043>
18. Ben-Jemaa S. *et al.* Genome-Wide Analysis Reveals Selection Signatures Involved in Meat Traits and Local Adaptation in Semi-Feral Maremmana Cattle. *Frontiers in Genetics*. 2021; 12: 675569. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.675569>
19. Lonergan E.H., Zhang W., Lonergan S.M. Biochemistry of postmortem muscle — Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*. 2010; 86(1): 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.004>
20. Chen P.R. *et al.* Disruption of anthrax toxin receptor 1 in pigs leads to a rare disease phenotype and protection from senecavirus A infection. *Scientific Reports*. 2022; 12: 5009. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09123-x>
21. Chang T. *et al.* A rapid and efficient linear mixed model approach using the score test and its application to GWAS. *Livestock Science*. 2019; 220: 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.12.012>
22. Белоус А.А., Сермягин А.А., Зиновьева Н.А. Система оценки мясного скота по показателям эффективности использования корма и энергии роста на основе применения цифровых и геномных технологий (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2022; 57(6): 1055–1070. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.6.1055rus>
23. Galliou J.M. *et al.* Identification of Loci and Pathways Associated with Heifer Conception Rate in U.S. Holsteins. *Genes*. 2020; 11(7): 767. <https://doi.org/10.3390/genes11070767>
24. Wu X. *et al.* Genome wide association studies for body conformation traits in the Chinese Holstein cattle population. *BMC Genomics*. 2013; 14: 897. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-897>
25. Kayan A. *et al.* Polymorphism and expression of the porcine Tenascin C gene associated with meat and carcass quality. *Meat Science*. 2011; 89(1): 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.001>
26. Buitenhuis B., Janss L.L.G., Poulsen N.A., Larsen L.B., Larsen M.K., Sørensen P. Genome-wide association and biological pathway analysis for milk-fat composition in Danish Holstein and Danish Jersey cattle. *BMC Genomics*. 2014; 15: 1112. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-1112>
6. Trinderup C.H., Kim Y.H.B. Fresh meat color evaluation using a structured light imaging system. *Food Research International*. 2015; 71: 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.02.013>
7. Gagaoua M., Picard B., Monteils V. Associations among animal, carcass, muscle characteristics, and fresh meat color traits in Charolais cattle. *Meat Science*. 2018; 140: 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.004>
8. Belous A.A., Sermyagin A.A., Zinovieva N.A. Color characteristics of commercial hybrids' meat: the first results. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2020; 86: 140–145 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1999-1703-86-140-145>
9. Otradnov P.I., Bardukov N.V., Nikipelov V.I., Nikipelova A.K., Belous A.A., Zinovieva N.A. Application of morphometric traits to predict colour characteristics of meat of Siberian sturgeon of the Lena population, bred under conditions of a closed water supply system. *International Research Journal*. 2023; 11 (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.63>
10. Lisitsyn A.B., Kozyrev I.V. Researching of meat and fat colour and marbling in beef. *Theory and practice of meat processing*. 2016; 1(4): 51–56. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-4-51-56>
11. Vetokh A.N., Dzhagaev A.Yu., Belous A.A., Volkova N.A., Zinovieva N.A. Genome-wide association studies of chicken (*Gallus gallus* L.) breast meat color characteristics. *Agricultural Biology*. 2023; 58(6): 1068–1078. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.1068eng>
12. Sermyagin A.A., Bogolyubova N.V., Belous A.A., Petryakova G.K., Yelatkin N.P., Zinovieva N.A. Meat production, feed efficiency and chemical composition traits of meat for Aberdeen Angus steers bulls. *Agrarian science*. 2023; 12: 67–73 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-67-73>
13. Zhou Y. *et al.* Genetic variation in the gene *LRP2* increases relapse risk in multiple sclerosis. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 2017; 88(10): 864–868. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2017-315971>
14. de Luis D.A., Izaola O., Primo D., de la Fuente B., Aller R. Polymorphism rs3123554 in the cannabinoid receptor gene type 2 (*CNR2*) reveals effects on body weight and insulin resistance in obese subjects. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*. 2017; 64(8): 440–445. <https://doi.org/10.1016/j.endien.2017.06.002>
15. Ahluwalia M.K. Nutrigenetics and nutrigenomics — A personalized approach to nutrition. *Advances in Genetics*. 2021; 108: 277–340. <https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2021.08.005>
16. Chmurzynska A., Mlodzik M.A., Radziejewska A., Szwengiel A., Malinowska A.M., Nowacka-Woszuik J. Caloric restriction can affect one-carbon metabolism during pregnancy in the rat: A transgenerational model. *Biochimie*. 2018; 152: 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2018.07.007>
17. Aiken C.E., Ozanne S.E. Transgenerational developmental programming. *Human Reproduction Update*. 2014; 20(1): 63–75. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmt043>
18. Ben-Jemaa S. *et al.* Genome-Wide Analysis Reveals Selection Signatures Involved in Meat Traits and Local Adaptation in Semi-Feral Maremmana Cattle. *Frontiers in Genetics*. 2021; 12: 675569. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.675569>
19. Lonergan E.H., Zhang W., Lonergan S.M. Biochemistry of postmortem muscle — Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*. 2010; 86(1): 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.004>
20. Chen P.R. *et al.* Disruption of anthrax toxin receptor 1 in pigs leads to a rare disease phenotype and protection from senecavirus A infection. *Scientific Reports*. 2022; 12: 5009. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09123-x>
21. Chang T. *et al.* A rapid and efficient linear mixed model approach using the score test and its application to GWAS. *Livestock Science*. 2019; 220: 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.12.012>
22. Belous A.A., Sermyagin A.A., Zinovieva N.A. Beef cattle evaluation by feeding efficiency and growth energy indicators based on bioinformatic and genomic technologies (review). *Agricultural Biology*. 2022; 57(6): 1055–1070. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.6.1055eng>
23. Galliou J.M. *et al.* Identification of Loci and Pathways Associated with Heifer Conception Rate in U.S. Holsteins. *Genes*. 2020; 11(7): 767. <https://doi.org/10.3390/genes11070767>
24. Wu X. *et al.* Genome wide association studies for body conformation traits in the Chinese Holstein cattle population. *BMC Genomics*. 2013; 14: 897. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-897>
25. Kayan A. *et al.* Polymorphism and expression of the porcine Tenascin C gene associated with meat and carcass quality. *Meat Science*. 2011; 89(1): 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.001>
26. Buitenhuis B., Janss L.L.G., Poulsen N.A., Larsen L.B., Larsen M.K., Sørensen P. Genome-wide association and biological pathway analysis for milk-fat composition in Danish Holstein and Danish Jersey cattle. *BMC Genomics*. 2014; 15: 1112. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-1112>

ОБ АВТОРАХ

Анна Александровна Белоус¹
кандидат биологических наук, доцент
belousa663@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7533-4281

Александр Александрович Сермягин¹
кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом
популяционной генетики и генетических основ разведения
животных
alex_sermyagin85@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1799-6014

Николай Павлович Елаткин²
кандидат биологических наук, генеральный директор
n.elatkin@agrohold.ru

Наталья Анатольевна Зиновьева¹
доктор биологических наук, академик Российской академии наук,
профессор, директор
priemnaya-vij@mail.ru
orcid.org/0000-0003-4017-6863

¹ Федеральний исследовательский центр животноводства —
ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, 60, г. о. Подольск, Московская обл., 142132,
Россия

² ООО «Мираторг-Генетика»,
ул. Нобеля, 5, эт. 2, пом. 7, раб. 3, территория инновационного
центра Сколково, Москва, 121205, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Anna Alexandrovna Belous¹
Candidate of Biological Sciences, Docent
belousa663@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7533-4281

Alexander Alexandrovich Sermyagin¹
Candidate of Agricultural Sciences, Head
of the Department of Population Genetics
and Genetic Basis of Animal Breeding
alex_sermyagin85@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1799-6014

Nikolay Pavlovich Elatkin²
Candidate of Biological Sciences, General Manager
n.elatkin@agrohold.ru

Nataliya Anatolyevna Zinovieva¹
Doctor of Biological Sciences, Russian Academy of Sciences
Academy Member, Professor, Director
priemnaya-vij@mail.ru
orcid.org/0000-0003-4017-6863

¹ L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,
60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132,
Russia

² LLC “Miratorg-Genetika”,
5 Nobel Street, 2 floor, 7 room, 3 room, territory of the Skolkovo
Innovation Center, Moscow, 121205, Russia

С 25 по 26 июня

**III Международный
ветеринарный форум
по свиноводству**

ОРГАНИЗАТОРЫ:



Национальный союз свиноводов



Международная промышленная академия

Форум пройдет на площадке Международной промышленной академии. К участию в мероприятии приглашаются ветеринарные и зооинженерные специалисты агропромышленных и свиноводческих комплексов, холдингов и компаний, комбикормовых предприятий, федеральных и региональных органов управления АПК, отечественных и зарубежных фирм-производителей и поставщиков ветеринарных препаратов, отраслевых СМИ, ученые НИИ и вузов (университетов).

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ НА ФОРУМЕ:

- состояние и приоритетные направления развития отечественного свиноводства в России;
- влияние боевых действий на работу промышленных свиноводческих предприятий в приграничных районах, влияние на производство, переработку, поставки свинины на экспорт, в том числе в Китай;
- ветеринарная безопасность в промышленном свиноводстве по наиболее экономически значимым вирусным болезням свиней, репродуктивно-респираторный синдром свиней; обеспечение промышленных свиноводческих предприятий вакцинами для свиней: объемы, ассортимент, ожидаемая эффективность доступных препаратов; планы компаний по обеспечению рынка РФ;
- ситуация с кормами в текущий период — проекты импортозамещения; специфика кормления в свиноводстве; микозы и основные кормовые микотоксины свиней; методы и приборы контроля качества, а также безопасности сырья и кормов;
- реализация высокого отечественного генетического потенциала свиней;
- управленческие решения и нормативно-правовое регулирование в рамках борьбы с основными болезнями свиней в современных реалиях; система ветеринарного надзора в РФ; обращение лекарственных средств для ветеринарного применения.

В рамках форума пройдут выставка отечественных и зарубежных фирм-производителей и поставщиков оборудования для свиноводства и ветеринарных препаратов, отраслевой научно-производственной и нормативно-технической литературы, техническая экскурсия, деловые встречи и переговоры.

Проведение форума предусмотрено в комбинированном режиме — офлайн (личное участие) и онлайн (видеотрансляция).

СПРАВКИ И ЗАЯВКИ

МПА:

Заведующая кафедрой отраслей животноводства и комбикормового производства профессор
Щербакова Ольга Евгеньевна
Тел/факс 8 (495) 959-71-06
scherbakova@grainfood.ru

Доцент кафедры отраслей животноводства и комбикормового производства
Агеева Ксения Михайловна
Тел/факс 8 (499) 235-48-27
a8905777955@yandex.ru

Декан
Карцева Ольга Павловна
Тел/факс 8 (499) 235-95-79
dekanat@grainfood.ru

НСС:

Главный эксперт по развитию отрасли
Аксанья Григорий Степанович
Тел. 8 (495) 690-53-17,
моб. 8 (929) 901-89-49
next@nssrf.ru



¹Институт агrobiотехнологий им. А.В. Журавского, Коми Научный центр Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

✉ semen.nikolaev.90@mail.ru

Поступила в редакцию:
05.03.2024

Одобрена после рецензирования:
15.05.2024

Принята к публикации:
30.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-77-81

Semyon V. Nikolaev¹ ✉Vladimir L. Yaluga²

¹A.V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnologies, Komi Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

²The Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

✉ semen.nikolaev.90@mail.ru

Received by the editorial office:
05.03.2024

Accepted in revised:
15.05.2024

Accepted for publication:
30.05.2024

Генетическая характеристика быков-производителей холмогорской породы в зависимости от их линейной принадлежности и уровня голштинизации

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Генетический анализ с применением STR-маркеров позволяет эффективно использовать различные подходы для управления селекционным процессом в популяции.

Методы. Материалом для ДНК-исследований служила глубокозамороженная сперма 103 быков-производителей холмогорской породы с различным уровнем кровности по голштинскому скоту, принадлежащих к 5 основным генеалогическим линиям. Молекулярно-генетические исследования проведены в лаборатории ДНК-технологий ВНИИПлем.

Результаты. Максимальным генетическим разнообразием обладали животные линий VBA ($I = 1,557$) и NI ($I = 1,556$), а наименьшим — линии ChI (показатель ниже на 0,229 ($p \leq 0,05$) по отношению к VBA). Выраженное несоответствие наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности в сторону дефицита гетерозигот установлено среди животных линии VBA ($F = 0,173$), что выше на 0,220–0,262 по отношению к RS и ChI ($p \leq 0,01–0,001$). У быков линий ChI и RS установлено смещение равновесия в сторону избытка гетерозиготности ($F = -0,111$ и $F = -0,054$ соответственно). Наиболее родственными можно считать линии NI и VBA ($D_N = 0,097$), а также NI и Lm ($D_N = 0,101$), а наименее — VBA и ChI ($D_N = 0,247$), а также VBA и RS ($D_N = 0,218$). При дифференцировке выборок по уровню голштинизации установлено, что наибольшим генетическим разнообразием характеризовались быки с кровностью 25–49% (1,633), а минимальным — животные со степенью голштинизации выше 74% (что ниже на 0,299–0,334 по отношению к другим выборкам, $p \leq 0,05–0,01$). С ростом степени голштинизации наблюдалось увеличение уровня генетической инбредности (у помесей с кровностью выше 74% по-казатель на 0,142–0,229 больше ($p \leq 0,05–0,001$) по сравнению с другими выборками).

Ключевые слова: холмогорская порода, голштинская порода, STR-маркеры, частоты аллелей, генетическое равновесие, гомозиготность

Для цитирования: Николаев С.В., Ялуга В.Л. Генетическая характеристика быков-производителей холмогорской породы в зависимости от их линейной принадлежности и уровня голштинизации. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 77–81.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-77-81>

© Николаев С.В., Ялуга В.Л.

Genetic characteristics of producing bulls of the Kholmogorsky breed, depending on their linear affiliation and the level of Holstein

ABSTRACT

Relevance. Genetic analysis using STR markers makes it possible to effectively use various techniques to control the breeding process in a population.

Methods. The material for DNA research was the deep-frozen sperm of 103 bulls-producers of the Kholmogorsky breed, with different blood levels of Holstein cattle belonging to five main genealogical lines. Molecular genetic studies were conducted in the laboratory of DNA technologies at VNIIPlem.

Results. The animals of the VBA ($I = 1,557$) and NI ($I = 1,556$) lines had the maximum genetic diversity, and the ChI lines had the lowest (the indicator is lower by 0.229 ($p \leq 0.05$) relative to VBA). A pronounced discrepancy between the observed and expected heterozygosity towards heterozygote deficiency was found among animals of the VBA line ($F = 0.173$), which is higher by 0.220–0.262 relative to RS and ChI ($p \leq 0.01–0.001$). The bulls of the ChI and RS lines have an equilibrium shift towards an excess of heterozygosity ($F = -0.111$ and $F = -0.054$ respectively). The most related lines are NI and VBA ($D_N = 0.097$), as well as NI and Lm ($D_N = 0.101$), and the least VBA and ChI ($D_N = 0.247$), as well as VBA and RS ($D_N = 0.218$). When differentiating the samples by the level of Holstein, it was found that the greatest genetic diversity was characterized by bulls with a blood density of 25–49% (1,633), and the minimum was animals with a degree of Holstein above 74% (which is lower by 0.299–0.334 relative to other samples, $p \leq 0.05–0.01$). With an increase in the degree of Holstein, an increase in the level of genetic inbred was observed (in crossbreeds with a bloodline above 74%, the indicator was 0.142–0.229 more ($p \leq 0.05–0.001$) compared with other samples).

Key words: Kholmogorskaya breed, Holstein breed, STR markers, allele frequencies, genetic equilibrium, homozygosity

For citation: Nikolaev S.V., Yaluga V.L. Genetic characteristics of producing bulls of the Kholmogorsky breed, depending on their linear affiliation and the level of Holstein. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 77–81 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-77-81>

© Nikolaev S.V., Yaluga V.L.

Введение/Introduction

На территории Российской Федерации насчитывается более десятка локальных пород крупного рогатого скота. Основным методом улучшения их молочной продуктивности было выбрано поглотительное скрещивание с голштинским скотом [1, 2]. Негативным фактором данного процесса является не только опасность исчезновения отечественного генофонда, но и пониженная адаптированность голштинской породы к многообразию природно-климатических условий и хозяйственных особенностей ведения скотоводства в различных регионах страны. Поэтому голштинизация ассоциирована с ростом заболеваемости незаразной патологией и сокращением сроков продуктивного использования животных [3–5].

Примером негативного влияния поглотительной голштинизации являются результаты, полученные в хозяйствах Республики Коми на холмогорской породе. Суровые климатические условия региона и отсутствие приемлемой кормовой базы, наряду с искусственным сдерживанием повышения кровности по голштинской породе, создали условия для сохранения генофонда холмогорского скота [6–8]. Однако невысокий по современным меркам уровень продуктивности породы способствует дальнейшему вытеснению чистопородных животных помесным скотом [9]. Для поддержания оптимальной продуктивности и жизнеспособности животных возникает потребность в создании стад с определенным уровнем прилития крови улучшающей породы, что требует наличия как высококровных по голштинской породе, так и чистопородных холмогорских быков.

Разведение помесей «в себе» может привести к накоплению уровня инбридинга, что требует контроля генетических параметров, происходящих в популяции. С этой позиции наиболее удобными и доступными маркерами можно считать ДНК-микросателлиты (STR-маркеры), которые обладают высоким уровнем полиморфизма [11–13]. С помощью STR-маркеров можно установить родство особей и линий, что позволит эффективно использовать различные приемы разведения для минимизации близкородственного спаривания и накопления гомозигот в популяции.

Цель исследований — провести оценку генетического разнообразия и родства быков-производителей холмогорской породы в зависимости от их линейной принадлежности и уровня голштинизации.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования выполнены в 2022–2024 гг. в Институте агробихотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, Россия). Образцами для ДНК-исследований являлась глубоководнозамороженная сперма быков-производителей холмогорской породы с различным уровнем кровности по голштинскому скоту. Производители принадлежали двум региональным племпредприятиям — РГУСП «Коми» по племенной работе (г. Сыктывкар, Россия) и ОАО «Архангельское племпредприятие» (Архангельская обл., Россия). Всего для генетических исследований был отобран биоматериал от 103 быков-производителей, отнесенных к 5 генеалогическим линиям: Хлопчатник СХ-1098 (Chl, $n = 9$), Наилучший СХ-856 (NI, $n = 30$), Лимон СХ-721 (Lm, $n = 28$), Рефлекшн Соверинг 198998 (RS, $n = 9$), Вис Бэк Айдил 1013415 (VBA, $n = 27$). Кровность животных по улучшающей породе варьировала от 3 до 91%. Молекулярно-генетические исследования проведены в лаборатории ДНК-технологий Всероссийского научно-исследовательского института племенного дела (г. Пушкин, Россия). Выделение ДНК проводили с использованием колонок Nexttec (Nexttec™ Biotechnologie GmbH, Германия) в соответствии с рекомендациями производителя. Микросателлитный профиль быков-производителей изучали с помощью ДНК-анализатора с лазерным детектором ABI3130xl (Applied Biosystema, США).

ПЦР-анализ осуществлен по 15 микросателлитным локусам: SPS115, TGLA53, TGLA122, BM1818, ETH10, BM1824, INRA23, BM2113, TGLA227, CSRM60, TGLA126, ETH225, CSSM66, ETH3, ILSTS6. При генетической оценке определяли среднее число аллелей на локус (N_a), число эффективных аллелей (N_e), количество часто встречаемых аллелей ($N_a, q \geq 10\%$), индекс Шеннона (I), степень наблюдаемой (H_o) и ожидаемой (H_e) гетерозиготности, уровень несмещенной ожидаемой гетерозиготности (uHe), индекс фиксации (F), коэффициенты генетического сходства (I_N) и генетическое расстояние (D_N) между выборками.

Статистический и популяционно-генетический анализ проведен с использованием программ GenAIEx 6.503¹, MS Excel 2010 (США), Structure 2.3.4².

Таблица 1. Генетическая характеристика отдельных генеалогических линий голштинизированных холмогорских быков по 15 STR-маркерам

Table 1. Genetic characteristics of individual genealogical lines of Holstinated Kholmogorsky bulls by 15 STR-markers

Генеалогическая линия		N_a	N_e	$N_a, q \geq 10\%$	I	H_o	H_e	uHe	F
Chl	X	5,133 ^{b, c**}	3,348	3,27	1,328	0,748	0,674	0,713	-0,111 ^{b, c**}
	S_x	0,291	0,267	0,25	0,072	0,040	0,025	0,027	0,043
Lm	X	7,267 ^{d*}	4,043	3,20 ^{d**}	1,530	0,681	0,714	0,728	0,047 ^{e*}
	S_x	0,530	0,412	0,24	0,090	0,042	0,033	0,033	0,039
NI	X	7,467	4,041	3,13 ^{d**}	1,556	0,685 ^{e*}	0,725	0,737	0,057 ^{e*}
	S_x	0,624	0,390	0,22	0,087	0,033	0,023	0,024	0,032
RS	X	5,400 ^{e***}	3,797	3,93	1,447	0,756 ^{e**}	0,716	0,758	-0,054 ^{e***}
	S_x	0,335	0,274	0,25	0,068	0,041	0,022	0,023	0,045
VBA	X	7,400 ^{a***}	3,830	2,87 ^{d**}	1,557 ^{a*}	0,591 ^{a*}	0,715	0,729	0,173 ^{a***}
	S_x	0,434	0,316	0,26	0,069	0,027	0,022	0,022	0,030

Примечание: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$ достоверно по отношению к генеалогическим линиям: ^aChl, ^bLm, ^cNI, ^dRS, ^eVBA.

¹ Peakall R., Smouse P.E. GenAIEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. Bioinformatics 28. 2012; 2537–2539.

² The Pritchard Lab. Departments of Genetics and Biology, Stanford University.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ аллельного полиморфизма показал (табл. 1), что наименьшим количеством наблюдаемых ДНК-микросателлитов по 15 исследуемым локусам обладают производители генеалогических линий ChI и RS.

Так, среди быков, отнесенных к линии ChI, в среднем выявлено 5,133 аллели, что на 2,134–2,330 меньше по сравнению с производителями линий NI, Lm и VBA ($p \leq 0,01-0,001$). Различия аллельного разнообразия между животными линии RS по отношению к быкам линий NI, Lm, VBA составили от 1,867 до 2,067 ($p \leq 0,05-0,001$). Наибольшим наблюдаемым полиморфизмом по анализируемым STR-маркерам обладали производители, относящиеся к линии NI ($N_a = 7,467$). Количество микросателлитов с частотой 10% и более было максимальным (3,93) среди животных линии RS ($p \leq 0,01$ по отношению к NI, Lm и VBA), а минимальным (2,87) — среди быков с генеалогической принадлежностью к VBA. Наибольшее число эффективных аллелей выявлено у производителей линий Lm и NI (4,043 и 4,041 соответственно), а наименьшее — среди быков линии ChI (3,348). Максимальным генетическим разнообразием обладали животные линий VBA и NI, индекс Шеннона у которых в среднем составлял 1,56, а минимальным — линии ChI, где показатель был ниже на 0,229 по отношению к быкам с генеалогической принадлежностью к VBA ($p \leq 0,05$).

Анализ уровня гетерозиготности свидетельствует, что минимальный наблюдаемый показатель присутствует у быков линии VBA ($H_o = 0,591$), тогда как среди животных линий NI, ChI и RS он был выше на 0,094 ($p \leq 0,05$), 0,157 ($p \leq 0,05$) и 0,165 ($p \leq 0,01$) соответственно. Ожидаемая гетерозиготность, наоборот, была наименьшей среди производителей ChI ($H_e = 0,674$), а наибольшая — среди быков линии NI ($H_e = 0,725$). Выявленное несоответствие наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности в сторону дефицита гетерозигот установлено среди животных линии VBA ($F = 0,173$), где показатель был выше на 0,220–0,262 по отношению к линиям RS и ChI ($p \leq 0,01-0,001$). Умеренный дефицит гетерозигот отмечен среди производителей Lm ($F = 0,047$) и NI ($F = 0,057$). У быков линий ChI и RS установлено смещение равновесия в сторону избытка гетерозиготности ($F = -0,111$ и $F = -0,054$ соответственно).

Анализ генетического сходства и генетической дистанции в зависимости от линейной принадлежности свидетельствует (табл. 2, рис. 1), что наиболее родственными можно считать линии NI и VBA ($D_N = 0,097$), а также NI и Lm ($D_N = 0,101$). Максимальная генетическая дивергенция по частотам ДНК-микросателлитов наблюдалась между линиями VBA и ChI ($D_N = 0,247$), и VBA и RS ($D_N = 0,218$).

На следующем этапе была проведена оценка генетического разнообразия производителей исходя из

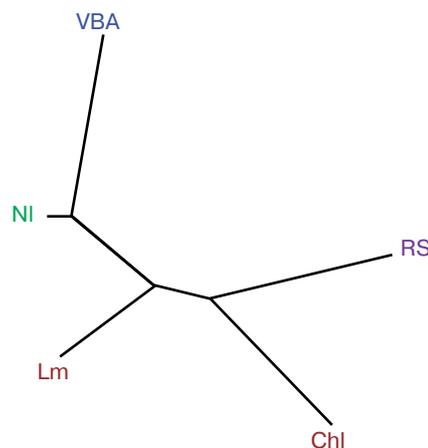
Таблица 2. Коэффициент генетического сходства (I_N) и генетическая дистанция (D_N) между различными генеалогическими линиями голштинизированных холмогорских быков

Table 2. Coefficient of genetic similarity (I_N) and genetic distance (D_N) between different genealogical lines of Holstein-bred Kholmogorsky bulls

$D_N \setminus I_N$	ChI	Lm	NI	RS	VBA
ChI	x	0,863	0,867	0,863	0,781
Lm	0,147	x	0,904	0,867	0,828
NI	0,143	0,101	x	0,862	0,908
RS	0,147	0,143	0,149	x	0,804
VBA	0,247	0,188	0,097	0,218	x

Рис. 1. Визуализация генетического расстояния (D_N) между 5 линиями голштинизированных холмогорских быков по 15 анализируемым микросателлитным локусам

Fig. 1. Visualization of the genetic distance (D_N) between five Holstein lines of Kholmogorsky bulls according to 15 analyzed microsatellite loci



уровня кровности по улучшающей породе. Для этого в зависимости от степени голштинизации животные были дифференцированы на 4 группы. В 1-ю группу вошли быки с уровнем прилития голштинской крови 3–24% ($n = 24$), во 2-ю — 25–49% ($n = 41$), в 3-ю — 50–74% ($n = 27$), в 4-ю — 75–91% ($n = 11$). Характеристика генетических параметров в зависимости от кровности представлена в таблице 3.

Установлено, что наименьшее количество наблюдаемых аллелей встречалось среди высококровных по голштинской породе быков-производителей (табл. 3). Так, показатель 4-й группы был ниже на 1,734–3,200 ($p \leq 0,001$) по сравнению с производителями, чья кровность составляла 3–74%. Число эффективных аллелей у животных с уровнем голштинизации 75–91% было меньше других групп на 0,853–1,247 ($p \leq 0,05$), при этом максимальные значения показателя установлены среди производителей 2-й группы (4,332). Наибольшим генетическим разнообразием характеризовались быки с

Таблица 3. Зависимость генетических параметров быков-производителей холмогорской породы от степени голштинизации

Table 3. The dependence of the genetic parameters of the producing bulls of the Kholmogorsky breed on the degree of Holstein

Группа	N_a	N_e	$N_a, q \geq 10\%$	I	H_o	H_e	uHe	F	
1	X	6,867***	3,938*	3,40	1,523*	0,727***	0,722*	0,737	-0,005***
	S_x	0,350	0,348	0,28	0,068	0,028	0,021	0,021	0,017
2	X	8,333***	4,332*	3,33	1,633**	0,676**	0,739*	0,748	0,082*
	S_x	0,674	0,425	0,26	0,089	0,031	0,024	0,024	0,035
3	X	7,400***	4,011*	3,27	1,582**	0,679**	0,726*	0,740	0,066**
	S_x	0,412	0,330	0,24	0,070	0,035	0,023	0,024	0,033
4	X	5,133	3,085	3,33	1,299	0,510	0,657	0,689	0,224
	S_x	0,307	0,198	0,52	0,059	0,036	0,021	0,022	0,045

Примечание: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$ достоверно по отношению к животным 4-й группы.

уровнем кровности 25–49% (1,633), а минимальным — животные с уровнем голштинизации выше 74%, где показателем было меньше на 0,299–0,334 ($p \leq 0,05–0,01$) по отношению к другим выборкам.

Анализ гетерозиготности особой свидетельствует, что наибольшим уровнем наблюдаемого показателя обладали животные с кровностью 3–24% (0,727), а наименьшим — высококровные помеси (0,510), среднее значение у которых было ниже на 0,166–0,217 по сравнению с другими группами ($p \leq 0,01–0,001$). Максимальная ожидаемая гетерозиготность была характерна для производителей с уровнем кровности 25–49% (0,739), а минимальная — у быков с высокой степенью голштинизации (меньше на 0,065–0,079 по сравнению с другими группами, $p \leq 0,05$). При этом несмещенный уровень ожидаемой гетерозиготности не имел существенных отличий между животными различного генетического происхождения. F-статистика Райта свидетельствует, что соответствие наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности в большей мере характерно для низкокровных по голштинской породе холмогорских быков ($-0,005$). Исследованиями установлено, что с ростом степени голштинизации наблюдается рост уровня генетической инбредности. Этот показатель у высококровных по улучшающей породе помесей составил 0,224, что на 0,142–0,229 больше по сравнению с другими выборками ($p \leq 0,05–0,001$).

Анализ генетической дивергенции свидетельствует (табл. 4, рис. 2), что родство между производителями снижается по мере расхождения в уровне кровности. Так, максимальное генетическое сходство было установлено между животными с кровностью 3–24% и 25–49% (0,935), а минимальное — между первой и четвертой выборками (0,782).

Выводы/Conclusions

Дифференциация холмогорских быков-производителей двух региональных племпредприятий по линейной принадлежности свидетельствует, что наиболее генетически разнообразными можно считать генеалогические линии VBA, NI и Lm, а менее — ChI и RS. Стоит отметить, что меньшее генетическое богатство линий ChI и RS объясняется небольшим размером данных выборок (по 9 животных). Однако анализ F-статистики Райта показал, что несмотря на меньшее генетическое разнообразие среди быков линий ChI и RS, в данных субпопуляциях наблюдается наиболее выраженное смещение в сторону наблюдаемой гетерозиготности, а у животных линии VBA, наоборот, в сторону дефицита. Наблюдаемые отклонения от панмиксии, по видимости, являются результатом направленного селекционного процесса в анализируемых выборках. Генетическая дивергенция по частотам STR-маркеров свидетельствует, что наиболее генетически сходными по микросателлитам можно считать линии NI и VBA, а также Lm и NI.

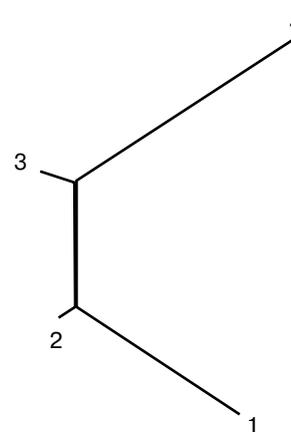
Таблица 4. Коэффициент генетического сходства (I_N) и генетическая дистанция (D_N) между быками-производителями холмогорской породы с различным уровнем голштинизации

Table 4. The coefficient of genetic similarity (I_N) and the genetic distance (D_N) between the producing bulls of the Kholmogorsky breed with different levels of Holstein

D_N	I_N	1	2	3	4
1		x	0,935	0,871	0,782
2		0,067	x	0,930	0,868
3		0,138	0,073	x	0,895
4		0,246	0,142	0,111	x

Рис. 2. Визуализация генетического расстояния (D_N) между производителями холмогорской породы с различным уровнем голштинизации: 1 — животные с кровностью 3–24%, 2 — с кровностью 25–49, 3 — с кровностью 50–74%, 4 — с кровностью 75–91%

Fig. 2. Visualization of the genetic distance (D_N) between producers of the Kholmogorsky breed with different levels of Holstein: 1 — animals with a degree of 3–24%, 2 — with a degree of 25–49, 3 — with a degree of 50–74%, 4 — with a degree of 75–91%



Наименьшее сходство наблюдается между быками линий VBA и ChI, а также RS и VBA, что позволяет использовать целенаправленный подбор родительских пар данных генеалогических групп породы для минимизации уровня генетического инбридинга. Дифференциация холмогорских быков по уровню кровности показала снижение генетического разнообразия в группе высококровных по голштинской породе производителей с выраженным несоответствием наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности, а именно с изменениями в сторону дефицита гетерозигот.

Таким образом, анализ генетического разнообразия производителей двух региональных племпредприятий свидетельствует, что для поддержания генетической структуры и конкурентоспособности холмогорской породы в стадах Республики Коми и Архангельской области требуется наличие достаточного количества быков соответствующего происхождения.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках государственного задания Минобрнауки России № FUUU-2023-0002, FUJW-2022-0059 и проекта межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».

FUNDING

The research was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. FUUU-2023-0002, FUJW-2022-0059 and the project of the interregional world-class scientific and educational center "Russian Arctic: new materials, technologies and research methods".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прожерин В.П., Ялуга В.Л., Калашникова Л.А. Проблемы сохранения отечественных пород молочного скота. *Зоотехния*. 2016; 9: 2–4. <https://www.elibrary.ru/wmwmry>
2. Паронян И.А. Возможности сохранения и совершенствования генофонда пород крупного рогатого скота отечественной селекции. *Достижения науки и техники АПК*. 2018; 32(5): 63–66. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10516>
3. Матюков В.С., Тырина Ю.О., Кантанен Ю., Столповский Ю.А. О генетических особенностях и селекционной ценности местного скота (на примере холмогорской породы). *Сельскохозяйственная биология*. 2013; 48(2): 19–30. <https://www.elibrary.ru/pzaxlp>
4. Матюков В.С., Жариков Я.А., Лобов Д.В. Сохранить холмогорскую породу — основу органического сельского хозяйства на Севере. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019; 55: 63–69. <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-12063>
5. Николаев С.В. Ветеринарные аспекты хозяйственно полезных качеств холмогорского скота. *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 2021; 1: 37–44. <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2021-1-37-44>
6. Матюков В.С. Еще раз о генофонде и селекции холмогорского скота. Сыктывкар: ГНУ НИПТИ АПК РК РАСХН. 2007; 139. ISBN 978-5-7934-0208-8 <https://www.elibrary.ru/qkzbrz>
7. Николаев С.В., Шемуранова Н.А. Продуктивность коров холмогорской породы с различной степенью голштинизации в условиях Республики Коми. *Молочное и мясное скотоводство*. 2020; 2: 19–23. <https://doi.org/10.33943/MMS.2020.82.49.005>
8. Матюков В.С., Жариков Я.А., Зиновьева Н.А. Генетическая история и ценность генофонда исчезающей холмогорской породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2018; 2: 2–8. <https://www.elibrary.ru/xmgyeh>
9. Прожерин В.П., Калашникова Л.А., Ялуга В.Л., Кувакина И.В. Породная инвентаризация племенных ресурсов холмогорского скота. *Зоотехния*. 2023; 2: 9–14. <https://www.elibrary.ru/rwkrip>
10. Кузнецов В.М. Сравнение методов оценки генетической дифференциации популяций по микросателлитным маркерам. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020; 21(2): 169–182. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.169-182>
11. Dotsev A.V. *et al.* Microsatellite-based heterozygosity fitness correlations in reindeer. *Journal of Animal Science*. 2019; 97(S3): 266. <https://doi.org/10.1093/jas/skz258.541>
12. Abdelmanova A.S. *et al.* Genetic Diversity of Historical and Modern Populations of Russian Cattle Breeds Revealed by Microsatellite Analysis. *Genes*. 2020; 11(8): 940. <https://doi.org/10.3390/genes11080940>
13. Solodneva E. *et al.* Genetic Structure Analysis of 155 Transboundary and Local Populations of Cattle (*Bos taurus*, *Bos indicus* and *Bos grunniens*) Based on STR Markers. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(5): 5061. <https://doi.org/10.3390/ijms24055061>

ОБ АВТОРАХ

Семен Викторович Николаев¹

кандидат ветеринарных наук, научный сотрудник
semen.nikolaev.90@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5485-4616>

Владимир Леонтьевич Ялуга²

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
yaluga29@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0215-9715>

¹ Институт агробиотехнологий им. А.В. Журавского
Коми научного центра Уральского отделения Российской
академии наук,
ул. Ручейная, 29, Сыктывкар, 167023, Россия

² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения
Арктики им. Академика Н.П. Лаврова Уральского отделения
Российской академии наук,
пр-т Никольский, 20, Архангельск, 163020, Россия

REFERENCES

1. Prozherin V.P., Yaluga V.L., Kalashnikova L.A. Gene pool preservation problems of Russian dairy cattle breeds. *Zootechiya*. 2016; 9: 2–4 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wmwmry>
2. Paronyan I.A. Possibilities of preservation and improvement of the gene pool of cattle of domestic breeding. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2018; 32(5): 63–66 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10516>
3. Matyukov V.S., Tyrina Yu.O., Kantanen Yu., Stolpovskii Yu.A. About features and selective value of the gene pool in local cattle (for Kholmogory breed as an example). *Agricultural Biology*. 2013; 48(2): 19–30 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pzaxlp>
4. Matyukov V.S., Zharikov Ya.A., Lobov D.V. Kholmogory breed keeping as a base of organic agriculture in the north. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019; 55: 63–69 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-12063>
5. Nikolaev S.V. Veterinary aspects of the economic and useful qualities of the Kholmogorsky cattle. *Proceedings of the Komi Science Centre Ural Branch Russian Academy of Sciences*. 2021; 1: 37–44 (in Russian). <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2021-1-37-44>
6. Matyukov V.S. Once again about the gene pool and breeding of Kholmogorsky cattle. Syktывkar: *Scientific Research and Design-Technological Institute of the Agro-Industrial Complex of the Komi Republic of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2007; 139 (in Russian). ISBN 978-5-7934-0208-8 <https://www.elibrary.ru/qkzbrz>
7. Nikolaev S.V., Shemuranova N.A. Productivity of cows of the Kholmogorskaia breed with varying degrees of Holstein in the Komi Republic. *Dairy and beef cattle farming*. 2020; 2: 19–23 (in Russian). <https://doi.org/10.33943/MMS.2020.82.49.005>
8. Matyukov V.S., Zharikov Ya.A., Zinovieva N.A. Genetic history and value of the gene pool appearing Holmogorsky breed. *Dairy and beef cattle farming*. 2018; 2: 2–8 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xmgyeh>
9. Prozherin V.P., Kalashnikova L.A., Yaluga V.L., Kuvakina I.V. Breed inventory of breeding resources of Kholmogory cattle. *Zootechiya*. 2023; 2: 9–14 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rwkrip>
10. Kuznetsov V.M. Comparison of methods for evaluating genetic differentiation of populations by microsatellite markers. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020; 21(2): 169–182 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.169-182>
11. Dotsev A.V. *et al.* Microsatellite-based heterozygosity fitness correlations in reindeer. *Journal of Animal Science*. 2019; 97(S3): 266. <https://doi.org/10.1093/jas/skz258.541>
12. Abdelmanova A.S. *et al.* Genetic Diversity of Historical and Modern Populations of Russian Cattle Breeds Revealed by Microsatellite Analysis. *Genes*. 2020; 11(8): 940. <https://doi.org/10.3390/genes11080940>
13. Solodneva E. *et al.* Genetic Structure Analysis of 155 Transboundary and Local Populations of Cattle (*Bos taurus*, *Bos indicus* and *Bos grunniens*) Based on STR Markers. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(5): 5061. <https://doi.org/10.3390/ijms24055061>

ABOUT THE AUTHORS

Semen Viktorovich Nikolaev¹

Candidate of Veterinary Sciences, Researcher
semen.nikolaev.90@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5485-4616>

Vladimir Leontievich Yaluga²

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
yaluga29@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0215-9715>

¹ A.V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnologies,
Komi Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences,
29 Rucheynaya Str., Syktывkar, 167023, Russia

² The Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic
named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
20 Nikolsky Ave., Arkhangelsk, 163020, Russia

В.И. Косилов¹
 Ю.А. Юлдашбаев²
 Е.А. Никонова¹ ✉
 И.А. Рахимжанова¹
 Р.Г. Калякина¹
 Т.А. Седых^{3, 4}
 М.Н. Долгая⁵

¹ Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

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

³ Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия

⁴ Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

⁵ ООО «Группа компаний ВИК», Островцы, г. о. Раменский, Московская обл., Россия

✉ nikonovaea84@mail.ru

Поступила в редакцию:
18.03.2024

Одобрена после рецензирования:
15.05.2024

Принята к публикации:
30.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-82-86

Vladimir I. Kosilov¹
 Yusupzhan A. Yuldashbaev²
 Elena A. Nikonova¹ ✉
 Ilmira A. Rakhimzhanova¹
 Raïla G. Kalyakina¹
 Tatiana A. Sedykh^{3, 4}
 Marina N. Dolgaya⁵

¹ Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

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

³ Aknulla Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russia

⁴ Bashkir Research Institute of Agriculture — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

⁵ "VIC Group of Companies" LLC, Ostrovtsy, Ramenskoye, Moscow region, Russia

✉ nikonovaea84@mail.ru

Received by the editorial office:
18.03.2024

Accepted in revised:
15.05.2024

Accepted for publication:
30.05.2024

Эффективность потребления и усвоения питательных веществ кормов рациона в зависимости от генотипа и кастрации молодняка овец

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В результате проведения научно-хозяйственного опыта получены материалы, характеризующие особенности потребления и усвоения питательных веществ кормов рациона баранчиками в зависимости от генотипной принадлежности и кастрации.

Методика. С целью выполнения эксперимента были подобраны группы подопытного молодняка: I — цыгайская порода (баранчики), II — ½ цыгайская × ½ эдильбай (баранчики), III — цыгайская порода (валушки), IV — ½ цыгайская × ½ эдильбай (валушки).

Результаты. Установлено влияние генотипа и кастрации на количество потребленных и переваренных питательных веществ, что в свою очередь сказывается на их усвояемости в организме и образовании мясной продукции. Достаточно отметить, что помесные баранчики и валушки, имеющие генотип ½ цыгайская × ½ эдильбай, превосходили чистопородных аналогов по потреблению сухого вещества на 237,6 г (14,5%) и 227,5 г (8,15), органического вещества — на 220,4 г (14,55%) и 200,0 г (14,2%), по перевариванию (усвоению) сухого вещества — на 173,0 г (16,1%) и 167,8 г (16,8%), органического вещества — на 158,9 г (15,5%) и 152,5 г (16,2%). При этом наименьшими показателями характеризовались как чистопородные, так и помесные валушки.

Ключевые слова: овцеводство, эдильбаевская порода, цыгайская порода, помеси, баранчики, валушки, потребление и усвоение, питательные вещества кормов рациона

Для цитирования: Косилов В.И., Юлдашбаев Ю.А., Никонова Е.А., Рахимжанова И.А., Калякина Р.Г., Седых Т.А., Долгая М.Н. Эффективность потребления и усвоения питательных веществ кормов рациона в зависимости от генотипа и кастрации. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 82–86. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-82-86>

© Косилов В.И., Юлдашбаев Ю.А., Никонова Е.А., Рахимжанова И.А., Калякина Р.Г., Седых Т.А., Долгая М.Н.

The efficiency of consumption and assimilation of nutrients of the diet feed, depending on the genotype and castration of young sheep

ABSTRACT

Relevance. As a result of the scientific and economic experience, materials were obtained characterizing the peculiarities of consumption and assimilation of nutrients in the diet of sheep, depending on genotypic affiliation and castration.

Methodology. In order to perform the experiment, groups of experimental young animals were selected: I — Gypsy breed (sheep), II — ½ Tsigai × ½ edilbai (sheep), III — Tsigai breed (boulders), IV — ½ Tsigai × ½ edilbai (boulders).

Results. The effect of genotype and castration on the amount of consumed and digested nutrients has been established, which in turn affects their digestibility in the body and the formation of meat products. It is enough to note that crossbred rams and boulders having the genotype ½ Qigai × ½ edilbai surpassed purebred analogues in consumption of dry matter by 237.6 g (14.5%) and 227.5 g (8.15), organic matter — by 220.4 g (14.55%) and 200.0 g (14.2%), in digestion (assimilation) dry matter by 173.0 g (16.1%) and 167.8 g (16.8%), organic matter by 158.9 g (15.5%) and 152.5 g (16.2%). At the same time, both purebred and crossbred boulders were characterized by the lowest indicators.

Key words: sheep breeding, Edilbaevsky breed, Qigai breed, crossbreeds, sheep, boulders, consumption and assimilation of nutrients of the diet feed

For citation: Kosilov V.I., Yuldashbaev Yu.A., Nikonova E.A., Rakhimzhanova I.A., Kalyakina R.G., Sedykh T.A., Dolgaya M.N. The efficiency of consumption and assimilation of nutrients in the diet depending on the genotype and castration. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 82–86 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-82-86>

© Kosilov V.I., Yuldashbaev Yu.A., Nikonova E.A., Rakhimzhanova I.A., Kalyakina R.G., Sedykh T.A., Dolgaya M.N.

Введение/Introduction

Овцеводство в современной России является одной из ключевых отраслей животноводства в таких природно-климатических зонах, где разведение животных других видов затруднено или невозможно, например в сухостепной [1–5]. Овцы являются источником высококачественного мяса и самого большого среди других сельскохозяйственных животных ряда ресурсов для разных отраслей промышленности: шерсть различного назначения, жировое сырье, молоко, овчинно-шубно-кожевенное сырье [2, 4, 6].

В современных условиях рыночной экономики и геополитической обстановки основной задачей совершенствования и обеспечения экономической эффективности овцеводства России необходимо изменять качественный состав поголовья [5, 7, 8]. Выполнение данной задачи возможно за счет улучшения породного генофонда овец и разработки селекционных и технологических методов повышения генетического потенциала мясной продуктивности овец. Решение задачи зависит от следующих факторов: генотипа, методов селекционно-племенной работы, технологии содержания [1, 7, 8].

На физиолого-биохимические особенности организма овец влияют генетические (вид, порода) и негенетические (физиологические особенности животного, качественные и количественные параметры откорма, профилактика болезней, условия содержания и состояние окружающей среды) факторы [7, 9–11].

При производстве мясной продукции в овцеводстве ключевым является фактор кормления [1, 12]. Именно под его влиянием животное полноценно растет и развивается, набирая живую массу, которая обеспечивает эффективность производства. Для правильного формирования мясной продукции рационы кормления должны быть полноценными и сбалансированными по всем питательным веществам [1, 2].

Продуктивность сельскохозяйственных животных напрямую связана с получением необходимых питательных веществ из рациона, которые в процессе пищеварения усваиваются животными и обеспечивают нормальную жизнедеятельность. Актуальный вопрос — возможность вносить качественные изменения в процесс пищеварения животных [10]. При этом важными принципами являются усвояемость и переваримость питательных веществ кормов рациона, потребляемого животным. Переваривание и усвоение питательных веществ в желудочно-кишечном тракте связаны со спецификой обмена веществ у животных. На этот процесс в свою очередь могут оказывать влияние различные факторы, являющиеся проявлением фенотипических, генотипических и интерьерных показателей. Один из таких факторов — генотипическая принадлежность молодняка и кастрация баранчиков [13, 14].

Кастрация — искусственное прекращение функции половых желез. Применяется в животноводстве для разных задач, в первую очередь экономической, так как кастрированные животные зачастую дают больший прирост массы тела, а их мясо становится более нежным и приятным на вкус [14, 15].

Существуют сведения, что кастрированные баранчики более спокойны и лучше откармливаются. Эти животные имеют более нежное тонковолокнистое мясо с более равномерным распределением жира, и оно не имеет неприятного запаха и вкуса, свойственных мясу некастрированных животных [15].

Однако наблюдается и негативная сторона такой операции с животным: кастрация замедляет рост и развитие, снижает продуктивность и ограничивает возможности безошибочного отбора баранчиков на племя [7, 15]. Так, кастрация баранчиков карачаевской породы в горном мясном грубошерстном овцеводстве с пастбищным содержанием препятствует проявлению в полной мере у них генетически заложенного потенциала мясной продуктивности, следовательно, при прочих равных условиях снижается конверсия кормов на производство мясной продукции [7, 16].

Результаты исследователей [17] свидетельствуют о том, что мясная продуктивность обеспложденных сверхремонтных баранчиков в определенной степени зависит от сроков кастрации. Валушки, обеспложденные в возрасте двух месяцев, по своей мясной продуктивности превосходят сверстников, обеспложденных в недельном и четырехмесячном возрасте, уступая при этом баранчикам по живой массе, убойному выходу и сортовому составу туш [17].

После кастрации у валушков интенсивность роста живой массы снижается, и при отбивке они достоверно отставали от сверстников на 4,2 кг, или на 15,9% [9].

Существуют выводы, что баранчиков, реализуемых на продажу в год их рождения, подвергать кастрации экономически нецелесообразно [17, 18].

Цель исследования — установить влияние генотипа, кастрации на потребление и усвоение питательных веществ кормов рациона молодняком овец.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проведены ООО «Колос» (Оренбургская обл.) в 2021–2022 гг.

Для выполнения эксперимента были подобраны группы подопытного молодняка по 20 голов: I — цыгайская порода (баранчики), II — $\frac{1}{2}$ цыгайская \times $\frac{1}{2}$ эдильбай (баранчики), III — цыгайская порода (валушки), IV — $\frac{1}{2}$ цыгайская \times $\frac{1}{2}$ эдильбай (валушки).

Содержание животных осуществлялось по принятой в овцеводстве технологии¹.

Отъем проведен в четырехмесячном возрасте. Подопытный молодняк, молодняк до отъема от матерей содержался на подсосе с овцематками. После отъема животных выпасали на пастбище. В зимний период подопытный молодняк находился в стойловом содержании. Для изучения характера потребления и усвоения питательных веществ проводили балансовый опыт в возрасте 8 месяцев по общепринятым методикам². Пробы крови отбирали из яремной вены через 1 и 3 часа после кормления. Сухое вещество в кормах определяли по ГОСТ 31640-2012³, сырую золу — по ГОСТ 26226-95⁴, сырой протеин — методом Кьельдаля⁵, сырой жир — по методу Сокслета⁶,

¹ Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 1 ноября 2022 г. № 774 «Об утверждении Ветеринарных правил содержания овец и коз в целях их воспроизводства, выращивания и реализации».

² Овсянников А.И. Методика ВИЖа. 1976.

³ ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения содержания сухого вещества. М.: Стандартинформ. 2020; 7.

⁴ ГОСТ 26226-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы.

⁵ ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. М.: Стандартинформ. 2019; 20.

⁶ ГОСТ 13496.15-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания сырого жира.

сырую клетчатку — по методу Геннеберга и Штомана⁷, БЭВ — расчетным методом.

При проведении научно-хозяйственного опыта подопытный молодняк всех групп содержался в одной технологической группе и получал рацион, сбалансированный по всем питательным веществам и соответствующий установленным нормам питания животных⁸.

Проведением балансового опыта⁹ эксперименты проводили в соответствии с основами и принципами надлежащего содержания и ухода за животными¹⁰.

Для статистического анализа использовали программное обеспечение Microsoft Excel (США). Вычисляли среднее арифметическое (\bar{X}) и ошибку средней арифметической ($\pm Sx$).

Результаты и их обсуждение / Results and discussion

Разное происхождение и физиологическое состояние (кастрация) оказали влияние на потребление питательных веществ, принятых с кормом (рис. 1).

При анализе полученных данных установлено, что кастрация баранчиков приводила к снижению потребления всех питательных веществ. Достаточно отметить, что кастраты потребляли меньше, чем баранчики, сухого вещества на 109,5 г (7,8%) и 119,6 г (7,3%), органического вещества — на 101,6 г (7,8%) и 122,0 г (7,4%), сырого протеина — на 15,4 г (7,6%) и 17,7 г (7,5%), сырого жира — на 3,2 г (6,3%) и 4,4 г (7,4%), сырой клетчатки — на 26,2 г (7,8%) и 28,6 г (7,3%), БЭВ — на 56,8 (8,0%) и 68,3 г (7,2%). При этом стабильно по всем питательным веществам отмечалось влияние генотипа на потребление. Помесные животные II и IV групп превосходили чистопородных сверстников I и III групп по потреблению сухого вещества на 237,6 г (14,5%) и 227,5 г (8,15%), органического вещества — на 220,4 г (14,55%) и 200,0 г (14,2%), сырого протеина — на 34,4 г (14,5%) и 32,1 г (14,7%), сырого жира — на 8,6 г (14,4%) и 7,4 г (13,4%), сырой клетчатки — на 56,9 г (14,5%) и 54,5 г (15,0%), БЭВ — на 120,5 г (14,5%) и 117,0 г (15,1%). Усвоенными питательными веществами рациона принято считать вещества, которые в результате переработки в пищеварительном тракте поступают в кровь и лимфу. Неусвоенные питательные вещества выделяются из организма в виде продуктов обмена кала, мочи.

Проведением балансового опыта было установлено, что на усвояемость питательных веществ оказывают происхождение баранчиков (генотип) и кастрация (табл. 1).

Рис. 1. Количество питательных веществ, принятых молодняком овец (в среднем на одно животное), г

Fig. 1. The amount of nutrients taken by young sheep (on average per animal), g

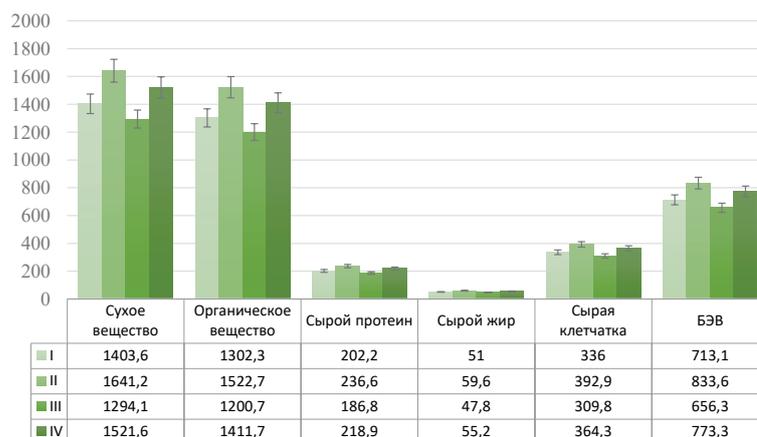


Таблица 1. Количество питательных веществ, усвоенных подопытными баранчиками и валушками в течение суток, г

Table 1. The amount of nutrients absorbed by the experimental sheep and boulders during the day, g

Показатель	Группа			
	I	II	III	IV
Сухое вещество	904,30±18,23	1077,30±21,16	830,60±16,34	998,40±19,26
Органическое вещество	864,50±16,31	1023,40±19,20	788,10±15,23	940,60±17,62
Сырой протеин	125,70±6,15	150,10±7,35	115,90±5,25	137,30±4,39
Сырой жир	31,20±2,21	36,70±2,46	29,60±1,48	34,60±2,28
Сырая клетчатка	175,20±7,11	206,10±8,22	161,30±6,22	190,70±6,34
БЭВ	532,40±13,24	630,50±14,53	481,30±12,24	578,00±12,96

Достаточно отметить, что чистопородные баранчики (I группа) и валушки (III группа) уступали помесным аналогам по усвоению сухого вещества на 173,0 г (16,1%) и 167,8 г (16,8%), органического вещества — на 158,9 г (15,5%) и 152,5 г (16,2%), сырого протеина — на 24,4 г (16,3%) и 21,4 г (15,6%), сырого жира — на 5,5 г (15,0%) и 5,0 г (14,5%), сырой клетчатки — на 30,9 г (15,0%) и 29,4 г (15,4%), БЭВ — на 98,1 г (15,6%) и 96,7 г (16,7%) соответственно. При этом как чистопородные, так и помесные баранчики характеризовались лучшим усвоением всех питательных веществ в сравнении с валушками. Достаточно отметить, что их преимущество по усвоению сухого вещества составляло 73,7 г (8,1%) и 78,9 г (7,3%), органического вещества — 76,4 г (8,8%) и 82,8 г (8,1%), сырого протеина — 9,8 г (7,8%) и 12,8 г (8,5%), сырого жира — 1,6 г (5,1%) и 2,1 г (5,7%), сырой клетчатки — 13,9 г (7,9%) и 15,4 г (7,5%), БЭВ — 51,1 г (9,6%) и 52,5 г (8,3%) соответственно.

⁷ ГОСТ Р 57543-2017 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и влаги с применением спектроскопии в ближней инфракрасной области в режиме измерения спектров пропускания.

⁸ Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие / Под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. Москва. 2003.

⁹ Методология и методы научных исследований в животноводстве: учебное пособие / сост. Е.Н. Мартынова. Ижевск: ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА». 2019; 108.

¹⁰ Директива Европейского парламента и Совета ЕС от 22 сентября 2010 г. № 2010/63/ЕС по защите и охране животных, используемых в научных целях. https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

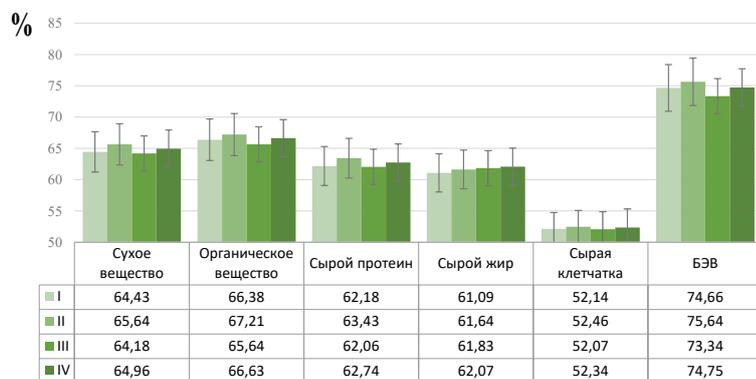
Наиболее наглядно о характере усвоения питательных веществ можно судить по коэффициенту перевариваемости, который показывает эффективность переваривания питательных веществ (рис. 2).

Анализируя показатели коэффициента перевариваемости, можно отметить, что изучаемые факторы «генотип» и «кастрация» оказывали влияние на характер усвоения

питательных веществ. Достаточно отметить что коэффициенты перевариваемости помесного молодняка (II и IV групп) были выше, чем у чистокровных цыгайских баранчиков (I группа) и валушков (III группа), в среднем на 0,24–1,44%, при этом эффективность усвоения питательных веществ у валушков была ниже, чем у баранчиков, на 0,25–1,32%.

Рис. 2. Коэффициент перевариваемости питательных веществ молодняка овец (в среднем на одно животное), %

Fig. 2. Digestibility coefficient of nutrients for young sheep (on average per animal), %



Выводы/Conclusions

Полученные результаты позволяют судить о том, что эффект скрещивания овец разного направления продуктивности положительно сказывается на эффективности потребления и усвояемости питательных веществ кормов рациона.

Так, помеси превосходили чистопородных сверстников по количеству потребленных питательных веществ в среднем на 8,5–14,5%, усвоению питательных веществ — на 15,0–16,8%.

Необходимо отметить, что процесс кастрации отрицательно влияет на использование питательных веществ корма. При этом показатели эффективности использования питательных веществ снижаются на 5,7–8,3%.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никонова Е.А., Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И., Савчук С.В. Особенности обмена питательных веществ в организме чистопородного и помесного молодняка крупного рогатого скота. *Аграрная наука*. 2022; 5: 40–44. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-359-5-40-44>
2. Никонова Е.А., Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И. Влияние двух-трехпородного скрещивания молодняка разного пола и направления продуктивности на потребление и использование питательных веществ рационами. *Аграрная наука*. 2022; 9: 59–64. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-59-64>
3. Войтюк М.М., Мачнева О.П. Современное состояние овцеводства в России. *Эффективное животноводство*. 2021; 4: 102–105. <https://doi.org/10.24412/ci-33489-2021-4-102-105>
4. Трухачев В.И., Ерохин А.И., Юлдашбаев Ю.А., Ерохин С.А. Вектор развития овцеводства в мире и России. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2023; 4: 3–9. <https://www.elibrary.ru/alzcan>
5. Маринченко Т.Е., Кузьмина Т.Н. Перспективные направления развития овцеводства России. Романюк В. (ред.). *Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза*. Фаленты; Варшава: Технологическо-природоведческий институт — национальный исследовательский институт. 2021; 27: 106–110. <https://www.elibrary.ru/hvffw>
6. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А. Состояние, динамика и тенденции в развитии овцеводства в мире и России. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2019; 3: 3–6. <https://www.elibrary.ru/ovqfle>
7. Габаев М.С. Влияние кастрации баранчиков карачаевской породы на их мясную продуктивность. *The Scientific Heritage*. 2021; 75(4): 3–8. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-75-4-3-8>
8. Плотникова Е.В. Проблемы и экономические аспекты инновационного развития овцеводства в России и Краснодарском крае. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022; 96: 40–46. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-96-40-46>
9. Кусова В.А., Кебеков М.Э., Гутиева Л.Н., Бестаева Р.Д. Влияние кастрации баранчиков на количественные и качественные показатели мясной продуктивности. *Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Материалы Всероссийской научно-практической конференции в честь 90-летия факультета технологического менеджмента*. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет. 2019; 1: 217–220. <https://www.elibrary.ru/jaujib>
10. Волнин А.А., Мишуров А.В. Влияние генетического фактора на пищеварение и обмен веществ овец. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2019; 9–1: 122–128. <https://www.elibrary.ru/kguvke>
11. Ключкова М.А. Влияние генотипа молодняка овец на потребление кормов и питательных веществ кормов рациона. *Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока. Материалы IV Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции*. Уссурийск: Приморская государственная сельскохозяйственная академия. 2020; 3: 157–162. <https://www.elibrary.ru/idlhky>

REFERENCES

1. Nikonova E.A., Yuldashbaev Yu.A., Kosilov V.I., Savchuk S.V. Peculiarities of nutrient metabolism in the body of a purebred and mixed young cattle. *Agrarian science*. 2022; 5: 40–44 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-359-5-40-44>
2. Nikonova E.A., Yuldashbaev Yu.A., Kosilov V.I. The influence of two- or three-breed crossing of young animals of different sexes and directions of productivity on the intake and use of dietary nutrients. *Agrarian science*. 2022; 9: 59–64 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-59-64>
3. Voytyuk M.M., Machneva O.P. The current state of sheep breeding in Russia. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2021; 4: 102–105 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/ci-33489-2021-4-102-105>
4. Trukhachev V.I., Erokhin A.I., Yuldashbaev Yu.A., Erokhin S.A. The vector of sheep breeding in the world and in Russia. *Sheep, goats, wool business*. 2023; 4: 3–9 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/alzcan>
5. Marinchenko T.E., Kuzmina T.N. Promising areas for the development of sheep breeding in Russia. Romaniuk W. (ed.). *Problems of intensification of animal production including environment protection and alternative energy production as well as biogas*. Falenty; Warsaw: Institute Of Technology And Life Sciences — National Research Institute. 2021; 27: 106–110 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/hvffw>
6. Erokhin A.I., Karasev E.A., Erokhin S.A. State, dynamics and trends in the development of sheep breeding in the world and in Russia. *Sheep, goats, wool business*. 2019; 3: 3–6 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ovqfle>
7. Gabaev M.S. The effect of castration of Karachay sheep on their meat productivity. *The Scientific Heritage*. 2021; 75(4): 3–8 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-75-4-3-8>
8. Plotnikova E.V. Problems and economic aspects of sheep breeding innovative development in Russia and the Краснодар Territory. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022; 96: 40–46 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1999-1703-96-40-46>
9. Kusova V.A., Kebekov M.E., Gutieva L.N., Bestaeva R.D. The influence of castration of rams on quantitative and qualitative indicators of meat productivity. *Innovative technologies for the production and processing of agricultural products. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference in honor of the 90th anniversary of the Faculty of Technological Management*. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University. 2019; 1: 217–220 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/jaujib>
10. Volnin A.A., Mishurov A.V. Influence of genetic factor on digestion and metabolism of sheep. *International Research Journal*. 2019; 9–1: 122–128 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kguvke>
11. Klochkova M.A. The influence of the genotype of young sheep on the consumption of feed and nutrients in the diet. *The role of agricultural science in the development of forestry and agriculture in the Far East. Proceedings of the IV National (All-Russian) scientific and practical conference*. Ussuriysk: Primorskaya State Agricultural Academy. 2020; 3: 157–162 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/idlhky>

12. Давлетова А.М., Смагулов Д.Б., Траисов Б.Б., Тулебаев Б., Кубатбеков Т.С. Продуктивные качества курдючных овец Западно-Казакстанской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020; 2: 267–270. <https://www.elibrary.ru/qqwgom>

13. Баймишев Х.Б., Есенгалиев К.Г., Траисов Б.Б. Рост, развитие и мясная продуктивность молодняка овец акжайкской мясо-шерстной породы в зависимости от линейной принадлежности. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017; 2(2): 52–55. <https://www.elibrary.ru/ykkihpr>

14. Авдеев С.А., Раднаев А.Э., Очирова Л.А., Бадлуев Э.Б. Сравнительная оценка способов кастрации. *Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет*. 2021; 4: 3–7. <https://www.elibrary.ru/jpckup>

15. Кесаев Х.Е., Гогаев О.К., Демурова А.Р., Цховребов А.Р. Возрастные изменения количественных и качественных показателей мясной продуктивности овец тушинской породы. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2017; 54(1): 62–67. <https://www.elibrary.ru/ygsspsn>

16. Кадиева А.В. Влияние кастрации баранчиков на продуктивные качества. *Вестник научных трудов молодых ученых, аспирантов и магистрантов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет»*. 2023; 60: 83–87. <https://www.elibrary.ru/lpgsiu>

17. Габаев М.С. Влияние сроков кастрации баранчиков карачаевской породы на их мясную продуктивность. *Наука, образование и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения первого президента Кабардино-Балкарской Республики В.М. Коква. Нальчик*. 2021; 2: 34–38. <https://www.elibrary.ru/afuimu>

18. Бестаева Р.Д., Демурова А.Р., Дзеранова А.В., Кусова В.А. Влияние кастрации баранчиков на живую массу. *Перспективы развития АПК в современных условиях. Материалы 8-й Международной научно-практической конференции. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет*. 2019; 32–35. <https://www.elibrary.ru/ociwdz>

12. Davletova A.M., Smagulov D.B., Traisov B.B., Tulebaev B., Kubatbekov T.S. Productive qualities of fat tail sheep reared in the West Kazakhstan region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; 2: 267–270 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qqwgom>

13. Baymishv K.B., Esengaliev K.G., Traisov B.B. Growth, development and meat productivity of young sheep of Akzhaiskoy meat-wool breed depending on the linear supplies. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2017; 2(2): 52–55 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ykkihpr>

14. Avdeev S.A., Radnaev A.E., Ochirova L.A., Badluev E.B. Comparative evaluation of castration methods. *Scientific research of students in solving current problems of the agro-industrial complex. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Molodezny: Irkutsk State University of Agriculture*. 2021; 4: 3–7 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/jpckup>

15. Kesaev Kh.E., Gogaev O.K., Demurova A.R., Tskhovrebov A.R. Age-related changes in quantitative and qualitative indicators of Tushin sheep meat productivity. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2017; 54(1): 62–67 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ygsspsn>

16. Kadieva A.V. The influence of castration of rams on productive qualities. *Vestnik nauchnykh trudov molodykh uchenykh, aspirantov i magistrantov FGBOU VO «Gorskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet»*. 2023; 60: 83–87 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/lpgsiu>

17. Gabaev M.S. The influence of the terms of castration of karachay sheep on their meat productivity. *Science, education and business: a new look or strategy for integration interaction. Collection of scientific papers based on the proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the birth of the first president of the Kabardino-Balkarian Republic V.M. Kokov. Nalchik*. 2021; 2: 34–38 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/afuimu>

18. Bestaeva R.D., Demurova A.R., Dzeranova A.V., Kusova V.A. The influence of castration of rams on live weight. *Prospects for the development of the agro-industrial complex in modern conditions. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University*. 2019; 32–35 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ociwdz>

ОБ АВТОРАХ

Владимир Иванович Косилов¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства
kosilov_vi@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4754-1771>

Юсупжан Артыкович Юлдашбаев²

доктор сельскохозяйственных наук, академик Российской академии наук, профессор
zoo@rgau-msha.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7150-1131>

Елена Анатольевна Никонова¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства
nikonovaea84@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0906-8362>

Ильмира Агзамовна Рахимжанова¹

доктор сельскохозяйственных наук
kaf36@orensau.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7771-7291>

Раиля Губайдулловна Калыкина¹

кандидат биологических наук
kalyakina_railya@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8892-0669>

Татьяна Александровна Седых^{3, 4}

доктор биологических наук
nio_bsau@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5401-3179>

Марина Николаевна Долгая⁵

кандидат биологических наук, научный консультант
dolgaya@vicgroup.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3123-6641>

¹ Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460040, Россия

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

ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия

³ Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы,

ул. Октябрьской революции, 3А, Уфа, 450077, Россия

⁴ Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение

Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук,

ул. им. Рихарда Зорге, 19, Уфа, 450059, Россия

⁵ ООО «ГК ВИК»

дер. Островцы, квартал 30137, стр. 681, г. о. Раменский, Московская обл., 140125, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir Ivanovich Kosilov¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Technology of Production and Processing of livestock products
kosilov_vi@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4754-1771>

Yusupzhan Artykovich Yuldashbaev²

Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor
zoo@rgau-msha.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7150-1131>

Elena Anatolyevna Nikonova¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Technology of Production and Processing of Livestock Products
nikonovaea84@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0906-8362>

Ilmira Agzamovna Rakhimzhanova¹

Doctor of Agricultural Sciences
kaf36@orensau.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7771-7291>

Raila Gubaidullovna Kalyakina¹

Candidate of Biological Sciences
kalyakina_railya@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8892-0669>

Tatyana Aleksandrovna Sedykh^{3, 4}

Doctor of Biological Sciences
nio_bsau@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5401-3179>

Marina Nikolaevna Dolgaya⁵

Candidate of Biological Sciences, Scientific Editor
dolgaya@vicgroup.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3123-6641>

¹ Orenburg State Agrarian University,

18 Chelyskintsev Str., Orenburg, 460040, Russia

² Russian State Agrarian University — K.A. Timiryazev Agricultural Academy,

49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia

³ Akmulla Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russia

3A Oktyabrskoy revolyutsii Str., Ufa, 450077, Russia

⁴ Bashkir Scientific Research Institute of Agriculture is a separate structural unit Ufa Federal Research Center Russian Academy of Sciences,

19 Richard Sorge Str., Ufa, 450059, Russia

⁵ "VIC Group of Companies" LLC

30137 block, 681 building, Ostrovtsy village, Ramenskoye City District, Moscow region, 140125, Russia

УДК 636.033, 636.2.033

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-87-92

Е.В. Шейда^{1, 2}
 О.В. Кван^{1, 2} ✉
 В.В. Гречкина^{1, 3}
 Ю.А. Сечнев¹
 А.В. Харламов¹

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

²Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

³Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

✉ kwan111@yandex.ru

Поступила в редакцию:
08.11.2023

Одобрена после рецензирования:
15.05.2024

Принята к публикации:
30.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-87-92

Elena V. Sheida^{1, 2}
 Olga V. Kvan^{1, 2} ✉
 Viktoria V. Grechkina^{1, 3}
 Yuri A. Sechnev¹
 Anatoly V. Kharlamov¹

¹Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

²Orenburg State University, Orenburg, Russia

³Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

✉ kwan111@yandex.ru

Received by the editorial office:
08.11.2023

Accepted in revised:
15.05.2024

Accepted for publication:
30.05.2024

Эффективная значимость разных вариантов заготовки ферментированных кормов

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Производство ферментированных кормов связано с необходимостью изменения и улучшения усвояемости питательных веществ как у жвачных, так и у других животных. Использование процесса ферментации существенно влияет на уровень содержания патогенных микроорганизмов в корме. В последние годы большое внимание уделяется разработке бактериальных заквасок, которые регулируют микробиологические процессы при силосовании.

Цель исследования — изучить изменение питательности ферментированных кормов (силоса) при использовании бактериальных заквасок «Силостан» и пробиотического препарата «Лактобифадол форте».

Методы. Объекты исследований: «Силостан» — кормовая добавка для силосования растительного сырья; пробиотик, который используют для восстановления микрофлоры и пищеварения у животных, «Лактобифадол форте» для КРС.

Результаты. Приготовление кукурузного силоса с внесением комплексной бактериальной закваски «Силостан» и «Лактобифадола форте» способствует лучшей сохранности сухого вещества и питательных веществ в кормовом продукте. Использование кукурузного силоса с внесением закваски по сравнению с самоконсервированием в питании крупного рогатого скота увеличивает адгезию микроорганизмов рубца на кормовых частицах и, как следствие, приведет к лучшей переваримости питательных компонентов корма и увеличению доступности питательных веществ и продуктивности.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, ферментированные корма, пробиотик, бактериальная закваска, питательность

Для цитирования: Шейда Е.В., Кван О.В., Гречкина В.В., Сечнев Ю.А., Харламов А.В. Эффективная значимость разных вариантов заготовки ферментированных кормов. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 87–92.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-87-92>

© Шейда Е.В., Кван О.В., Гречкина В.В., Сечнев Ю.А., Харламов А.В.

The effective significance of different options for harvesting fermented feed

ABSTRACT

Relevance. The production of fermented feed is associated with the need to change and improve the digestibility of nutrients in both ruminants and other animals. The use of the fermentation process significantly affects the level of pathogenic microorganisms in the feed. In recent years, much attention has been paid to the development of bacterial starter cultures that regulate microbiological processes during silage.

The aim of the study was to study the nutritional changes of fermented feed (silage) using bacterial starter cultures “Silostan” and probiotic drug “Lactobifadol forte”.

Methods. Research objects: “Silostan” — a feed additive for silage of vegetable raw materials; probiotic, which is used to restore microflora and digestion in animals, “Lactobifadol forte” for cattle.

Results. The preparation of corn silage with the introduction of a complex bacterial starter culture “Silostan” and “Lactobifadol forte” contributes to the better preservation of dry matter and nutrients in the feed product. The use of corn silage with the introduction of starter cultures, compared with self-preservation in the diet of cattle, increases the adhesion of rumen microorganisms to feed particles and, as a result, will lead to better digestibility of feed nutrients and increase nutrient availability and productivity.

Key words: cattle, fermented feed, probiotic, bacterial starter culture, nutritional value

For citation: Sheida E.V., Kvan O.V., Grechkina V.V., Sechnev Yu.A., Kharlamov A.V. The effective significance of different options for harvesting fermented feed. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 87–92 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-87-92>

© Sheida E.V., Kvan O.V., Grechkina V.V., Sechnev Yu.A., Kharlamov A.V.

Введение/Introduction

Производство ферментированных кормов связано с необходимостью изменения и улучшения усвояемости питательных веществ как у жвачных, так и у других животных [1]. Использование процесса ферментации для различных видов кормов, таких как пшеничная солома, соевый шрот или рапсовое семя, может повысить уровень добавок этих сельскохозяйственных отходов в рационы для животных, что позволит снизить спрос на традиционные корма и, как следствие, сократить площадь земель, используемых под засев культур при их производстве [2–4].

Цели процесса ферментации — уменьшение количества антипитательных веществ, разложение сырой клетчатки и снижение уровня лигнина для повышения усвояемости потребляемого корма, увеличение сроков хранения и использования корма.

Ферментация изменяет микробиологические и питательные свойства кормовых смесей [5] и, кроме того, как биологический метод предпочтительнее других, поскольку в данном случае образуется минимальное количество вредных побочных продуктов и требуется меньше затрат на кормопроизводство [6, 7].

Существует множество доступных методов ферментации кормов, таких как жидкая ферментация, твердая ферментация и силосование. В процессе ферментации кормовые добавки разлагаются бактериями и (или) дрожжами. Наиболее часто используемыми штаммами дрожжей являются *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhizopus oligosporus* и бактерии из групп *Lactobacillus*, *Bacillus Enterococcus* [8, 9]. Однако в случае других грибов, используемых в процессе, это в основном *Aspergillus* (например, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus niger*). Применение этих микроорганизмов связано с их способностью продуцировать ферменты, такие как гемицеллюлаза, пектиназа, протеаза, амилаза, липаза и фитаза, а также вещества, обладающие бактериостатической активностью, такие как молочная кислота [10, 11]. Использование процесса ферментации существенно влияет на уровень содержания патогенных микроорганизмов в корме. Корма, ферментированные *Pediococcus pentosaceus* при температуре 20 °С, характеризовались сохранением *S. typhimurium* DT 104:30 в течение 72 ч., при этом инкубация в течение 48 ч. при температуре 30 °С показала отсутствие *S. typhimurium* DT 104:30. Снижение уровня этого возбудителя было вызвано не только повышением уровня молочной кислоты, но и веществами, вырабатываемыми *Pediococcus pentosaceus*, обладающими антимикробной активностью [12].

Ферментированные корма в основном используются для молодняка жвачных животных, однако некоторые их виды могут положительно влиять на микробиоту взрослых животных [13]. Примером являются данные научных исследований [14], где было показано, что включение рисовой соломы, обработанной *Aspergillus terreus*, снижает выработку метана у жвачных животных до 32%. Полученный эффект был связан с левастатином — веществом, вырабатываемым *A. Terreus*, который подавляет рост *Methanobrevibacter smithii*, что приводит к снижению синтеза метана.

Однако наблюдалось повышение уровня *Ruminococcus albus*. Ингибирование роста метаногенов связано с ингибированием активности ГМГ-КоА-редуктазы в пути биосинтеза их клеточных мембран. Кроме того, этот корм характеризовался лучшей усвояемостью животными сухого вещества на 13%. С другой стороны, в

случае молодняка использование ферментированных кормовых добавок может оказать положительное влияние на рост и развитие животных. Например, ферменты дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* улучшают параметры роста телят и ускоряют развитие эпителия рубца [15]. В исследовании [16] на пшеничной соломе, которая была ферментирована с *Ganoderma*, было обнаружено, что ферменты данного рода грибов оказывают положительное влияние не только на состав корма, но и на его потребление животными. *Ganoderma* показали улучшенную усвояемость, значительное снижение содержания кислотных детергентных (КДК) и нейтрально-детергентных волокон (НДК), гемицеллюлозу, лигнин и целлюлозу через 15 дней применения. В течение этого периода наблюдалось увеличение метаболической энергии и количества летучих жирных кислот в исследуемом корме. Использование этого ферментированного корма в рационе коз способствовало увеличению потребления сухого вещества (СВ), сырого протеина (СП), общего количества питательных веществ и азота (N) по сравнению с контрольной группой [16].

Сократить потери питательных веществ при заготовке и хранении силоса, сенажа можно строгим соблюдением технологии силосования, а также применением химических или микробиологических препаратов. Однако трудности, связанные с приготовлением, хранением, транспортировкой и особенно внесением химических веществ в силосуемую массу, сдерживают их широкое применение. При химическом консервировании имеется возможность не только сократить потери кормов, но и повысить их питательную ценность и переваримость питательных веществ кормов рациона. С помощью химических препаратов можно заготавливать корма из любых кормовых культур, в том числе из трудносилосующихся и несилосующихся, любой влажности [17, 18]. При этом ежегодная закладка силоса с внесением химических препаратов составляет 8–10%.

Цель данного исследования — изучение динамики изменения питательности ценности ферментированных кормов (силоса) при использовании бактериальных заквасок «Силостан» и пробиотического препарата «Лактобифадол форте».

Материалы и методы исследований / Materials and methods

Исследования проводили в лабораторных условиях в отделе кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина ФНЦ БСТ РАН (г. Оренбург) в 2022–2023 гг., изучали влияние заквасок «Силостан» (НВП «БашИнком», г. Уфа, Россия) и «Лактобифадол форте» («Компонент», Россия) (отдельно и в сочетании) на интенсивность брожения и образования органических кислот, аммиака и сохранность сухого вещества кукурузного силоса молочно-восковой спелости в сравнении с самоконсервированным кормом.

Для изучения динамики накопления органических кислот в процессе созревания лабораторный силос открывали после закладки на 90-й день хранения.

Объект исследования — кормовая добавка для силосования растительного сырья «Силостан». Содержит живые молочнокислые бактерии *Lactobacillus plantarum* 8РАЗ и *Lactobacillus casei* 12 и спорообразующие бактерии *Bacillus subtilis* 11В, *Bacillus subtilis* 12В, *Bacillus subtilis* 1К. Общее количество молочнокислых бактерий

в 1 мл кормовой добавки не менее 1×10^8 КОЕ, спорообразующих бактерий — не менее 1×10^8 КОЕ¹.

«Лактобифадол форте» для КРС — пробиотик, который используют для восстановления микрофлоры и пищеварения у животных. В скотоводстве препарат применяют для всех возрастов и половых групп животных. «Лактобифадол форте» позволяет сгладить погрешности в кормлении КРС, поскольку в большом хозяйстве тяжело контролировать каждую особь. Пробиотик помогает поддерживать микрофлору пищеварительной системы КРС после лечения антибиотиками. «Лактобифадол форте» используют как профилактическое средство для высокопродуктивных животных, испытывающих проблемы с пищеварением из-за большой нагрузки на организм [19, 20].

В состав «Лактобифадола форте» входят штаммы микроорганизмов, которые составляют нормальную микрофлору КРС. В 1 г препарата содержится: *Bifidobacterium adolescentis* — не менее 8×10^7 , *Lactobacterium acidophilum* — 10^6 (биотехнологическая фирма «Компонент», г. Бугуруслан).

Схема эксперимента: ферментирующие вещества вносят при загрузке массы кукурузы сорта Росс 130 МВ (гибрид F1, ФАО 130) для силосования из расчета 1 л закваски на 150 т консервируемой массы (ООО «Семена Сибири 54», г. Новосибирск, Россия). Перед применением готовили рабочий раствор: к 1 л консервирующего вещества добавляли 9 л водопроводной воды, затем 1 л полученного раствора разводили в 60 л воды и вносили из расчета 4 л на 1 т консервируемой массы. Рабочий раствор готовили непосредственно перед закладкой и использовали в течение суток. Опрыскивание растительной массы рабочим раствором консервирующего вещества производили после равномерного распределения консервируемой массы, закладку растительной массы для ферментации производили в стеклянные банки объемом 3 л, закрывали крышками с газоотводной трубкой для замера выбросов газа и фиксации окончания процесса активной ферментации. До и после ферментации была проведена оценка питательности кормовых средств по общепринятым методикам и стандартам, определяли массовую долю сухого вещества (ГОСТ 31640-2012²), сырого протеина (ГОСТ 13496.4-2019³), массовую долю сырого жира (ГОСТ 13496.15-2016⁴), массовую долю сырой клетчатки (ГОСТ 31675-2012⁵), массовую долю сырой золы (ГОСТ 26226-95⁶), кальция (ГОСТ 26570-95⁷), фосфора (ГОСТ 26657-97⁸).

Спустя 90 суток ферментации был проведен количественный учет микроорганизмов рубцовой жидкости, адгезированных на кормовых частицах [21]. Реализацию метода люминесцентного исследования осуществляли следующим образом: пробы содержимого рубца предварительно центрифугировали для отделения бактерий от простейших. Смешанные с консервирующими веществами образцы растительной массы инкубировали при температуре 38–39 °С в течение 3 ч. с последующим центрифугированием в течение 1 мин. при

500 об/мин для отделения частиц субстрата оптимального размера. Производили отбор супернатанта с последующим разведением в 10 и 100 раз в физиологическом растворе, 2 мкл подготовленной суспензии наносили на обезжиренное предметное стекло, каждый из тестируемых образцов исследовали в трех повторностях (для получения достоверно значимых результатов). В качестве флюорохрома в исследовании использовали водный раствор акридинового оранжевого (приготовление *ex tempore*) в концентрации 1 мг/мл, краситель добавляли к нанесенной капле суспензии в соотношении 1:1. Препарат накрывали покровным стеклом и исследовали с помощью люминесцентного микроскопа не более 15 мин. для одной серии одновременно приготовленных проб. Подсчет адгезированных клеток осуществляли путем определения количества живых (зеленое свечение) и мертвых (красное свечение) бактериальных клеток на поверхности частичек субстрата (не менее 10).

Полученные результаты подвергались статистической обработке с использованием программы Excel (США) с определением средней арифметической величины и ошибки средней арифметической. Для выявления статистически значимых (достоверных) различий использовали критерий Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В результате ферментации кормов отмечено снижение количества сухого вещества на 9%. Количество жира при силосовании кукурузы снижается на 2,5 г/кг готового продукта, количество сырого протеина — на 12,4 г/кг, сырой клетчатки — на 17,2%. При этом отмечено увеличение уровня фосфора на 0,1 г/кг (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав кормов при силосовании, %
Table 1. Chemical composition of feed during silage, %

Наименование показателей	Зеленая масса кукурузы	Силос кукурузный (без введения закваски)
Массовая доля сухого вещества*	35,00±2,82	26,00±2,02
Массовая доля жира	1,97±0,21	1,7±0,16
Массовая доля сырого протеина*	9,31±0,54	7,75±0,55
Массовая доля сырой клетчатки*	23,30±1,43	24,78±1,24
Массовая доля сырой золы*	8,60±0,36	5,10±0,32
Массовая доля кальция*	0,48±0,01	0,36±0,01
Массовая доля фосфора*	0,140±0,001	0,220±0,001

Примечание: * результаты даны на абсолютное сухое вещество.

Различные приемы силосования зеленой массы кукурузы показали эффективность использования комплекса ферментных препаратов «Силостан» и «Лактобифадол форте» (табл. 2).

¹ <https://bf-component.ru/production/probiotik-dlya-krs/>

² ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения содержания сухого вещества.

³ ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

⁴ ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира.

⁵ ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации.

⁶ ГОСТ 26226-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы.

⁷ ГОСТ 26570-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения кальция.

⁸ ГОСТ 26657-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора.

Таблица 2. Химический состав кормов, ферментированных различными способами

Table 2. Chemical composition of feed fermented in various ways

Наименование показателей	Ед. изм.	Силос кукурузный (без введения закваски)	Силос кукурузный («Силостан»)	Силос кукурузный («Силостан» + «Лактобифадол форте»)	Силос кукурузный («Лактобифадол форте»)
Массовая доля жира	%	1,71±0,02	1,89±0,02	2,00±0,01	1,89±0,01
Массовая доля сухого вещества**	%	26,0±1,3	25,6±1,4	27,0±1,6	24,9±1,4
Массовая доля сырого протеина*	%	7,75±0,04	8,88±0,06	8,13±0,04	6,5±0,02
Массовая доля сырой клетчатки*	%	24,78±2,11	22,42±1,18	22,00±1,94	26,4±2,24
Массовая доля сырой золы*	%	5,1±0,24	6,1±0,36*	5,1±0,26	5,1±0,19
Массовая доля кальция*	%	0,36±0,02	0,4±0,01	0,32±0,01	0,3±0,02
Массовая доля фосфора*	%	0,22±0,01	0,24±0,01	0,22±0,01	0,2±0,01
Кормовые единицы**	к. ед. / кг	0,21±0,01	0,22±0,01	0,23±0,01	0,2±0,01
Обменная энергия	МДж/кг	2,41±0,18	2,42±0,21	2,54±0,24	2,34±0,20

Примечание: * результаты даны в сухом веществе, ** результаты на натуральную влажность.

Так, при использовании данного комплекса препаратов отмечено увеличение массовой доли сырого жира (СЖ), сырого протеина (СП) на 1%, 0,3%, 0,4%, соответственно, но при этом отмечено снижение сырой клетчатки на 2,8% при сравнении с образцом силоса, ферментированного без использования заквасок. При этом в 1 кг силоса, заготовленного без включения заквасок, уровень обменной энергии составил 2,41 МДж, а при использовании комплекса «Силостан» + «Лактобифадол форте» — 2,54 МДж. Использование закваски «Силостан» оказалось менее эффективным, чем в комплексе с «Лактобифадалом форте», однако относительно образца силоса без закваски оказался лучше в плане содержания СЖ и СП, а также массовой доли кальция и фосфора.

Динамика изменения кислотного состава силоса показывает, что увеличение массовой доли кислот было больше в силосе с использованием комплекса «Силостан» + «Лактобифадол форте». Относительно образца силоса, приготовленного без использования закваски, в данном опытном образце содержание молочной кислоты было выше на 9,5% (табл. 3).

На основании полученных данных установлено, что процессы ферментации при заготовке корма увеличивают адгезию микроорганизмов из биоценозов содержимого рубца крупного рогатого скота к кормовому субстрату (табл. 4, рис. 2).

Полученные результаты показывают, что наиболее выраженная адгезия бактерий к кормовым частицам происходит при использовании в процессе силосования бактериальных заквасок, что связано с воздействием консервирующих препаратов на химическую и физическую структуру корма. Так, отмечено, что при использовании комплекса «Силостан» + «Лактобифадол форте» количество адгезированных бактерий к частицам корма было выше, чем в образце без

Таблица 4. Адгезия бактерий рубцовой жидкости к частицам кормов при различных способах силосования

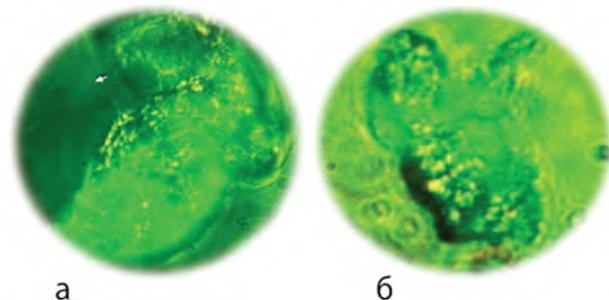
Table 4. Adhesion of bacteria of scar fluid to feed particles in various silage methods

Вариант кормового продукта	Количество адгезированных бактерий, шт. / частицу корма
Силос кукурузный (без введения закваски)	18,4±0,78
Силос кукурузный («Силостан»)	21,1±0,87*
Силос кукурузный («Силостан» + «Лактобифадол форте»)	24,2±0,61**
Силос кукурузный («Лактобифадол форте»)	22,4±0,55*

Примечание: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ при сравнении с образцом без использования закваски.

Рис. 2. Адгезия микроорганизмов к частице субстрата (окраска акридиновым оранжевым): А — образец с использованием закваски, Б — образец без использования закваски

Fig. 2. Adhesion of microorganisms to a substrate particle (coloring with acridine orange): A — sample using starter culture, B — sample without using starter culture



введения закваски, на 31,5% ($p \leq 0,01$), при использовании «Силостана» данный показатель был выше на 14,7% ($p \leq 0,01$), а при использовании «Лактобифадола форте» — на 21,7% ($p \leq 0,01$) относительно образца без закваски.

Таблица 3. Изменение кислотности силоса, %

Table 3. Changing the acidity of the silage, %

Вариант силоса	pH	Содержание молочной кислоты в общем количестве (молочной, уксусной и масляной кислот)	Массовая доля масляной кислоты	Массовая доля сахаров	Массовая доля крахмала
Силос кукурузный (без введения закваски)	4,3	40,5	0,03	1,7	5,6
Силос кукурузный («Силостан»)	4,3	38,5	0,01	1,7	3,8
Силос кукурузный («Силостан» + «Лактобифадол форте»)	4,3	50,0	0,01	1,7	4,9
Силос кукурузный («Лактобифадол форте»)	4,3	33,3	0,01	2,0	4,2

Выводы/Conclusions

Таким образом, можно отметить, что приготовление кукурузного силоса с внесением комплексной бактериальной закваски «Силостан» + «Лактобиофол форте» способствует лучшей сохранности в кормовом продукте сухого вещества на 1%, питательных веществ (в частности, сырого жира) — на 0,3%, сырого протеина — на 0,4%.

Использование кукурузного силоса с внесением заквасок по сравнению с самоконсервированием в питании крупного рогатого скота увеличивает адгезию микроорганизмов рубца на кормовых частицах на 31,5% и, как следствие, приведет к лучшей переваримости питательных компонентов корма и увеличению доступности питательных веществ и продуктивности.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-16-00061.

FUNDING

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-16-00061.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Michalak M., Wojnarowski K., Cholewińska P., Szeligowska N., Bawej M., Paoń J. Selected Alternative Feed Additives Used to Manipulate the Rumen Microbiome. *Animals*. 2021; 11(6): 1542. <https://doi.org/10.3390/ani11061542>
- Herlinae H., Yemima Y., Rumiasih R. Pengaruh Aditif EM4 dan Gula Merah Terhadap Karakteristik Silase Rumpuk Gajah (*Pennisetum purpureum*). *Jurnal Ilmu Hewani Tropika*. 2015; 4(1): 27–30.
- Nega T., Woldes Y. Review on nutritional limitations and opportunities of using rapeseed meal and other rape seed by products in animal feeding. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*. 2018; 8(1): 43–48. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00254>
- Бондарчук О.Н., Ермолаев В.А. Ферментация пищевых отходов. Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы. Материалы VIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 20-летию юбилею академии. Кемерово: Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия. 2022; 115–117. <https://elibrary.ru/ukcfew>
- Wang C., Shi C., Zhang Y., Song D., Lu Z., Wang Y. Microbiota in fermented feed and swine gut. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2018; 102(7): 2941–2948. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8829-4>
- Canibe N., Jensen B.B. Fermented liquid feed — Microbial and nutritional aspects and impact on enteric diseases in pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 2012; 173(1–2): 17–40. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.12.021>
- Кулишов Б.А., Туан Л.А., Канарский А.В. Утилизация отходов переработки растительного сырья в биореакторах для твердофазной ферментации. Вестник Технологического университета. 2015; 18(3): 286–290. <https://elibrary.ru/tjummh>
- Dai Z. et al. Fermentation techniques in feed production. Bazer F.W., Lamb G.C., Wu G. (eds.). *Animal Agriculture, Sustainability, Challenges and Innovations*. Academic Press. 2020; 407–429. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00024-0>
- Basu S., Gaur R., Gomes J., Sreekrishnan T.R., Bisaria V.S. Effect of seed culture on solid-state bioconversion of wheat straw by *Phanerochaete chrysosporium* for animal feed production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2002; 93(1): 25–30.
- Shrivastava B., Thakur S., Khasa Y.P., Gupta A., Puniya A.K., Kuhad R.C. White-rot fungal conversion of wheat straw to energy rich cattle feed. *Biodegradation*. 2011; 22(4): 823–831. <https://doi.org/10.1007/s10532-010-9408-2>
- Chi C.-H., Cho S.-J. Improvement of bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus amyloliquefaciens* versus *Lactobacillus* spp. and *Saccharomyces cerevisiae*. *LWT — Food Science and Technology*. 2016; 68(9): 619–625. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.002>
- Shi C. et al. Amino acid, phosphorus, and energy digestibility of *Aspergillus niger* fermented rapeseed meal fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*. 2015; 93(6): 2916–2925. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8326>
- Canibe N., Højberg O., Badsberg J.H., Jensen B.B. Effect of feeding fermented liquid feed and fermented grain on gastrointestinal ecology and growth performance in piglets. *Journal of Animal Science*. 2007; 85(11): 2959–2971. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-744>
- Brooks P.H. Fermented liquid feed for pigs. *CABI Reviews*. 2008; (3): 073. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20083073>
- Kiesz M.E. Efektywność stosowania fermentowanej poekstrakcyjnej śrutu sojowej lub (i) rzepakowej w żywieniu loch i warchlaków. Autoreferat pracy doktorskiej. Lublin. 2019; 28.
- Ran T., Goma W.M.S., Shen Y.Z., Saleem A.M., Yang W.Z., McAllister T.A. Use of naturally sourced feed additives (lactobacillus fermentation products and enzymes) in growing and finishing steers: Effects on performance, carcass characteristics and blood metabolites. *Animal Feed Science and Technology*. 2019; 254: 114190. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.05.013>

REFERENCES

- Michalak M., Wojnarowski K., Cholewińska P., Szeligowska N., Bawej M., Paoń J. Selected Alternative Feed Additives Used to Manipulate the Rumen Microbiome. *Animals*. 2021; 11(6): 1542. <https://doi.org/10.3390/ani11061542>
- Herlinae H., Yemima Y., Rumiasih R. Effect of Additives EM4 and Palm Sugar on The Characteristics of Elephant Grass (*Pennisetum purpureum*) Silage. *Journal of Tropical Animal Science*. 2015; 4(1): 27–30 (in Indonesian).
- Nega T., Woldes Y. Review on nutritional limitations and opportunities of using rapeseed meal and other rape seed by products in animal feeding. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*. 2018; 8(1): 43–48. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00254>
- Bondarchuk O.N., Ermolaev V.A. Food waste fermentation. *Actual scientific and technical means and agricultural problems. Proceedings of the VIII National Scientific and Practical conference with international participation dedicated to the 20th anniversary of the Academy*. Kemerovo: Kuzbass State Agricultural Academy. 2022; 115–117 (in Russian). <https://elibrary.ru/ukcfew>
- Wang C., Shi C., Zhang Y., Song D., Lu Z., Wang Y. Microbiota in fermented feed and swine gut. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2018; 102(7): 2941–2948. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8829-4>
- Canibe N., Jensen B.B. Fermented liquid feed — Microbial and nutritional aspects and impact on enteric diseases in pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 2012; 173(1–2): 17–40. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.12.021>
- Kulishov B.A., Tuan L.A., Kanarsky A.V. Utilization of waste from processing plant raw materials in bioreactors for solid-phase fermentation. *Herald of Technological University*. 2015; 18(3): 286–290 (in Russian). <https://elibrary.ru/tjummh>
- Dai Z. et al. Fermentation techniques in feed production. Bazer F.W., Lamb G.C., Wu G. (eds.). *Animal Agriculture, Sustainability, Challenges and Innovations*. Academic Press. 2020; 407–429. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00024-0>
- Basu S., Gaur R., Gomes J., Sreekrishnan T.R., Bisaria V.S. Effect of seed culture on solid-state bioconversion of wheat straw by *Phanerochaete chrysosporium* for animal feed production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2002; 93(1): 25–30.
- Shrivastava B., Thakur S., Khasa Y.P., Gupta A., Puniya A.K., Kuhad R.C. White-rot fungal conversion of wheat straw to energy rich cattle feed. *Biodegradation*. 2011; 22(4): 823–831. <https://doi.org/10.1007/s10532-010-9408-2>
- Chi C.-H., Cho S.-J. Improvement of bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus amyloliquefaciens* versus *Lactobacillus* spp. and *Saccharomyces cerevisiae*. *LWT — Food Science and Technology*. 2016; 68(9): 619–625. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.002>
- Shi C. et al. Amino acid, phosphorus, and energy digestibility of *Aspergillus niger* fermented rapeseed meal fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*. 2015; 93(6): 2916–2925. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8326>
- Canibe N., Højberg O., Badsberg J.H., Jensen B.B. Effect of feeding fermented liquid feed and fermented grain on gastrointestinal ecology and growth performance in piglets. *Journal of Animal Science*. 2007; 85(11): 2959–2971. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-744>
- Brooks P.H. Fermented liquid feed for pigs. *CABI Reviews*. 2008; (3): 073. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20083073>
- Kiesz M.E. The effectiveness of fermented soybean meal and (or) rapeseed meal in sows and weaners feeding. Summary of PhD thesis. Lublin. 2019; 28 (in Polish).
- Ran T., Goma W.M.S., Shen Y.Z., Saleem A.M., Yang W.Z., McAllister T.A. Use of naturally sourced feed additives (lactobacillus fermentation products and enzymes) in growing and finishing steers: Effects on performance, carcass characteristics and blood metabolites. *Animal Feed Science and Technology*. 2019; 254: 114190. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.05.013>

17. Azlan P.M., Jahromi M.F., Ariff M.O., Ebrahimi M., Candyrine S.C.L., Liang J.B. *Aspergillus terreus* treated rice straw suppresses methane production and enhances feed digestibility in goats. *Tropical Animal Health and Production*. 2018; 50(3): 565–571. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1470-x>

18. Lesmeister K.E., Heinrichs A.J., Gabler M.T. Effects of Supplemental Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) Culture on Rumen Development, Growth Characteristics, and Blood Parameters in Neonatal Dairy Calves. *Journal of Dairy Science*. 2004; 87(6): 1832–1839. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73340-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73340-8)

19. Ласыгина Ю.А. Влияние «Лактобифадола форте» на мясную продуктивность и качество мяса бычков симментальской породы. *Разработка и освоение инноваций в животноводстве. Материалы Международной научно-практической конференции*. Оренбург: Всероссийский научно-исследовательский институт мясного скотоводства. 2013; 103–105. <https://elibrary.ru/rhxhpb>

20. Shrivastava B. *et al.* Solid state bioconversion of wheat straw into digestible and nutritive ruminant feed by *Ganoderma sp.* rckk02. *Bioresource Technology*. 2012; 107: 347–351. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.096>

21. Кондакова К.С., Япрынцева Е.В., Дроздова Е.А., Курилкина М.Я. Зависимость адгезивной активности микроорганизмов рубца и переваримости кормов от внесения минеральных добавок. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2011; (15): 67–70. <https://www.elibrary.ru/oydeyf>

17. Azlan P.M., Jahromi M.F., Ariff M.O., Ebrahimi M., Candyrine S.C.L., Liang J.B. *Aspergillus terreus* treated rice straw suppresses methane production and enhances feed digestibility in goats. *Tropical Animal Health and Production*. 2018; 50(3): 565–571. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1470-x>

18. Lesmeister K.E., Heinrichs A.J., Gabler M.T. Effects of Supplemental Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) Culture on Rumen Development, Growth Characteristics, and Blood Parameters in Neonatal Dairy Calves. *Journal of Dairy Science*. 2004; 87(6): 1832–1839. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73340-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73340-8)

19. Lasygina Yu.A. The effect of “Lactobifadol forte” on meat productivity and meat quality of Simmental bulls. *Development and adoption of innovations in animal husbandry. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Orenburg: All-Russian Research Institute of Meat Cattle Breeding. 2013; 103–105 (in Russian). <https://elibrary.ru/rhxhpb>

20. Shrivastava B. *et al.* Solid state bioconversion of wheat straw into digestible and nutritive ruminant feed by *Ganoderma sp.* rckk02. *Bioresource Technology*. 2012; 107: 347–351. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.096>

21. Kondakova Ch.S., Yapyrintseva E.V., Drozdova E.A., Kurilkina M.Ya. The dependence of adhesive activity rumen bacteria and digestibility from making mineral supplements. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2011; (15): 67–70 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/oydeyf>

ОБ АВТОРАХ

Елена Владимировна Шейда^{1, 2}

¹ кандидат биологических наук, научный сотрудник
² кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
 elena-shejda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Ольга Вилориевна Кван^{1, 2}

¹ кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, и. о. заведующего отделом кормления
² кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
 kwan111@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Виктория Владимировна Гречкина^{1, 3}

кандидат биологических наук
¹ доцент кафедры незаразных болезней животных
³ и. о. заведующего лабораторией
 Viktoria1985too@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>

Юрий Андреевич Сечнев¹

аспирант
 y.sechnev@outlook.com
<https://orcid.org/0009-0009-5920-1185>

Анатолий Васильевич Харламов¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
 harlamov52@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9477-6568>

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, ул. 9 Января, 29, Оренбург, 460000, Россия
² Оренбургский государственный университет, пр-т Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия
³ Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Elena Vladimirovna Sheida^{1, 2}

¹ Candidate of Biological Sciences, -Researcher
² Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
 elena-shejda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Olga Vilorievna Kvan^{1, 2}

¹ Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Acting Head of the Feeding Department
² Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
 kwan111@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Victoria Vladimirovna Grechkina^{1, 3}

Candidate of Biological Sciences
¹ Associate Professor of the Department of Non-Infectious Animal Diseases
² Acting Head of the laboratory
 Viktoria1985too@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>

Yuri Andreevich Sechnev¹

Postgraduate Student
 y.sechnev@outlook.com
<https://orcid.org/0009-0009-5920-1185>

Anatoly Vasilyevich Kharlamov¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor
 harlamov52@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9477-6568>

¹ Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9th January Str., Orenburg, 460000, Russia
² Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia
³ Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev Str., Orenburg, 460014, Russia

Ф.А. Давлетов¹К.П. Гайнуллина^{2, 3} ✉Е.В. Бадамшина¹И.Р. Юлдыбаев⁴

¹ Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

² Институт биохимии и генетики — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

³ Опытная станция «Уфимская» — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, с. Чернолесовский, Уфимский р-н, Россия

⁴ Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

✉ karina28021985@yandex.ru

Поступила в редакцию:
21.02.2024

Одобрена после рецензирования:
16.05.2024

Принята к публикации:
31.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-93-99

Firzinat A. Davletov¹Karina P. Gainullina^{2, 3} ✉Elena V. Badamshina¹Ilnur R. Yuldybayev⁴

¹ Bashkir Research Institute of Agriculture — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

² Institute of Biochemistry and Genetics — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

³ Experimental Station "Ufimskaya" — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Chernolesovskiy, Ufimskiy district, Russia

⁴ Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

✉ tamila_abdullaeva@bk.ru

Received by the editorial office:
21.02.2024

Accepted in revised:
16.05.2024

Accepted for publication:
31.05.2024

Влияние предпосевной обработки семян молибденом на урожайность зерна гороха в условиях Республики Башкортостан

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Молибден является важным микроэлементом, необходимым для роста и развития растений. Кроме того что молибден входит в состав гормонов и ферментов, у бобовых культур он обуславливает улучшение азотфиксации и азотного питания, повышение эффективности фосфорно-калийных удобрений, благодаря чему увеличивается урожайность.

Цель работы — оценка влияния предпосевной обработки семян различными дозами молибдена на величину урожая зерна гороха.

Опыты проводились в 2019–2023 гг. в условиях Предуральской степи Республики Башкортостан. Материалом для исследования стал сорт гороха Памяти Попова.

Методы. Для предпосевной обработки использовали раствор молибденово-кислого аммония в дозе 10, 25, 40, 55 г молибдена на 1 ц семян. Фенологические наблюдения, определение полноты всходов и высоты растений, анализ структуры урожая проводили в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур.

Результаты. Установлено, что при предпосевной обработке семян гороха сорта Памяти Попова молибденом в дозе 40 и 55 г/ц по сравнению с контролем произошло достоверное ($p \leq 0,05$) повышение полевой всхожести, сохранности растений к уборке, числа клубеньков на 10 растениях и их веса. В результате обработки семян гороха молибденом в дозе 25, 40 и 55 г/ц число бобов на растении увеличилось на 5,7–11,4%, число семян с растения — на 13,2–19,5%, урожайность зерна — на 7,3–10,7% по сравнению с контролем. Таким образом, в данных опытах для повышения величины урожая зерна гороха оптимальной оказалась предпосевная обработка семян молибденом в дозе 25–40 г/ц.

Ключевые слова: горох, молибден, предпосевная обработка, полевая всхожесть, вегетационный период, клубенькообразующая способность, урожайность

Для цитирования: Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Бадамшина Е.В., Юлдыбаев И.Р. Влияние предпосевной обработки семян молибденом на урожайность зерна гороха в условиях Республики Башкортостан. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 93–99.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-93-99>

© Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Бадамшина Е.В., Юлдыбаев И.Р.

The influence of pre-sowing treatment of seeds with molybdenum on the yield of pea grain in the conditions of the Republic of Bashkortostan

ABSTRACT

Relevance. Molybdenum is an essential micronutrient element necessary for plant growth and development. In addition to the fact that molybdenum is part of hormones and enzymes, in legumes it improves nitrogen fixation and nitrogen nutrition, increases the efficiency of phosphorus-potassium fertilizers, thereby increasing productivity.

The purpose of this work is to assess the effect of pre-sowing seed treatment with various doses of molybdenum on the yield of pea grain.

The experiments were carried out in 2019–2023 in the conditions of the Cis-Ural steppe of the Republic of Bashkortostan. The material for the study was the pea cultivar Pamyati Popova.

Methods. An ammonium molybdate solution at a dose of 10, 25, 40, 55 g of molybdenum per 1 kg of seeds was used for pre-sowing treatment. Phenological observations, determination of the completeness of germination and plant height, analysis of the yield structure were carried out in accordance with the methodology of the state cultivar testing of agricultural crops.

Results. It was found that pre-sowing treatment of pea seeds of the cultivar Pamyati Popova with molybdenum at a dose of 40 and 55 g/c compared to the control resulted in a reliable ($p \leq 0.05$) increase in field germination, safety of plants for harvesting, the number of nodules on 10 plants and their weight. As a result of processing pea seeds with molybdenum at doses of 25, 40 and 55 g/c, the number of beans per plant increased by 5.7–11.4%, the number of seeds per plant — by 13.2–19.5%, grain yield — by 7.3–10.7% compared with the control. Thus, in our experiments, pre-sowing treatment of seeds with molybdenum at a dose of 25–40 g/c was optimal for increasing the value of pea grain yield.

Key words: pea, molybdenum, pre-sowing treatment, field germination, growing season, nodulation ability, yield

For citation: Davletov F.A., Gainullina K.P., Badamshina E.V., Yuldybayev I.R. The influence of pre-sowing treatment of seeds with molybdenum on the yield of pea grain in the conditions of the Republic of Bashkortostan. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 93–99 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-93-99>

© Davletov F.A., Gainullina K.P., Badamshina E.V., Yuldybayev I.R.

Введение/Introduction

В повышении урожайности зерна гороха важную роль играют молибденовые удобрения [1]. Молибден относится к элементам, которые используются растениями в очень малых количествах, однако без них даже при условии достаточного содержания в почве азотных, фосфорных и калийных удобрений невозможно нормальное развитие растений [2, 3]. Он входит в состав ферментов, гормонов и других физиологически активных веществ, имеющих большое значение для развития репродуктивных органов, процессов оплодотворения и плодоношения растений. Молибден участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот, фотосинтезе, дыхании, синтезе пигментов, витаминов [4].

Растения потребляют молибден в меньших количествах, чем бор, марганец, цинк и медь [5]. Показано, что он локализуется преимущественно в молодых растущих органах. Установлено, что в листьях молибдена содержится больше, чем в стеблях и корнях, при этом большая часть данного микроэлемента сосредоточена в хлоропластах [6]. Среди сельскохозяйственных культур наибольшее количество молибдена содержат бобовые. В их семенах содержится от 0,5 до 20,0 мг Мо на 1 кг сухого веса, в зерновках — от 0,2 до 1,0 мг на 1 кг сухого веса. В целом содержание молибдена в растениях может колебаться от 0,1 до 300 мг на 1 кг сухого веса [7].

Молибден — ценный микроэлемент, участвующий в регуляции азотного обмена растений и фиксации атмосферного молекулярного азота клубеньками на корнях гороха [8, 9]. Он входит в состав нитрат-редуктазы и нитрогеназы. Первый фермент участвует в восстановлении нитратов до нитритов, второй — связывает атмосферный азот во время азотфиксации. Кроме того, под влиянием молибдена в клубеньках бобовых культур повышается активность дегидрогеназ — ферментов, обеспечивающих поступление водорода для связывания атмосферного азота [10]. При недостатке молибдена в растениях клубенькообразование и азотфиксация практически прекращаются, что приводит к нарушению азотного обмена и накоплению нитратов в тканях [11].

Поскольку растения используют молибден для преобразования неорганического фосфора в органические формы, при его внесении увеличивается эффективность фосфорно-калийных удобрений. Одновременно повышаются урожайность и содержание белка [12]. К культурам, наиболее требовательным к молибденовым удобрениям, относятся горох, соя, люцерна, клевер, фасоль, кормовые бобы, вика, люпин, рапс и некоторые овощные культуры (салат, шпинат, цветная капуста, томаты). Установлено, что в большей степени молибден влияет на урожайность бобовых культур, нежели иных [13].

Работы по изучению влияния предпосевной обработки семян гороха молибденом показали увеличение густоты стояния и сохранности растений к уборке, повышение урожайности семян и зеленой массы [14, 15]. Однако в условиях Республики Башкортостан подобные исследования не проводились, в связи с чем определение оптимальных доз молибдена для предпосевной обработки семян с целью повышения урожайности зерна гороха является актуальным.

Цель данного исследования — анализ эффективности предпосевной обработки семян гороха молибденом на показатели урожайности и качество зерна.

Были поставлены следующие задачи: изучить влияние предпосевной обработки семенного материала гороха молибденом на его посевные качества; оценить

продолжительность вегетационного и межфазных периодов гороха после предпосевной обработки семян молибденом; выяснить роль предпосевной обработки семенного материала гороха молибденом в клубенькообразовании; оценить влияние различных вариантов обработки семян гороха молибденом на элементы структуры урожая.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевые опыты проводились в 2019–2023 гг. в Чимшинском селекционном центре по растениеводству Башкирского научно-исследовательского института сельского хозяйства Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, расположенном в Предуральской степи Республики Башкортостан. Почвенный покров и климатические условия типичны для данной подзоны. Содержание гумуса в верхнем слое почвы — 8,2–8,3%, общего азота — 0,4%. На 100 г почвы приходится 42 мг подвижного калия и 23,6 мг окиси фосфора, кислотность — нейтральная (рН = 6,8–6,9). В пахотном горизонте содержится 0,15–0,30 мг/кг молибдена.

Погодные условия в годы проведения исследований различались по температурному режиму и количеству выпавших осадков. Для роста и развития растений гороха наиболее благоприятными были 2020 и 2022 гг. (с ГТК 1,3), удовлетворительным — 2019 г. (с ГТК 0,70), неблагоприятными, засушливыми — 2021 г. (ГТК 0,41) и 2023 г. (ГТК 0,45).

Объект исследований — сорт гороха Памяти Попова. Общая площадь делянки — 52 м², учетная — 50 м². Норма высева — 1,2 млн шт. всхожих семян на 1 га. Повторность в опытах — шестикратная, размещение делянок — систематическое. Предшественник — озимая пшеница. Вспашку зяби проводили на глубину 26–27 см в начале сентября, весной — боронование, предпосевную культивацию и послепосевное прикатывание — по мере поспевания почвы.

Для обработки семян использовали раствор, содержащий 10, 25, 40 и 55 г молибденово-кислого аммония (действующее вещество (Мо) — 52%) на 2 л воды. Полученным раствором опрыскивали 1 ц семян гороха. В контрольном варианте семена опрыскивали таким же количеством воды.

Схема опыта

1. Контроль (опрыскивание семян водой).
2. Опытный вариант 1 (обработка семян молибденом в дозе 10 г/ц).
3. Опытный вариант 2 (обработка семян молибденом в дозе 25 г/ц).
4. Опытный вариант 3 (обработка семян молибденом в дозе 40 г/ц).
5. Опытный вариант 4 (обработка семян молибденом в дозе 55 г/ц).

Посев проводили в ранние сроки сеялкой СН-10Ц («Московский завод опытных конструкций ВИМ», Россия), уборку урожая (поделяночно) — комбайном «Hege-125» (Hege Maschinen GmbH, Германия). Фенологические наблюдения, определение полноты всходов и высоты растений, анализ структуры урожая — по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹. Данные, полученные в результате исследований, подвергались статистической обработке методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову².

¹ Федин М.А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур при Министерстве сельского хозяйства СССР. 1985; 269.

² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат. 1985; 356.

Расчет экономической эффективности проводили по формуле³:

$$\mathcal{E} = P - 3,$$

где: \mathcal{E} — экономическая эффективность, P — стоимостная оценка результатов осуществления мероприятия за расчетный период, 3 — стоимостная оценка затрат на осуществление мероприятия за расчетный период.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Полевая всхожесть семян и выживаемость растений. От этих показателей во многом зависит число растений на единице площади, которое участвует в формировании урожая зерна. Полевую всхожесть семян принято выражать в процентах взошедших растений от количества высеванных семян.

В данных исследованиях полевая всхожесть семян в контрольном варианте колебалась по годам от 79,2 до 82,5% (в среднем 80,7 ± 1,4%), а в опытных вариантах — от 79,2 до 91,7% (в среднем по вариантам — от 81,7 ± 1,5 до 90,3 ± 1,3%) (табл. 1).

В зависимости от дозы молибдена, используемой для предпосевной обработки семян, число всходов в 2019 г. составило от 99 до 109 шт/м², в 2020-м — от 100 до 109 шт/м², в 2021-м — от 95 до 106 шт/м²,

в 2022-м — от 98 до 110 шт/м², в 2023-м — от 98 до 109 шт/м². В контрольном варианте в 2019 г. число всходов составило 99 шт/м², в 2020-м — 96 шт/м², в 2021-м — 95 шт/м², в 2022-м — 98 шт/м², в 2023-м — 96 шт/м² (табл. 1).

В среднем за годы исследований предпосевная обработка семян гороха сорта Памяти Попова молибденом в дозе 25–55 г/ц способствовала повышению их полевой всхожести на 1,0±1,5–9,6±1,0%, причем в опытных вариантах 3 и 4 наблюдалось достоверное увеличение числа всходов по сравнению с контролем ($p \leq 0,05$).

Основным показателем, влияющим на густоту стояния растений и урожайность, является их выживаемость. Выживаемость складывается из полевой всхожести семян и сохранности растений за вегетационный период. По данным авторов, гибель всходов в среднем за 5 лет исследований составила в контрольном варианте 4,5%, в опытных вариантах — от 2,1 до 4,5%. В целом выживаемость при предпосевной обработке семян гороха молибденом в дозе 25–55 г/ц была высокой и в среднем за 2019–2023 гг. колебалась от 95,5 ± 0,6 до 97,9 ± 0,4% (табл. 1). Число сохранившихся к уборке растений в опытных вариантах 3 и 4 достоверно на 5%-ном уровне значимости превышало контроль.

Продолжительность вегетационного и межфазных периодов. Проведенные фенологические наблюдения показали, что предпосевная обработка семян молибденом оказывает большое влияние на продолжительность вегетационного периода гороха. Так, во все годы изучения в опытных вариантах 2–4 продолжительность вегетационного периода была на 2–4 суток больше, чем в контрольном (табл. 2).

Таблица 1. Полевая всхожесть и сохранность растений гороха сорта Памяти Попова к уборке при предпосевной обработке семян молибденом (2019–2023 гг.), $X \pm Sx$

Table 1. Field germination and safety of pea plants of the cultivar Pamyati Popova for harvesting after pre-sowing treatment of seeds with molybdenum in 2019–2023, $X \pm Sx$

Вариант	Число всходов, шт/м ²	Полевая всхожесть семян, %	Отклонение от контроля, %	Число сохранившихся к уборке растений, шт/м ²	Выживаемость растений, %
2019 г.					
Контроль	99	82,5	–	93	93,9
Опытный вариант 1	99	82,5	0	94	94,9
Опытный вариант 2	101	84,2	1,7	98	97,0
Опытный вариант 3	106	88,3	5,8	104	98,1
Опытный вариант 4	109	90,8	8,3	106	97,2
2020 г.					
Контроль	96	80,0	–	92	95,8
Опытный вариант 1	100	83,3	3,3	96	96,0
Опытный вариант 2	102	85,0	5,0	99	97,1
Опытный вариант 3	109	90,8	10,8	106	97,2
Опытный вариант 4	108	90,0	10,0	106	98,1
2021 г.					
Контроль	95	79,2	–	91	95,8
Опытный вариант 1	95	79,2	0	91	95,8
Опытный вариант 2	98	81,7	2,5	95	96,9
Опытный вариант 3	102	85,0	5,8	100	98,0
Опытный вариант 4	106	88,3	9,1	103	97,2
2022 г.					
Контроль	98	81,7	–	93	94,9
Опытный вариант 1	98	81,7	0	94	95,9
Опытный вариант 2	100	83,3	1,6	97	97,0
Опытный вариант 3	108	90,0	8,3	106	98,1
Опытный вариант 4	110	91,7	10,0	108	98,2
2023 г.					
Контроль	96	80,0	–	92	95,8
Опытный вариант 1	98	81,7	1,7	93	94,9
Опытный вариант 2	98	81,7	1,7	94	95,9
Опытный вариант 3	102	85,0	5,0	100	98,0
Опытный вариант 4	109	90,8	10,8	107	98,2
В среднем за 2019–2023 гг.					
Контроль	96,8 ± 1,6	80,7 ± 1,4	–	92,2 ± 0,8	95,5 ± 0,6
Опытный вариант 1	98,0 ± 1,9	81,7 ± 1,5	1,0 ± 1,5	93,6 ± 1,8	95,5 ± 0,6
Опытный вариант 2	99,8 ± 1,8	83,2 ± 1,5	2,5 ± 1,4	96,6 ± 2,1	96,8 ± 0,5
Опытный вариант 3	105,4 ± 3,3	87,8 ± 2,7	7,1 ± 2,4	103,2 ± 3,0	97,9 ± 0,4
Опытный вариант 4	108,4 ± 1,5	90,3 ± 1,3	9,6 ± 1,0	106,0 ± 1,9	97,8 ± 0,5

Таблица 2. Влияние предпосевной обработки семян молибденом на продолжительность вегетационного и межфазных периодов, а также на развитие растений гороха сорта Памяти Попова (2019–2023 гг.)

Table 2. The influence of pre-sowing treatment of seeds with molybdenum on the duration of the growing season and interphase periods, and on the development of pea plants of the cultivar Pamyati Popova in 2019–2023

Вариант	Продолжительность периода, сутки			Визуальная оценка растений, баллы	
	всходы — цветение	цветение — созревание	всходы — созревание	в период всходов	в период бутонизации
2019 г.					
Контроль	38	31	69	4	5
Опытный вариант 1	38	31	69	4	5
Опытный вариант 2	38	34	72	5	5
Опытный вариант 3	38	35	73	5	5
Опытный вариант 4	38	35	73	5	5
2020 г.					
Контроль	38	32	70	5	5
Опытный вариант 1	38	32	70	5	5
Опытный вариант 2	38	34	72	5	5
Опытный вариант 3	38	36	74	5	5
Опытный вариант 4	38	36	74	5	5
2021 г.					
Контроль	36	23	59	4	4
Опытный вариант 1	36	23	59	4	4
Опытный вариант 2	36	25	61	4	5
Опытный вариант 3	36	26	62	5	5
Опытный вариант 4	36	26	62	5	5
2022 г.					
Контроль	42	31	73	5	5
Опытный вариант 1	42	31	73	5	5
Опытный вариант 2	42	33	75	5	5
Опытный вариант 3	42	34	76	5	5
Опытный вариант 4	42	34	76	5	5
2023 г.					
Контроль	42	28	70	4	4
Опытный вариант 1	42	28	70	4	4
Опытный вариант 2	42	30	72	4	5
Опытный вариант 3	42	32	74	5	5
Опытный вариант 4	42	32	74	5	5

³ Орлова Е.В. Системный анализ и моделирование экономической эффективности проектов: методический подход. Экономика и предпринимательство. 2013; 12–4(41): 550–558.

По данным визуальных оценок, растения гороха, выросшие из семян, обработанных перед посевом молибденом, по внешним признакам значительно отличались от растений контрольной группы. Они характеризовались более развитой надземной массой (относительно высокий стебель, широкие листья), листовая поверхность имела интенсивно-зеленую окраску. Кроме того, в опытных вариантах цветение растений гороха проходило более дружно и обильно.

В среднем за 2019–2023 гг. продолжительность периода вегетации у растений контрольной группы составила $68,2 \pm 5,3$ суток. В опытных вариантах 2–4 данный период увеличился на 2,2–3,6 суток, однако

достоверных различий между контрольным и опытными вариантами выявлено не было (табл. 3).

В данных исследованиях у растений гороха контрольного и опытных вариантов все этапы роста и развития до фазы цветения протекали синхронно. В дальнейшем у растений, выросших из семян после их предпосевной обработки молибденом, наблюдалось увеличение продолжительности фазы созревания.

Элементы структуры урожая. В результате проведенных опытов было изучено влияние предпосевной обработки семян гороха сорта Памяти Попова молибденом на элементы продуктивности. Установлено, что во

все годы исследования число бобов на растении в опытных вариантах увеличилось до 0,5 шт., в среднем за 2019–2023 гг. — до 0,4 шт. по сравнению с контролем (табл. 4).

Таким образом, в среднем за 5 лет число бобов на растении при предпосевной обработке семян молибденом в дозе 25, 40 и 55 г/ц по сравнению с контролем было больше на 5,7–11,4%, однако достоверных различий между контрольным и опытными вариантами не выявлено.

Количество семян с растения является важнейшим показателем при оценке их продуктивности. По данным структурного анализа, под воздействием молибдена озерненность растений гороха возрастает. Так, во все годы изучения число семян на одно растение в опытных вариантах возросло от 0,01 до 0,57 шт., в среднем за 2019–2023 гг. — от 0,06 до 0,3 шт. по сравнению с контролем (табл. 4). В среднем за годы изучения наблюдали увеличение числа семян с растения во всех опытных вариантах на 5,7–19,5% по сравнению с контролем, однако данное превышение не было статистически достоверным.

Анализ элементов структуры урожая показал некоторое увеличение крупности семян и массы семян с растения: в среднем за 2019–2023 гг. в контрольном варианте масса 1000 семян составила $189,6 \pm 21,3$ г, масса семян с растения — $3,44 \pm 1,64$ г, в опытных вариантах — от $187,9 \pm 22,3$ г до $192,8 \pm 21,5$ г и от $3,50 \pm 1,65$ г до $3,74 \pm 1,66$ г соответственно (табл. 4).

Клубенькообразующая способность. Как показали проведенные лабораторно-полевые исследования, обработка семян молибденом перед посевом способствует развитию большего количества клубеньков на корнях гороха и, следовательно, более интенсивному поступлению в растение питательных элементов (азота, фосфора и калия). Из

Таблица 3. Продолжительность вегетационного и межфазных периодов гороха сорта Памяти Попова при предпосевной обработке семян молибденом в среднем за 2019–2023 гг., $X \pm Sx$

Table 3. Duration of the growing season and interphase periods of pea cultivar Pamyati Popova after pre-sowing treatment of seeds with molybdenum on average for 2019–2023, $X \pm Sx$

Вариант	Продолжительность периода, сутки			Отклонение от контроля, \pm сутки
	всходы – цветение	цветение – созревание	всходы – созревание	
Контроль	39,2 \pm 2,7	29,0 \pm 2,7	68,2 \pm 5,3	–
Опытный вариант 1	39,2 \pm 2,7	29,0 \pm 3,7	68,2 \pm 5,3	0
Опытный вариант 2	39,2 \pm 2,7	31,2 \pm 3,8	70,4 \pm 5,4	+2,2
Опытный вариант 3	39,2 \pm 2,7	32,6 \pm 4,0	71,8 \pm 5,6	+3,6
Опытный вариант 4	39,2 \pm 2,7	32,6 \pm 4,0	71,8 \pm 5,6	+3,6

Таблица 4. Показатели элементов структуры урожая при предпосевной обработке молибденом семян гороха сорта Памяти Попова (2019–2023 гг.), $n = 25$, $X \pm Sx$

Table 4. Indicators of the yield structure elements after pre-sowing treatment of pea seeds of the cultivar Pamyati Popova with molybdenum in 2019–2023, $n = 25$, $X \pm Sx$

Вариант	Высота растения, см	Число, шт.			Масса, г	
		бобов на растении	Семян с растения	семян в бобе	1000 семян	Семян с растения
<i>2019 г.</i>						
Контроль	50,2 \pm 1,7	3,9 \pm 0,1	18,7 \pm 0,5	4,8 \pm 0,1	224,0 \pm 5,2	4,49 \pm 0,28
Опытный вариант 1	50,3 \pm 1,7	4,0 \pm 0,1	19,3 \pm 0,5	4,8 \pm 0,1	222,3 \pm 5,4	4,50 \pm 0,25
Опытный вариант 2	55,6 \pm 1,6	4,2 \pm 0,2	20,5 \pm 0,5	4,9 \pm 0,1	227,6 \pm 5,0	4,65 \pm 0,30
Опытный вариант 3	60,0 \pm 1,8	4,3 \pm 0,1	21,5 \pm 0,6	5,0 \pm 0,2	223,1 \pm 5,2	4,77 \pm 0,29
Опытный вариант 4	59,8 \pm 1,8	4,4 \pm 0,2	21,6 \pm 0,6	4,9 \pm 0,1	225,7 \pm 5,3	4,74 \pm 0,27
<i>2020 г.</i>						
Контроль	81,3 \pm 1,9	4,6 \pm 0,2	22,5 \pm 0,6	4,9 \pm 0,1	181,6 \pm 2,3	5,44 \pm 0,32
Опытный вариант 1	80,0 \pm 1,9	4,6 \pm 0,2	24,0 \pm 0,7	5,2 \pm 0,2	183,2 \pm 3,7	5,48 \pm 0,30
Опытный вариант 2	87,1 \pm 1,8	4,8 \pm 0,2	24,5 \pm 0,7	5,1 \pm 0,1	185,0 \pm 3,9	5,56 \pm 0,24
Опытный вариант 3	89,4 \pm 1,9	4,9 \pm 0,3	25,9 \pm 0,8	5,3 \pm 0,2	180,1 \pm 3,9	5,60 \pm 0,30
Опытный вариант 4	90,2 \pm 2,0	4,9 \pm 0,3	25,3 \pm 0,7	5,2 \pm 0,2	185,7 \pm 4,2	5,65 \pm 0,28
<i>2021 г.</i>						
Контроль	42,6 \pm 1,5	2,2 \pm 0,1	9,3 \pm 0,3	4,2 \pm 0,1	171,5 \pm 3,5	1,58 \pm 0,15
Опытный вариант 1	44,3 \pm 1,5	2,3 \pm 0,1	10,0 \pm 0,3	4,3 \pm 0,1	167,3 \pm 3,5	1,60 \pm 0,13
Опытный вариант 2	48,0 \pm 1,6	2,5 \pm 0,1	12,1 \pm 0,3	4,8 \pm 0,1	173,0 \pm 5,2	1,70 \pm 0,11
Опытный вариант 3	51,5 \pm 1,6	2,7 \pm 0,1	12,6 \pm 0,4	4,7 \pm 0,1	175,2 \pm 5,0	1,78 \pm 0,15
Опытный вариант 4	51,9 \pm 1,7	2,6 \pm 0,1	12,8 \pm 0,4	4,9 \pm 0,2	173,8 \pm 4,8	1,75 \pm 0,14
<i>2022 г.</i>						
Контроль	65,0 \pm 1,8	4,2 \pm 0,1	18,9 \pm 0,5	4,5 \pm 0,1	195,5 \pm 4,5	3,71 \pm 0,20
Опытный вариант 1	65,3 \pm 1,8	4,2 \pm 0,1	20,2 \pm 0,5	4,8 \pm 0,1	195,8 \pm 4,0	3,90 \pm 0,22
Опытный вариант 2	71,2 \pm 1,8	4,4 \pm 0,2	21,1 \pm 0,6	4,8 \pm 0,1	198,2 \pm 4,8	3,95 \pm 0,22
Опытный вариант 3	74,6 \pm 1,9	4,6 \pm 0,2	22,5 \pm 0,6	4,9 \pm 0,2	200,0 \pm 4,8	4,27 \pm 0,25
Опытный вариант 4	75,5 \pm 1,9	4,6 \pm 0,2	22,4 \pm 0,6	4,9 \pm 0,2	196,7 \pm 4,7	4,28 \pm 0,25
<i>2023 г.</i>						
Контроль	50,4 \pm 1,7	2,5 \pm 0,1	10,0 \pm 0,3	4,0 \pm 0,1	175,3 \pm 4,2	1,98 \pm 0,12
Опытный вариант 1	51,0 \pm 1,6	2,5 \pm 0,1	10,5 \pm 0,3	4,2 \pm 0,1	170,7 \pm 4,3	2,00 \pm 0,11
Опытный вариант 2	56,2 \pm 1,6	2,7 \pm 0,1	11,6 \pm 0,3	4,3 \pm 0,1	180,2 \pm 5,0	2,10 \pm 0,13
Опытный вариант 3	59,6 \pm 1,8	2,8 \pm 0,1	12,3 \pm 0,4	4,4 \pm 0,2	178,0 \pm 5,0	2,30 \pm 0,15
Опытный вариант 4	58,8 \pm 1,8	2,8 \pm 0,1	12,4 \pm 0,4	4,4 \pm 0,2	180,7 \pm 4,7	2,29 \pm 0,14
<i>В среднем за 2019–2023 гг.</i>						
Контроль	57,9 \pm 15,4	3,5 \pm 1,1	15,9 \pm 5,9	4,5 \pm 0,4	189,6 \pm 21,3	3,44 \pm 1,64
Опытный вариант 1	58,2 \pm 14,4	3,5 \pm 1,0	16,8 \pm 6,2	4,7 \pm 0,4	187,9 \pm 22,3	3,50 \pm 1,65
Опытный вариант 2	63,6 \pm 15,6	3,7 \pm 1,0	18,0 \pm 5,8	4,8 \pm 0,3	192,8 \pm 21,5	3,59 \pm 1,65
Опытный вариант 3	67,0 \pm 15,0	3,9 \pm 1,0	19,0 \pm 6,2	4,9 \pm 0,3	191,3 \pm 20,3	3,74 \pm 1,64
Опытный вариант 4	67,2 \pm 15,5	3,9 \pm 1,1	18,9 \pm 5,9	4,9 \pm 0,3	192,5 \pm 20,3	3,74 \pm 1,66

Таблица 5. Влияние предпосевной обработки семян гороха сорта Памяти Попова молибденом на клубенькообразующую способность (2019–2023 гг.), $X \pm Sx$

Table 5. The influence of pre-sowing treatment of pea seeds of the cultivar Pamyati Popova with molybdenum on nodulation ability in 2019–2023, $X \pm Sx$

Вариант	Число клубеньков на 10 растений, шт.	Отклонение от контроля, ± %	Вес клубеньков с 10 растений, г	Отклонение от контроля, ± %
2019 г.				
Контроль	242,2 ± 5,6	–	0,40 ± 0,08	–
Опытный вариант 1	240,0 ± 5,5	-0,9	0,39 ± 0,06	-2,5
Опытный вариант 2	280,5 ± 6,5	+15,8	0,47 ± 0,07	+17,5
Опытный вариант 3	356,3 ± 8,3	+47,1	0,92 ± 0,09	+130,0
Опытный вариант 4	351,1 ± 8,0	+45,0	0,89 ± 0,09	+122,5
2020 г.				
Контроль	246,0 ± 5,6	–	0,43 ± 0,07	–
Опытный вариант 1	252,4 ± 5,8	+2,6	0,45 ± 0,07	+4,7
Опытный вариант 2	285,3 ± 6,3	+15,9	0,50 ± 0,08	+16,3
Опытный вариант 3	366,2 ± 8,4	+48,9	0,98 ± 0,10	+127,9
Опытный вариант 4	369,7 ± 8,5	+50,3	0,96 ± 0,09	+123,3
2021 г.				
Контроль	202,4 ± 4,6	–	0,34 ± 0,04	–
Опытный вариант 1	209,5 ± 4,7	+3,5	0,34 ± 0,04	0
Опытный вариант 2	240,3 ± 5,3	+18,7	0,40 ± 0,06	+17,6
Опытный вариант 3	291,2 ± 6,8	+43,9	0,82 ± 0,08	+141,2
Опытный вариант 4	299,7 ± 7,3	+48,1	0,87 ± 0,09	+155,9
2022 г.				
Контроль	248,3 ± 5,3	–	0,43 ± 0,06	–
Опытный вариант 1	254,0 ± 6,2	+2,3	0,46 ± 0,07	+7,0
Опытный вариант 2	290,6 ± 7,0	+17,0	0,50 ± 0,08	+16,3
Опытный вариант 3	361,5 ± 8,0	+45,6	0,94 ± 0,09	+118,6
Опытный вариант 4	366,3 ± 8,3	+47,5	0,97 ± 0,09	+125,6
2023 г.				
Контроль	209,6 ± 4,8	–	0,35 ± 0,05	–
Опытный вариант 1	214,8 ± 4,8	+2,5	0,36 ± 0,04	+2,9
Опытный вариант 2	250,5 ± 6,0	+19,5	0,44 ± 0,07	+25,7
Опытный вариант 3	289,9 ± 7,3	+38,3	0,80 ± 0,08	+128,6
Опытный вариант 4	285,3 ± 7,1	+36,1	0,78 ± 0,08	+122,9
В среднем за 2019–2023 гг.				
Контроль	229,7 ± 21,9	–	0,39 ± 0,04	–
Опытный вариант 1	234,1 ± 20,9	+1,9	0,40 ± 0,05	+2,6
Опытный вариант 2	269,4 ± 22,5	+17,3	0,46 ± 0,04	+17,9
Опытный вариант 3	333,0 ± 38,9	+45,0	0,89 ± 0,08	+128,2
Опытный вариант 4	334,4 ± 39,2	+45,6	0,89 ± 0,08	+128,2

Таблица 6. Влияние предпосевной обработки семян гороха сорта Памяти Попова молибденом на его урожайность (2019–2023 гг.)

Table 6. The influence of pre-sowing treatment of pea seeds of the cultivar Pamyati Popova with molybdenum on its yield in 2019–2023

Вариант	Урожайность зерна, ц/га						Отклонение от контроля, ± ц/га
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее за 2019–2023 гг.	
Контроль	20,2	27,9	9,5	20,3	11,0	17,8	–
Опытный вариант 1	20,2	28,0	9,4	20,4	11,0	17,8	0
Опытный вариант 2	21,7	29,2	10,7	21,8	12,0	19,1	+1,3
Опытный вариант 3	22,1	29,9	11,1	22,4	13,0	19,7	+1,9
Опытный вариант 4	22,2	29,8	10,9	22,5	12,9	19,7	+1,9
НСР ₀₅ , ц/га	1,4	1,6	1,1	1,1	1,0	1,2	–

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

данных (табл. 5) видно, что во все годы исследования в контрольном варианте число клубеньков на 10 растениях было меньше, чем в опытных, за исключением 2019 г., когда при обработке молибденом в дозе 25 г/ц изучаемый показатель был несколько ниже контроля (240,0 ± 5,5 шт. и 242,2 ± 5,6 шт. соответственно).

В среднем за 2019–2023 гг. наблюдалось существенное повышение клубенькообразующей способности гороха под воздействием предпосевной обработки семян молибденом в дозе 40 и 55 г/ц: число клубеньков на 10 растениях составило, соответственно, 333,0 ± 38,9 шт. и 334,4 ± 39,2 шт., а их вес — по 0,89 ± 0,08 г. Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

Урожайность зерна. Данные, полученные в 2019–2023 гг. по урожайности зерна гороха в зависимости от варианта обработки его семян молибденом перед посевом, представлены в таблице 6.

Как видно из таблицы 6, под воздействием предпосевной обработки семян гороха молибденом в дозе 25–50 г/ц произошло увеличение его урожайности. В среднем за годы исследования при этих вариантах обработки величина урожая зерна гороха повысилась на 1,3–1,9 ц/га, или на 7,3–10,7%, по сравнению с контролем.

Итак, в опытных вариантах 2 и 3 с площади 1 га было получено, соответственно, 1,3 ц и 1,9 ц дополнительной продукции. С учетом себестоимости 1 ц оригинальных семян гороха, равной 4000 руб. (по ценам 2023 года), при предпосевной обработке семян молибденом в дозе 25 г/ц и 40 г/ц дополнительной продукции было получено на сумму 5200 руб. и 7600 руб. соответственно. Норма высева семян на 1 га — 3 ц. Для обработки данного объема семян в дозе 25 г/ц требуется 75 г молибденово-кислого аммония, в дозе 40 г/ц — 120 г. С учетом стоимости 10 г молибденово-кислого аммония, равной 212 руб., на приобретение 75 г препарата будет затрачено 1590 руб., 120 г — 2544 руб. Оплата труда работника, осуществляющего обработку семян, в среднем за 8 ч. составляет 800 руб., за 1 ч. — 80 руб. Таким образом, затраты на предпосевную обработку 3 ц семян гороха молибденом в дозе 25 г/ц и 40 г/ц составляют, соответственно, 1670 руб. и 2624 руб., а максимальный чистый доход с 1 га — 3530 руб. и 4976 руб.

Выводы/Conclusion

В результате исследований установлено, что предпосевная обработка семян гороха молибденом положительно влияет на рост, развитие растений и формирование урожая данной культуры. В среднем за 2019–2023 гг. при обработке семян гороха сорта Памяти Попова молибденом в дозе 25–55 г/ц по сравнению с контролем полевая всхожесть и выживаемость растений возросли на 2,5–9,6% и 1,3–2,4% соответственно, количество клубеньков с 10 растений и их вес — на 17,3–45,6% и 17,9–128,2% соответственно, продолжительность вегетационного периода — на 2,2–3,6 суток, урожайность зерна — на 1,3–1,9 ц/га. Повышение урожайности произошло главным образом за счет увеличения числа бобов и семян с растения.

Обработка семян молибденом в низкой дозе (10 г/ц) не показала значительных отличий от контроля, в высокой (55 г/ц) — не вызвала существенного увеличения изученных параметров по сравнению с обработкой в дозе 40 г/ц. Следовательно, при возделывании гороха экономически оправданной является предпосевная обработка его семян молибденом в дозе 25–40 г/ц.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование Ф.А. Давлетова поддержано грантом Минобрнауки РФ от 31 мая 2021 г. № 075-15-2021-549, работа К.П. Гайнулловой выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ № 122030200143-8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимова О.В., Храмой В.К. Влияние уровней минерального питания на продуктивность гороха полевого. *Аграрная наука*. 2010; 2: 11–12. <https://www.elibrary.ru/ldelev>
2. Нуштаева А.В., Блинокхватова Ю.В., Власова Т.А., Чекаев Н.П. Влияние микроудобрений на основе хелатных комплексов на всхожесть семян. *Нива Поволжья*. 2021; 1: 17–22. <https://doi.org/10.36461/NP.2021.58.1.009>
3. Wysokinski A., Lozak I., Kuziemska B. The Dynamics of Molybdenum, Boron, and Iron Uptake, Translocation and Accumulation by Pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomy*. 2022; 12(4): 935. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040935>
4. Chanu C.K., Sarangthem I., Devi N.S., Luikham E., Singh N.G., Sharma L.D. Effect of nitrogen and molybdenum on crop growth, yield and soil properties of pea in acid soil (*Pisum sativum* L.). *International Journal of Chemical Studies*. 2020; 8(5): 2023–2027. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i5ab.10599>
5. Gonzalez Ibarra A.A., Yanez Barrientos E., Wrobel K., Corrales Escobosa A.R., Wrobel K. Effect of copper and molybdenum in nutrient solution on Cu, Mo, Fe, Mg, Ca, Zn, Na, K status in sunflower. *Journal of Plant Nutrition*. 2023; 46(5): 714–730. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2071733>
6. Chen J., Yin Y., Zhu Y., Song K., Ding W. Favorable physiological and morphological effects of molybdenum nanoparticles on tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): root irrigation is superior to foliar spraying. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14: 1220109. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1220109>
7. Rana M.S. et al. Soil phosphorus transformation characteristics in response to molybdenum supply in leguminous crops. *Journal of Environmental Management*. 2020; 268: 110610. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110610>
8. Rana M.S. et al. Molybdenum as an Essential Element for Crops: An Overview. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. 2020; 24(5): 18535–18547. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2020.24.004104>
9. Bursakov S.A., Kroupin P.Yu., Karlov G.I., Divashuk M.G. Tracing the Element: The Molecular Bases of Molybdenum Homeostasis in Legumes. *Agronomy*. 2023; 13(9): 2300. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092300>
10. Demtröder L., Narberhaus F., Masepohl B. Coordinated regulation of nitrogen fixation and molybdate transport by molybdenum. *Molecular Microbiology*. 2019; 111(1): 17–30. <https://doi.org/10.1111/mmi.14152>
11. Ерова Б.С., Бекова Г.М. Роль микроэлементов в жизни растений: авторское исследование. *Вестник науки*. 2024; 2(2): 693–697. <https://www.elibrary.ru/vbvvhk>
12. Abbasifar A., ValizadehKaji B., Iravani M.A. Effect of green synthesized molybdenum nanoparticles on nitrate accumulation and nitrate reductase activity in spinach. *Journal of Plant Nutrition*. 2020; 43(1): 13–27. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659340>
13. Banerjee P., Das P., Sinha S. Importance of molybdenum for the production of pulse crops in India. *Journal of Plant Nutrition*. 2022; 45(2): 300–310. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1952226>
14. Brkić S., Milaković Z., Kristek A., Antunović M. Pea yield and its quality depending on inoculation, nitrogen and molybdenum fertilization. *Plant, Soil and Environment*. 2004; 50(1): 39–45. <https://doi.org/10.17221/3640-PSE>
15. Хакимов Р.А., Шакирзянова М.С. Эффективность предпосевной обработки семян гороха препаратом «Ризоторфин» и микроэлементом молибден на разных уровнях минерального питания. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018; 2: 92–98. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-2-92-98>

ОБ АВТОРАХ

Фирзинат Аглямич Давлетов¹

доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией davletovfa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7421-869X>

Карина Петровна Гайнуллина^{2,3}

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник karina28021985@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6246-1214>

FUNDING

Research by F.A. Davletov was supported by a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated May 31, 2021 No. 075-15-2021-549, work by K.P. Gainullina was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 122030200143-8.

REFERENCES

1. Rakhimova O.V., Khramov V.K. Influence of mineral supplying level on field peas productivity. *Agrarian science*. 2010; 2: 11–12 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ldelev>
2. Nushtaeva A.V., Blinokhvatova Yu.V., Vlasova T.A., Chekaev N.P. Effect of microfertilizers based on chelated complexes on seed germination. *Volga Region Farmland*. 2021; (1): 18–22. <https://doi.org/10.26177/VRF.2021.9.1.004>
3. Wysokinski A., Lozak I., Kuziemska B. The Dynamics of Molybdenum, Boron, and Iron Uptake, Translocation and Accumulation by Pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomy*. 2022; 12(4): 935. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040935>
4. Chanu C.K., Sarangthem I., Devi N.S., Luikham E., Singh N.G., Sharma L.D. Effect of nitrogen and molybdenum on crop growth, yield and soil properties of pea in acid soil (*Pisum sativum* L.). *International Journal of Chemical Studies*. 2020; 8(5): 2023–2027. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i5ab.10599>
5. Gonzalez Ibarra A.A., Yanez Barrientos E., Wrobel K., Corrales Escobosa A.R., Wrobel K. Effect of copper and molybdenum in nutrient solution on Cu, Mo, Fe, Mg, Ca, Zn, Na, K status in sunflower. *Journal of Plant Nutrition*. 2023; 46(5): 714–730. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2071733>
6. Chen J., Yin Y., Zhu Y., Song K., Ding W. Favorable physiological and morphological effects of molybdenum nanoparticles on tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): root irrigation is superior to foliar spraying. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14: 1220109. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1220109>
7. Rana M.S. et al. Soil phosphorus transformation characteristics in response to molybdenum supply in leguminous crops. *Journal of Environmental Management*. 2020; 268: 110610. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110610>
8. Rana M.S. et al. Molybdenum as an Essential Element for Crops: An Overview. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. 2020; 24(5): 18535–18547. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2020.24.004104>
9. Bursakov S.A., Kroupin P.Yu., Karlov G.I., Divashuk M.G. Tracing the Element: The Molecular Bases of Molybdenum Homeostasis in Legumes. *Agronomy*. 2023; 13(9): 2300. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092300>
10. Demtröder L., Narberhaus F., Masepohl B. Coordinated regulation of nitrogen fixation and molybdate transport by molybdenum. *Molecular Microbiology*. 2019; 111(1): 17–30. <https://doi.org/10.1111/mmi.14152>
11. Yerova B.S., Bekova G.M. Role of trace elements in plant life: author's research. *Vestnik nauki*. 2024; 2(2): 693–697 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vbvvhk>
12. Abbasifar A., ValizadehKaji B., Iravani M.A. Effect of green synthesized molybdenum nanoparticles on nitrate accumulation and nitrate reductase activity in spinach. *Journal of Plant Nutrition*. 2020; 43(1): 13–27. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659340>
13. Banerjee P., Das P., Sinha S. Importance of molybdenum for the production of pulse crops in India. *Journal of Plant Nutrition*. 2022; 45(2): 300–310. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1952226>
14. Brkić S., Milaković Z., Kristek A., Antunović M. Pea yield and its quality depending on inoculation, nitrogen and molybdenum fertilization. *Plant, Soil and Environment*. 2004; 50(1): 39–45. <https://doi.org/10.17221/3640-PSE>
15. Khakimov R.A., Shakirzyanova M.S. Efficiency of presowing treatment of pea seeds with “Rizotorfin” compound and molybden microelement at different levels of mineral nutrition. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018; 2: 92–98 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-2-92-98>

ABOUT THE AUTHORS

Firzinat Aglyamovich Davletov¹

Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory davletovfa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7421-869X>

Karina Petrovna Gainullina^{2,3}

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher karina28021985@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6246-1214>

Елена Викторовна Бадамшина¹

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
 evbadamshina@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0788-7260>

Ильнур Рахимьянович Юлдыбаев⁴

аспирант
 yuldubaev290997@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-1103-0212>

¹ Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. Рихарда Зорге, 19, Уфа, 450059, Россия

² Институт биохимии и генетики — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, пр-т Октября, 71/1Е, Уфа, 450054, Россия

³ Опытная станция «Уфимская» — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. Тополиная, 1, с. Чернолесовский, Уфимский р-н, Республика Башкортостан, 450535, Россия

⁴ Башкирский государственный аграрный университет, ул. 50-летия Октября, 34, Уфа, 450001, Россия

Elena Viktorovna Badamshina¹

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
 evbadamshina@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0788-7260>

Ilnur Rakhimyanovich Yuldybayev⁴

Graduate Student
 yuldubaev290997@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-1103-0212>

¹ Bashkir Scientific Research Institute of Agriculture is a separate structural unit of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 19 Richard Sorge Str., Ufa, 450059, Russia

² Institute of Biochemistry and Genetics — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71/1E Prospekt Oktyabrya, Ufa, 450054, Russia

³ Experimental Station “Ufinskaya” — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 1 Topolinaya Str., Chernolesovsky village, Ufa district, Republic of Bashkortostan, 450535, Russia

⁴ Bashkir State Agrarian University, 34 50th Anniversary of October Str., Ufa, 450001, Russia



**РОССИЙСКИЙ
 ФОРУМ ПОЛЕВОДОВ**
 АГРОТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

РОССИЙСКИЙ ФОРУМ ПОЛЕВОДОВ 2024

АГРОТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

5-6 СЕНТЯБРЯ 2024 г. / ПЯТИГОРСК

АГРОБИЗНЕС

Организатор форума

Российский форум полеводо́в — отраслевое мероприятие, посвященное актуальным вопросам выращивания, уборки и реализации пшеницы, подсолнечника, кукурузы, ржи, ячменя, овса, риса, просо, сорго и других культур.

ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ:

- Семена: обработка, подготовка к посеву
- Инновации в защите и питании подсолнечника, кукурузы, пшеницы
- Цифровизация сельского хозяйства
- Обработка почвы: вспашка, культивация, внесение удобрений
- Потенциал и качество семенного материала
- Прибыльная защита полевых культур
- Уборка урожая: механизация, агромониторинг с применением цифровых технологий

АУДИТОРИЯ ФОРУМА

Руководство агрохолдингов и сельхозпредприятий, выращивающих пшеницу, подсолнечник, кукурузу, рожь, ячмень, овес, рис, просо, сорго и другие культуры, главы крестьянских фермерских хозяйств, семенные компании, производители агрохимии и средств защиты растений, компании, поставляющие оборудование и спецтехнику, представители органов власти, национальных союзов, ассоциаций.

По вопросам выступления и спонсорства:
 +7 (988) 248-47-17

По вопросам делегатского участия:
 +7 (909) 450-36-10
 +7 (960) 476-53-39

e-mail: events@agbz.ru

Регистрация на сайте:
fieldagriforum.ru



12+

Реклама, ИП Ковергин В.В., ИНН 2312963892,
 ОГРН/ИП 31223122000019

Olga V. Ladyzhenskaya¹
Sergey S. Letunovsky²
Tatiana S. Aniskina¹
Victoria A. Kryuchkova¹
Maxim V. Simakhin¹ ✉

¹ Tsistsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

² Research and production nursery "Malinovii Rai", Maryino village, Michurinsky district, Tambov region, Russia

✉ Simakhin1439@yandex.ru

Received by the editorial office:
13.02.2024

Accepted in revised:
16.05.2024

Принята к публикации:
31.05.2024

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-100-105

О.В. Ладыженская¹
С.С. Летуновский²
Т.С. Аниськина¹
В.А. Крючкова¹
М.В. Симахин¹ ✉

¹ Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, Москва, Россия

² Плодово-ягодный питомник «Малиновый рай», Марьино, Мичуринский р-н, Тамбовская обл., Россия

✉ Simakhin1439@yandex.ru

Поступила в редакцию:
13.02.2024

Одобрена после рецензирования:
16.05.2024

Accepted for publication:
31.05.2024

Comparison of modern raspberry varieties long cane

ABSTRACT

Relevance. Modern raspberry varieties (*Rubus idaeus* L.) have great potential for cultivation using Long Cane technology.

Methods. The study compared raspberry varieties Ovation, Wengi, and Vajolet. Seedlings were obtained from root cuttings, then grown from April 2021 to July 2022 for the summer harvest and from April 2022 to October 2022 for the fall harvest.

Results. It has been established that varietal characteristics and the fruiting period significantly affect the indicators. The largest fruits are in the Wengi variety (length 25.5 mm, diameter 24.3 mm, weight 7.2 g), the smallest are in the Ovation variety (length 22.2 mm, diameter 22.5 mm, weight 4.9 g). When observing varieties at different ripening periods, it was found that the fruit length (27.3 mm) and fruit weight (8.3 mm) during the summer fruiting period are maximum in the Wengi variety, and minimum in the Vajolet variety. The amount of sugar ranges from 11 to 13%Bx, the percentage of ripe fruits from 84.5 to 94.5. The difference between the Wengi and Ovation varieties in terms of vegetative characteristics at different growing periods has been reliably proven. During the summer fruiting period, the yield per shoot for Wengi was 2615 g, for Vajolet — 485 g. The Wengi variety was distinguished by its maximum length (27.3 mm) and fruit weight (8.3 g). Based on all the indicators, the most promising varieties for summer fruiting are Wengi and Vajolet, and for autumn fruiting — Ovation.

Key words: Raspberries, Long Cane, cultivation, remontant varieties, fruits, Wengi, Vajolet, Ovation

For citation: Ladyzhenskaya O.V., Letunovsky S.S., Aniskina T.S., Kryuchkova V.A., Simakhin M.V. Comparison of modern raspberry varieties long cane. Agrarian science. 2024; 383(6): 100–105. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-100-105>

© Ladyzhenskaya O.V., Letunovsky S.S., Aniskina T.S., Kryuchkova V.A., Simakhin M.V.

Сравнение современных сортов малины, выращиваемых по системе Long Cane

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Современные сорта малины (*Rubus idaeus* L.) имеют большой потенциал для выращивания с помощью технологии Long Cane.

Методы. В исследовании сравнивали сорта малины сортов Ovation, Wengi, Vajolet. Сажены были получены из корневых черенков, затем выращены с апреля 2021 г. по июль 2022-го для летнего урожая и с апреля 2022 г. по октябрь 2022-го — для осеннего.

Результаты. Установлено, что сортовые особенности и период плодоношения существенно влияют на показатели. Самые крупные плоды у сорта Wengi (длина 25,5 мм, диаметр 24,3 мм, масса 7,2 г), самые мелкие — у сорта Ovation (длина 22,2 мм, диаметр 22,5 мм, масса 4,9 г). При наблюдении за сортами в разные сроки созревания установлено, что длина плода (27,3 мм) и масса плода (8,3 мм) в период летнего плодоношения максимальны у сорта Wengi, а минимальны — у сорта Vajolet. Количество сахара колеблется от 11 до 13%Bx, процент спелых плодов — от 84,5 до 94,5. Достоверно доказана разница между сортами Wengi и Ovation по вегетативным характеристикам при разных сроках выращивания, где максимальные значения были получены на второй год. В период летнего плодоношения урожай с одного побега у Wengi составил 2615 г, у Vajolet — 485 г. Сорт Wengi отличался максимальной длиной (27,3 мм) и массой плодов (8,3 г). По совокупности показателей наиболее перспективными сортами для летнего плодоношения являются Wengi и Vajolet, для осеннего — Ovation.

Ключевые слова: малина, Long Cane, выращивание, ремонтантные сорта, плоды, Wengi, Vajolet, Ovation

Для цитирования: Ладыженская О.В., Летуновский С.С., Аниськина Т.С., Крючкова В.А., Симахин М.В. Сравнение современных сортов малины, выращиваемых по системе Long Cane. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 100–105 (In English). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-100-105>

© Ладыженская О.В., Летуновский С.С., Аниськина Т.С., Крючкова В.А., Симахин М.В.

Introduction/ Введение

Raspberry fruits (*Rubus idaeus* L.) are a unique natural source of a whole balanced in composition complex of nutritious and biologically active substances that attracts the attention of the whole world [1]. Raspberries contain vitamins, minerals (potassium (K), calcium (Ca), iron (Fe), zinc (Zn) and manganese (Mn)), unsaturated fat acids, sugars, proteins and polyphenols [2]. In addition, raspberries have a high antioxidant potential, due to the increased accumulation of ascorbic, ellagic, folic acids and anthocyanins [3]. That is why raspberry fruits have antioxidant, anti-inflammatory, chemo-preventive and antimicrobial properties, which significantly affect the human vital processes [4].

Raspberries varieties (*Rubus idaeus* L.) are divided into summer (biennial-fruiting) and remontant (primocane-fruiting) [5]. Basically, varieties that are used for container growing of long cane in high tunnels are summer (biennial-fruiting), their shoots are formed during one growing season, then plants are removed to frigo-storage [6]. The difference between traditional and remontant varieties is that remontant varieties' blooming and bearing are not related with day length and temperature. In traditional varieties the dormant period begins after the initiation of flowering [7].

According to FAO data for 2020, the area of raspberry plantations in the world was 112 167 hectares, and the yield was 895 771 tons, while in 2019 — 841 351 tons were obtained from an area of 122 195 hectares. That indicates the dynamics of berry producing growth despite the decrease in areas. The leading countries raspberries producing are the Russian Federation (151 738 tons), Serbia (92 514 tons), Poland (84 674 tons) and the USA (81 865 tons)¹. In Russia, to preserve the current industrial area (2412.2 ha), the minimum annual need in raspberry planting material is 2 560 643 seedlings².

Every year the demand for planting material increases, as increases the demand for berry products, however, the modern market needs more stable, high-yielding varieties and more intensive cultivation technologies [10]. Modern breeding programs are focused on the creation of new varieties based on the producers' needs. Subsequently, they become the basis for industrial plantations of red raspberries around the world³. The increased attention is paid to the breeding of universal purpose varieties. They must be suitable both for processing and possess complex resistance or tolerance to diseases [9].

To extend the harvest period, Chinese scientists have developed a technique for simultaneously growing biennial-fruiting and primocane-fruiting in the open field and in tunnel shelters. Thus, the harvest period was more than 220 days [10].

Growing technologies in open and protected ground have their own advantages and disadvantages. For example, growing raspberries in the traditional way in open ground, plants are affected by ectoparasites (for example, needle and dagger nematodes (*Longidorus* and *Xiphinema*), which parasitize both on the roots of perennial shrubs and woody plants, and on annual crops. The danger of phytoparasitic nematodes is that they are carriers of viral diseases that spread locally with the soil and plant material [11].

Another problem growing raspberries in open ground is the infection of plants with a soil bacterium, crown gall disease (*Agrobacterium tumefaciens*), that causes tumor formations on the plants' roots and shoots. The bacterium enters the plant through wound lesions, as a result cell proliferation is occurred, the tumor grows, the flow of water and nutrients is disturbed, the plants become weak, and the yield and quality of fruits are significantly reduced⁴.

Growing late raspberries varieties in open ground in the conditions of the Central and Northern regions of the Russian Federation, 20–30% of the yield does not have time to ripen, however, these regions are the main ones for growing raspberries; also, during prolonged rainfall, fruits are damaged by gray rot (*Botrytis cinerea*), which leads to a significant decrease in yield and loss of fruit quality.

The growth in demand for raspberry products outside the traditional season promoted an increase of protected ground area. For this purpose, the "long cane production system" was developed⁵. However, growing raspberry with long cane system in container technology in tunnels is it necessary to consider varietal characteristics, as well as follow a complex of agrotechnical measures (maintaining of air and soil humidity, normalizing shoots and selecting the optimal container volume).

The purpose of our study is to compare modern raspberry varieties of raspberries growing them with the long cane system in container technology using tunnel shelters.

Materials and methods /

Материалы и методы исследования

The studies were carried out in Michurinsk (52°85'86" N, 40°48'97" E, Tambov region, Russia), on the territory of the educational and research greenhouse complex during the growing season of 2021–2022.

In the experiment, 3 varieties of raspberries were used: Wengi, Vajolet and Ovation.

The tunnel (10 m W x 100 m L x 4,7 m H) is covered with a double layer of transparent polyethylene with a density of 150 microns. Inside the tunnel, at a height of 200 cm from the ground, there is a shading net with a density of 50 g/m² (Russia). The ventilation of the tunnel is carried out through the tunnel doors at both ends and four side windows. Humidity was maintained at 50%, the maximum temperature reached inside 36 °C, minimum 7 °C. The optimum temperature at night is 11 °C, during the day 20 °C. The surface in the tunnel is covered with a covering fabric with a density of 130 g/m² (produced in Belarus).

Raspberry seedlings were propagated by root cuttings. In April, rooted cuttings with an aerial part of 15–20 cm were dived and planted into a 1 liter container each. Planting them, it was applied Fertilizer Osmocote Exact Standard 5–6M (15-9-12 + 2MgO + TE) — 2 g/l, Everris (ICL), Netherlands. As a substrate it was used a mixture of peat (75%, Pindstrup, Russia) with agroperlite (25%, Plant of Mineral Fertilizers, Russia). During the growing season, it was carried root fertigation with Master (13-40-13) fertilizer — 2 g/l, Valagro, Italy. The humidity of the substrate was maintained at 65–70% throughout the growing season. In late May — early June, raspberry seedlings were transplanted into foam containers

¹ FAOSTAT Production/Yield quantities of Raspberries in World + (Total) 2000–2020 Retrieved from. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> (дата обращения: 19.10.2022).

² Расчеты Ягодного союза на основе данных сельскохозяйственной переписи 2016 года. <https://berry-union.ru> (дата обращения: 19.10.2022).

³ Finn C.E., Kempler C., Moore P.P. Raspberry cultivars: what's new? what's succeeding? where are breeding programs headed?. Acta Hort. 2008; 777(1): 33–40. DOI: 10.17660/ActaHortic.2008.777.1

⁴ Pscheidt J.W., O'camb C.M. Blackberry (*Rubus* spp.) Stamen Blight. PNW Plant Disease Management Handbook. 2016. Available at: <https://pnwhandbooks.org/plantdisease/host-disease/blackberry-rubus-spp-stamen-blight>

⁵ Sonstebly A., Stavang J.A., Heide O.M. One technique that has been developed for this purpose is the so-called "long cane production system". Production of high-yielding raspberry long canes: The way to 3 kg of fruit per cane Journal of Horticultural Science & Biotechnology. 2013; 88(5): 591–599.

(55x35x20 cm), volume 40 liters. During the growing season, it was carried 6 times fertilizing out with orthophosphoric acid (OPA), the concentration of 75.2%. Row spacing is 1.5 m, containers are arranged tightly in a row. From 1 to 4 seedlings were planted in each container, depending on the variety. Placement of variants in the experiment is randomized. All varieties are presented in quadruple repetition. Irrigation was carried out using drip tapes 2–3 times a day in hot weather, or once every 2 days in cloudy weather.

The experiment was carried out on a long cane of two types:

- Long canes (floricanes) grown for two years were chosen to study the summer fruiting. In November 2021, the aerial part was shortened to a height of 170 cm; in April 2022, the vegetation resumed. Berries were measured on June 14, 2022.
- Long canes (primocanes) of the first year were grown from one-year-old root cuttings in 2022. Berries were measured on September 14, shoots on October 12, 2022.

Measuring 30 berries were taken into account the following characteristics: length, diameter, weight, proportion of ripened fruits from the total quantity, yield from one shoot⁶.

Fruits weight was measured with Aqua-Lab.RF, YA501 scales. Sugars were measured using an AQ-REF-BRIX4 refractometer (Aqua-LAB, Russian Federation). Fruits diameter and length were measured with a MECHANIK 150 PRO caliper, fruits density was measured with an Ft 327 penetrometer (3–27 Lbs.)⁷

The analysis of experimental data was carried out in the IBM SPSS (IBM, USA) program using the methods of descriptive statistics, one-factor and two-factor analysis of variance using Duncan's post hoc tests (for features whose distribution corresponds to the normal distribution law) and the nonparametric Kruskal-Wallis test for independent samples (for features whose distribution does not correspond to a normal distribution law). Checking the normality of the distribution was performed according to the Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk criteria.

Correlation analysis was performed using Spearman's rank correlation test.

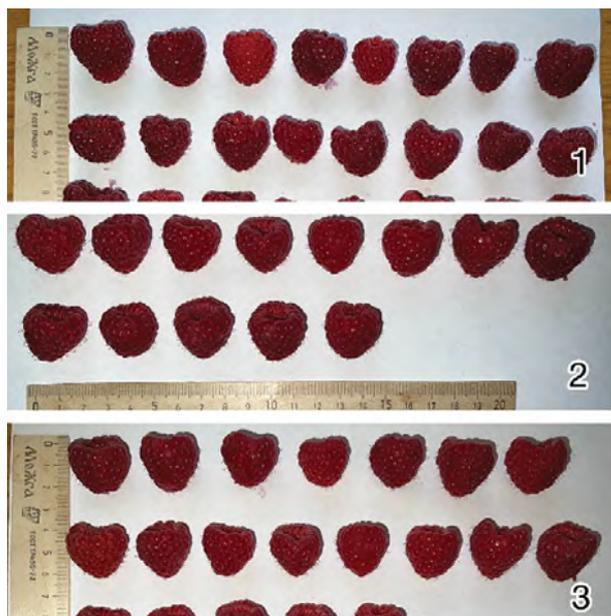
**Results and discussion /
Результаты и обсуждение**

Comparison of summer and autumn fruiting of raspberry varieties according to technology Long Cane

According to the results of summer and autumn studies was established a normal distribution of the fruits length, diameter and weight, which makes it possible to use ANOVA to analyze the reliability of differences. For such traits as amount of sugar content in fruits, the percentage of ripened fruits from the total yield and the yield from one shoot, the distribution did not correspond to the normal law, and therefore nonparametric criteria were subsequently used to identify the significance of differences.

It was noted high variability in terms of productivity and proved significant differences between varieties in length, diameter and weight of the fruit (Figure 1). The largest fruits are in Wengi (25.5 mm length, 24.3 mm diameter and 7,2 g weight), and the smallest in Vajolet (22,2 mm length, 21.7 mm diameter and 4.0 g mass).

Fig. 1. Raspberries during autumn fruiting: 1 — Wengi, 2 — Vajolet, 3 — Ovation



Significant differences between fruiting seasons were revealed only on the basis of fruit diameter. On average, for varieties, fruits in autumn fruiting (23.4 mm) are larger than in summer (22.0 mm).

Varietal features in terms of the height and weight of the fruit were revealed in different fruiting periods. Observing the varieties at different ripening periods, it was found that the length (27.3 mm) and fruit weight (8.3 g) during the summer fruiting period are maximum for Wengi and minimum for Vajolet. Ovation showed average values in the summer. It should be noted that during autumn fruiting period, the length and weight of fruits stabilize and take average values (Table 1).

Table 1. Parameters of summer and autumn fruiting of 3 raspberry varieties

Cultivar	Season	Fruit length, mm	Fruit diameter, mm	Fruit weight, g
Wengi	Summer	27.3 ^c ± 1.7	24.2 ± 1.7	8.3 ^c ± 1.4
Vajolet		20.7 ^a ± 1.4	20.0 ± 2.2	3.2 ^a ± 0.9
Ovation		22.3 ^b ± 1.6	22.0 ± 0.6	4.4 ^{ab} ± 0.7
Wengi	Autumn	23.6 ^b ± 2.1	24.4 ± 2.3	6.0 ^b ± 1.2
Vajolet		23.7 ^b ± 2.3	22.1 ± 1.7	4.8 ^{ab} ± 0.8
Ovation		22.1 ^b ± 1.5	22.9 ± 1.2	5.3 ^b ± 0.5
Average CVS.	Summer	23.4 ± 3.1	22.0 ± 2.1	4.9 ± 1.9
	Autumn	23.2 ± 2.1	23.4 ± 2.1	5.5 ± 1.9
Wengi	Average Seasons	25.5 ^b ± 2.4	24.4 ^c ± 2.2	7.2 ^c ± 1.3
Vajolet		23.1 ^{ab} ± 2.5	21.1 ^a ± 1.9	4.0 ^a ± 1.0
Ovation		22.2 ^a ± 1.5	22.5 ^b ± 1.6	4.9 ^b ± 0.7
Source of variation				
Cultivar		*	*	*
Season		n.s.	*	n.s.
Cultivar*Season		*	n.s.	*

The Kruskal — Wallis criteria established the absence of significant differences in the periods of summer and autumn ripening periods in terms of amount of sugar and the proportion of ripened fruits. Yield from one shoot varies depending on the timing of fruiting. In summer, the median productivity is almost 2 times higher (1500 g) than in autumn (820 g) (Table 2).

⁶ Седов Е.Н. и др. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: ВНИИСПК. 1999; 606.
⁷ ГОСТ Р 51938-2002 Соки фруктовые и овощные. Метод определения сахарозы. М.: Госстандарт России. 12 с.

Table 2. Medians of seasonal amount of sugars, proportion of ripened fruits and yield per shoot in raspberry varieties

Season	Amount of sugar, °Bx	Proportion of ripened fruits, %	Yield from one shoot, g
Summer	10	89.0	1500
Autumn	11	89.5	820

Autumn fruiting of raspberry varieties according to Long Cane (Primocane) system

For such parameters as amount of sugar, the proportion of ripened fruits from the total fruits' quantity and the yield per shoot, the distribution was proved to be inconsistent with the normal law. The Kruskal — Wallis test showed that the varieties do not differ significantly in terms of amount of sugar and the proportion of ripened fruits from the total fruits' quantity. In terms of yield from one shoot in the autumn harvest, it was established significant differences between varieties. The median amount of sugar varies from 11 to 13 °Bx, the percentage of ripened fruits is from 84,5 to 89,5%, the yield per shoot is from 705 to 1050 g (Table 3).

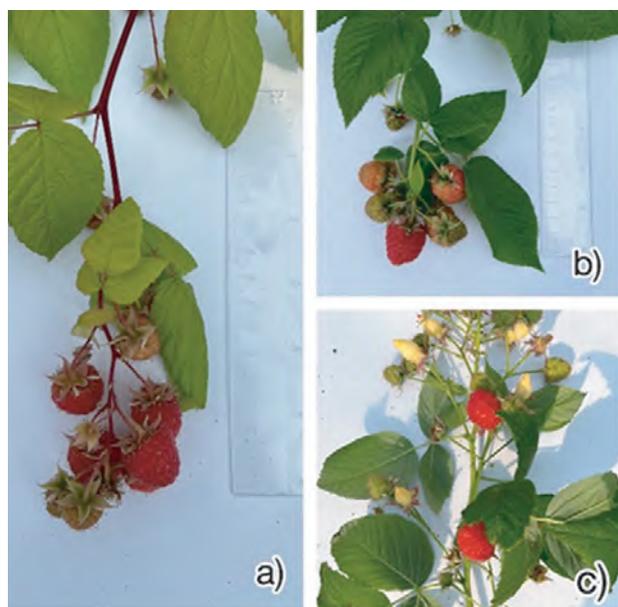
Table 3. Medians of autumn amount of sugar, proportion of ripened fruits and yield per one shoot in raspberry varieties

Variety	Amount of sugar, °Bx	Proportion of ripened fruits, %	Yield from one shoot, g
Wengi	11	89.5	705
Vajolet	13	94.5	705
Ovation	11	84.5	1050

Additional parameters of summer fruiting of raspberry varieties according to Long Cane (Florican) system

For raspberry varieties grown in summer fruiting period, it was carried additional studies of the fruiting shoots' structure — lateral's quantity on one shoot and the fruits' quantity on one lateral shoot, on which largely depends the overall yield (Figure 2). It was proved that the distribution corresponded to the normal law and significant differences between varieties for these parameters.

For raspberry varieties grown in summer fruiting period, it was carried additional studies of the fruiting shoots' structure — lateral's quantity on one shoot and the fruit's quantity on one lateral shoot, on which largely depends the overall yield (Figure 2). It was proved that the distribution

Fig. 2. Raspberry laterals during summer fruiting: a) Ovation, b) Vajolet, c) Wengi

corresponded to the normal law and significant differences between varieties for these parameters.

It was noted an inverse relationship between the lateral's quantity and fruit's quantity on the lateral shoot — with a small quantity of laterals on the shoot, cultivar Wengi has the largest quantity of fruits on the lateral, while, with the largest quantity of laterals, cultivar Ovation has much less quantity of fruits on each of them (Table 4).

Table 4. Parameters of the summer fruiting zone of 3 raspberry varieties. Values are averages for 15 shoots, 30 laterals and 30 fruits with standard deviations. The values that have different letters are significantly different according to Fisher's test ($p \leq 0.05$) and Duncan's post hoc tests

Variety	Quantity of laterals on the shoot, pcs	Quantity of fruits on the lateral, pcs
Ovation	18.8 ^b ± 2.8	14.9 ^a ± 1.9
Wengi	11.5 ^a ± 3.0	27.4 ^b ± 5.6
Vajolet	14.7 ^{a, b} ± 4.5	10.3 ^a ± 1.3

There wasn't found any significant differences in amount of sugars and the proportion of ripened fruits between the varieties. It was noted significant differences between the varieties in yield from one shoot, the maximum yield was in the Ovation variety (Table 3).

Table 5. Median summer amount of sugar, proportion of ripened fruits and yield from one shoot for Vajolet, Wengi and Ovation

Variety	Amount of sugar, °Bx	Proportion of ripened fruits, %	Yield from one shoot, g
Ovation	12	86	1233
Wengi	9	89	2615
Vajolet	13	91	485

Growing raspberry using long cane system allows to extend the yield season in many countries of the world [12]. So, for example, Norwegian scientists tested the summer (biennial-fruiting red raspberry) raspberry variety "Tulameen" by growing long cane in 7.5 L containers in the greenhouse and in the open field. The yield in greenhouse conditions was 2700 g per shoot, fruit weight 6.1 g, while the yield in open ground was 2100 g per shoot and fruit weight 6.3 g. Belgian scientists conducted an experiment on growing a remontant raspberry variety "Kwanza". The results of the study showed that growing using long cane system for a summer crop from the end of January to mid-June in greenhouse conditions in a 10 L container and with the formation of 2 shoots per container, the yield was 800 g/m², while under the same conditions it was possible to collect 500 g/m² [13].

In some publications, it was noted that the optimal taste, density, size and color of fruits can be obtained by re-harvesting [15, 16], as it was done in the experiment with raspberry varieties Polesie, Polka, Polana. Our results partially agree; the height, diameter, and weight of the fruit in the Wengi variety are significantly higher during the summer fruiting period, while in the Vajolet and Ovation varieties in the fall.

The long cane technology has been developed to extend the market cycle for fresh raspberries and is regularly amended [16, 17].

We suggest improving the technology with choosing summer and autumn varieties. In autumn fruiting, remontant raspberry varieties gain more sugars, the percentage of ripened fruits is also higher, but the yield is much lower. However, it is worth noting that the variety "Ovation" has a slightly higher productivity in summer than in autumn, while the amount sugars and the proportion of ripened fruits are higher.

Conclusions/Выводы

The largest fruits are in the Wengi variety (length 25.5 mm, diameter 24.3 mm, weight 7.2 g), the smallest are in the Vajolet variety (length 22.2 mm, diameter 21.1 mm, weight 4.0 g). When observing varieties at different ripening periods, it was found that the fruit length (27.3 mm) and fruit weight (8.3 mm) during the summer fruiting period are maximum in the Wengi variety, and minimum in the Vajolet variety.

The amount of sugar ranges from 11 to 13 °Bx, the percentage of ripe fruits from 84.5 to 94.5%, the yield per

shoot from 505 to 1250. During the summer fruiting period, the yield per shoot for Wengi was 2615 g, for Vajolet — 485 g. The Wengi variety was distinguished by its maximum length (27.3 mm) and fruit weight (8.3 g).

The studied varieties are recommended to be used for industrial production. Variety “Ovation” is recommended for both summer and autumn fruiting. Varieties “Vajolet” and “Wengi” are recommended for summer fruiting. Relevance. Modern raspberry varieties (*Rubus idaeus* L.) have great potential for cultivation using Long Cane technology.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

FUNDING

This research was funded by Institutional research project No. 122042700002-6 of the Tsitsin Main Botanical Garden of the RAS.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет госзадания «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения», госрегистрация № 122042700002-6.

REFERENCES

- Barney D.L., Miles C. (eds.). Commercial Red Raspberry Production in the Pacific Northwest. Pacific Northwest Extension publication PNW 176. Oregon State University. 2007; iv, 104.
- Sazonova I.D. Biochemical assessment of raspberry and currant berries in the south-western part of the non-black earth region of Russia. *Vestnik Bryansk State Agricultural Academy*. 2021; (5): 36–44 (in Russian). <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2021-87-5-36-44>
- Schulz M., Chim J.F. Nutritional and bioactive value of *Rubus* berries. *Food Bioscience*. 2019; 31: 100438. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438>
- Zhanova E.V. Fruit of Raspberry *Rubus idaeus* L. as a Source of Functional Ingredients (Review). *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020; 48(1): 5–14 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-1-5-14>
- Heide O.M., Sonstebj A. Physiology of flowering and dormancy regulation in annual- and biennial-fruiting red raspberry (*Rubus idaeus* L.) — a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2011; 86(5): 433–442. <https://doi.org/10.1080/14620316.2011.11512785>
- Palonen P., Laine T., Mouhu K. Floricane yield and berry quality of seven primocane red raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*. 2021; 285: 110201. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110201>
- Hodnefjell R., Heide O.M., Rivero R., Remberg S.F., Sonstebj A. Control of growth cessation and floral initiation in red raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivars of diverse origin in controlled and natural environments. *Scientia Horticulturae*. 2018; 233: 412–420. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.011>
- Dobrenkov E.A., Semenova L.G. Raspberry varieties *ex vitro* in the field in the South of Russia. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2021; 70(4): 70–80 (in Russian). <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-4-70-70-80>
- Kempler C., Daubeny H.A. Red raspberry cultivars and selections from the pacific agri-food research centre. *ISHS Acta Horticulturae 777: IX International Rubus and Ribes Symposium*. ISHS. 2008; 6. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.777.6>
- Tan C.H., Daia H.P., Lu J., Shi W. Raspberry production in greenhouse in Northeast China. *ISHS Acta Horticulturae 1277: XII International Rubus and Ribes Symposium: Innovative Rubus and Ribes Production for High Quality Berries in Changing Environments*. ISHS. 2020; 36. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.36>
- Sergeeva O.V., Razuvaeva K.P. Methods of isolation and identification of soil nematodes of the *Longidoridae* family in the conditions of quarantine laboratories. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019; 54: 69–73 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-11069>
- Dale A. Raspberry production in greenhouses: physiological aspects. *ISHS Acta Horticulturae 777: IX International Rubus and Ribes Symposium*. ISHS. 2008; 32. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.777.32>
- Herckens K., Boonen M., Bylemans D. Year round production of the primocane raspberry “Kwanza”. *ISHS Acta Horticulturae 1265: XXX International Horticultural Congress IHC2018: III International Berry Fruit Symposium*. ISHS. 2019; 20. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1265.20>
- Rolbiecki S., Rolbiecki R., Rzekanowski C. Effect of micro-irrigation on the growth and yield of raspberry (*Rubus idaeus* L.) cv. “Polana” grown in very light soil. *ISHS Acta Horticulturae 585: VIII International Rubus and Ribes Symposium*. ISHS. 2002; 108. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.585.108>
- Krawiec P., Rybczyński R. Fertigation efficiency of primocane-fruiting raspberry varieties. *Acta Agrophysica*. 2010; 16(2): 347–358 (in Polish).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Barney D.L., Miles C. (eds.). Commercial Red Raspberry Production in the Pacific Northwest. Pacific Northwest Extension publication PNW 176. Oregon State University. 2007; iv, 104.
- Сазонова И.Д. Биохимическая оценка плодов малины и смородины в условиях юго-западной части Нечерноземья России. *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021; (5): 36–44. <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2021-87-5-36-44>
- Schulz M., Chim J.F. Nutritional and bioactive value of *Rubus* berries. *Food Bioscience*. 2019; 31: 100438. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438>
- Жбанова Е.В. Плоды малины *Rubus idaeus* L. как источник функциональных ингредиентов (обзор). *Техника и технология пищевых производств*. 2020; 48(1): 5–14. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-1-5-14>
- Heide O.M., Sonstebj A. Physiology of flowering and dormancy regulation in annual- and biennial-fruiting red raspberry (*Rubus idaeus* L.) — a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2011; 86(5): 433–442. <https://doi.org/10.1080/14620316.2011.11512785>
- Palonen P., Laine T., Mouhu K. Floricane yield and berry quality of seven primocane red raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*. 2021; 285: 110201. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110201>
- Hodnefjell R., Heide O.M., Rivero R., Remberg S.F., Sonstebj A. Control of growth cessation and floral initiation in red raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivars of diverse origin in controlled and natural environments. *Scientia Horticulturae*. 2018; 233: 412–420. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.011>
- Добренков Е.А., Семенова Л.Г. Сорты малины *ex vitro* в полевых условиях юга России. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2021; 70(4): 70–80. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-4-70-70-80>
- Kempler C., Daubeny H.A. Red raspberry cultivars and selections from the pacific agri-food research centre. *ISHS Acta Horticulturae 777: IX International Rubus and Ribes Symposium*. ISHS. 2008; 6. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.777.6>
- Tan C.H., Daia H.P., Lu J., Shi W. Raspberry production in greenhouse in Northeast China. *ISHS Acta Horticulturae 1277: XII International Rubus and Ribes Symposium: Innovative Rubus and Ribes Production for High Quality Berries in Changing Environments*. ISHS. 2020; 36. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.36>
- Сергеева О.В., Разуваева К.П. Методы выделения и идентификации почвенных нематод семейства *Longidoridae* в условиях карантинных лабораторий. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019; 54: 69–73. <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-11069>
- Dale A. Raspberry production in greenhouses: physiological aspects. *ISHS Acta Horticulturae 777: IX International Rubus and Ribes Symposium*. ISHS. 2008; 32. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.777.32>
- Herckens K., Boonen M., Bylemans D. Year round production of the primocane raspberry “Kwanza”. *ISHS Acta Horticulturae 1265: XXX International Horticultural Congress IHC2018: III International Berry Fruit Symposium*. ISHS. 2019; 20. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1265.20>
- Rolbiecki S., Rolbiecki R., Rzekanowski C. Effect of micro-irrigation on the growth and yield of raspberry (*Rubus idaeus* L.) cv. “Polana” grown in very light soil. *ISHS Acta Horticulturae 585: VIII International Rubus and Ribes Symposium*. ISHS. 2002; 108. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.585.108>
- Krawiec P., Rybczyński R. Efektywność fertygacji w malinach odmian powtarzających. *Acta Agrophysica*. 2010; 16(2): 347–358.

16. Carew J.G., Gillespie T., White J., Wainwright H., Brennan R., Battey N.H. Techniques for manipulation of the annual growth cycle in raspberry. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2000; 75(5): 504–509. <https://doi.org/10.1080/14620316.2000.11511276>

17. Kunze K.E. T-duality and Penrose limits of spatially homogeneous and inhomogeneous cosmologies. *Physical Review D*. 2003; 68(6): 063517. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.68.063517>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Викторовна Ладзыженская¹

научный сотрудник
o.ladyzhenskaya91@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8086-8891>

Сергей Сергеевич Летуновский²

директор
Malinovii-raiOO@mail.ru

Татьяна Сергеевна Аниськина¹

научный сотрудник лаборатории культурных растений
tatianiskina@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0933-1020>

Виктория Александровна Крючкова¹

кандидат биологических наук; доцент, ведущий научный сотрудник
vkruchkova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1066-3978>

Максим Вячеславович Симахин¹

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
Simakhin1439@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0680-941X>

¹ Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Ботаническая ул., 4, Москва, 127276, Россия

² Плодово-ягодный питомник «Малиновый рай», ул. Лесная, 7, дер. Марьино, Мичуринский р-н, Тамбовская обл., 393754, Россия

16. Carew J.G., Gillespie T., White J., Wainwright H., Brennan R., Battey N.H. Techniques for manipulation of the annual growth cycle in raspberry. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2000; 75(5): 504–509. <https://doi.org/10.1080/14620316.2000.11511276>

17. Kunze K.E. T-duality and Penrose limits of spatially homogeneous and inhomogeneous cosmologies. *Physical Review D*. 2003; 68(6): 063517. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.68.063517>

ABOUT THE AUTHORS

Olga Victorovna Ladyzhenskaya¹

Researcher Laboratory of Cultivated Plants
o.ladyzhenskaya91@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8086-8891>

Sergey Sergeevich Letunovskiy²

Director
Malinovii-raiOO@mail.ru

Tatyana Sergeevna Aniskina¹

Researcher at the Laboratory of Cultivated Plants
tatianiskina@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0933-1020>

Victoria Alexandrovna Kryuchkova¹

Candidate of Biological Sciences; Assistant Professor, Leading Researcher
vkruchkova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1066-3978>

Maxim Vyacheslavovich Simakhin¹

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
Simakhin1439@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0680-941X>

¹ Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Science, 4 Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russia

² Research and production nursery "Malinovii Rai", 7 Lesnaya Str., Maryino village, Michurinsky district, Tambov region, 393754, Russia



АГРОРУСЬ ПРО 2024

28–30 АВГУСТА 2024

33-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА



КОНГРЕССНАЯ
ПРОГРАММА

ЭКСПОЗИЦИИ
РЕГИОНОВ РОССИИ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ
ЭКСПОЗИЦИИ

ЦЕНТР
ДЕЛОВЫХ
КОНТАКТОВ

ОТРАСЛЕВОЙ
КОНКУРС
«ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ»

Реклама



ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ
НА НАШ
TELEGRAM-КАНАЛ
@AGRORUS1



КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ
ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

AGRORUS.EXPOFORUM.RU
ТЕЛ.: +7 (812) 240-40-40, ДОб. 2980, 2427, 2434



6+

УДК 633.22:631.527

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-106-111

А.Г. Тулинов ✉

Т.В. Косолапова

Институт агробиотехнологий
им А.В. Журавского Коми научного
центра Уральского отделения
Российской академии наук, Сыктывкар,
Россия

✉ toolalgen@mail.ru

Поступила в редакцию:
01.02.2024

Одобрена после рецензирования:
16.05.2024

Принята к публикации:
31.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-106-111

Aleksey G. Tulinov ✉

Tatiana V. Kosolapova

Institute of Agrobiotechnologies named
after A. V. Zhuravsky Komi Scientific Center
of the Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, Syktывkar, Russia

✉ toolalgen@mail.ru

Received by the editorial office:
01.02.2024

Accepted in revised:
16.05.2024

Accepted for publication:
31.05.2024

Оценка экологической пластичности сортообразцов ежи сборной в условиях Республики Коми

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Проводя анализ современных требований сельхозпроизводителей продукции животноводства, предъявляемых к сортам многолетних кормовых культур, можно выделить ряд основных критериев. Это и хозяйственно ценные признаки (высокая урожайность, качественные показатели, резистентность к болезням), и продолжительность лет нахождения в травостое, а самое главное — высокая адаптивность к биотическим и абиотическим факторам среды, в которых данная культура возделывается.

Методы. В исследовании, включающем в себя два этапа, был проведен анализ в коллекционном питомнике 11 номеров ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) из Всероссийского института генетических ресурсов растений (ВИР) им. Н.И. Вавилова (г. Санкт-Петербург) различного эколого-географического происхождения, территориально относящихся к Арктическому региону РФ (2016–2018 гг.), и 4 отобранных для дальнейшего испытания номеров селекционного питомника (2020–2022 гг.) по параметрам экологической пластичности, стабильности и адаптивности.

Результаты. По итогам исследований 2016–2018 гг. перспективной кормовой культуры ежи сборной установлено, что наиболее ценным селекционным материалом для дальнейшей гибридизации являются сорта Двина (Россия) и Нака (Финляндия), показавшие высокое значение средней урожайности двух укосов зеленой массы — 20,0–20,5 т/га. Из рассматриваемых сортообразцов 2020–2022 гг. к наиболее пластичному и стабильному отнесен СН-185 ($b_1 = 0,94$, $\sigma_d^2 = 0,93$); образец СН-188 ($X_{cp} = 42,9$ т/га) превысил сорт стандарт Нева (Россия) по урожайности сухой массы за два укоса на 2,1 т/га, а по урожайности семян — на 40,5 г/м².

Ключевые слова: ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), сортообразец, продуктивность, пластичность, стабильность, адаптивность

Для цитирования: Тулинов А.Г., Косолапова Т.В. Оценка экологической пластичности сортообразцов ежи сборной в условиях Республики Коми. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 106–111.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-106-111>

© Тулинов А.Г., Косолапова Т.В.

Assessment of the ecological plasticity of cocksfoot specimens in the Komi Republic

ABSTRACT

Relevance. Analyzing the modern requirements of agricultural producers of livestock products for varieties of perennial forage crops, we can identify a number of their main criteria. These are economically valuable traits (high yield, quality indicators, disease resistance), and the length of years spent in grass, and most importantly, high adaptability to the biotic and abiotic environmental factors in which this crop is cultivated.

Methods. In the study, which included two stages, an analysis was carried out in a collection nursery of eleven cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) samples from the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) (St. Petersburg) of various ecological and geographical origins, geographically related to the northern, arctic region of the Russian Federation (2016–2018) and four numbers of the breeding nursery selected for further testing (2020–2022) according to environmental parameters plasticity, stability and adaptability.

Results. Based on the results of research in 2016–2018 of a promising forage cocksfoot crop, it was established that the most valuable breeding material for further hybridization are the varieties Dvina (Russia) and Haka (Finland), which showed a high average yield of two cuttings of green mass — 20.0–20.5 t/ha. Of the cultivars under consideration in 2020–2022, CH-185 ($b_i = 0.94$, $\sigma_d^2 = 0.93$) was classified as the most plastic and stable; sample CH-188 ($X_{sr} = 42.9$ t/ha) exceeded the standard Neva (Russia) variety in terms of dry weight yield for two mowing by 2.1 t/ha, and in terms of yield seeds — 40.5 g/m².

Key words: cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.), variety, productivity, plasticity, stability, adaptability

For citation: Tulinov A.G., Kosolapova T.V. Assessment of the ecological plasticity of cocksfoot specimens in the Komi Republic. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 106–111 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-106-111>

© Tulinov A.G., Kosolapova T.V. .

Введение/Introduction

Многолетние травы применяются в различных кормовых видах в отраслях сельского хозяйства, связанных с их заготовкой: в виде сена, сенажа, силоса, обезвоженных и витаминизированных кормов, в том числе и в гранулированном виде. Зеленые корма скармливаются на пастбище и в скошенном виде при стойловом содержании животных [1–4]. Республика Коми отличается развитым агропромышленным комплексом, общее число организаций в данной сфере — более 250 хозяйств¹. Площадь сельскохозяйственных угодий небольшая, однако она может быть увеличена за счет освоения лугов вдоль рек Печора и Вычегда, а также освоения заболоченных и тундровых земель. В настоящее время для сельского хозяйства используются порядка 419 тыс. га, а посевы многолетних трав занимают в Республике Коми лишь 27 тыс. га².

Из всего многообразия существующих кормовых культур можно выделить ежу сборную (*Dactylis glomerata* L.), как одну из перспективнейших, применяемых при организации долговременных пастбищ, а также способную давать хорошую кормовую продуктивность как при выращивании в чистом виде на торфяных почвах, так и в составе травосмесей и зеленого конвейера [5].

Ежа сборная — оптимальная сельскохозяйственная кормовая многолетняя культура для организации высокопродуктивных сенокосов и пастбищных участков. При соблюдении соответствующих агротехнических приемов она может держаться в травостое в течение 8–10 лет. Благодаря своей долговечности и высокой отавности это растение считается очень ценной культурой для отрасли животноводства, в частности кормопроизводства. Очень важны такие свойства ежи сборной, как засухоустойчивость, стабильная по годам урожайность, высокая отзывчивость на удобрения, особенно азотные. Она обладает широкой приспособляемостью к окружающим условиям и быстро восстанавливается после скашивания и сраживания на пастбищах [6, 7].

Кормовая ценность ее вегетативной массы очень высока. Для увеличения производства полноценных кормов необходимо создать новый сорт ежи сборной, который будет приспособлен к местным условиям. Этот сорт должен сочетать в себе высокую урожайность, его кормовая масса должна обладать отличными качествами, удовлетворяющими все физиологические потребности животных, а также высокую адаптивность к биотическим и абиотическим факторам внешней среды. Перспективные новые сорта, получаемые в процессе селекции, могут использоваться как в полеводческом производстве, так и для улучшения малопродуктивных естественных кормовых угодий, что в конечном итоге значительно увеличит производство высококачественных кормов.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Научные исследования выполнены на экспериментальном поле Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, Республика Коми, координаты участка — 61°40′35″ с. ш., 50°48′35.6″ в. д.) в коллекционном питомнике ежи сборной (2016–2018 гг.). Агротехника соответствует методике, представленной для многолетних злаковых трав, возделываемых на территории Нечерноземной зоны Российской Федерации³. В селекционном питомнике (2020–2022 гг.) образцы для переопыления и оценки семенной продуктивности посеяны беспокровно. Посев сплошной, рядовой, с междурядьями 60 см. Площадь опытной делянки — 110 м² (длина 5,0 м, ширина 2,0 м, по 4 ряда на делянке). Повторность четырехкратная. Норма высева семян — 2 г на 1 м² при всхожести 90–100%.

В селекционном питомнике для оценки кормовой продуктивности образцы посеяны беспокровно. Посев сплошной, рядовой, с междурядьями 20 см. Площадь делянки — 2 м² (длина 2,0 м, ширина 1,0 м, по 5 рядов на делянке). Повторность четырехкратная. Посевы содержатся в чистом от сорняков состоянии. Уборка питомников производится вручную. Перед уборкой образцы во всех питомниках проходят полевую оценку и браковку. В фазу колошения проводили первый учет урожайности зеленой массы (I укос), второй — при высоте травостоя в 40–60 см (II укос).

При изучении сортов и сортообразцов в коллекционных, селекционных питомниках, при проведении селекционно-семеноводческих исследований и при учете семенной и кормовой продуктивности (определение количества стеблей, длины соцветия, веса 1000 семян и т. п.) использовали методики и указания ВИР^{4, 5} и ВНИИК⁶.

Характеристика опытно-экспериментального участка: ровный по рельефу, почва — дерново-подзолистая, по механическому составу среднесуглинистая, со средним содержанием органического вещества 5,1%, гумуса — 4,0% (ГОСТ 26213-91⁷), кислотность почвы (рН_{сол.}) — 6,2 (ГОСТ 26483-85⁸), гидролитическая кислотность (Нг) — 1,7 ммоль / 100 г (ГОСТ 26212-91⁹), подвижный фосфор (P₂O₅) — 617,0 мг/кг, подвижный калий (K₂O) — 334,0 мг/кг почвы (ГОСТ 54650-2011¹⁰), обменный кальций — 13,2 ммоль / 100 г, обменный магний — 2,1 ммоль / 100 г почвы (ГОСТ 26487-85¹¹).

Статистическая обработка результатов исследований выполнена на компьютере в программе Microsoft Office Excel 2019 с дополнительно установленной пакетной средой AgCStat с применением метода дисперсионного анализа¹². Параметры экологической пластичности, стабильности и адаптивности сортов и образцов определяли по методике В.А. Зыкина, В.В. Мешкова, В.А. Сапеги¹³ и по S.A. Eberhart, W.A. Russell W.A. [8].

¹ Статистический ежегодник Республики Коми. 2021: статистический сборник. Сыктывкар: Комистат. 2020; 325.

² Республика Коми в цифрах: краткий статистический сборник. Сыктывкар: Комистат. 2022; 210.

³ Косолапов В.М., Костенко С.И., Пилипо С.В., Ключкова В.С., Костенко Н.Ю., Малюженец Е.Е., Разгуляева Н.В., Кулешов Г.Ф., Пуца Н.М., Пампура Е.К., Фомин А.И. Методические указания по селекции многолетних злаковых трав. М.: Издательство РГАУ — МСХА. 2012; 52.

⁴ Методические указания по изучению мировой коллекции многолетних кормовых трав. Л.: ВАСХНИЛ; ВИР. 1971; 24.

⁵ Методические указания по изучению коллекции многолетних трав. Л.: ВАСХНИЛ; ВИР. 1973; 37.

⁶ Методические указания по селекции многолетних трав. М.: ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса. 1985; 188.

⁷ ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Издательство стандартов. 1992; 8.

⁸ ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М.: Издательство стандартов. 1985; 6.

⁹ ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов. 1992; 7.

¹⁰ ГОСТ 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ. 2013; 8.

¹¹ ГОСТ 26487-85 Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО. М.: Издательство стандартов. 1985; 14.

¹² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат. 1985; 351.

¹³ Зыкин В.А., Мешков В.В., Сапега В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск: Сибирское отделение ВАСХНИЛ. 1984; 25.

Показатель гомеостатичности вычисляли по В.В. Хангильдину, С.В. Бирюкову [9].

В исследование (2016–2018 гг.) включены 11 образцов из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений (ВИР) им. Н.И. Вавилова (г. Санкт-Петербург) различного эколого-географического происхождения: Россия (Архангельская обл. — 36684 (сорт Двина), 44342, 44343, Республика Коми — 42733, 42734, 42736, 43024, 45945); Финляндия — 47268 (сорт Нака); Норвегия — 41826, 44021. В исследование (2020–2022 гг.) включены 4 образца: СН-185 (Коми популяция); СН-188 (Коми популяция); СН-1816 (финская популяция), СН-1810 сорт Нева (Россия).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Учет продуктивности образцов ежи сборной коллекционного питомника проведен за 2016–2018 гг. Анализ фенологических наблюдений в период роста и развития растений в среднем за три года показал, что начало весеннего отрастания происходило с I по III декаду мая, во II–III декадах июня отмечена фаза колошения, фаза цветения — III декада июня — II декада июля. Высота растений в период кущения составляла в среднем 44,2–51,7 см, перед первым укосом в фазу колошения — 95,7–104,0 см, при втором укосе — 122,4–134,1 см. Период от начала вегетации до формирования и созревания семян составил от 63 до 68 дней. Фаза цветения и последующее за ним созревание семян у изучаемых номеров по годам исследований проходили в различные сроки. Так, период созревания семян длился 19–28 дней. Все рассматриваемые сортообразцы различались по фенологическим признакам фазы колошения, представленным в таблице 1:

42733, 42736, 45945 — по количеству продуктивных стеблей (83–87 см),

44342, 42733, 47268 — по длине метелки (15–16 см), 47268, 41826 — по массе 1000 семян (1,4–1,6 г),

42733, 45945 — по кормовой продуктивности зеленой массы (1,7 кг/м²),

41826, 47268 — по содержанию сухого вещества (24–25%).

При проведении анализа параметров адаптивности образцов ежи сборной за 2016–2018 гг. следует отметить, что реализация генетического потенциала по продуктивности зеленой массы за два укоса у изучаемых генотипов была различна, что объясняется ранее проведенными исследованиями, как особенность данной культуры при возделывании ее в северных, арктических условиях России [10, 11]. В среднем за годы изучения и проведения учета сортообразцов урожайность составила 20,2 т/га при коэффициенте вариации V 30,7% (табл. 2).

Суммарная урожайность зеленой массы двух укосов варьировала от минимального значения в 2016 году у номера 44021 (Норвегия) (5,8 т/га) до максимального в 2018 году у номера 41826 (Норвегия) (33,3 т/га), при этом разность между максимальным и минимальным значениями средних показателей по годам составляла 14,9 т/га, а между средними значениями самих сортообразцов — 7,4 т/га.

Устойчивость к стрессу — важный фактор для сортов, выращиваемых в неблагоприятных климатических условиях Арктической зоны РФ. Этот показатель определяется разницей между минимальной урожайностью и максимальной: чем ближе он к нулю, тем выше стрессоустойчивость сорта. В данном случае сорта Двина (Россия) и Нака (Финляндия) являются наиболее

Таблица 1. Продуктивность образцов ежи сборной коллекционного питомника

Table 1. Productivity of cocksfoot samples from the collection nursery

Образец	Продуктивность					
	семенная			кормовая		
	количество стеблей, шт.	длина соцветия, см	вес 1000 семян, г	зеленая масса, кг/м ²	содержание сухого вещества, %	
<i>Сорт и образцы российского происхождения</i>						
44342 дикорастущий	53	16	1,2	1,3	22	
44343 дикорастущий	59	14	1,3	1,2	23	
36684 сорт Двина	48	14	1,3	1,4	21	
42733 дикорастущий	87	15	1,1	1,7	21	
42734 дикорастущий	51	14	1,2	1,3	23	
42736 дикорастущий	83	14	1,3	1,4	21	
43024 дикорастущий	69	14	1,2	1,4	23	
45945 дикорастущий	83	15	1,3	1,7	22	
<i>Сорт финского происхождения</i>						
47268 сорт Нака	64	16	1,4	1,3	24	
<i>Образцы норвежского происхождения</i>						
41826 дикорастущий	46	15	1,6	1,5	25	
44021 дикорастущий	45	13	1,3	1,2	23	
НСР ₀₅	5,0	1,1	0,1	0,5	1,8	

Таблица 2. Показатели урожайности и адаптивности образцов ежи сборной в коллекционном питомнике

Table 2. Indicators of productivity and adaptability of cocksfoot specimens in a collection nursery

Образец	Зеленая масса (сумма двух укосов), т/га				Параметры адаптивности				
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	X _{ср.}	стрессоустойчивость	генетическая гибкость	V, %	Ноп	S _c
<i>Сорт и образцы российского происхождения</i>									
44342 дикорастущий	6,7	22,5	24,4	17,9	-17,7	15,6	44,4	2,3	4,9
44343 дикорастущий	8,9	20,9	21,5	17,1	-12,6	15,2	33,9	4,0	7,1
36684 сорт Двина	16,6	19,5	23,9	20,0	-7,3	20,3	15,0	18,3	13,9
42733 дикорастущий	15,7	24,8	29,5	23,3	-13,8	22,6	24,6	6,9	12,4
42734 дикорастущий	11,7	25,9	21,8	19,8	-14,2	18,8	30,1	4,6	8,9
42736 дикорастущий	11,7	25,5	24,4	20,5	-13,8	18,6	30,5	4,9	9,4
43024 дикорастущий	15,4	17,7	31,4	21,5	-16,0	23,4	32,9	4,1	10,5
45945 дикорастущий	11,1	28,5	31,4	23,7	-20,3	21,3	37,9	3,1	8,4
<i>Сорт финского происхождения</i>									
47268 сорт Нака	16,8	18,3	26,4	20,5	-9,6	21,6	20,6	10,4	13,0
<i>Образцы норвежского происхождения</i>									
41826 дикорастущий	9,8	23,0	33,3	22,0	-23,5	21,6	43,7	2,1	6,5
44021 дикорастущий	5,8	17,5	25,6	16,3	-19,8	15,7	49,9	1,7	3,7
НСР ₀₅	1,0	2,0	2,4	6,5					
X _{ср.} (по годам), т/га	11,8	22,2	26,7						

стрессоустойчивыми с показателями -7,3 и -9,6 соответственно, наименьшая обнаружена у дикорастущих образцов из Норвегии (41826, 44021) и России (45945) — -23,5, -19,8 и -20,3 соответственно.

Следует выделить сорт Нака (47268) из Финляндии, а также дикорастущие образцы из России и Норвегии (43024, 42733, 45945, 41826), характеризующиеся высоким коэффициентом генетической гибкости, рассчитываемой как среднее значение между урожайностями зеленой массы, полученными в стрессовых (минимальное значение) и нестрессовых (максимальное значение) условиях — 21,3–23,4. Это объясняется прямой зависимостью между генотипом изучаемых сортообразцов и условиями их выращивания во внешней среде. Устойчивость сельскохозяйственных культур

к неблагоприятным природным условиям определяется способностью растений поддерживать гомеостаз. Сравнение гомеостатичности (Hom) и коэффициента вариации (V) различных сортов и образцов помогает определить их устойчивость к разным факторам, в том числе и негативным воздействиям окружающей среды [8, 9, 12–16]. Это особенно важно для земледелия в рискованных условиях Севера и Арктической зоны РФ.

С 2016 по 2018 год российский сорт Двина (36684) из Архангельской области проявил наибольшую стабильность. При коэффициенте вариации в 15,0% он показал высокий уровень гомеостатичности — 18,3. В то же время образцы 41826, 44021 (дикорастущие из Норвегии) и 44342 (дикорастущий из России) имели высокий коэффициент вариабельности ($V > 40\%$) при низком значении гомеостатичности (Hom) — 2,1–2,3. Из этого можно сделать вывод о нестабильности и низкой адаптивности данных номеров к условиям внешней среды, что негативно сказывается на урожайности при их выращивании в зоне Арктического региона. По показателю селекционной ценности (S_c) выделяются сорта Двина (36684) — 13,9, Нака (47268) — 13,0, дикорастущие образцы из России (42733, 43024) — 12,4, 10,5.

Благодаря проведенным исследованиям коллекционных образцов ежи сборной были выделены перспективные номера, обладающие значительными хозяйственно полезными преимуществами и признаками, которые могут быть использованы для последующей селекции с целью достижения показателя высокой продуктивности.

В дальнейших селекционных работах использовали массовый и негативный отбор, представленный в соответствующих методиках и рекомендациях, описанных выше. Все скрещивания проводились методом перекрестного ветроопыления (анемофилии). Кроме того, в фазу цветения проходили через участок с натянутой на уровне метелок веревкой. При дальнейшей селекционной работе полученные гибридные семена смешивались. Созданную популяцию посеяли в селекционный питомник, где оценивали образцы по хозяйственно ценным признакам с целью отбора для создания нового сорта ежи сборной.

На основании результатов научно-исследовательской работы с 2016 по 2018 год для дальнейшего испытания отобраны три образца, которым были присвоены селекционные номера: СН-185 (Коми популяция, 42734); СН-188 (Коми популяция, 45945); СН-1816

(финская популяция, 47268); сорт стандарт СН-1810 Нева (Россия).

В ходе всестороннего анализа основных значимых параметров были выявлены характеристики селекционных образцов ежи сборной, которые могут быть успешно адаптированы к условиям Республики Коми (табл. 3). Урожайность зеленой массы в сумме за два укоса составила 34,4–48,4 т/га (HCP_{05} — 18,9 т/га).

Учитывая результаты двух укосов, у образцов ежи сборной СН-188 и СН-185 отмечена практически одинаковая урожайность сухой массы, составившая 13,5 и 10,5 т/га соответственно. Эти показатели сопоставимы со стандартом СН-1810, который достиг урожайности 11,4 т/га (HCP_{05} — 6,2 т/га). Отмечается значительная разница урожайности семян между исследуемыми селекционными номерами, составляющая от 87,2 до 105,7 г/м², и стандартным сортом — 65,2 г/м² (HCP_{05} — 34,1 г/м²). Однако селекционные образцы немного уступали стандарту по массе 1000 семян на 0,1–0,2 г (HCP_{05} — 0,3 г). Все изучаемые образцы (СН-185, СН-188, СН-1816) выделились высоким содержанием сырого протеина — более 13% (13,7%, 13,8%, 13,5% соответственно), тогда как у сорта стандарта СН-1810 — 12,3%.

В период исследований в фазы созревания в узкорядных посевах на листьях изучаемых сортообразцов ежи сборной отмечена единично мучнистая роса. В течение вегетационных сезонов повреждений вредителями не отмечено.

В результате комплексной оценки выделены наиболее перспективные селекционные номера ежи сборной — СН-188 (Коми популяция) и СН-1816 (финская популяция).

Проведен анализ экологической пластичности, стабильности и адаптивности образцов ежи сборной за три года (2020–2022 гг.), представленный в таблице 4. Высокой отзывчивостью на изменения условий возделывания обладали номера СН-188 и стандарт СН-1810 (коэффициент пластичности b_i — 1,08–1,27). Образец СН-185 способен лучше переносить стрессовые факторы (коэффициент стабильности σ_d^2 — 0,93). К наиболее пластичным и стабильным, исходя из полученных параметров адаптивности, отнесен образец СН-185 (b_i — 0,94, σ_d^2 — 0,93), а по комплексу хозяйственно ценных признаков выделился образец СН-188 (X_{cp} — 42,9 т/га), которые представляют ценный исходный материал для дальнейшего изучения, проведения гибридизации и выполнения селекционной работы.

Таблица 3. Хозяйственно ценные признаки образцов ежи сборной селекционного питомника

Table 3. Economically valuable characteristics of cocksfoot samples from the breeding nursery

Селекционный номер (СН)	Урожайность зеленой массы в сумме за 2 укоса, т/га	Выход сухого вещества, %	Урожайность сухого вещества, т/га	Облиственность, %	Высота растений в фазу колошения, см	Число побегов с 1 м ² , шт.	Урожайность семян, г/м ²	Масса 1000 семян, г
1810, сорт стандарт Нева (Россия)	43,0	26,5	11,4	48,4	73,7 ± 0,9	976 ± 12	65,2	2,6
185 (Коми популяция)	40,6	25,9	10,5	42,1	75,8 ± 1,0	910 ± 78	87,2	2,5
188 (Коми популяция)	48,4	27,9	13,5	58,6	80,4 ± 1,1	1126 ± 62	105,7	2,4
1816 (финская популяция)	34,4	28,5	9,8	76,0	79,0 ± 1,1	806 ± 14	88,7	2,5
HCP_{05}	18,9	–	6,2	–	–	–	34,1	0,3

Таблица 4. Оценка урожайности, экологической пластичности, стабильности и адаптивности образцов ежи сборной селекционного питомника

Table 4. Assessment of yield, ecological plasticity, stability and adaptability of cocksfoot specimens from the breeding nursery

Селекционный номер (СН)	Урожайность зеленой массы в сумме за 2 укоса, т/га				Коэффициент пластичности (b_i)	Стабильность (σ_d^2)	Коэффициент адаптивности (КА)	Селекционная ценность (S_c)
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	X_{cp}				
1810, сорт стандарт Нева (Россия)	43,4	31,8	43,0	39,4	1,08	3,36	0,99	54,5
185 (Коми популяция)	44,8	33,0	40,6	39,5	0,94	0,93	0,99	53,1
188 (Коми популяция)	46,8	33,6	48,4	42,9	1,27	16,1	1,08	60,1
1816 (финская популяция)	43,2	33,4	34,4	37,0	0,70	23,8	0,92	48,1

Выводы/Conclusion

В результате исследований 2016–2018 гг. перспективной кормовой культуры ежи сборной установлено, что наиболее ценными в качестве использования как исходного материала для дальнейшей селекционной работы и гибридизации являются сорта Двина (Россия) и Нака (Финляндия). Выделенные номера за годы изучения в условиях Республики Коми, относящейся к зоне рискованного, экстремального земледелия, показали высокую среднюю урожайность зеленой массы в сумме за два укоса — 20,0–20,5 т/га.

Сорта характеризовались отличными показателями и параметрами по адаптивности: стрессоустойчивость образцов, выращиваемых в неблагоприятной климатической зоне (-7,3, -9,6); генетическая гибкость, рассчитанная по урожайности зеленой массы в стрессовых и нестрессовых условиях (20,3, 21,6); устойчивость к различным, в том числе и негативным, факторам среды, определяемая по значению гомеостатичности (18,3,

10,4); коэффициент вариации (15,0%, 20,6%) и селекционная ценность (13,9, 13,0). Рекомендуемые для селекции генотипы позволяют получить высокоурожайные сорта, адаптированные к условиям Арктики.

По итогам научной работы за 2020–2022 гг. к наиболее пластичному и стабильному отнесен образец Коми популяции СН-185 ($b_1 = 0,94$, $\sigma_d^2 = 0,93$); образец Коми популяции СН-188 ($X_{cp} = 42,9$ т/га) превысил сорт стандарт СН-1810 Нева (Россия) по урожайности сухой массы за два укоса на 2,1 т/га, а по урожайности семян — на 40,5 г/м². Выделенные номера являются ценным исходным материалом для дальнейшего изучения и селекционной работы, основная цель которой заключается в создании новых перспективных, высокопродуктивных, устойчиво адаптированных сортов многолетних кормовых культур для животноводческой отрасли сельского хозяйства, действующей в экстремальных северных почвенно-климатических условиях России и ее Арктической зоны.

All authors bear responsibility for the work and presented data.
All authors made an equal contribution to the work.
The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.
The authors declare no conflict of interest.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.
Все авторы внесли равный вклад в работу.
Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.
Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена по государственному заданию № FUUU-2023-0001 (регистрационный № 123033000036-5) при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

FUNDING

The work was carried out according to the state task No. FUUU-2023-0001 (registration No. 123033000036-5) with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Olszewska M., Grzegorzczak S., Grabowski K. The yield and nutrient content of mixtures alfalfa with cocksfoot. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 2020; 57(3): 597–603. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/20.8919>
- Čop J., Eler K. Agro-biological diversity of Slovene ecotypes and standard varieties of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.): Comparison and agronomic value. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2020; 115(1): 141–149. <https://doi.org/10.14720/AAS.2020.115.1.1407>
- Abdollahi Bakhtiari M., Saeidnia F., Majidi M.M., Mirlohi A. Growth traits associated with drought survival, recovery and persistence of cocksfoot (*Dactylis glomerata*) under prolonged drought treatments. *Crop and Pasture Science*. 2019; 70(1): 85–94. <https://doi.org/10.1071/CP18473>
- Zhouri L. et al. Evaluation of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) population for drought survival and behavior. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2019; 26(1): 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.002>
- Павлючик Е.Н., Касамун А.Д., Иванова Н.Н., Тюлин В.А., Силина О.С. Роль многолетних трав в создании устойчивой кормовой базы при конвейрном использовании. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019; 20(3): 238–246. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.238-246>
- Скалозуб О.М., Клочкова Н.Л. Оценка исходного материала для селекции ежи сборной в условиях Приморского края. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2021; 3: 57–64. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-60-3-57-64>
- Malysheva N., Solovyova A., Dyubenko T., Kovaleva N., Malyshev L. Evaluation of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) collection of different geographical origin in the Leningrad region. *Research for Rural Development. Annual 25th International Scientific Conference Proceedings*. Latvia University of Life Sciences and Technologies. 2019; 2: 77–82. <https://doi.org/10.22616/rrd.25.2019.052>
- Eberhart S.A., Russell W.A. Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Science*. 1966; 6(1): 36–40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
- Хангильдин В.В., Бiryukov С.В. Проблема гомеостаза в генетико-селекционных исследованиях. *Генетико-цитологические аспекты в селекции сельскохозяйственных растений. Сборник научных трудов*. Одесса: ВСГИ. 1984; 67–76.
- Тулинов А.Г., Косолапова Т.В., Михайлова Е.А. Результаты оценки коллекционных образцов *Dactylis glomerata* L. в условиях Республики Коми. *Земледелие*. 2019; 3: 41–43. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10311>
- Тулинов А.Г., Косолапова Т.В. Урожайность и параметры адаптивности коллекционных образцов ежи сборной. *Аграрная наука*. 2022; 2: 76–79. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-356-2-76-79>
- Торбина И.В., Фардеева И.Р. Адаптивность коллекционных образцов озимой пшеницы к условиям Среднего Предуралья. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021; 16(2): 43–48. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-43-48>

REFERENCES

- Olszewska M., Grzegorzczak S., Grabowski K. The yield and nutrient content of mixtures alfalfa with cocksfoot. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 2020; 57(3): 597–603. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/20.8919>
- Čop J., Eler K. Agro-biological diversity of Slovene ecotypes and standard varieties of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.): Comparison and agronomic value. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2020; 115(1): 141–149. <https://doi.org/10.14720/AAS.2020.115.1.1407>
- Abdollahi Bakhtiari M., Saeidnia F., Majidi M.M., Mirlohi A. Growth traits associated with drought survival, recovery and persistence of cocksfoot (*Dactylis glomerata*) under prolonged drought treatments. *Crop and Pasture Science*. 2019; 70(1): 85–94. <https://doi.org/10.1071/CP18473>
- Zhouri L. et al. Evaluation of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) population for drought survival and behavior. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2019; 26(1): 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.002>
- Pavlyuchik E. N., Kapsamun A. D., Ivanova N. N., Tyulin V. A., Silina O. S. The role of perennial grasses in creating a sustainable feed base by conveyor use. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(3): 238–246 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.238-246>
- Skalozub O. M., Klochkova N. L. Evaluation of source material for selection *Dactylis glomerata* in Primorsky Region conditions. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2021; 3: 57–64 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-60-3-57-64>
- Malysheva N., Solovyova A., Dyubenko T., Kovaleva N., Malyshev L. Evaluation of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) collection of different geographical origin in the Leningrad region. *Research for Rural Development. Annual 25th International Scientific Conference Proceedings*. Latvia University of Life Sciences and Technologies. 2019; 2: 77–82. <https://doi.org/10.22616/rrd.25.2019.052>
- Eberhart S. A., Russell W. A. Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Science*. 1966; 6(1): 36–40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
- Khangildin V. V., Biryukov S. V. The problem of homeostasis in genetic breeding research. *Genetic and Cytological Aspects in the Breeding of Agricultural Plants. Collection of scientific works*. Odesa: All-Union Breeding and Genetic Institute. 1984; 67–76 (in Russian).
- Tulinov A. G., Kosolapova T. V., Mikhailova E. A. Results of the Evaluation of Collection Samples of *Dactylis glomerata* L. under Conditions of the Komi Republic. *Zemledelie*. 2019; 3: 41–43 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10311>
- Tulinov A. G., Kosolapova T. V. Productivity and parameters of adaptability of collection specimens of the cocksfoot. *Agrarian science*. 2022; 2: 76–79 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-356-2-76-79>
- Torbina I. V., Fardeeva I. R. Adaptability of winter wheat from the Institute of Plant Industry (VIR) collection in the Cis-Middle Urals. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2021; 16(2): 43–48 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-43-48>

13. Лихачева Л.И., Москалев А.В. Экологическая адаптивность сортообразцов гороха посевного в условиях Среднего Урала. *Достижения науки и техники АПК*. 2022; 36(4): 47–51. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_47

14. Tai G.C.C. Genotypic Stability Analysis and Its Application to Potato Regional Trials. *Crop Science*. 1971; 11(2): 184–190. <https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100020006x>

15. Пакудин В.З., Лопатина Л.М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур. *Сельскохозяйственная биология*. 1984; 19(4): 109–112.

16. Пакудин В.З. Параметры оценки экологической пластичности сортов и гибридов. Теория отбора в популяциях растений. Новосибирск: *Наука*. 1976; 189.

ОБ АВТОРАХ

Алексей Геннадьевич Тулинов

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
toolalgen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7184-6113>

Татьяна Всеволодовна Косолапова

младший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0001-6550-2296>

Институт агробиотехнологий им. А.В. Журавского
Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук,
ул. Ручейная, 27, Сыктывкар, Республика Коми, 167023, Россия

13. Likhacheva L.I., Moskaev A.V. Ecological adaptability of edible pea varieties under the conditions of the Middle Urals. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2022; 36(4): 47–51 (in Russian). https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_47

14. Tai G.C.C. Genotypic Stability Analysis and Its Application to Potato Regional Trials. *Crop Science*. 1971; 11(2): 184–190. <https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100020006x>

15. Pakudin V.Z., Lopatina L.M. Assessment of ecological plasticity and stability of crop varieties. *Agricultural Biology*. 1984; 19(4): 109–112 (in Russian).

16. Pakudin V.Z. Parameters for assessing the ecological plasticity of varieties and hybrids. Theory of selection in plant populations. Novosibirsk: *Nauka*. 1976; 189 (in Russian).

ABOUT THE AUTHORS

Alexey Gennadievich Tulinov

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher Associate
toolalgen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7184-6113>

Tatyana Vsevolodovna Kosolapova

Junior Research Fssociate
<https://orcid.org/0000-0001-6550-2296>

Institute of Agrobiotechnologies named after A.V. Zhuravsky
Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
27 Rucheinaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167023, Russia

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

Ежемесячный научно-теоретический и производственный журнал выходит один раз в месяц.



Научно-теоретический и производственный журнал «Аграрная наука» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (К1, К2), в список Russian Science Citation Index (RSCI) в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в ядро РИНЦ, Белый список ВАК РФ, в список периодических изданий Международной базы данных AGRIS (ГНУ ЦНСХБ Россельхозакадемии).

Ознакомьтесь с информацией о перечне специальностей ВАК и итоговом распределении журналов по категориям можно здесь:



Приравнивание научных журналов, входящих в наукометрические базы данных, к журналам Перечня ВАК с распределением по категориям:



Согласно приведенным данным, журнал «Аграрная наука» относится к категории К1.

Подобную информацию о журнале можно получить у научного редактора
Долгой М.Н.:
+7 (495) 777 67 67 (доб. 1453),
dolgaya@vicgroup.ru

УДК 633.522: 631.53.048: 631.53.043:
631.81.095.337

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-112-117

И.В. Бакулова ✉
И.И. Плужникова
Н.В. Криушин

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

✉ i.bakulova.pnz@fnclcl.ru

Поступила в редакцию:
08.02.2024

Одобрена после рецензирования:
16.05.2024

Принята к публикации:
31.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-112-117

Irina V. Bakulova ✉
Irina I. Pluzhnikova
Nikolay V. Kriushin

Federal Scientific Center of Bast Crops,
Tver, Russia

✉ i.bakulova.pnz@fnclcl.ru

Received by the editorial office:
08.02.2024

Accepted in revised:
16.05.2024

Accepted for publication:
31.05.2024

Оптимизация приемов возделывания конопли посевной при рядовом способе посева

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Применение новых приемов в технологии возделывания конопли — важное направление для стабилизации и роста эффективности отрасли коноплеводства. Подбор оптимальной нормы высева в сочетании с некорневой обработкой при рядовом способе посева решит вопрос реализации потенциала по продуктивности нового сорта конопли посевной Людмила.

Методы. Для оптимизации приемов возделывания нового сорта конопли посевной Людмила проводились исследования в соответствии с методологическими указаниями по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве, методическим указаниям по производственной проверке НИР. Показатели фотосинтетической деятельности растений в посевах определяли по методике А.А. Ничипоровича. Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа.

Результаты. Полевая всхожесть составила 66–75% от лабораторной, сохранность растений была выше при норме высева 3 млн/га (220,4 шт/м²). Площадь листьев увеличивалась на вариантах с нормой высева 2,0 млн/га и 2,5 млн/га за счет оптимального размещения растений. Некорневые обработки препаратами «Изагри Фосфор» и «Гумат+7» повышали площадь листьев при прохождении всех этапов онтогенеза. Некорневые обработки и нормы высева влияли на накопление общего и длинного волокна, высокая урожайность стеблей (11,9–15,9 т/га) и волокна (3,43–5,04 т/га) получена на варианте обработки «Изагри Фосфор». Загущение до 3,0 млн/га повышало урожайность стеблей до 14,96 т/га, выход общего волокна — до 4,56 т/га. Максимальную урожайность семян (в среднем 1,0 т/га) получили при посеве с нормой высева 2,0 млн/га, при добавлении некорневой подкормки урожайность повышалась на 6,7–23,6%.

Ключевые слова: конопля посевная, технология, норма высева, некорневая обработка, площадь листьев, урожайность, качество

Для цитирования: Бакулова И.В., Плужникова И.И., Криушин Н.В. Оптимизация приемов возделывания конопли посевной при рядовом способе посева. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 112–117.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-112-117>

© Бакулова И.В., Плужникова И.И., Криушин Н.В.

Optimization of methods of cultivation of seed hemp with an ordinary method of sowing

ABSTRACT

Relevance. The application of new techniques in the technology of cannabis cultivation is an important direction for the stabilization and growth of the efficiency of the hemp industry. The selection of the optimal seeding rate in combination with non-root treatment with an ordinary seeding method will solve the issue of realizing the productivity potential of a new variety of Lyudmila seeded hemp.

Methods. In order to optimize the cultivation methods of a new variety of cannabis Lyudmila, studies were conducted in accordance with the methodological guidelines for registration tests of fungicides in agriculture, methodological guidelines for production testing of research and development. The indicators of photosynthetic activity of plants in crops were determined by the method of A.A. Nichiporovich. The mathematical processing of experimental data was carried out by the method of dispersion analysis.

Results. Field germination was 66–75% of the laboratory, plant safety was higher at a seeding rate of 3 million/ha (220.4 pcs/m²). The leaf area was increased in variants with a seeding rate of 2.0 and 2.5 million/ha due to optimal plant placement. Non-root treatments with «Izagri Phosphorus» and «Humate+7» preparations increased the leaf area during all stages of ontogenesis. Non-root treatments and seeding rates affected the accumulation of total and long fiber - high yields of stems (11.9–15.9 t/ha) and fiber (3.43–5.04 t/ha) were obtained using the «Izagri Phosphorus» treatment option. The thickening of the stem increased the yield of the stems to 14.96 t/ha, and the yield of total fiber to 4.56 t/ha. The maximum seed yield (on average 1.0 t/ha) was obtained when sowing with a seeding rate of 2.0 million/ha, with the addition of non-root top dressing, the yield increased by 6.7–23.6%.

Key words: hemp sowing, technology, seeding rate, non-root treatment, leaf area, yield, quality

For citation: Bakulova I.V., Pluzhnikova I.I., Kriushin N.V. Optimization of methods of cultivation of seed hemp with an ordinary method of sowing. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 112–117 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-112-117>

© Bakulova I.V., Pluzhnikova I.I., Kriushin N.V.

Введение/Introduction

Конопля является одной из ведущих технических культур земледелия, ее возделывают либо используют в промышленности более 40 стран мира. Практическая уникальность конопли заключается в том, что она дает сырье, из которого производят разнообразные виды продукции [1]. Федерация международных организаций конопли заявила, что предусматривает увеличение глобального присутствия этой культуры на 2000% в течение ближайшего десятилетия. Данные, опубликованные организацией, показывают¹, что в 1999 году мировая площадь посева конопли составляла 94 694 га, в 2022-м — 228 тыс. га, а к 2030 году, по прогнозам ФИО, глобальная площадь посевов конопли составит почти 4,8 млн га [2].

В России, по данным Росстата², в 2023 году сортовыми посевами конопли заняты небольшие площади — 10,7 тыс. га. По прогнозу Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, к 2025 году³ посевные площади конопли в стране составят 20,0 тыс. га, валовой сбор пеньковолокна — 10,0 тыс. т, урожайность пеньковолокна — 8,5 ц/га [3]. Наряду с расширением посевных площадей необходимо обеспечить максимальное удовлетворение коноплесеющих хозяйств семенами [4], для этого необходимо повысить урожайность и улучшить качество коноплепродукции путем оптимизации приемов возделывания, направленных на адаптацию культуры к условиям произрастания. Индустрия конопли переживает волну инноваций в технологиях обработки — начиная с обработки семян и защиты проростков на ранних стадиях развития и заканчивая уборкой и хранением урожая [5–7]. Эти достижения не только повышают эффективность производства, но и способствуют устойчивости и универсальности конопли как ценного сельскохозяйственного культурного растения.

В связи с широким внедрением приемов прямого воздействия на жизнеобеспечивающие процессы растительного организма использование некорневых обработок в сочетании с другими элементами технологии на конопле посевной является перспективным направлением [8–10]. Внедрение некорневой подкормки может решить вопрос защиты всходов, активации роста и развития растений, позволит реализовать потенциал по урожайности и улучшить качество продукции конопли посевной в сочетании с другими приемами агротехники. Таким образом, исследования по оптимизации приемов возделывания конопли посевной с целью повышения урожайности и качества продукции представляют научный и практический интерес.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили на поле лаборатории агротехнологий в условиях Пензенской области в 2021–2023 годах. Почва — чернозем выщелоченный,

среднемощный, тяжелосуглинистый, с содержанием гумуса 5,1–5,9% (по Тюрину⁴), гидролизующего азота — 136–140 мг/кг, подвижного фосфора — 172–194 мг/кг, обменного калия — 206,7–230,0 мг/кг почвы (по Чирикову⁵), S осн. (сумма поглощенных оснований) — 33,36–33,5 мг-экв. на 100 г почвы (по Каппену⁶), pH_{сол} 5,1 (по методу ЦИНАО)⁷. В почве содержится: бора — 1,4–2,0 мг/кг (по Бергеру и Труога)⁸, меди — 0,04–0,06 мг/кг, цинка — 0,4–1,0 мг/кг, молибдена — 0,14 мг/кг почвы⁹.

Влияние нормы высева и внекорневой подкормки растений изучали в двухфакторном полевом опыте на новом сорте безнаркотической однодомной конопли среднерусского экотипа зеленцового направления использования Людмила.

Фактор А: норма высева, млн шт/га: 1) 2,0; 2) 2,5; 3) 3,0.

Фактор В: некорневая обработка растений:

1) контроль;

2) «Изагри Азот» (минеральное удобрение в форме суспензии с высоким содержанием азота в норме расхода 3 л/га), производитель ООО «Изагри», Москва, Россия;

3) «Изагри Фосфор» (жидкое удобрение, богатое фосфором, комплексом аминокислот и микроэлементов в норме расхода 3 л/га), производитель ООО «Изагри», Москва, Россия;

4) «Изагри Вита» (жидкое удобрение с микроэлементами и аминокислотами в норме расхода препарата 1 л/га), производитель ООО «Изагри», Москва, Россия;

5) «Гумат+7» (комплекс гуминовых и фульвовых кислот в доступной для растений форме и хелатный комплекс питательных микроэлементов в норме расхода препарата 1 л/га), производитель ООО «АГРОТЕХ ГУМАТ», Ангарск, Россия.

Семена перед посевом обрабатывали инсектофунгицидом «Табу ВСК» (производитель АО «Фирма «Август», Россия) в норме расхода 3,0 л/т, внекорневую обработку растений проводили в следующие фазы: 1-я — 3 пары листьев; 2-я — 5–6 пар листьев; 3-я — бутонизация. Повторность опыта — трехкратная, площадь делянки — 20 м². Посев проводили 6 мая 2021 года, 29 апреля 2022 года, 30 апреля 2023 года сеялкой СН-16 (производитель Россия).

Исследования выполняли в соответствии с Методическими указаниями по производственной проверке НИР¹⁰ методологическим указаниям по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве¹¹. Показатели фотосинтетической деятельности растений в посевах определяли по методике А.А. Ничипоровича¹² [11]. Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову¹³. Почвенно-агрохимическое обследование сельскохозяйственных угодий проведено в соответствии с Методическими указаниями

¹ Льняно-конопляные новости. Ноябрь. Ч. 4. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rosflaxhemp.ru/news.html/id/5450>

² Посевные площади Российской Федерации в 2023 году. Федеральная служба государственной статистики. (Росстат). Москва, 2024 [Электронный ресурс]. Режим доступа: rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2023.xlsx

³ Постановление Правительства Российской Федерации от 13.05.2022 № 872 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/141182/?page=49>

⁴ ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества.

⁵ ГОСТ 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО.

⁶ ГОСТ 27821-88 Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена.

⁷ ГОСТ 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО.

⁸ ГОСТ Р 50688-94 Почвы. Определение подвижных соединений бора по методу Бергера и Труога в модификации ЦИНАО.

⁹ ГОСТ ISO 16198-2017 Качество почв. Метод определения биодоступности микроэлементов почвы для растений.

¹⁰ Методические указания по селекции и производственной проверке законченных научно-исследовательских работ. Москва, 1980; 30.

¹¹ Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. СПб.: ВНИИЗР. 2009; 378.

¹² Ничипорович А.А. Методические указания по учету и контролю важнейших показателей процессов фотосинтетической деятельности растений в посевах. М.: ВАСХНИЛ. 1969; 32–24.

¹³ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Альянс. 2014; 349.

по проведению комплексного мониторинга плодородия¹⁴. Уборку и учет проводили путем ручного скашивания стеблей и обмола та уборочных снопов после их сушки на стационаре, урожай семян и стеблей приводили к стандартной влажности.

Метеоусловия 2021–2023 гг. различались по количеству тепла и влагообеспеченности. В 2021 году температура воздуха превышала среднемноголетние показатели на 3,0–3,3 °С, за вегетационный период выпало 201,7 мм осадков, что на 14,7% выше климатической нормы, ГТК 0,8.

Агрометеорологические условия 2022 года характеризовались высокой температурой на фоне достаточного количества осадков. Температура воздуха в мае была на 4,7 °С выше нормы, а осадков — на 12,8% меньше. Фаза активного роста конопля проходит при благоприятных погодных условиях, гидротермический коэффициент периода составил 1,34. Период завязывания семян характеризовался повышенным фоном среднесуточных температур (плюс 24–34 °С) на фоне полного отсутствия осадков, но, так как после окончания цветения потребность конопля в почвенной влаге уменьшается, это не отразилось на урожайности культуры. В целом за вегетацию сумма активных температур составила 2346,8 °С при 188,0 мм осадков.

Условия периода вегетации 2023 года характеризовались умеренными температурами на фоне осадков — на 8% ниже климатической нормы. В мае было прохладно, осадков выпало 44,5% от нормы. Июнь отличался прохладной погодой и избытком влаги, сумма осадков превышала климатическую норму на 42,8 мм, ГТК составил 2,08. Осадков в июле выпало 85,6% от нормы при температуре воздуха 19,7 °С, превышающей многолетнюю на 0,7 °С; ГТК 0,81. Начало созревания семян характеризовалось небольшим количеством осадков (22,1 мм) на фоне среднесуточных температур выше среднемноголетних значений на 1,5 °С. В целом за вегетацию сумма активных температур составила

2104,0 °С при 186,5 мм осадков, показатель ГТК характеризует вегетационный период конопля как умеренно увлажненный.

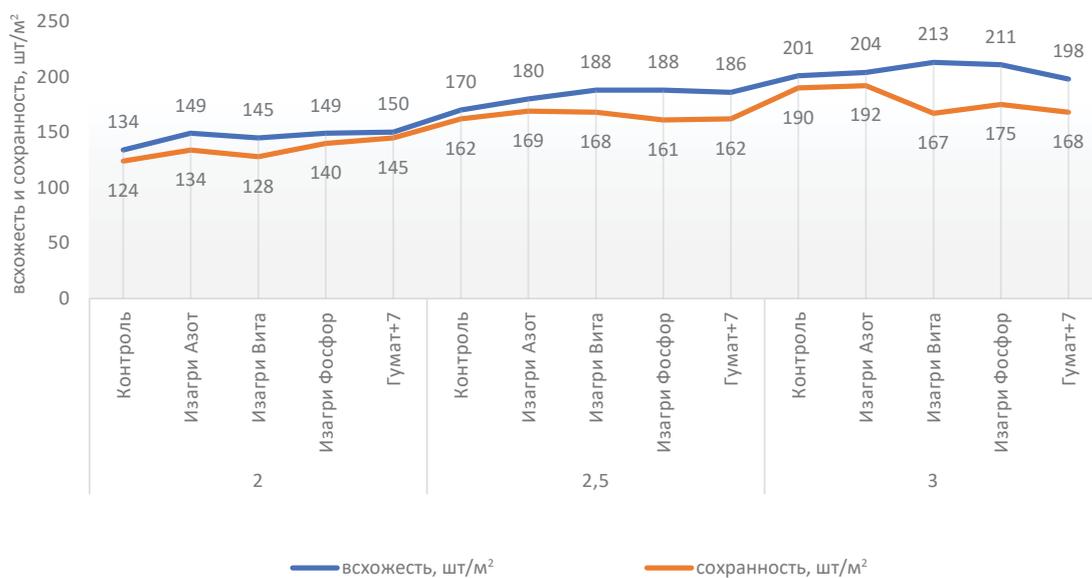
Результаты и обсуждения / Results and discussion

Полевая всхожесть в среднем составила 66–75% от лабораторной и зависела от обеспеченности семян влагой и теплом во время посева. При раннем посеве в 2022 и 2023 годах семена попали в хорошие условия увлажнения посевного слоя, в результате получили дружные и полные всходы: 181,2–196,8 шт/м², или 72,5–78,8% (2022 г.), 176,0–220,4 шт/м², или 73,5–88,0% (2023 г.). Посев конопля в 2021 году был проведен 6 мая, семена попали в неодинаковые условия увлажнения, в результате полевая всхожесть была на уровне 57,6–66,5% от лабораторной. Сохранность растений изменялась в зависимости от нормы высева, в количественном отношении выживаемость была выше при норме высева 3 млн/га (220,4 шт/м²), в процентном отношении лучше сохранялись растения в разреженных посевах.

Установлено, что густота стояния растений и некорневые обработки влияли на формирование листового аппарата, в среднем за годы эксперимента наиболее интенсивное листонакопление происходило при посеве с нормой высева 3 млн/га в фазу бутонизации (105,74 тыс. м²/га) и фазу цветения (140,7 тыс. м²/га). Во время созревания в загущенных посевах вегетативный рост прекратился раньше, в результате листья нижнего яруса начали интенсивно усыхать, листовая поверхность составила всего 161,34 тыс. м²/га. Оптимальное размещение растений в посеве при норме высева 2,0 млн/га и 2,5 млн/га позволяло дольше получать питательные вещества и не испытывать недостатка влаги, в результате листовая поверхность более развита (172,9 и 179,04 тыс. м²/га) за счет образования новых приростов в верхнем ярусе растения.

Обработка растений во время вегетации препаратами «Изагри Фосфор» и «Гумат+7» результативно повышала

Рис. 1. Полевая всхожесть семян и сохранность к уборке растений конопля при рядовом посеве, шт/м² (2021–2023 гг.)
Fig. 1. Field germination of seeds and safety of cannabis plants for harvesting during ordinary sowing, pcs/m² (2021–2023)



НСР₀₅ всхожесть: А — 6,125, В — 7,907, АВ — 13,696; сохранность: А — 5,363, В — 6,924, АВ — 11,992.

¹⁴ Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения. М.: Росинформагротех. 2003; 240.

Рис. 2. Динамика нарастания листовой поверхности конопли посевной при рядовом способе посева в зависимости от изучаемых факторов, 2021–2023 гг.

Fig. 2. Dynamics of the growth of the leaf surface of seeded hemp with an ordinary method of sowing, depending on the studied factors, 2021–2023.



НСР05 фаза бутонизации: А — 4,7, В — 6,6, АВ — 11,5; фаза цветения: А — 7,7, В — 10,9, АВ — 18,9; фаза начала спелости: А — 8,2, В — 11,6, АВ — 20,1.

площадь листьев посева во все этапы онтогенеза: в фазу бутонизации ПЛП составила 96,0 и 106,3 тыс. м²/га, соответственно, при 89,9 тыс. м²/га на контроле, в фазу цветения — 147,7 и 151,6 тыс. м²/га при 117,5 тыс. м²/га на контроле, 178,2 и 187,5 тыс. м²/га при 164,5 тыс. м²/га на контроле.

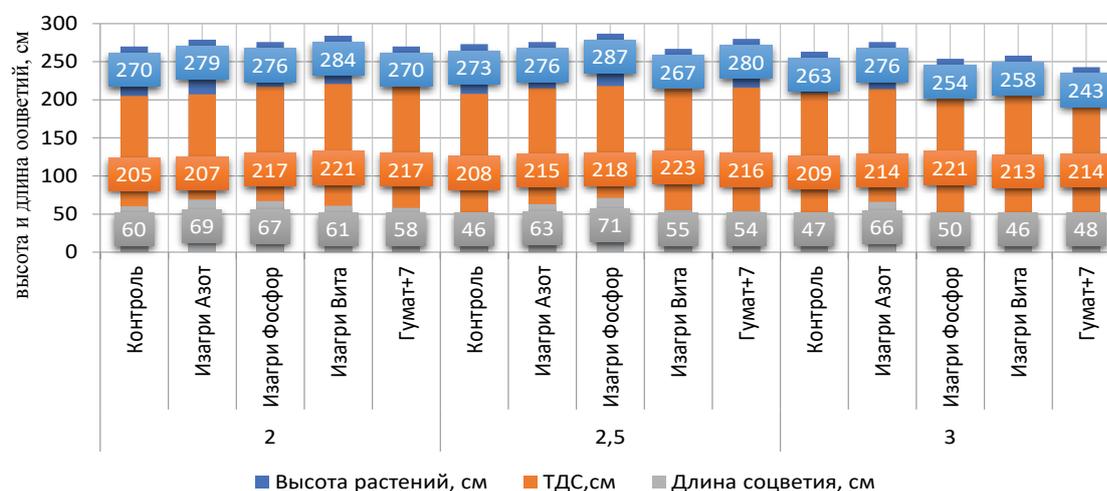
Морфологический анализ растений конопли показал, что на вариантах с нормами высева 2,0 и 2,5 млн всхожих семян / га независимо от других факторов развивались высокие растения (до 276–277 см) с длинными (57,8–63,0 см) и плотными соцветиями прямоугольной формы, по мере загущения посева до 3,0 млн/га высота растений сокращалась до 259 см, а длина соцветия, соответственно, до 51,4 см. Техническая длина стебля в зависимости от изменения густоты стояния растений слабо изменялась — от 213 до 216 см (коэффициент вариации 2,41), при некорневой обработке растений «Изагри Фосфор» и «Изагри Вита» длина стебля достигла 219 см за счет удлинения междоузлий. Стебель

в зависимости от нормы высева имел от 11,9 шт. (2 млн/га) до 13,1 шт. (3,0 млн/га) междоузлий с длиной от 5 до 34 см. Наиболее длинные междоузлия (25–34 см) были в средней части стебля, диаметр колебался в зависимости от нормы высева незначительно и изменялся от 0,84 до 0,87 см, наиболее тонкие стебли с диаметром в срединной части 0,81 см получили при обработке растений по вегетации «Изагри Азот».

Анализируя технологические свойства стеблей конопли, можно предположить, что листовые обработки и нормы высева влияют на накопление общего и длинного волокна. Как видно из таблицы 1, самая высокая урожайность стеблей (11,9–15,9 т/га) и волокна (3,43–5,04 т/га) получена на варианте обработки «Изагри Фосфор» при среднем значении 12,7 и 3,88 т/га на контроле. Загущение стеблестоя с 2,0 до 3,0 млн/га сопровождалось ростом урожайности стеблей от 11,0 до 14,96 т/га, более высоким содержанием (30,4%) и урожайностью общего волокна (4,56 т/га).

Рис. 3. Элементы структуры урожая конопли посевной при рядовом способе посева в зависимости от изучаемых факторов, 2021–2023 гг.

Fig. 3. Elements of the structure of the crop of hemp in the ordinary method of sowing, depending on the studied factors, 2021–2023.



НСР05 высота растений: А — 9,1, В — 12,4, АВ — 14,2; ТДС: А — NS, В — 5,4, АВ — NS; длина соцветия: А — 5,4, В — 6,6, АВ — 8,2.

Таблица 1. Изменение морфологических показателей стеблей и содержание волокна в зависимости от изучаемых факторов, 2021–2023 гг.

Table 1. Changes in morphological parameters of stems and fiber content depending on the studied factors, 2021–2023

Некорневая подкормка растений	Норма высева, млн/га	Средняя длина стебля, см	Средний диаметр стебля, см	Урожайность стеблей, т/га	Выход волокна от стебля, %		Урожайность волокна, т/га	
					общий	в том числе длинного	общий	в том числе длинного
Контроль	2,0	205,0	0,87	10,5	29,5	15,9	3,09	1,67
	2,5	208,0	0,87	12,2	31,3	16,7	3,82	2,04
	3,0	209,0	0,86	15,4	30,7	15,1	4,73	2,33
«Изагри Азот»	2,0	207,0	0,77	10,6	27,1	15,8	2,87	1,67
	2,5	215,0	0,88	11,5	28,4	15,2	3,27	1,75
	3,0	214,0	0,78	15,2	31,3	15,0	4,76	2,28
«Изагри Фосфор»	2,0	217,0	0,87	11,9	28,8	13,6	3,43	1,62
	2,5	218,0	0,86	13,5	29,2	16,3	3,94	2,20
	3,0	221,0	0,86	15,9	31,7	17,9	5,04	2,85
«Изагри Вита»	2,0	221,0	0,85	9,9	27,2	16,4	2,69	1,62
	2,5	223,0	0,85	11,5	31,0	16,4	3,57	1,89
	3,0	213,0	0,83	14,0	29,1	14,6	4,07	2,04
«Гумат+7»	2,0	217,0	0,91	10,6	29,2	15,6	3,09	1,65
	2,5	216,0	0,91	12,1	32,8	16,8	3,97	2,03
	3,0	214,0	0,90	14,3	29,3	16,2	4,19	2,32
НСР ₀₅		A – NS, B – 5,4, AB – NS	NS	A – 2,1, B – 0,94, AB – 1,08	A – 1,01, AB – 1,18	NS	A – 0,81, B – 1,04	A – 1,1, B – 0,69, AB – 0,89

Таблица 2. Изменение урожайности и качества семян конопли в зависимости от изучаемых факторов, 2021–2023 гг.

Table 2. Changes in the yield and quality of cannabis seeds depending on the studied factors, 2021–2023

Некорневая подкормка растений	Норма высева, млн/га	Урожайность семян, т/га	Масса 1000 семян, г	Содержание масла		Содержание протеина	
				%	т/га	%	т/га
Контроль	2,0	0,85	16,1	30,8	0,26	26,46	0,22
	2,5	0,85	15,9	31,2	0,27	29,14	0,25
	3,0	0,96	16,3	30,5	0,29	27,82	0,27
«Изагри Азот»	2,0	0,99	15,3	29,3	0,29	25,94	0,26
	2,5	0,88	16,2	29,9	0,26	27,81	0,24
	3,0	1,02	16,3	30,0	0,31	27,63	0,28
«Изагри Фосфор»	2,0	1,04	17,5	29,6	0,31	28,38	0,30
	2,5	0,96	16,2	31,1	0,30	27,82	0,27
	3,0	0,85	16,9	31,0	0,26	26,59	0,23
«Изагри Вита»	2,0	0,91	15,2	29,7	0,27	30,11	0,27
	2,5	0,96	16,0	30,3	0,29	27,82	0,27
	3,0	0,83	15,7	30,1	0,25	26,59	0,22
«Гумат+7»	2,0	1,19	17,1	31,5	0,37	30,45	0,36
	2,5	1,14	15,8	29,4	0,34	28,32	0,32
	3,0	0,87	15,9	32,2	0,28	28,76	0,25
НСР ₀₅		A – 0,04, B – 0,07	B – 0,23	A – 0,03, B – NS	A – 0,04, B – NS	A – 0,02, B – 0,06	NS

Данные таблицы 2 показывают, что на урожайность и качественные показатели семян влияли и число растений на единице площади в период уборки, и варианты обработки растений в период вегетации. Максимальную урожайность семян (в среднем 1,0 т/га) с высоким содержанием протеина (28,3%, или 0,28 т/га) получили при посеве с нормой высева 2,0 млн/га, увеличение нормы высева конопли до 3,0 млн/га приводило к снижению семенной продуктивности до 0,91 т/га и увеличению содержания масла в семенах до 30,8%. Некорневые подкормки повышали урожайность семян конопли на 6,7–23,6%, наибольшую прибавку получили на варианте с обработкой «Гумат+7» (+0,21 т/га).

Качественные показатели семян повышались на варианте с обработкой «Гумат+7» — содержание масла увеличилось на 0,2% и составило 31%, содержание протеина повысилось на 1,4% и достигло 29,2%, в результате с 1 га получили 0,33 т/га масла и 0,31 т/га протеина.

Масса 1000 семян слабо изменялась в зависимости от изменения нормы высева и находилась на уровне 16,0–16,2 г. На данный показатель существенное влияние оказала некорневая вегетативная обработка «Изагри Фосфор», в результате вес семян повысился на 4,7% и составил 16,9 г.

Выводы/Conclusion

Установлено, что изучаемые приемы возделывания конопли благоприятно влияли на формирование морфологических и хозяйственно полезных признаков культуры на всех этапах онтогенеза, что позволило сформировать высокую продуктивность сорта по урожайности и качеству коноплепродукции.

Для повышения урожайности стеблей и волокна результативно применять загущение до 3,0 млн/га в сочетании с некорневой подкормкой в период вегетации жидким удобрением «Изагри Фосфор», при этом урожайность стеблей увеличивается на 7,9–36%, волокна — на 6,3–38%. Посев с нормой высева 2 млн/га обеспечивает высокую урожайность семян (1,0 т/га) с высоким содержанием протеина (28,3%, или 0,28 т/га). Внекорневые подкормки повышают урожайность семян в среднем на 6,7–23,6%, наиболее эффективна обработка «Гумат+7» — урожайность повысилась до 1,19 т/га, содержание масла — до 31%, содержание протеина — до 29,2%, в результате с 1 га получили 0,33 т/га масла и 0,31 т/га протеина.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2022-0008).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мигаль М.Д. Биология лубяных волокон конопель. Суми: *Papirus*. 2011; 390. ISBN 978-966-2458-66-4
2. Кабунина И.В. Современная структура мирового рынка производства конопли. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021; 64(4): 40–44. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-4-40-44>
3. Попов Р.А. Состояние, проблемы и возможности для развития отечественного коноплеводства. *Агротехника и энергообеспечение*. 2019; 4: 42–52. <https://elibrary.ru/ajdoxa>
4. Бакулова И.В. Роль способов посева в процессе формирования продуктивности конопли посевной. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023; 66(4): 369–372. <https://elibrary.ru/wvecry>
5. Гладков Д.В., Плотников А.М., Субботин И.А. Продуктивность конопли посевной в зависимости от норм высева и применения средств химизации. *Вестник Курганской ГСХА*. 2018; 1: 18–20. <https://elibrary.ru/xqrlhn>
6. Бикбаева Г.Г., Исламгулов Д.Р. Результаты сортоиспытания конопли посевной в условиях Республики Башкортостан. *Аграрная наука*. 2024; 3: 129–133. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-129-133>
7. Серков В.А., Бакулова И.В., Плужникова И.И., Криушин Н.В. Новые направления селекции и совершенствование технологии семеноводства конопли посевной. *Пенза: РИО ПГАУ*. 2019; 155. ISBN 978-5-94338-999-3 <https://elibrary.ru/qaamaz>
8. Гушчина В.А., Смирнов А.Д. Фотосинтетическая деятельность конопли посевной при некорневой подкормке микроэlementными удобрениями. *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021; 1: 5–8. <https://elibrary.ru/mdpjpg>
9. Александр А. Внекорневые подкормки — резерв увеличения урожайности. *Защита и карантин растений*. 2011; 4: 58–59. <https://elibrary.ru/nfvvib>
10. Chennappa G., Sreenivasa M.Y., Nagaraja H. *Azotobacter salinestrus*: A Novel Pesticide-Degrading and Prominent Biocontrol PGPR Bacteria. Panpatte D., Jhala Y., Shelat H., Vyas R. (eds.). *Microorganisms for Green Revolution*. Vol. 2: *Microbes for Sustainable Agro-ecosystem*. *Microorganisms for Sustainability*; vol. 7. Singapore: *Springer*. 2018; 23–43. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7146-1_2
11. Ничипорович А.А. Основа фотосинтетической продуктивности растений. *Современные проблемы фотосинтеза. Материалы сессии. К 200-летию открытия фотосинтеза Д. Пристли*. М.: Издательство Московского университета. 1973; 17–43.

ОБ АВТОРАХ

Ирина Владимировна Бакулова

кандидат сельскохозяйственных наук
i.bakulova.pnz@fncl.k.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8504-1001>

Ирина Ивановна Плужникова

кандидат сельскохозяйственных наук
i.pluzhnikova.pnz@fncl.k.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9161-4803>

Николай Викторович Криушин

кандидат сельскохозяйственных наук
n.kriushin.pnz@fncl.k.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6597-2543>

Федеральный научный центр лубяных культур,
Комсомольский пр-т, 17/56, Тверь, 170041, Россия

FUNDING

The work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Task of the “Federal Scientific Center of Bast Crops” (topic No. FGSS-2022-0008).

REFERENCES

1. Migal M.D. Biology of hemp bast fibers. Sumy: *Papirus*. 2011; 390 (in Ukrainian). ISBN 978-966-2458-66-4
2. Kabunina I.V. Modern world market structure hemp production. *International Agricultural Journal*. 2021; 64(4): 40–44 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-4-40-44>
3. Popov R.A. State, problems and opportunities of development of domestic hemp farming. *Agrotekhnika i energoobespecheniye*. 2019; 4: 42–52 (in Russian). <https://elibrary.ru/ajdoxa>
4. Bakulova I.V. The role of sowing methods in the process of forming the productivity of seed hemp. *International Agricultural Journal*. 2023; 66(4): 369–372 (in Russian). <https://elibrary.ru/wvecry>
5. Gladkov D.V., Plotnikov A.M., Subbotin I.A. Productivity of hemp depending on norms of seeding and application of chemicalization means. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2018; 1: 18–20 (in Russian). <https://elibrary.ru/xqrlhn>
6. Bikbaeva G.G., Islamgulov D.R. The results of the variety testing of cannabis in the conditions of the Republic of Bashkortostan. *Agrarian science*. 2024; 3: 129–133 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-129-133>
7. Serkov V.A., Bakulova I.V., Pluzhnikova I.I., Kriushin N.V. New directions of breeding and improvement of seed production technology of hemp. *Penza State Agrarian University*. 2019; 155 (in Russian). ISBN 978-5-94338-999-3 <https://elibrary.ru/qaamaz>
8. Gushchina V.A., Smirnov A.D. Photosynthetic activity of hemp at full root feeding with micro-elemental fertilizers. *Vestnik Chuvash State Agricultural Academy*. 2021; 1: 5–8 (in Russian). <https://elibrary.ru/mdpjpg>
9. Aleksander A. Leaf spray fertilization — reserve to raise crops productivity. *Plant protection and quarantine*. 2011; 4: 58–59 (in Russian). <https://elibrary.ru/nfvvib>
10. Chennappa G., Sreenivasa M.Y., Nagaraja H. *Azotobacter salinestrus*: A Novel Pesticide-Degrading and Prominent Biocontrol PGPR Bacteria. Panpatte D., Jhala Y., Shelat H., Vyas R. (eds.). *Microorganisms for Green Revolution*. Vol. 2: *Microbes for Sustainable Agro-ecosystem*. *Microorganisms for Sustainability*; vol. 7. Singapore: *Springer*. 2018; 23–43. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7146-1_2
11. Nichiporovich A.A. Fundamentals of photosynthetic productivity of plants. *Modern problems of photosynthesis. Session proceedings. On the 200th anniversary of the discovery of photosynthesis by J. Priestley*. Moscow: Moscow University. 1973; 17–43 (in Russian).

ABOUT THE AUTHORS

Irina Vladimirovna Bakulova

Candidate of Agricultural Science
i.bakulova.pnz@fncl.k.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8504-1001>

Irina Ivanovna Pluzhnikova

Candidate of Agricultural Sciences
i.pluzhnikova.pnz@fncl.k.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9161-4803>

Nikolay Viktorovich Kriushin

Candidate of Agricultural Sciences
n.kriushin.pnz@fncl.k.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6597-2543>

Federal Reserch Center for Fiber Crops,
17/56 Komsomolskiy Prospekt, Tver, 170041, Russia

УДК 631.171:62-503.57

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-118-125

В.С. Тетерин¹ ✉
Н.С. Панфёров¹
С.А. Пехнов¹
С.В. Митрофанов²

¹ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

² Высшая школа экономики, Москва, Россия

✉ v.s.teterin@mail.ru

Поступила в редакцию:

15.02.2024

Одобрена после рецензирования:

14.06.2024

Принята к публикации:

29.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-118-125

Vladimir S. Teterin¹ ✉
Nikolay S. Panferov¹
Sergey A. Pehnov¹
Sergey V. Mitrofanov²

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

² Higher School of Economics, Moscow, Russia

✉ v.s.teterin@mail.ru

Received by the editorial office:

15.02.2024

Accepted in revised:

14.05.2024

Accepted for publication:

29.05.2024

Теоретические исследования движения гранул минеральных удобрений в камере смешивания тукосмесительной установки центробежного действия

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Использование минеральных удобрений способствует улучшению плодородия почв, стимулирует рост и развитие растений, что достигается за счет наличия необходимых питательных элементов. В свою очередь, важно соблюдать правильность внесения удобрений, что позволяет контролировать уровень питательных веществ в почве, предотвращая как их избыток, так и недостаток. В настоящее время основное внесение удобрений приходится на комплексные минеральные удобрения, при этом одним из недостатков является то, что в их составе могут содержаться элементы питания, которые будут не востребованы растением, что может привести к нарушению экологического баланса. Один из вариантов решения данной проблемы — применение тукосмесей. При использовании тукосмесей определяющим фактором является однородность смешивания, которая во многом определяется используемым оборудованием, в связи с чем актуальной задачей является разработка тукосмесительного оборудования, отвечающего необходимым показателям.

Методы. В ходе исследований были изучены процессы, происходящие в камере смешивания разработанной тукосмесительной установки с использованием методов математического анализа, графического и математического моделирования.

Результаты. В результате исследований установлено, что при работе тукосмесительной установки качество смешивания определяется частотой вращения конического ротора. При этом гранулы минеральных удобрений после схода с конического ротора, ссыпаясь в собирающую воронку, продолжают свое движение по спиральной траектории. В процессе движения гранул по поверхности вращающегося конуса, а также при движении по воронке их траектории будут пересекаться между собой, что будет приводить к их активному смешиванию.

Ключевые слова: минеральные удобрения, точное земледелие, тукосмеси, тукосмесительная установка, система смешивания

Для цитирования: Тетерин В.С., Панфёров Н.С., Пехнов С.А., Митрофанов С.В. Теоретические исследования движения гранул минеральных удобрений в камере смешивания тукосмесительной установки центробежного действия. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 118–125.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-118-125>

©Тетерин В.С., Панфёров Н.С., Пехнов С.А., Митрофанов С.В.

Theoretical studies of the movement of mineral fertilizer granules in the mixing chamber of a centrifugal mixing plant

ABSTRACT

Relevance. The use of mineral fertilizers helps to improve soil fertility, stimulates the growth and development of plants, which is achieved due to the availability of necessary nutrients. In turn, it is important to observe the correct application of fertilizers, which allows you to control the level of nutrients in the soil, preventing both their excess and deficiency. Currently, the main application of fertilizers falls on complex mineral fertilizers, while one of their disadvantages is that they may contain nutrients that will not be in demand by the plant, which can lead to a violation of the ecological balance. One of the solutions to this problem is the use of flour mixtures. When using mixtures, the determining factor is the uniformity of mixing, which is largely determined by the equipment used. In this regard, the urgent task is to develop a mixing equipment that meets the necessary indicators.

Methods. During the research, the processes occurring in the mixing chamber of the developed mixing plant were studied using methods of mathematical analysis, graphical and mathematical modeling.

Results. As a result of the research, it was found that during the operation of the mixing plant, the mixing quality is determined by the rotation frequency of the conical rotor. At the same time, the granules of mineral fertilizers after leaving the conical rotor, pouring into the collecting funnel, continue their movement along a spiral trajectory. During the movement of the granules along the surface of the rotating cone, as well as when moving through the funnel, their trajectories will intersect with each other, which will lead to their active mixing.

Key words: mineral fertilizers, precision agriculture, fertilizer mixture, fertilizer mixture plant, mixing system

For citation: Teterin V.S., Panferov N.S., Pehnov S.A., Mitrofanov S.V. Theoretical studies of the movement of mineral fertilizer granules in the mixing chamber of a centrifugal mixing plant. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 118–125 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-118-125>

© Teterin V.S., Panferov N.S., Pehnov S.A., Mitrofanov S.V.

Введение/Introduction

Внесение минеральных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур является неотъемлемой частью производства. Их использование способствует улучшению плодородия почв, стимулирует рост и развитие растений, что достигается за счет наличия необходимых питательных элементов. В свою очередь, при внесении минеральных удобрений необходимо строго соблюдать нормы. Правильное внесение удобрений позволяет контролировать уровень питательных веществ в почве, предотвращая как их избыток, так и недостаток. В свою очередь, их безответственное внесение способно привести к таким негативным последствиям, как загрязнение почвы и водных ресурсов, а также неблагоприятное воздействие на здоровье человека [1–3].

Основная доля при внесении удобрений в настоящее время приходится на комплексные минеральные удобрения, что в первую очередь обусловлено снижением затрат на внесение, благодаря их многокомпонентному составу. Их внесение способствует увеличению урожайности, однако при работе с ними важно учитывать потребность растений в том или ином элементе питания, а также наличие соответствующих элементов в почве. В противном случае некоторые из них могут оказаться невостребованными растениями, что в конечном итоге может привести к нарушению экологического баланса [4–6].

В свою очередь, использование многокомпонентных удобрений (тукосмесей), рецептура которых учитывает потребности конкретной культуры, а также почвенно-климатических условий, при которых она будет возделываться, будет являться гораздо более эффективным в сравнении с комплексными удобрениями. Стоит обратить внимание, что при изготовлении тукосмесей могут использоваться биологически активные комплексы, обеспечивающие доступность элементов питания для растений, тем самым повышая биологическую эффективность удобрений, что в конечном итоге позволяет добиться сокращения норм вносимых удобрений [7–9].

В настоящее время можно выделить три основных подхода при производстве тукосмесей. Первый — изготовление смесей на установках малой производительности (от 1000 до 4000 т/год). В данном случае реализация тукосмесей производится в радиусе до 50 км, а их внесение осуществляется сразу же после получения их потребителем. Гибкость технологии позволяет по заказу потребителя готовить смеси с любым соотношением питательных веществ, а также рецептурные смеси, исходя из обеспеченности почв и потребности растений в питательных веществах [10, 11]. Второй подход ориентирован на большие объемы производства в сравнении с первым, и тукосмесительные заводы имеют привязку к местам выгрузки смешиваемых удобрений. Производительность заводов при данном подходе доходит до 50 тыс. т/год. Реализация готовых тукосмесей возможна как насыпью, так и в затаренном виде, позволяя заготавливать удобрения заблаговременно [10, 12]. Третий подход базируется на установках промышленного типа мощностью от 30 до 300 тыс. т/год.

Производство тукосмесей различных марок достигается за счет использования для смешивания нескольких базовых марок сложных удобрений, и реализация потребителю, как правило, производится в затаренном виде [10–13].

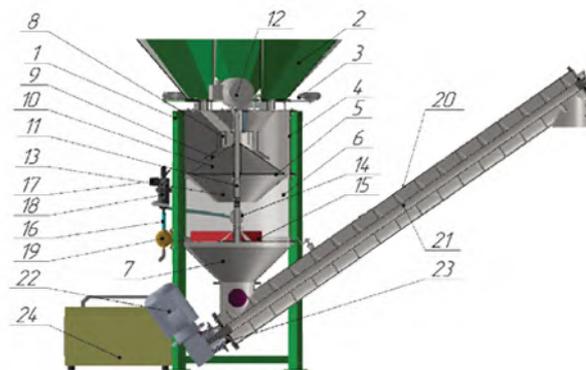
В последние годы в России отмечается растущий интерес к тукосмесям. Однако их широкое распространение затруднено рядом сложностей, которые вынуждают аграриев обращаться к более традиционным формам удобрений. Многие российские хозяйства еще не готовы к использованию тукосмесей. Следует понимать, что, прежде чем применять какие-либо удобрения (простые, сложные) или тукосмеси, агроному хозяйства нужно определить потребность в удобрениях, учесть выращиваемую культуру, показатели агрохимии почвы, сорта и т. д.

Важно отметить тот факт, что при использовании тукосмесей определяющим фактором является однородность смешивания. Данный показатель во многом зависит от используемого оборудования. Кроме того, необходимо учитывать и такие показатели, как производительность установки, возможность дополнительной обработки тукосмесей биологически активными препаратами, точность дозирования и др [13–15]. В связи с этим учеными центра была разработана тукосмесительная установка центробежного действия с возможностью обработки биопрепаратами получаемых тукосмесей (рис. 1).

Разработанная конструкция тукосмесительной установки центробежного типа включает в себя несущую раму с установленными в верхней части бункерами для минеральных удобрений, которые оборудованы системой весового контроля и дозирования. В средней части рамы смонтирован цилиндрический корпус, состоящий из камеры смешивания, камеры обработки биопрепаратами и выгрузной камеры. В свою очередь, камера смешивания состоит из загрузочных патрубков, идущих от бункеров для минеральных удобрений, делительной камеры, оборудованной над коническим ротором, установленным на валу мотор-редуктора, нижняя часть

Рис. 1. Общий вид конструкции разработанной тукосмесительной установки: 1 — несущая рама, 2 — бункера, 3 — система весового контроля и дозирования, 4 — цилиндрический корпус, 5 — камера смешивания, 6 — камера обработки биопрепаратами, 7 — выгрузная камера, 8 — загрузочные патрубки, 9 — делительная камера, 10 — конический ротор, 11 — вал, 12 и 22 — мотор-редуктор, 13 — собирающая воронка, 14 — туманообразующие форсунки, 15 — лопастной смеситель, 16 — система трубопроводов, 17 — регулятор давления, 18 — фильтр, 19 — насос, 20 — шнековый транспортер, 21 — шнек, 23 — гофрированный трубопровод, 24 — тепловая пушка

Fig. 1. General view of the design of the developed mixing plant: 1 — bearing frame, 2 — hoppers, 3 — weight control and dosing system, 4 — cylindrical body, 5 — mixing chamber, 6 — biologics treatment chamber, 7 — unloading chamber, 8 — loading nozzles, 9 — dividing chamber, 10 — conical rotor, 11 — shaft, 12 and 22 — gear motor, 13 — collecting funnel, 14 — misting nozzles, 15 — paddle mixer, 16 — pipeline system, 17 — pressure regulator, 18 — filter, 19 — pump, 20 — screw conveyor, 21 — screw, 23 — corrugated pipeline, 24 — the heat gun



¹ Пехнов С.А. и др. Патент RU 2773547 С1. Тукосмесительная установка с обработкой биопрепаратами. Опубликовано 06.06.2022.

камеры смешивания выполнена в виде собирающей воронки. В нижней части цилиндрического корпуса расположена камера обработки биопрепаратами, в которой установлены туманообразующие форсунки и лопастной смеситель, предназначенный для ссыпания образующейся тукосмеси в выгрузную камеру. Туманообразующие форсунки соединены через систему трубопроводов с регулятором давления и фильтром с насосом. Нижняя часть выгрузной камеры оборудована шнековым транспортером со шнеком и мотор-редуктором. К нижней части выгрузной камеры через гофрированный трубопровод подсоединена тепловая пушка¹.

Цель исследования — анализ движения гранул минеральных удобрений в смесительной камере тукосмесительной установки

**Материалы и методы исследования /
Materials and methods**

С целью изучения процессов, протекающих в камере смешивания тукосмесительной установки центробежного типа в процессе ее работы, в 2021 году на базе ФНАЦ ВИМ были проведены теоретические исследования, в ходе которых использовались интегральные методы расчетов дифференциальных уравнений и процессы компьютерного моделирования. Для получения аналитических зависимостей использовались программы MathCad (PTC, США), 3DSMax (Yost Group, США) и Statistica (Dell, США).

В процессе анализа полученных данных оценивались изменения показателей скорости гранул минеральных удобрений и траектории их движения в зависимости от различных начальных условий, коэффициента трения и скорости вращения конуса.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Рабочий процесс рассматриваемой тукосмесительной установки происходит следующим образом. В программном обеспечении, установленном на портативном компьютере, выбирается необходимое соотношение компонентов тукосмеси, после этого осуществляется запуск программы, в результате чего происходит выполнение операций согласно заданным алгоритмам. Из бункеров для минеральных удобрений компоненты тукосмеси через загрузочные патрубки и делительную камеру поступают в камеру смешивания, где происходят основные процессы смешивания. После смесительной камеры гранулы ссыпаются в камеру обработки биопрепаратами, где при помощи туманообразующих форсунок происходит их обработка раствором биопрепаратов согласно техническому заданию. Далее гранулы поступают в выгрузную камеру, где происходит их подсушивание горячим воздухом, создаваемым

тепловой пушкой, и последующая выгрузка в необходимую тару при помощи шнекового транспортера.

Одним из ключевых моментов, влияющих на качество получаемой тукосмеси в процессе работы установки, является процесс смешивания гранул минеральных удобрений, происходящий в камере смешивания. Условно данный процесс можно разделить на два основных этапа — движение гранул по коническому ротору и ссыпание гранул в собирающей воронке. При этом важно учитывать тот факт, что камера смешивания состоит из двух основных элементов — вращающегося конического ротора и собирающего конуса (воронки). В свою очередь, движение гранул минеральных удобрений по коническим поверхностям в декартовой системе координат будет определяться исходными параметрами и геометрическими размерами конической поверхности.

$$\begin{cases} r = r_0 \left(1 - \frac{z}{h_0}\right) \\ z = h_0 \left(1 - \frac{\theta}{L_0}\right) \end{cases}, \tag{1}$$

где z, θ — оси координат конусной поверхности, r_0 — максимальный радиус конической поверхности, h_0 — высота конической поверхности, L_0 — длина образующей конической поверхности.

На первом этапе гранулы минеральных удобрений из бункеров через загрузочные патрубки и делительную камеру поступают на конический ротор, где тонким ровным слоем распределяются по поверхности, при этом каждый следующий компонент подается на предыдущий. В результате на данном этапе гранулы минеральных удобрений подвергаются предварительному перемешиванию и приобретают начальную скорость смешивания, которая будет определяться как абсолютная скорость двух составляющих скоростей (окружной и радиальной), векторы которых расположены перпендикулярно относительно друг друга, и описываться следующим выражением:

$$V(t) = \sqrt{V_r^2(t) + V_\phi^2(t)}, \tag{2}$$

где: $V_r(t)$ — радиальная скорость движения гранул минеральных удобрений, м/с; $V_\phi(t)$ — окружная скорость движения гранул минеральных удобрений, м/с.

На основе ранее проведенных исследований была получена система уравнений, характеризующая значение радиальной и окружной скоростей [16].

$$\begin{cases} V_r = \frac{r_0^2}{L_0^2} \cdot \omega \cdot \sqrt{1 + f \cdot \frac{h_0}{r_0}} \cdot \left(L_h + \frac{g \cdot h_0 \cdot L_0 \cdot \left(1 - f \cdot \frac{r_0}{h_0}\right)}{\omega^2 \cdot r^2 \cdot \left(1 + f \cdot \frac{h_0}{r_0}\right)} \right) \cdot \operatorname{sh} \left(\frac{r_0}{L_0} \cdot \left(1 + f \cdot \frac{h_0}{r_0}\right) \cdot \omega \cdot t \right) \\ V_\phi = \frac{r_0}{L_0} \cdot \omega \cdot \left(\left(L_h + \frac{g \cdot h_0 \cdot L_0 \cdot \left(1 - f \cdot \frac{r_0}{h_0}\right)}{\omega^2 \cdot r^2 \cdot \left(1 + f \cdot \frac{h_0}{r_0}\right)} \right) \cdot \operatorname{ch} \left(\frac{r_0}{L_0} \cdot \left(1 + f \cdot \frac{h_0}{r_0}\right) \cdot \omega \cdot t \right) - \frac{g \cdot h_0 \cdot L_0 \cdot \left(1 - f \cdot \frac{r_0}{h_0}\right)}{\omega^2 \cdot r^2 \cdot \left(1 + f \cdot \frac{h_0}{r_0}\right)} \right) \end{cases}, \tag{3}$$

где: r_0 — максимальный радиус конусной поверхности, м; h_0 — высота конусной поверхности, м; L_0 — длина образующей конусной поверхности, м; g — ускорение свободного падения, м/с²; L_h — начальное положение гранул минеральных удобрений, м; ω — угловая скорость вращения конического ротора, мин⁻¹; r — текущее расстояние от конической поверхности до оси вращения, м; t — время вращения, с; f — коэффициент трения скольжения.

Используя полученные выражения (2) и (3), в программе MathCad была построена графическая зависимость изменения начальной скорости смешивания от времени нахождения гранул на коническом роторе (рис. 2). В качестве исходных параметров для построения зависимостей принимались следующие значения: радиус основания конической поверхности $r_0 = 0,24$ м; высота конической поверхности $h_0 = 0,168$ м; ускорение свободного падения $g = 9.81$ м/с²; коэффициенты трения варьировались в диапазоне от 0,48 до 0,66, начальное положение гранул минеральных удобрений L_h — в пределах 0,05–0,09 м, частота вращения — 20–60 мин⁻¹.

В свою очередь, направление движения гранул определялось выражением, характеризующим угол схода гранул удобрений относительно образующей конуса в определенный момент времени:

$$\beta = \arcsin \left(\frac{V_r(t)}{\sqrt{V_r^2(t) + V_\phi^2(t)}} \right), \quad (4)$$

где β — угол направления абсолютной скорости гранул удобрений относительно образующей конической поверхности.

На основе полученного выражения в программе MathCad были получены аналитические зависимости, характеризующие изменение угла направления начальной скорости смешивания, при сходе гранул минеральных удобрений с конической поверхности вращающегося ротора от длительности взаимодействия и частоты вращения.

На втором этапе в камере смешивания гранулы минеральных удобрений с вращающегося конического ротора с приобретенным направлением движения и начальной скоростью смешивания сыпаются в собирающую воронку. Так как время полета с вращающегося конического ротора до воронки незначительное, то изменение скорости гранул в полете окажется несущественным и им можно пренебречь. При сходе гранул с конического ротора частицы попадают на внутреннюю поверхность конуса (в воронку) под углом β , продолжая движение по заданной траектории. Проекцию движения гранул минеральных удобрений по плоскости, перпендикулярной высоте конической поверхности, можно записать:

$$\begin{cases} x = \frac{r_0 \cdot \theta}{L_0} \cdot \cos \beta_B \\ y = \frac{r_0 \cdot \theta}{L_0} \cdot \sin \beta_B \end{cases}, \quad (5)$$

Конус неподвижен, и в этом случае на поверхности конуса (воронки) на гранулу будут действовать силы инерции, тяжести, нормального давления и трения (рис. 4).

Рис. 2. Зависимость изменения начальной скорости смешивания от времени и частоты вращения конического ротора

Fig. 2. Dependence of the change in the initial mixing speed on the time and frequency of rotation of the conical rotor

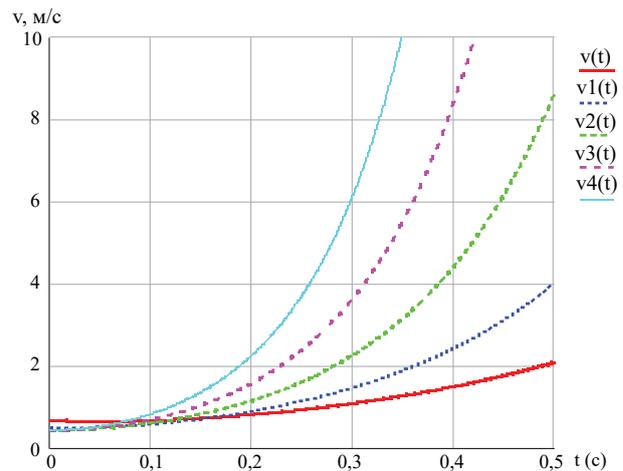


Рис. 3. Зависимость изменения угла направления начальной скорости смешивания относительно образующей конической поверхности от времени и частоты ее вращения

Fig. 3. Dependence of the change in the direction angle of the initial mixing velocity relative to the forming conical surface on the time and frequency of its rotation

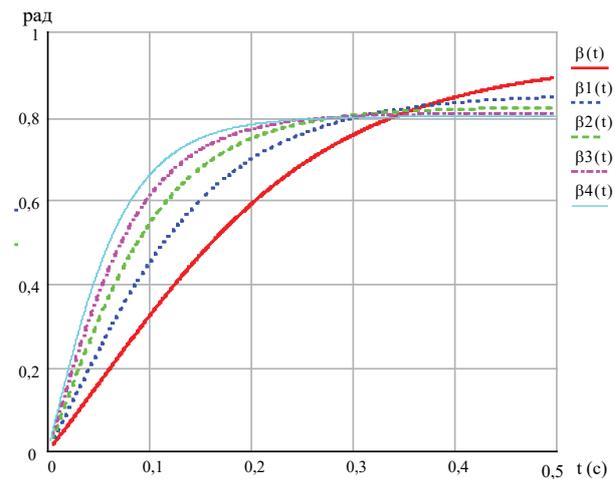
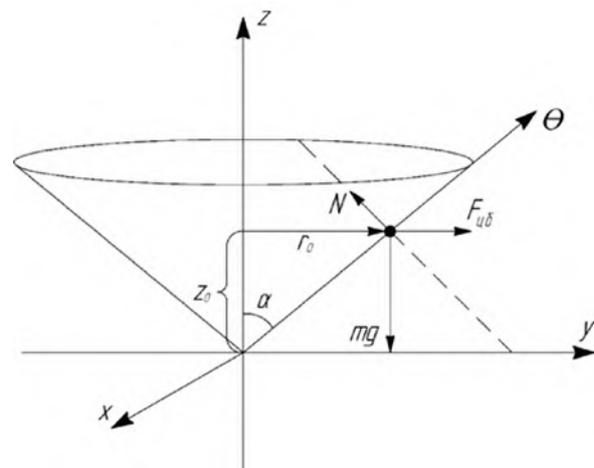


Рис. 4. Расчетная схема к определению траектории движения гранулы минеральных удобрений по воронке

Fig. 4. Calculation scheme for determining the trajectory of a mineral fertilizer pellet through a funnel



Запишем уравнение движения в дифференциальной форме:

$$m \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} = m \cdot g \cdot \cos \alpha_B - m \cdot \frac{V_\varphi^2}{r_B} \cdot \sin \alpha_B - f \cdot N, \quad (6)$$

где: N — сила реакции опоры, Н; m — масса гранулы минеральных удобрений, кг; g — ускорение свободного падения, м/с²; α_B — угол наклона образующей воронки; f — коэффициент трения скольжения; V_φ — окружная скорость частицы, $V_\varphi = \omega_\Gamma \cdot r$, м/с.

Спроецировав силы, действующие на гранулы на θ О1 ψ , получим:

$$N - m \cdot \frac{V_\varphi^2}{r_B} \cdot \cos \alpha_B - m \cdot g \cdot \sin \alpha_B = 0, \quad (7)$$

Силы реакции опоры будут определяться выражением:

$$N = m \cdot \frac{V_\varphi^2}{r_B} \cdot \cos \alpha_B + m \cdot g \cdot \sin \alpha_B, \quad (8)$$

Угол α_B будет определяться исходя из параметров конической поверхности:

$$\begin{cases} \cos \alpha_B = \frac{h_{0B}}{L_{0B}}, \\ \sin \alpha_B = \frac{r_{0B}}{L_{0B}} \end{cases}, \quad (9)$$

Преобразовав выражение (6) с учетом выражений (1), (8) и (9), получим:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = g \cdot \frac{h_{0B}}{L_{0B}} - \frac{\omega_\Gamma^2 \cdot r_{0B}^2}{L_{0B}^2} \cdot \theta - f \cdot \left(\frac{\omega_\Gamma^2 \cdot r_{0B}^2 \cdot h_{0B}}{L_{0B}^2} \cdot \theta + g \cdot \frac{r_{0B}}{L_{0B}} \right), \quad (10)$$

Для упрощения расчетов введем следующие обозначения:

$$D = \frac{\omega_\Gamma^2 \cdot r_{0B}^2}{L_{0B}^2} \cdot \left(1 + f \cdot \frac{h_{0B}}{r_{0B}} \right), \quad (11)$$

$$F = g \cdot \frac{h_{0B}}{L_{0B}} \cdot \left(1 - f \cdot \frac{r_{0B}}{h_{0B}} \right), \quad (12)$$

Проинтегрировав представленное выражение и проведя необходимые преобразования, получим:

$$\theta(t) = \left(L_{hB} + \frac{F}{2D} \right) \cdot ch(\sqrt{D} \cdot t) - \frac{V_{\Gamma B} \cdot \frac{r_{0B}}{L_{0B}}}{\sqrt{D}} \cdot sh(\sqrt{D} \cdot t) - \frac{F}{2D}, \quad (13)$$

Изменение координаты высоты z при движении гранул минеральных удобрений по конической поверхности (воронке) с учетом выражений (1) и (13) будет определяться:

$$z = h_{0B} \cdot \left(1 - \left(\frac{L_{hB}}{L_{0B}} + \frac{F}{L_{0B} \cdot 2D} \right) \cdot ch(\sqrt{D} \cdot t) + \frac{V_{\Gamma B} \cdot \frac{r_{0B}}{L_{0B}}}{L_{0B} \cdot \sqrt{D}} \cdot sh(\sqrt{D} \cdot t) + \frac{F}{L_{0B} \cdot 2D} \right), \quad (14)$$

Движение гранул минеральных удобрений по конической поверхности с учетом выражений (5) и (13) запишем в виде:

$$\begin{cases} x = \frac{r_{0B}}{L_{0B}} \left(\left(L_{hB} + \frac{F}{2D} \right) \cdot ch(\sqrt{D} \cdot t) - \frac{V_{\Gamma B} \cdot \frac{r_{0B}}{L_{0B}}}{\sqrt{D}} \cdot sh(\sqrt{D} \cdot t) - \frac{F}{2D} \right) \cdot \cos \beta_B \\ y = \frac{r_{0B}}{L_{0B}} \left(\left(L_{hB} + \frac{F}{2D} \right) \cdot ch(\sqrt{D} \cdot t) - \frac{V_{\Gamma B} \cdot \frac{r_{0B}}{L_{0B}}}{\sqrt{D}} \cdot sh(\sqrt{D} \cdot t) - \frac{F}{2D} \right) \cdot \sin \beta_B \end{cases}, \quad (15)$$

Окончательно система уравнений движения гранул по конической поверхности в декартовой системе координат:

$$\begin{cases} x = \frac{r_{0B}}{L_{0B}} \left(\left(L_{hB} + \frac{F}{2D} \right) \cdot ch(\sqrt{D} \cdot t) - \frac{V_{\Gamma B} \cdot \frac{r_{0B}}{L_{0B}}}{\sqrt{D}} \cdot sh(\sqrt{D} \cdot t) - \frac{F}{2D} \right) \cdot \cos \beta_B \\ y = \frac{r_{0B}}{L_{0B}} \left(\left(L_{hB} + \frac{F}{2D} \right) \cdot ch(\sqrt{D} \cdot t) - \frac{V_{\Gamma B} \cdot \frac{r_{0B}}{L_{0B}}}{\sqrt{D}} \cdot sh(\sqrt{D} \cdot t) - \frac{F}{2D} \right) \cdot \sin \beta_B \\ z = h_{0B} \cdot \left(1 - \left(\frac{L_{hB}}{L_{0B}} + \frac{F}{L_{0B} \cdot 2D} \right) \cdot ch(\sqrt{D} \cdot t) + \frac{V_{\Gamma B} \cdot \frac{r_{0B}}{L_{0B}}}{L_{0B} \cdot \sqrt{D}} \cdot sh(\sqrt{D} \cdot t) + \frac{F}{L_{0B} \cdot 2D} \right) \end{cases}, \quad (16)$$

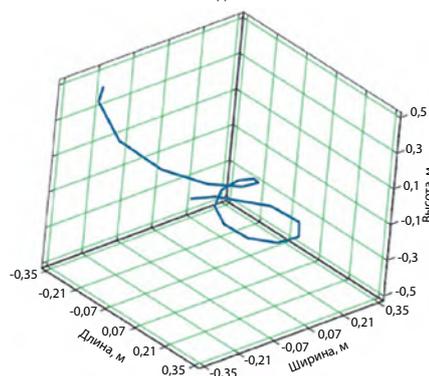
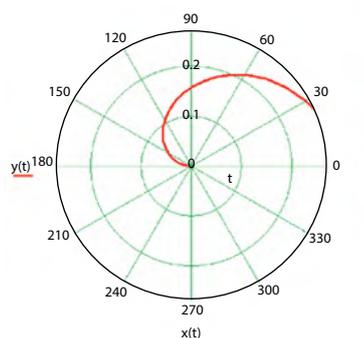
Исходя из полученной системы уравнений, в программе Mathcad были построены математические зависимости, характеризующие движение гранул минеральных удобрений (рис. 5).

Анализ полученных графиков показывает, что гранулы минеральных удобрений, поступающие в воронку, будут двигаться по ее поверхности по спиральной траектории, при этом после выхода из нее гранулы будут продолжать свое движение по данной траектории до момента столкновения с поверхностью.

В программе 3 DSmax был смоделирован процесс работы тукошесительной установки со следующими исходными параметрами: количество гранул для каждого из бункеров составляло 10 тыс. шт., размер гранул — 5 мм, коэффициент трения между гранулами и рабочей поверхностью — 0,55.

Рис. 5. Расчетная траектория движения гранул

Fig. 5. The calculated trajectory of the granules



В результате моделирования были получены координаты движения гранул удобрения. Далее случайным образом были выбраны по две гранулы компонентов тукосмеси для каждого из бункеров. Затем в программе Statistica на основании значений изменения координат для каждой из выбранных гранул была построена траектория ее движения в смесительной камере (рис. 6).

Анализ графика показал, что в процессе движения гранул по поверхности вращающегося конуса, а также при движении по воронке их траектории будут пересекаться между собой, что будет приводить к активному смешиванию. Кроме того, в ходе моделирования оценивалось качество смешивания получаемой смеси при различной частоте вращения ротора — от 20 до 90 мин⁻¹. Для этого на выходе из собирающей воронки была установлена модель емкости объемом 1 м³, куда сыпались все гранулы минеральных удобрений. После окончания процесса симуляции смешивания из 5 различных уровней емкости отбирались по 3 участка составляющих (1 см³ каждый), в которых оценивалось количество гранул каждого цвета, далее на основе полученных данных определялся коэффициент неоднородности смеси k_c . В результате были определены значения коэффициента неоднородности получаемой смеси при заданных параметрах коэффициента трения (рис. 7).

Анализ изменения значений коэффициента неоднородности смешивания свидетельствует о том, что с ростом увеличения частоты вращения ротора наблюдается снижение значения данного показателя, при этом эффективные значения частоты вращения конического ротора лежат в диапазоне от 40 до 70 мин⁻¹. С дальнейшим увеличением частоты вращения наблюдается значительное ухудшения показателя, отражающего однородность смешивания. Полученные данные позволяют говорить о том, что в указанном диапазоне наблюдаются оптимальные траектории движения гранул минеральных удобрений в камере смешивания.

Выводы/Conclusions

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что движение гранул минеральных удобрений происходит по спиральной траектории и определяется направлением начальной скорости смешивания, задающейся на вращающемся коническом роторе. Так как гранулы минеральных удобрений имеют различные начальные положения, то в процессе их перемещения в камере смешивания наблюдается многократное пересечение их траекторий, в результате которого происходит их смешивание.

В нижней части воронки камеры смешивания и на выходе из нее наблюдаются наибольшая плотность гранул минеральных удобрений и наиболее активное пересечение и изменение их траекторий за счет их соударения. После выхода из воронки гранулы минеральных удобрений продолжают свое хаотическое движение по приобретенным траекториям до момента соударения их с поверхностью в камере обработки биопрепаратами.

Рис. 6. График движения гранул на основе данных компьютерного моделирования

Fig. 6. Graph of granule movement based on computer simulation data

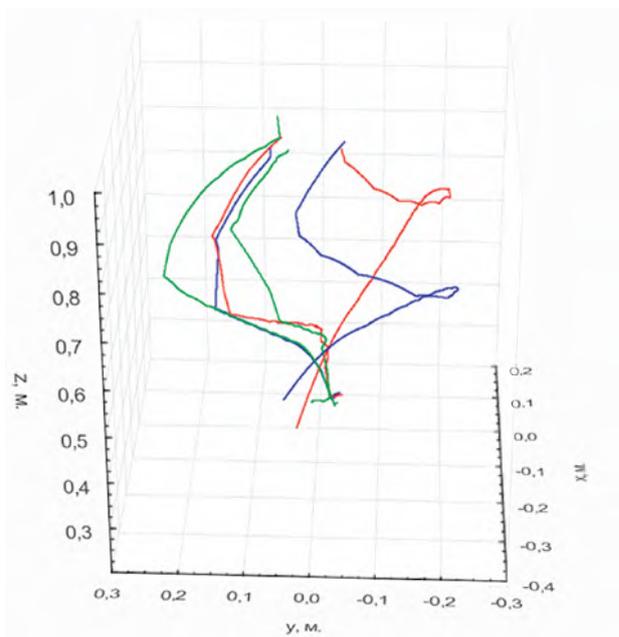
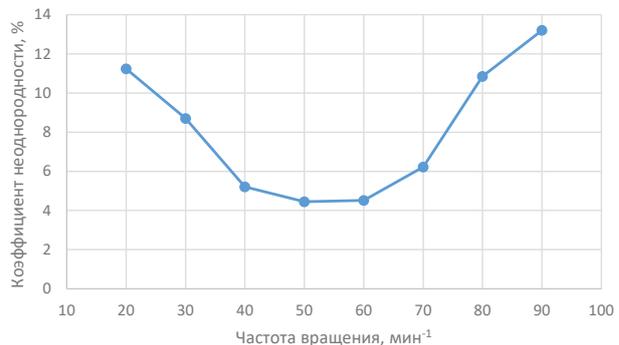


Рис. 7. Изменение коэффициента неоднородности смешивания от частоты вращения ротора

Fig. 7. Variation of the mixing inhomogeneity coefficient from the rotor speed



В свою очередь, на эффективность смешивания оказывает существенное влияние частота вращения конического ротора. Так, при значениях частоты вращения менее 40 мин⁻¹ и более 70 мин⁻¹ наблюдается рост коэффициента неоднородности до значений, превышающих 10%, что свидетельствует о неэффективности смешивания. Принято считать хорошим смешиванием, если значения неравномерности в тукосмесях не превышают 10% [17]. Рациональными же параметрами частоты вращения можно считать значения в диапазоне от 40 до 70 мин⁻¹, в которых значение коэффициента неоднородности в среднем составляет 5,1%.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марченко Л.А., Личман Г.И., Смирнов И.Г., Мочкова Т.В., Колесникова В.А. Дифференцированное внесение удобрений и пестицидов с использованием беспилотных летательных аппаратов. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017; 3: 17–23. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-3-17-23>
2. Панферов Н.С., Тетерин В.С., Митрофанов С.В., Благов Д.А., Пехнов С.А., Сухоруков Д.Г. Тенденции развития машин с центробежными рабочими органами для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений. *Техника и оборудование для села*. 2021; 12: 18–24. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-12-18-24>
3. Дорохов А.С., Новиков Н.Н., Митрофанов С.В. Интеллектуальная технология формирования системы удобрения. *Техника и оборудование для села*. 2020; 7: 2–5. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-7-2-5>
4. Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Жаворонков Н.М. Системный анализ процессов химической технологии: основы стратегии. Монография. 2-е изд. М.: Юрайт. 2018; 499. ISBN 978-5-534-06991-4 <https://www.elibrary.ru/zcyhsc>
5. Алферьев В.П., Павлова Г.С., Федотов А.В., Жукова О.И., Жуковина С.Е. Поддержка обеспечения сельского хозяйства минеральными удобрениями. *Техника и оборудование для села*. 2011; 7: 10–14. <https://elibrary.ru/nxsdpc>
6. Личман Г.И., Белых С.А., Марченко А.Н. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018; 12(4): 4–9. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9>
7. Личман Г.И., Марченко Н.М., Елизаров В.П., Марченко А.Н. Обоснование параметров машинной технологии приготовления органо-бактериальных удобрений. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016; 1: 43–48. <https://elibrary.ru/vkzgyx>
8. Nogalska A., Czaplą J., Skwierawska M. The effect of multi-component fertilizers on spring triticale yield, the content and uptake of macronutrients. *Journal of Elementology*. 2012; 17(1): 95–104.
9. Белоусов И.Е., Кремзин Н.М. Эффективность применения полиэлементных тукосмесей в рисоводстве. *Достижения науки и техники АПК*. 2016; 30(8): 40–41. <https://www.elibrary.ru/wjztnl>
10. Митрофанов С.В., Орлова Н.В., Благов Д.А., Панферов Н.С., Тетерин В.С. Анализ тенденций развития тукосмесительного оборудования. *Аграрная наука*. 2023; 6: 98–110. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-98-110>
11. Рычков В.А., Катаев А.А., Смагин А.В. Приготовление тукосмесей в условиях хозяйств. *Техника в сельском хозяйстве*. 2010; 1: 37–38. <https://www.elibrary.ru/nordur>
12. Францкевич В.С., Высоцкая Н.А., Дворник А.П. Гранулирование сложносмешанных удобрений в барабанном грануляторе-сушилке. *Механика. Исследования и инновации*. 2021; 14: 226–233. <https://www.elibrary.ru/mnwokm>
13. Гайбарян М.А., Сидоркин В.И., Гапеева Н.Н. Оптимизация структурного построения технологического процесса тукосмешения и биомодификации твердых минеральных удобрений. *Техника и оборудование для села*. 2021; 10: 17–22. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-10-17-22>
14. Лачуга Ю.Ф., Измаилов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве. *Техника и оборудование для села*. 2022; 3: 2–9. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-3-2-9>
15. Новиков Н.Н., Рычков В.А., Тихонова О.В., Ариткин А.Г. О приготовлении модифицированных минеральных удобрений в условиях сельскохозяйственных предприятий. *Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства*. 2016; 10: 185–192. <https://www.elibrary.ru/zfclz>
16. Тетерин В.С., Панферов Н.С., Пехнов С.А., Пестряков Е.В., Овчинников А.Ю. Теоретическое исследование рабочего органа тукосмесительного установи центробежного типа. *Аграрная наука*. 2024; 2: 120–126. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-120-126>
17. Воронин В.В., Адигамов К.А., Петренко С.С., Сизякин Р.А. Критерии и способы оценки качества смешивания сыпучих материалов. *Инженерный вестник Дона*. 2012; 4–2: 36. <https://elibrary.ru/pvjccj>

REFERENCES

1. Marchenko L.A., Lichman G.I., Smirnov I.G., Mochkova T.V., Kolesnikova V.A. Variable rate application of fertilizers and pesticides using unmanned aerial vehicles. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017; 3: 17–23 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-3-17-23>
2. Panferov N.S., Teterin V.S., Mitrofanov S.V., Blagov D.A., Pehnov S.A., Sukhorukov D.G. Trends in the development of machines fitted with centrifugal working bodies for surface application of solid mineral fertilizers. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021; 12: 18–24 (in Russian). <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-12-18-24>
3. Dorokhov A.S., Novikov N.N., Mitrofanov S.V. Intelligent fertilizer system technology. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2020; 7: 2–5 (in Russian). <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-7-2-5>
4. Kafarov V.V., Dorokhov I.N., Zhavoronkov N.M. System analysis of chemical technology processes: Processes of grinding and mixing of bulk materials: basics of strategy. Monograph. 2nd ed. Moscow: Yurayt. 2018; 499 (in Russian). ISBN 978-5-534-06991-4 <https://www.elibrary.ru/zcyhsc>
5. Alferiyev V.P., Pavlova G.S., Fedotov A.V., Zhucova O.I., Zhucovina S.E. Government support of agriculture for fertilizers. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2011; (7): 10–14 (in Russian). <https://elibrary.ru/nxsdpc>
6. Lichman G.I., Belykh S.A., Marchenko A.N. Methods of applying fertilizers in precision agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018; 12(4): 4–9. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9>
7. Lichman G.I., Marchenko N.M., Elizarov V.P., Marchenko A.N. Justification of parameters of machine technology of organo-bacterial fertilizers preparation. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2016; 1: 43–48 (in Russian). <https://elibrary.ru/vkzgyx>
8. Nogalska A., Czaplą J., Skwierawska M. The effect of multi-component fertilizers on spring triticale yield, the content and uptake of macronutrients. *Journal of Elementology*. 2012; 17(1): 95–104.
9. Belousov I.E., Kremzin N.M. Efficiency of polyelement fertilizer mixtures in rice growing. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2016; 30(8): 40–41 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wjztnl>
10. Mitrofanov S.V., Orlova N.V., Blagov D.A., Panferov N.S., Teterin V.S. Analysis of trends in the development of fertilizer mixing equipment. *Agrarian science*. 2023; 6: 98–110 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-98-110>
11. Rychkov V.A., Kataev A.A., Smagin A.V. Preparation of fertilizer mixtures in the conditions of economies. *Tekhnika v selskom khozyaystve*. 2010; 1: 37–38 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/nordur>
12. Frantskevich V.S., Vysotskaya N.A., Dvornik A.P. Granulation of complex-mixed fertilizers in a drum granulator-dryer. *Mechanics. Researches and Innovations*. 2021; 14: 226–233 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mnwokm>
13. Gaibaryan M.A., Sidorkin V.I., Gapeeva N.N. Optimization of the structural design of the process of fertilizer mixing and biomodification of solid mineral fertilizers. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021; 10: 17–22 (in Russian). <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-10-17-22>
14. Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Shogenov Yu.Kh. The results of scientific research of agro-engineering scientific organizations on the development of digital systems in agriculture. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022; 3: 2–9 (in Russian). <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-3-2-9>
15. Novikov N.N., Rychkov V.A., Tihonova O.V., Aritkin A.G. On the preparation of modified mineral fertilizers in conditions of agricultural enterprises. *Problemy mekhanizatsii agrokhimicheskogo obespecheniya sel'skogo khozyaystva*. 2016; 10: 185–192 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zfclz>
16. Teterin V.S., Panferov N.S., Pehnov S.A., Pestryakov E.V., Ovchinnikov A.Yu. Theoretical study of the working body of a centrifugal type mixing plant. *Agrarian science*. 2024; 2: 120–126 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-120-126>
17. Voronin V.V., Adigamov K.A., Petrenko S.S., Sizyakin R.A. Criteria and methods for assessing the quality of the mixing of bulk materials. *Engineering Journal of Don*. 2012; 4–2: 36 (in Russian). <https://elibrary.ru/pvjccj>

ОБ АВТОРАХ

Владимир Сергеевич Тетерин¹

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник отдела возделывания и уборки
овощных культур открытого грунта
v.s.teterin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8116-723X>

Николай Сергеевич Панферов¹

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник отдела возделывания и уборки
овощных культур открытого грунта
nikolaj-panfyorov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7431-7834>

Сергей Александрович Пехнов¹

старший научный сотрудник отдела возделывания и уборки
овощных культур открытого грунта
pehnov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9471-6074>

Сергей Владимирович Митрофанов²

кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора
по научной работе
f-mitrofanoff2015@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0657-7148>

¹ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

² Высшая школа экономики,
Покровский бульвар 11, Москва, 109028, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir Sergeevich Teterin¹

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher of the Department
of Cultivation and Harvesting of Open-ground Vegetable Crops
v.s.teterin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8116-723X>

Nikolai Sergeevich Panferov¹

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher of the Department of Cultivation and Harvesting
of Open-ground Vegetable Crops
nikolaj-panfyorov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7431-7834>

Sergey Alexandrovich Pekhanov¹

Senior Researcher of the Department
of Cultivation and Harvesting of Open-ground Vegetable Crops
pehnov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9471-6074>

Sergey Vladimirovich Mitrofanov²

Candidate of Agricultural Sciences,
Deputy Director for Scientific Work
f-mitrofanoff2015@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0657-7148>

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institute Passage, Moscow, 109428, Russia

² Higher School of Economics,
11 Pokrovsky avenue, Moscow, 109028, Russia

УДК 634.8

Научный обзор

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-126-131

В.А. Орлов ✉

А.А. Лукьянов

Анапская зональная опытная станция виноградарства и виноделия — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Анапа, Россия

✉ vitorl@yandex.ru

Поступила в редакцию:

26.01.2024

Одобрена после рецензирования:

14.05.2024

Принята к публикации:

29.05.2024

Review

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-126-131

Vitaly A. Orlov ✉

Alexey A. Lukyanov

Anapa Zonal Experimental Station of Viticulture and Winemaking — Branch of the Federal State Budget Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making", Anapa, Russia

✉ vitorl@yandex.ru

Received by the editorial office:

26.01.2024

Accepted in revised:

14.05.2024

Accepted for publication:

29.05.2024

Детектирование индексов вегетации виноградных насаждений как один из инструментов при мониторинге состояния виноградников

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Вегетационные индексы (ВИ) позволяют соотнести оценочные признаки силы роста виноградного растения со значениями продуктивности в различные периоды фенофаз. Виноград особенно тонко реагирует на условия погодно-климатических изменений и аномальных проявлений погоды. При всем разнообразии ВИ, которые используются для мониторинга виноградных насаждений, наиболее эффективным является NDVI. Главное преимущество NDVI — это использование всего двух спектральных каналов — красного света и ближнего красного излучения. Использование спутниковых данных Sentinel-2 в мониторинге виноградников показало высокую эффективность в течение всего периода вегетации, во многих странах ведутся исследования по применению ВИ для оценки развития и продуктивности виноградников.

Цель работы — найти оптимальную формулу расчета продуктивности виноградного растения на основе значений ВИ NDVI.

Методы. Стационарный полевой опыт агробиологических характеристик виноградных насаждений, обработка цифровых изображений спектральных каналов спутниковой платформы Sentinel-2. Цифровая обработка изображений и расчет ВИ NDVI проводились в ГИС SNAP Desktop.

Результаты. На основе значений ВИ определены фенологические периоды виноградного насаждения для расчета прогнозной урожайности. Наличие тесной связи между индексами вегетации, густотой кроны и урожайностью позволяет по мультиспектральным космическим снимкам определить силу развития виноградных растений в фенологические периоды. Разработанный метод оценки прогнозируемой урожайности на основе ВИ NDVI виноградного растения в фенофазах цветения и роста позволяет рассчитывать прогнозную урожайность с высокой точностью по отношению к фактической.

Ключевые слова: виноградное насаждение, урожайность, фенологический период, вегетационный индекс, NDVI, спутниковые данные, Sentinel-2, агроучет, виноградный куст

Для цитирования: Орлов В.А., Лукьянов А.А. Детектирование индексов вегетации виноградных насаждений как один из инструментов при мониторинге состояния виноградников. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 126–131.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-126-131>

© Орлов В.А., Лукьянов А.А.

Detection of vegetation indices of grape plantations as one of the tools for monitoring the condition of vineyards

ABSTRACT

Relevance. Vegetation indices (VI) indices allow one to correlate the estimated signs of growth vigor of a grape plant with productivity values in different periods of phenophases. Grapes respond especially subtly to conditions of weather and climate changes and abnormal weather manifestations. For monitoring vineyards, NDVI is the most effective. The use of Sentinel-2 satellite data in monitoring vineyards has shown high efficiency throughout the entire growing season, and in many countries research is underway on the use of VI to assess the development and productivity of vineyards.

The aim of the work is to find the optimal formula for calculating the productivity of a grape plant based on the values of NDVI.

Methods. Stationary field experience of agrobiological characteristics of grape plantations, processing of digital images of spectral channels of the Sentinel-2 satellite platform. Digital image processing and calculation of NDVI VI were carried out in the GIS SNAP Desktop.

Results. Based on the VI values, the phenological periods of the grape planting were determined to calculate the predicted yield. The presence of a close relationship between vegetation indices, crown density and yield makes it possible to determine the strength of development of grape plants during phenological periods using multispectral satellite images. The developed method for assessing the predicted yield based on the NDVI VI of a grape plant in the phenophases of flowering and growth allows one to calculate the predicted yield with high accuracy in relation to the actual one.

Key words: grape planting, yield, phenological period, vegetation index, NDVI, satellite data, Sentinel-2, agrobiological accounting, grape bush

For citation: Orlov V.A., Lukyanov A.A. Detection of vegetation indices of grape plantations as one of the tools for monitoring the condition of vineyards. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 126–131 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-126-131>

© Orlov V.A., Lukyanov A.A.

Введение/Introduction

Вегетационные индексы — важный инструмент для мониторинга почвы, силы роста растений, оценки водного стресса и урожайности виноградников. Интерес к мультиспектральным спутниковым данным для мониторинга виноградных насаждений растет в связи с их доступностью, высокой периодичностью съемки больших участков территории [1, 2]. Вегетационные индексы (ВИ) позволяют соотнести оценочные признаки силы роста виноградного растения со значениями продуктивности в различные периоды фенофаз [3]. Увеличение листовой поверхности побегов происходит последовательно: до цветения варьируется между 15% и 25% от максимума, а после цветения быстро увеличивается и в течение 20 дней достигает примерно 60–65%. Листовая поверхность увеличивается еще 40–45 дней после цветения и обычно достигает максимальных размеров к началу созревания ягод [4].

Виноград особенно тонко реагирует на условия климатических изменений и аномальных проявлений погоды, которые в последние десятилетия стали более нестабильны и принимают характер природных катаклизмов. Морфометрические параметры почвенной и рельефной поверхности участка более стабильны и определяют агроэкологические показатели виноградных насаждений. Наличие зависимости между влажностью почвы, площадью листовой поверхности и силой роста побегов винограда позволяет на основе нормализованных индексов вегетации выделять участки виноградного насаждения по силе роста куста и площади листовой поверхности [5]. При мониторинге виноградных насаждений используются различные модификации ВИ в зависимости от цели (определение фенологических периодов, исследование пигментации листьев, обнаружение заболеваний растений) [6]. Например, ВИ: Normalized Difference Water Index, NDWI является индексом для определения и мониторинга изменений влажности почв; Shortwave Infrared Water Stress Index, SIWSI — коротковолновый инфракрасный индекс водного стресса; Green Normalized Difference Vegetation Index, GNDVI — это индекс растительности для оценки активности фотосинтеза и потребления растениями воды и удобрений, используют для мониторинга водного стресса [7].

ВИ (NDVI, EVI, SAVI, MSAVI) отражают густоту фитомассы, площадь листовой поверхности насаждения и полноту рядов виноградного насаждения [8]. Основные алгоритмы, в большинстве формул расчета ВИ, используют данные двух и более спектральных каналов (табл. 1).

Таблица 1. Основные ВИ и алгоритмы их расчета по спектральным каналам (https://www.researchgate.net/publication/351660334_Remote_Sensing_Vegetation_Indices_in_Viticulture_A_Critical_Review)

Table 1. Basic VIs and algorithms for their calculation using spectral channels (https://www.researchgate.net/publication/351660334_Remote_Sensing_Vegetation_Indices_in_Viticulture_A_Critical_Review)

Алгоритм расчета вегетационного индекса по каналам RGB и ближним инфракрасным диапазоном NIR

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

$$GNDVI = (NIR - Green) / (NIR + Green)$$

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

$$SAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + L)] \times (1 + L)$$

Примечание: значение L основано на количестве зеленого растительного покрова. L — значение по умолчанию 0,5, что обычно означает области с умеренным зеленым растительным покровом.

$$MSAVI = 0.5 \times [2(NIR + 1) - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)}]$$

$$EVI = 2.5 \times (NIR - Red) / (1 + NIR + (6 \times Red) - (7.5 \times Blue))$$

ВИ Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI позволяет минимизировать влияние яркости почвы с помощью коэффициента коррекции яркости почвы и контролировать полноту рядов виноградного насаждения [9]. ВИ MSAVI — для минимизации влияния почвенного фона, когда имеются участки с высоким содержанием оголенной почвы, при высоких значениях почвенного фона используют оптимизированный ВИ OSAVI. ВИ Modified Soil Adjusted Vegetation Index, MSAVI — это модифицированная версия ВИ SAVI. В обоих индексах используется коэффициент, учитывающий почву (L) для уменьшения ее фонового влияния на индекс растительного покрова с той разницей, что для SAVI коэффициент необходимо задать, тогда как в MSAVI коэффициент L задается эмпирической функцией. MSAVI более применим на практике в исследовании виноградных насаждений, поскольку влияние почвы автоматически корректируется в соответствии с изменениями плотности растительного покрова и при его расчете не требуется задавать параметр L для учета почвы. ВИ MSAVI позволяет более точно оценивать силу роста кустов и площадь листовой поверхности для виноградного насаждения на фоне почвенного покрова.

По многочисленным исследованиям индекс площади листовой поверхности имеет линейную зависимость с индексом вегетации NDVI и улучшенным индексом вегетации Enhanced Vegetation Index, EVI. Сила роста виноградного растения, его листовая поверхность и плотность кроны проявляются как более высокие значения ВИ из-за фотосинтетической активности. EVI представляет собой улучшенный индекс растительности и снижает атмосферное влияние за счет комбинации красного и синего диапазонов, которые помогают минимизировать атмосферные эффекты. При оценке силы роста виноградных насаждений с помощью спутниковых данных Sentinel-2 могут использоваться улучшенные модификации вегетационных индексов в зависимости от задач [10].

При всем разнообразии вегетационных индексов, которые используются в мониторинге виноградных насаждений, наиболее используемым остается ВИ Normalized Difference Vegetation Index, NDVI — нормализованный относительный вегетационный индекс (из-за простоты в расчетах и независимости количественной оценки зеленой растительности от густоты и плотности полога). В отличие от сплошной растительности, виноградное насаждение имеет решетчатую структуру с чередованием рядов, междурядных и межклеточных дорог, что делает текстуру изображения периодической и линейно-протяженной, а влияние фона почвы и почвенного растительного покрова существенно и может составлять до 60% от всего насаждения. Другие модификации ВИ для разреженной растительности слабо изучены, и нет достоверных данных по их применению для мониторинга состояния виноградных насаждений. ВИ NDVI является одним из наиболее используемых индексов для мониторинга роста виноградных растений и изучения фенологии, в связи с этим эффективность модифицированных вариантов вегетационных индексов оценивается по отношению к нему, так как он уменьшает спектральный шум, вызванный условиями освещенности, топографическими особенностями местности, тенями облаков, а также имеет высокую степень корреляции с содержанием хлорофилла в листьях виноградных кустов и индексом площади листовой поверхности (LAI).

Видимые и ближние ИК-диапазоны Sentinel-2 имеют пространственное разрешение 10 м на пиксель. Так как

виноградные растения расположены рядами, то крона виноградного куста, оголенная почва и травянистая растительность сливаются в одно значение, что может как завышать, так и занижать значения вегетационного индекса [11].

Главное преимущество NDVI для расчетов — это использование всего двух спектральных каналов — красного света и ближнего красного излучения. Недостаток VI NDVI состоит в том, что при достижении определенного порога развития растения индекс теряет чувствительность: даже если сила роста растения высокая, то после значений 0,5 единицы и более по NDVI нельзя отличить аномально зеленое растение от обычного зеленого. Точность детектирования значений индекса VI NDVI зависит от погоды: в безоблачную снимок отображает поверхность более достоверно, чем в облачную, как и все остальные индексы. Использование спутниковых данных Sentinel-2 в мониторинге виноградников показало высокую эффективность при обработанной почве в междурядье, во многих странах ведутся исследования по применению VI для оценки развития виноградников по почвенно-топографическим признакам во взаимосвязи с погодно-климатическими параметрами и фенологическими периодами.

Самая высокая разница в отражательной способности растительности наблюдается в спектре видимого света (RGB) и ближнего красного спектра (NIR). При мониторинге виноградных насаждений VI NDVI показывает сильную корреляцию с такими параметрами, как продуктивность, фитомасса, влажность и органическая насыщенность почвы, испаряемость, объем выпавших осадков [https://gis-lab.info/qa/ndvi.html]. VI NDVI функционально эквивалентен простому соотношению инфракрасного (красного) света (NIR/VIS) и, в отличие от простого соотношения инфракрасного (красного) света, имеет линейные связи с листовой поверхностью. Существует множество вариантов функций для объединения данных спектральных каналов инфракрасного (красного) света, например видимого синего или зеленого цвета. Значение этого индекса колеблется от -1 до 1. Обычный диапазон для зеленой растительности составляет от 0,2 до 0,9 [12, 13].

Цель данной работы — найти оптимальную функцию для расчета значений состояния растений, выражаемую в планируемой урожайности на основе использования значений VI NDVI в различные фенологические периоды в сравнении с фактической урожайностью.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объект исследования — виноград, ампелоценоз — 24,3 га (координаты: с. ш. 44.92, в. д. 37.36) Анапского района. Год посадки — весна 2019 г., сорт — Шардоне × Кобер 5ББ, схема посадки — 2,5 × 1,0 м, формировка Гюйо. Постановка полевого опыта и анализ данных осуществлялись в соответствии с методикой СКЗНИИСиВ¹ (2010 г.), при учете агробиологических и фенологических показателей применялась методика подсчета глазков и побегов в виноградарстве², определения урожайности³.

Основные методы — маршрутно-полевые исследования почвенных и агробиологических характеристик

виноградных насаждений, обработка цифровых изображений спектральных каналов спутниковой платформы Sentinel-2 [https://github.com/sentinel-hub/public-collections], формирование базы спектральных изображений. Цифровую обработку изображений и расчет VI NDVI проводили в ГИС SNAP Desktop (Copernicus Data Space Ecosystem под лицензией GPL-3 для свободного использования программного продукта) (https://step.esa.int/main/download/snap-download/). Обработка данных и математическое моделирование функции расчета продуктивности произведены в пакете MS Excel (США).

На участке насаждений винограда сорта были выделены 5 микрозон с различными физико-химическими характеристиками почвы:

1. Чернозем обыкновенный, мощный, глубоко солонцеватый, тяжелосуглинистый, сформированный на гипсовых глинах.
2. Чернозем южный, карбонатный, маломощный, супесчаный, сформированный на приморских песках.
3. Чернозем обыкновенный, мощный, карбонатный, тяжелосуглинистый, сформированный на тяжелых суглинках и глинах.
4. Чернозем южный, выщелоченный, мощный, среднесуглинистый, сформированный на лессовидных суглинках.
5. Чернозем южный, карбонатный, мощный, среднесуглинистый, глубокосолонцеватый, сформированный на лессовидных глинах.

Для 5 почвенных разностей в 2022 году были заложены 6 вариантов опыта по 20 кустов в каждом, на участках опыта исследовалась почва и проводились агробиологические учеты [14].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Использование VI NDVI (по данным мультиспектральных изображений Sentinel-2) обусловлено свободным доступом к исходным изображениям и возможностью их скачивания с сервера https://apps.sentinel-hub.com/, высокой периодичностью съемки от 2 дней, наличием 4 спектральных каналов (всего 12) с разрешением 10 м, в том числе канала красного цвета B4 и ближнего инфракрасного B8. Имеется канал красного края B5 с разрешением в 20 м для расчета VI NDRE, но его обработка не дает дополнительных данных из-за необходимости передискретизации растрового изображения (raster resampling) в изображение с разрешением в 10 м. Последовательность процедуры создания индексных изображений заключается в следующем: для каждого пикселя вычисляют соответствующее значение вегетационного индекса; составляют шкалу градации индексов; каждому пикселю в соответствии с градацией присваивают цветовой код; пиксели одного цветового кода формируют контуры определенных типов объектов или их различных состояний; сформированное индексное изображение позволяет выделить исследуемый объект и оценить его состояние. Достоверность использования индексных изображений определяется не только метрическими свойствами выбранных площадок, но и фоном междурядья. При детектировании и анализе изображений на определение значений VI учитывались

¹ Серпуховитина К.А. Методическое и аналитическое обеспечение организации и проведения исследований по технологии производства винограда / К.А. Серпуховитина, А.М. Аджиев, Э.Н. Худовердов и др. Краснодар. 2010; 182.

² Агротехнические исследования по созданию интенсивных виноградных насаждений на промышленной основе ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко / под ред. Б.А. Музыченко. Новочеркасск. 1978; 168.

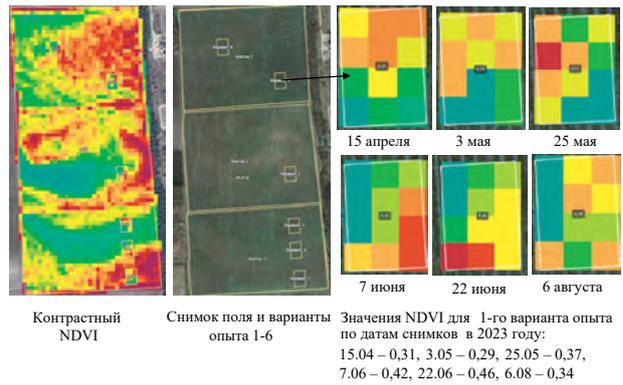
³ Агробиологические учеты и наблюдения по методике агротехнических опытов ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко (1978 г.) и методическим рекомендациям, разработанным ГНУ СКЗНИИСиВ Россельхозакадемии (2010 г.).

даты агротехнических работ по культивации почвы, прополке, чеканки, заведению побегов и обломки (рис. 1). С интернет-сервера (<https://dataspace.copernicus.eu/browser>) с открытым доступом к снимкам Sentinel-2 были получены 39 мультиспектральных изображений без облаков уровня 2A за период с 30 марта по 7 сентября. Пространственное разрешение Sentinel-2 в 10 м достаточно для оценки вегетативной реакции насаждения на агротехнику (культивация, чеканка молодого прироста) для выявления пространственной изменчивости силы роста виноградных растений. Эти результаты показывают, что различия в условиях роста виноградного насаждения наблюдаются при разбиении клетки на сетку с шагом 0,1 га и расчетом среднего значения VI в фенологических фазах виноградного насаждения в зависимости от их наступления на разных участках поля [15]. После обработки почвы в начале сезона временная реакция NDVI на всех 6 вариантах показывает снижение значений VI. После удаления междурядной растительности происходит снижение градиента VI из-за увеличения яркости почвы.

Последующие доступные изображения Sentinel-2 после чеканки показывают уменьшение значения NDVI в каждом варианте. Значения вегетационного индекса NDVI различны во время роста побегов, цветения и созревания ягод: в начале вегетационного сезона индекс нарастает, в момент цветения его рост достигает пика и приостанавливается, затем по мере созревания ягод NDVI снижается. В зависимости от почвенного

Рис. 2. Индексы NDVI для 1-го варианта опыта в разные периоды вегетации

Fig. 2. NDVI for 1st experimental variant during different growing seasons



плодородия, метеоусловий скорость развития биомассы будет разной. Наиболее точный прогноз урожайности виноградного насаждения по VI NDVI можно дать в момент прохождения пика значения NDVI. Пик NDVI обычно приходится на момент начала фазы созревания ягод. Пики NDVI для вариантов приходятся на 7 июня (в фенофазе цветения) и на 27 июня (в фенофазе роста). Если в фазы цветения и роста NDVI достигает значений 0,40–0,50, то и урожайность будет ниже расчетной — в диапазоне 30–50%. На рисунке 2 показан снимок виноградного насаждения для 6 вариантов опыта: поле с вариантами опытов.

Рис. 1. Изменение VI в течение вегетационного сезона

Fig. 1. Change in VI during the growing season

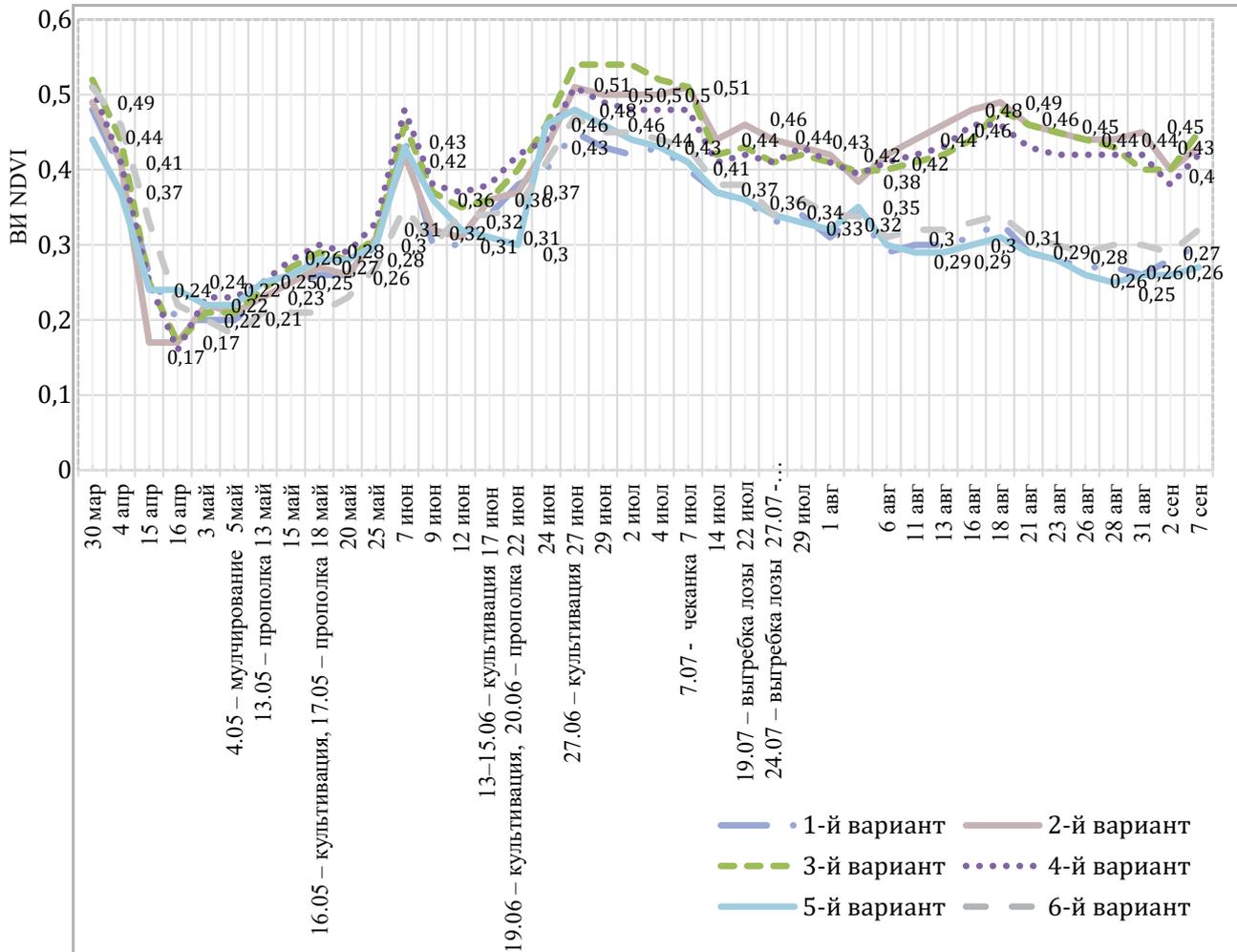


Таблица 2. Расчетная и фактическая урожайность в 6 вариантах опыта
Table 2. Estimated and actual yield in 6 experimental options

Вариант	Среднее кол-во соцветий, шт.	Средний коэфф. плодоношения K_1	Расчетная урожайность с куста по формуле (1) (масса грозди 110 г), кг	Максимальные значения NDVI		Расчетная урожайность с куста по формуле (2), кг		Средняя расчетная урожайность U_{ndvi} (2), кг	Фактическая урожайность с куста (средняя масса грозди 110 г), кг
				7.06	27.06	7.06	27.06		
1	27	1,48	4,4	0,44	0,45	3,4	3,3	3,3	3,2
2	13	1,26	1,7	0,42	0,51	1,6	1,4	1,5	1,6
3	27	1,48	4,4	0,46	0,54	3,2	2,5	2,8	2,8
4	26	1,57	4,5	0,48	0,51	3,0	2,7	2,9	3,2
5	26	1,71	4,9	0,43	0,48	3,8	3,2	3,5	3,1
6	22	1,49	3,6	0,35	0,41	3,9	3,2	3,5	3,7
Среднее	23	1,50	3,9					2,9	2,9

На примере 1-го варианта опыта по 12 пикселям рассчитаны средние значения NDVI в разные даты вегетационного периода 2023 г.: 15.04 — 0,31, 3.05 — 0,29, 25.05 — 0,37, 7.06 — 0,42, 22.06 — 0,46, 6.08 — 0,34. Среднее значение ВИ NDVI было рассчитано для каждого из 6 вариантов опыта (площадь участка виноградного насаждения в 0,1 га содержит 480 кустов и соответствует изображению в 12 пикселей при разрешении одного пикселя 10 м²). Во всех 6 вариантах опыта проявилась вариабельность средних значений NDVI по фенофазам. Диапазон значений NDVI для 6 вариантов опыта: в фазе распускания — 0,25–0,28, в фазе цветения — 0,35–0,48, в фазе роста — 0,36–0,44, в фазе созревания — 0,26–0,42.

Существуют разные методы прогнозирования урожайности виноградного растения, среди которых наиболее эффективными являются методы биологического моделирования. Основными элементами плодоносности винограда являются количество побегов, оставляемых на кусте, процент плодоносных побегов, число гроздей на плодоносный побег и средняя масса грозди [16]. Коэффициентом плодоношения $K_{пл}$ характеризуется среднее число гроздей на один развившийся побег.

Структурная формула урожая винограда имеет вид:

$$U_c = N \times K_{пл} \times G / 1000, \quad (1)$$

где: N — количество побегов на кусте (нагрузка побегом); $K_{пл}$ — коэффициент плодоношения; G — средняя масса грозди сорта Шардоне, 110 г [17]; 1000 — делитель для пересчета граммов, кг.

Расчет урожайности с куста по формуле 1 в 6 вариантах опыта (по данным агробиологических наблюдений и результатам взвешивания) представлен в таблице 2.

Расчетная урожайность по формуле 1 превышает фактическую в 1,33 раза (в среднем). Значение ВИ в фенофазах цветения и роста можно использовать в формуле 1 в качестве поправочного коэффициента для расчета урожайности.

Пересчет расчетной урожайности с куста выполняется по формуле:

$$U_{ndvi} = (U_c)^{-Ln(NDVI_{max})}, \quad (2)$$

где: U_c — урожайность с куста, рассчитанная по формуле 1; $Ln(NDVI_{max})$ — поправочный коэффициент для прогнозируемой урожайности винограда, рассчитанный по максимальному значению NDVI в фенофазе цветения.

По 6 вариантам опыта расчетная урожайность по значениям ВИ имеет отклонение в пределах до 0,7 кг с куста 7 июня и -0,1–0,5 кг с куста 27 июня, а в среднем отклонение по двум пиковым значениям NDVI составило 0,1–0,3 кг от фактической урожайности. Среднее значение уточненной расчетной урожайности по ВИ составило 2,9 кг с куста, что соответствует среднему значению фактической урожайности в 2,9 кг с куста по 6 вариантам опыта. Для всего виноградного насаждения средняя расчетная урожайность по формуле 2 составила 117 ц/га.

Использование ВИ NDVI в фенофазах цветения и роста, рассчитанного по снимкам с разрешением в 10 м/пиксель, позволяет с высокой точностью рассчитать урожайность виноградного насаждения сорта Шардоне по почвенно-климатическим микроразонам поля.

Выводы/Conclusions

На основе значений ВИ определены оптимальные фенологические периоды виноградного насаждения для расчета прогнозируемой урожайности. Наличие тесной связи между индексами вегетации, густотой кроны и урожайностью позволяет по мультиспектральным космическим снимкам определить силу развития виноградных растений в фенологические периоды.

Таким образом, разработанный метод оценки прогнозируемой урожайности на основе ВИ NDVI виноградного растения в фенофазах цветения и роста позволяет рассчитывать прогнозируемую урожайность с высокой точностью по отношению к фактической.

Предложенный алгоритм расчета прогнозируемой урожайности виноградного насаждения по ВИ NDVI добавлен в программу для ЭВМ «Прогнозирование урожайности сортов винограда»⁴ для корректировки расчетной урожайности.

⁴ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023660076. Регистрация в реестре программ для ЭВМ 17 мая 2023 г. Прогнозирование урожайности сортов винограда. Лукьянов А.А., Орлов В.А.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р. Методологические аспекты формирования системы дистанционной диагностики состояния виноградных агроценозов Крыма. Севастополь: Филиал МГУ в г. Севастополе. 2023; 208. ISBN 978-5-907477-77-3. <https://doi.org/10.35103/SMSU.2022.14.17.001>
2. Рыбалко Е.А. и др. Организация работы с данными наземных и дистанционных наблюдений для решения задач дистанционного мониторинга виноградников. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016; 13(1): 79–92. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-1-79-92>
3. Matese A., Di Gennaro S.F. Beyond the traditional NDVI index as a key factor to mainstream the use of UAV in precision viticulture. *Scientific Reports*. 2021; 11: 2721. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81652-3>
4. Амирджанов А.Г. Солнечная радиация и продуктивность виноградника. Л.: Гидрометеиздат. 1980; 208.
5. Sams B., Bramley R.G.V., Sanchez L., Dokoozlian N., Ford C., Pagay V. Remote Sensing, Yield, Physical Characteristics, and Fruit Composition Variability in Cabernet Sauvignon Vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2022; 73(2): 93–105. <https://doi.org/10.5344/ajev.2021.21038>
6. Junges A.H., Fontana D.C., Lampugnani C.S. Relationship between the normalized difference vegetation index and leaf area in vineyards. *Bragantia*. 2019; 78(2): 297–305. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018168>
7. Devaux N., Crestey T., Leroux C., Tisseyre B. Potential of Sentinel-2 satellite images to monitor vine fields grown at a territorial scale. *OENO One*. 2019; 53(1): 51–58. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.1.2293>
8. Giovos R., Tassopoulos D., Kalivas D., Lougkos N., Priovolou A. Remote Sensing Vegetation Indices in Viticulture: A Critical Review. *Agriculture*. 2021; 11(5): 457. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050457>
9. Diago M.P., Aquino A., Millan B., Palacios F., Tardaguila J. On-the-go assessment of vineyard canopy porosity, bunch and leaf exposure by image analysis. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2019; 25(3): 363–374. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12404>
10. Kasimati A. et al. Investigation of the similarities between NDVI maps from different proximal and remote sensing platforms in explaining vineyard variability. *Precision Agriculture*. 2023; 24(4): 1220–40. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09984-2>
11. Семенова К.С. Обоснование использования вегетационного индекса NDVI как основного показателя мониторинга состояния сельскохозяйственных земель. *Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова*. М.: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева. 2022; 1: 44–48. <https://www.elibrary.ru/lvyfkh>
12. Демишева Е.Н. Оценка взаимосвязи вегетационного индекса NDVI и температуры поверхности земли по данным дистанционного зондирования. *Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая*. 2016; (4): 10–16. <https://www.elibrary.ru/whwpsz>
13. Орлов В.А., Лукьянов А.А. Оценочные признаки виноградопригодных земель по спектральным паттернам. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2023; 18(1): 29–37. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-29-36>
14. Жуков В.Д., Шеуджен З.Р. Повышение эффективности систем земледелия в Краснодарском крае. *Научный журнал КубГАУ*. 2019; 151: 104–115. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-151-010>
15. Бейбулатов М.Р. Модификация формулы для расчета нагрузки виноградного куста глазками. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2013; 24: 68–74. <https://www.elibrary.ru/rkofnp>
16. Гусейнов Ш.Н., Чигрик Б.В., Гордеева Н.Г. Ресурсы повышения генетического потенциала у стародавних классических сортов винограда. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2009; 1: 14–22. <https://www.elibrary.ru/mzjhuv>

ОБ АВТОРАХ

- Виталий Александрович Орлов**
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
vitorl@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3337-2970>
- Алексей Александрович Лукьянов**
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
azosviv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7317-9150>

Анапская зональная опытная станция виноградарства и виноделия — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия», Пионерский пр-т, 36, Анапа, 353456, Россия

REFERENCES

1. Grishin I.Yu., Timirgaleeva R.R. Methodological aspects of the formation of a system for remote diagnostics of the state of grape agroecosystems in the Crimea. Sevastopol: Branch of Moscow State University in Sevastopol. 2023; 208 (in Russian). ISBN 978-5-907477-77-3. <https://doi.org/10.35103/SMSU.2022.14.17.001>
2. Rybalko E.A. et al. Management of ground and remote sensing data for remote monitoring of vineyards. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2016; 13(1): 79–92 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-1-79-92>
3. Matese A., Di Gennaro S.F. Beyond the traditional NDVI index as a key factor to mainstream the use of UAV in precision viticulture. *Scientific Reports*. 2021; 11: 2721. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81652-3>
4. Amirdzhanov A.G. Solar radiation and vineyard productivity. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1980; 208 (in Russian).
5. Sams B., Bramley R.G.V., Sanchez L., Dokoozlian N., Ford C., Pagay V. Remote Sensing, Yield, Physical Characteristics, and Fruit Composition Variability in Cabernet Sauvignon Vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2022; 73(2): 93–105. <https://doi.org/10.5344/ajev.2021.21038>
6. Junges A.H., Fontana D.C., Lampugnani C.S. Relationship between the normalized difference vegetation index and leaf area in vineyards. *Bragantia*. 2019; 78(2): 297–305. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018168>
7. Devaux N., Crestey T., Leroux C., Tisseyre B. Potential of Sentinel-2 satellite images to monitor vine fields grown at a territorial scale. *OENO One*. 2019; 53(1): 51–58. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.1.2293>
8. Giovos R., Tassopoulos D., Kalivas D., Lougkos N., Priovolou A. Remote Sensing Vegetation Indices in Viticulture: A Critical Review. *Agriculture*. 2021; 11(5): 457. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050457>
9. Diago M.P., Aquino A., Millan B., Palacios F., Tardaguila J. On-the-go assessment of vineyard canopy porosity, bunch and leaf exposure by image analysis. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2019; 25(3): 363–374. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12404>
10. Kasimati A. et al. Investigation of the similarities between NDVI maps from different proximal and remote sensing platforms in explaining vineyard variability. *Precision Agriculture*. 2023; 24(4): 1220–40. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09984-2>
11. Semenova K.S. Rationale for using the NDVI vegetation index as the main indicator for monitoring the condition of agricultural lands. *Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists, dedicated to the 135th anniversary of the birth of A.N. Kostyakov*. Moscow: Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. 2022; 1: 44–48 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/lvyfkh>
12. Demisheva E.N. Assessment of the relationship between Normalized difference vegetation index and land surface temperature using remote sensing data. *Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnologicheskaya*. 2016; (4): 10–16 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/whwpsz>
13. Orlov V.A., Lukyanov A.A. Evaluation of signs of viney land by spectral patterns. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2023; 18(1): 29–37 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-29-36>
14. Zhukov V.D., Scheudgen Z.R. Improving the efficiency of agriculture systems in the Krasnodar region. *Scientific Journal of KubSAU*. 2019; 151: 104–115 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-151-010>
15. Beibulatov M.R. Modification of the formula for calculating of buds load of grapes bushes. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2013; 24: 68–74 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rkofnp>
16. Guseynov Sh.N., Chigrik B.V., Gordееva N.G. Resources of increase of genetic potential at age-old classical grades of grapes. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2009; 1: 14–22 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mzjhuv>

ABOUT THE AUTHORS

- Vitaly Aleksandrovich Orlov**
Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
vitorl@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3337-2970>
- Aleksei Aleksandrovich Lukyanov**
Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
azosviv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7317-9150>

Anapa Zonal Experimental Station of Viticulture and Winemaking — Branch of the Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making», 36 Pionersky Prospekt, Anapa, 353456, Russia

Н. В. Попова ✉

К. С. Каменева

А. К. Васильев

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

✉ nvpopova@susu.ruПоступила в редакцию:
15.02.2024Одобрена после рецензирования:
14.05.2024Принята к публикации:
29.05.2024

Natalia V. Popova ✉

Ksenia S. Kameneva

Andrey K. Vasiliev

South Ural State University, Chelyabinsk,
Russia✉ nvpopova@susu.ruReceived by the editorial office:
15.02.2024Accepted in revised:
14.05.2024Accepted for publication:
29.05.2024

Интенсификация процесса ферментации напитка на растительной основе комплексной закваской «Бифидо плюс»

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Постоянное развитие концепции оптимального здорового питания способствует увеличению спроса на разработку и производство обогащенных и функциональных пищевых продуктов. В качестве пищевой системы для получения пробиотического продукта предлагается использовать напиток на растительной основе, которые являются источником целого ряда нутриентов. Так как растительная среда является нетипичной для развития молочнокислых бактерий, то изучение различных приемов для активизации молочнокислого брожения в такой среде является актуальным.

Цель данных исследований — оценка способов интенсификации процесса ферментации растительного напитка комплексной закваской «Бифидо плюс».

Методы. Методы исследования включают в себя оценку прироста биомассы микроорганизмов, накопления молочной кислоты и экзополисахаридов, изменения кислотности и вязкости пробиотического напитка.

Результаты. Была установлена возможность адаптации комплексной закваски «Бифидо плюс» в растительной среде, причем ультразвуковое воздействие и внесение инулина способствуют активизации процесса ферментации. В частности, внесение инулина сокращает лаг-фазу на $0,85 \pm 0,05$ часа, воздействие УЗ-обработки увеличивает ее на $2,1 \pm 0,2$ часа. При этом увеличение в последующем объеме накопления биомассы в образце пробиотического напитка, подвергнутого УЗ-воздействию, составило 60–313%, воздействию инулина — 28–44%. Введение инулина и воздействие ультразвука активизируют изменение титруемой кислотности в среднем на 3–15%, накопление молочной кислоты — на 38,7–68%, накопление экзополисахаридов — на 27,3–58,8% относительно контрольного образца. Таким образом, результаты исследований подтверждают возможность использования ультразвука и инулина в качестве способов активизации процесса ферментации растительной среды.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 23-26-10063.

Ключевые слова: растительные напитки, *Bifidobacterium*, пробиотический напиток, ферментация, овсяный напиток, прирост биомассы, накопление молочной кислоты, ультразвуковая обработка, пребиотик инулин

Для цитирования: Попова Н.В., Каменева К.С., Васильев А.К. Интенсификация процесса ферментации напитка на растительной основе комплексной закваской «Бифидо плюс». *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 132–138.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-132-138>

© Попова Н.В., Каменева К.С., Васильев А.К.

Intensification of the fermentation process of a plant-based drink with complex starter “Bifido Plus”

ABSTRACT

Relevance. Developing the concept of optimal healthy nutrition increases the demand for the development and production of fortified and functional food products. We propose to use plant-based drinks as a food system for obtaining a probiotic product, which is a source of a number of nutrients. Because the environment in plants isn't usually good for growing lactic acid bacteria, it's important to look into different ways to start lactic acid fermentation in these kinds of places.

The purpose of these studies is to evaluate ways to intensify the fermentation process of a vegetable drink with a complex starter culture “Bifido plus”.

Methods. Research methods include assessment of the increase in microbial biomass, accumulation of lactic acid and exopolysaccharides, and changes in acidity and viscosity of the probiotic drink.

Results. The possibility of adaptation of the starter “Bifido Plus” in a plant environment was established, and ultrasonic exposure and the addition of inulin promoted the activation of the fermentation process. In particular, the addition of inulin shortens the lag phase by 0.85 ± 0.05 hours, and exposure to ultrasound treatment increases it by 2.1 ± 0.2 hours. At the same time, the subsequent increase in the volume of biomass accumulation in the sample of the probiotic drink subjected to ultrasound exposure was 60–313% and 28–44% under the influence of inulin. The introduction of inulin and exposure to ultrasound also activate a change in titratable acidity, on average, by 3–15%, the accumulation of lactic acid by 38.7–68%, and the accumulation of exopolysaccharides by 27.3–58.8% relative to the control sample. So, the research results show that ultrasound and inulin can be used to start the fermentation process in plant media.

The research was supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of project 23-26-10063.

Key words: plant drinks, *Bifidobacterium*, probiotic drink, fermentation, oat drink, biomass growth, lactic acid accumulation, ultrasonic treatment, prebiotic inulin

For citation: Popova N.V., Kameneva K.S., Vasiliev A.K. Intensification of the fermentation process of a plant-based drink with complex starter “Bifido Plus”. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 132–138 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-132-138>

© Popova N.V., Kameneva K.S., Vasiliev A.K.

Введение/Introduction

Постоянное увеличение техногенной и антропогенной нагрузки на окружающую среду активно способствует снижению устойчивости человека к различным заболеваниям. Наряду с этим постоянные изменения в образе жизни и характере трудовой деятельности, структуре питания населения приводят к дисбалансу незаменимых нутриентов, дефициту витаминов, ряда макро- и микроэлементов, минорных биологически активных веществ пищи.

В связи с этим стала активно развиваться концепция оптимального здорового питания, направленного на максимальное удовлетворение индивидуальных потребностей организма в биологически активных соединениях и компонентах пищи, необходимых для нормального протекания физиологических процессов и поддержания здоровья [1, 2]. Соответственно, резко возрос спрос на разработку и производство функциональных и обогащенных незаменимыми факторами продуктов питания.

Продукты на безлактозной основе актуальны для людей с индивидуальными особенностями организма, в частности непереносимостью компонентов молока, либо в связи с личными пищевыми предпочтениями. Постоянно увеличивающийся спрос на такие напитки ведет к расширению рынка аналогов или заменителей молочных продуктов, и процент увеличения предложения, по прогнозам аналитиков, составит 12,5% в период с 2021 по 2028 год. Напитки на основе злаков обладают огромным потенциалом в качестве носителей функциональных соединений, таких как антиоксиданты, пищевые волокна, минералы, пребиотики и витамины [3].

Полезность овса, определяемая его химическим составом, с давних пор сделала его постоянным продуктом во многих рационах питания. В очищенном овсяном зерне содержится 40–50% крахмала, до 14% белка, 4–6% жира. Мировое производство зерна овса, по данным Продовольственной сельскохозяйственной организации ООН, составило в 2021 г. около 22,5 млн т с площадью 9,7 млн га. Основные производители овса в мире (млн т): Россия — 3,8, Канада — 2,8, Австралия — 1,9, Польша — 1,6, Испания — 1,2. Урожайность в России — 17,2 ц/га (в среднем) с площади 2,19 млн га².

Овсяный напиток — это водный экстракт овса, который обладает мягким молочным вкусом, содержит большое количество жирных кислот, белков, минералов, витаминов, пищевых волокон и различных микроэлементов, а также обеспечивает ряд преимуществ для здоровья, поскольку снижает уровень сахара в крови. Таким образом, овес является достойной альтернативой традиционному молоку [4, 5].

Однако у растительного напитка есть определенные недостатки, в частности фитиновая кислота, присутствующая в заменителях молока из овса, связывается с необходимыми минералами и микроэлементами, создавая нерастворимые комплексы, препятствующие их усвоению. Сапонины препятствуют усвоению белка путем образования нерастворимых комплексов «сапонин — белок», устойчивых к перевариванию. Ингибиторы протеаз в растительном напитке также мешают перевариванию белка и крахмала, инактивируя пищеварительные ферменты. Эти антипитательные вещества препятствуют усвоению не только минеральных веществ, но и витаминов. Устранению указанных недостатков может

способствовать ферментация, увеличивающая содержание белка растущими пищевыми микроорганизмами. Она улучшает растворимость растительного белка, аминокислотный состав и доступность.

Кроме того, злаки содержат микроорганизмы, способствующие самопроизвольному брожению. Если растительный напиток производится из этого сырья, повышается вероятность его загрязнения с препятствием развитию полезной микрофлоры. Таким образом, производство напитков из растительного сырья связано с высокой микробной контаминацией. В этом контексте пробиотическая ферментация, способствуя увеличению количества живых пробиотиков, обеспечивает тем самым микробиологическую безопасность напитка [6, 7].

Необходимостью при выработке ферментированных продуктов остается выбор закваски, которая в немалой степени определяет активность ферментации и показатели качества готового продукта. Отобранные закваски посредством своих сложных ферментных систем генерируют летучие и нелетучие метаболиты, которые придают особые вкусовые качества ферментированным продуктам на основе злаков.

Так как растительная среда является нетипичной для развития молочнокислых бактерий, то изучение различных приемов для активизации молочнокислого брожения в такой среде, улучшения адаптации закваски является актуальным.

В качестве способов интенсификации процессов ферментации в растительной среде предлагаются введение пребиотика инулин и совместная УЗ-обработка среды и комплексной закваски «Бифидо плюс» на этапе заквашивания.

Инулин — это полисахарид растительного происхождения, хорошо растворяется в воде, не переваривается пищеварительными ферментами, является наиболее широко распространенным природным запасным веществом после крахмала. Данный полисахарид не влияет на уровень глюкозы в крови, поэтому может без опасения использоваться в рационе людей, больных диабетом, его употребление может способствовать снижению уровня липопротеинов низкой плотности.

В качестве пребиотика инулин и его производные обладают свойствами увеличения содержания полезных бифидобактерий и подавления влияния вредных патогенных бактерий, применяются в пищевой промышленности для улучшения питательных и функциональных свойств продуктов [8, 9].

Существуют исследования, что некоторые физические факторы, в частности ультразвук, способны оказывать неспецифическое стимулирующее воздействие на живые организмы. К неспецифическим стимуляторам относятся незнакомые организму воздействия, на которые у организма нет стандартной программы реагирования и которые воспринимаются как сигнал возможного неблагоприятного развития событий. В качестве ответной реакции биологическая система, активизируя защитные механизмы, стремится повысить свою продуктивность. Ультразвук низкой интенсивности за счет возникновения кавитации может интенсифицировать трансмембранный перенос, вызывая изменения в структуре клеточных мембран и увеличивая их проницаемость, а также снижая диффузионные ограничения за счет акустических микропотоков вблизи клеточных поверхностей [10].

¹ Г.А. Баталова. Овес // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал. — URL: <https://bigenc.ru/c/ovios-25c0ad/?v=7883022> (дата публикации: 09.03.2023, дата обновления: 27.07.2023).

В связи с этим возможно, что возникающее при этом нарушение состава внутриклеточной среды и микроокружения клетки отразится на скорости биохимических реакций с участием закваски молочнокислых бактерий, весьма чувствительных к содержанию в среде тех или иных ионов, продуктов ферментативных реакций и некоторых других веществ.

Исследованиями Thi My Phuc Nguyen, Ljubić Anamarija, Jurić Anita также доказано влияние ультразвука на углеводный обмен при ферментации молока *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium infantis*, *Bifidobacterium animalis subsp. Bifidobacterium lactis* и *Bifidobacterium longum*. Обработка ультразвуком ускоряла гидролиз лактозы и реакцию трансгалактозилирования в ферментированном молоке. Ультразвук стимулировал выработку основных органических кислот на более поздней стадии ферментации молока и в то же время снижал соотношение уксусной кислоты к молочной [11, 12].

Эти факты позволяют предложить использование ультразвука в качестве интенсифицирующего фактора при ферментации растительного напитка комплексной закваской бифидобактерий.

Проблема многих растительных напитков заключается и в нестабильности их структуры, предрасположенности их к расслоению. Аналитический обзор показал, что молочнокислые микроорганизмы являются источником получения экзополисахаридов, которые используются в качестве натуральных и безопасных загустителей, эмульгаторов или стабилизаторов для улучшения текстуры пищевых продуктов.

Авторами [13] доказан положительный эффект ферментации молочнокислой закваски с образованием органических кислот и экзополисахаридов, а также установлено, что экзополисахариды влияют на вязкоупругие свойства теста и благотворно влияют на его текстуру и срок хранения. Соответственно, в среде овсяного напитка образующиеся экзополисахариды могут положительно влиять на его структурные характеристики.

Цель исследований — оценка ультразвукового воздействия и введения пребиотика инулин на интенсивность процесса метаболизма комплексной закваски «Бифидо плюс» в растительной среде овсяного напитка.

Материалы и методы исследований / Materials and methods

Исследования проводились на базе научной лаборатории ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)».

В качестве растительной основы был взят напиток овсяный «Овсяша» (ООО «Южная соковая компания», г. Белореченск, Россия). Состав образца: вода питьевая, овсяная мука, рапсовое масло, витаминно-минеральный премикс (витамин D_2 , витамин B_2 (рибофлавин), кальций (трикальций фосфат), кальция карбонат), соль йодированная.

В качестве пробиотической культуры использовали закваску бактериальную «Бифидо плюс» (ТУ 10.89.19-019-27980966-2022, ООО «БакЗдрав», г. Москва), включающую в себя *Streptococcus salivarius ssp. thermophilus*, *Bifidobacterium adolescentis*, *Bifidobacterium bidum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium longum ssp. longum*, *Bifidobacterium longum subsp. infantis*, *Bifidobacterium animalis ssp. lactis*.

Комбинация штаммов *Streptococcus salivarius ssp. thermophilus* отвечает за образование экзополисахаридов, которые играют роль натуральных природных загустителей и стабилизаторов консистенции в технологии

производства кисломолочных продуктов, а также выполняют функции саморегуляторов процессов роста и размножения микроорганизмов. В составе закваски содержатся 6 штаммов бифидобактерий, которые находятся в симбиотическом взаимодействии и многократно усиливают эффективность готового продукта: *Bifidobacterium adolescentis*, *Bifidobacterium bidum* обладают высокой антагонистичностью к ряду патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, включая стафилококки, кишечную палочку, шигеллы, дрожжеподобным грибам; *Bifidobacterium breve* поддерживает функции пищеварительной системы, при производстве пищевого продукта ферментирует олигосахариды и синтезирует уксусную и молочную кислоты, которые способны расщеплять трудноперевариваемые растительные волокна; *Bifidobacterium longum* способствует укреплению иммунитета, проявляет антагонистичность к болезнетворным бактериям; *Bifidobacterium animalis* синтезирует витамины B_1 , B_2 , B_6 , B_{12} , фолиевую кислоту, витамин К, является «поставщиком» незаменимых аминокислот, в том числе триптофана, способствующего биосинтезу серотонина.

Адаптация и интенсивное развитие указанных штаммов молочнокислых бактерий в овсяном напитке будут способствовать его ферментации и выработке полноценного в пищевом отношении продукта, что и определяет актуальность и значимость проводимых исследований.

Ультразвуковая обработка применялась на этапе введения закваски в растительную среду. Для обработки использовали ультразвуковой низкочастотный генератор «Волна-Л» (модель УЗТА-0,63/22-ОЛ) с рабочим элементом погружного типа. Воздействие осуществлялось низкочастотным ультразвуком: частота — $22 \pm 1,65$ кГц, интенсивность — не менее 10 Вт/см². Режим обработки — мощность 325 Вт в течение 3 мин. Для ограничения нагревания среды при УЗ-воздействии емкость с растительным напитком помещалась в водяную баню, при этом температурный интервал воздействия не превышал 35 ± 2 °С, что находится в оптимальном для бифидобактерий.

Инулин (ООО «ФармМикс», г. Нижний Новгород) внесли в количестве 5 г / 150 мл растительного молока. Скваживание осуществлялось согласно рекомендации изготовителя закваски — 3 г / 1 л, температурный интервал — 35–37 °С.

Оценку процесса ферментации осуществляли по накоплению биомассы, количеству пробиотических микроорганизмов, результатам оценки титруемой кислотности, накоплению молочной кислоты, доле экзополисахаридов (ЭПС), вязкости продукта. В качестве способов активизации процесса ферментации использовали УЗ-воздействие и введение пребиотика в сквашиваемую среду.

Накопление молочнокислых бактерий в растительной среде на первом этапе устанавливали с помощью экспресс-теста «Петритест» (НПО «Альтернатива», Россия). Прирост биомассы микроорганизмов оценивали с использованием пробирочного биореактора RTS-1С (изготовитель BioSan, Латвия). Программное обеспечение биореактора BioSan выстраивало графически ферментативную кинетику процесса, основанную на определении интенсивности светорассеяния. В каждой контролируемой точке прибор фиксировал значение прироста биомассы микроорганизмов.

Титруемую кислотность определяли методом нейтрализации кислых солей, белков, свободных кислот и

других кислых соединений раствором щелочи в присутствии индикатора фенолфталеин, активную кислотность — методом измерения разности потенциалов между измерительным электродом и электродом сравнения, погруженными в пробу ферментированного растительного напитка.

Содержание молочной кислоты определяли спектрофотометрически по методике, указанной в патенте 2639245С1², которая заключается в добавлении исследуемого раствора к раствору хлорида железа трехвалентного, взятого в концентрации 0,2%, и последующим измерением оптической плотности полученного раствора при длине волны 390 нм. Количественно концентрация молочной кислоты устанавливалась по калибровочному графику.

Массовую долю ЭПС оценивали модифицированным сернокислотным методом. В основе метода — цветная реакция моносахаридов с фенолом в присутствии концентрированной серной кислоты [14]. Вязкость пробиотических напитков на растительной основе определялась с помощью вибрационного анализатора вязкости SV AND (изготовитель A&D Company, Япония) за счет погружаемого зонда в исследуемую среду.

Определение и подсчет пробиотических микроорганизмов состоят в высеве функциональных пищевых продуктов и ингредиентов, которые могли бы содержать пробиотические микроорганизмы в определенных концентрациях в питательные среды, и их культивировании при оптимальных для роста условиях, а также в последующем определении их культурально-морфологических свойств и подсчете количественного содержания в продукте (по методике ГОСТ Р 56139³). Общая достоверная вероятность результатов исследования — 0,95.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На первом этапе оценки провели экспресс-тест на наличие молочнокислых бактерий в среде растительного напитка.

При внесении в пробирку с жидкостью теста (рис. 1а) исследуемого раствора бактериальный рост способствовал изменению его окраски, в связи с чем результат (рис. 1б) интерпретировался как положительный. Лактобактерии в жидкости присутствовали.

При благоприятном протекании процесса адаптации в растительной среде должно происходить активное накопление биомассы микроорганизмов. Результаты оценки данного показателя (рис. 2, 3) свидетельствуют о влиянии условий развития микроорганизмов на кривую роста бактериальной культуры.

На первой стадии (в лаг-фазе) культура адаптируется к новой среде обитания. Активируются ферментные системы, возрастает количество нуклеиновых кислот, клетка готовится к интенсивному синтезу белков и других соединений. Клетки не размножаются,

Рис. 1. Результаты экспресс-теста образцов пробиотического напитка на наличие в составе молочнокислых бактерий

Fig. 1. Results of a rapid test of probiotic drink samples for the presence of lactic acid bacteria

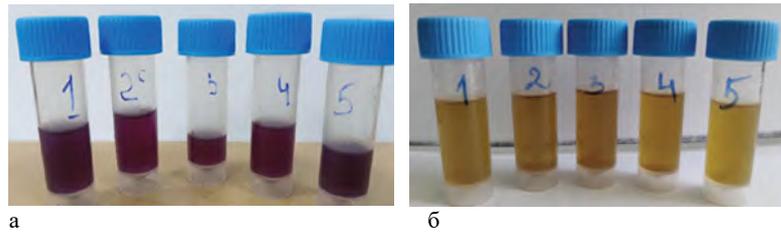
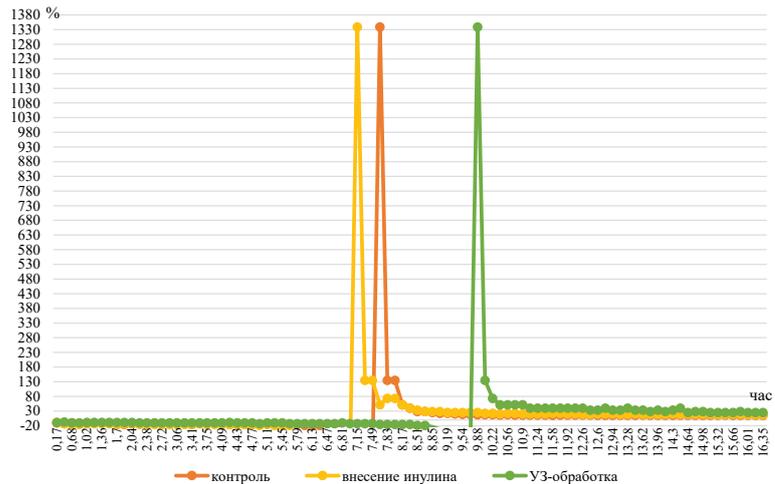


Рис. 2. Временные пределы начала экспоненциальной фазы развития бифидобактерий в растительной среде

Fig. 2. Time limits for the beginning of the exponential phase of development of bifidobacteria in the plant environment



концентрация живых клеток постоянна и равна количеству внесенных клеток.

В длительности лаг-фазы устанавливается разница в зависимости от условий ферментации, внесение инулина способствует ее сокращению на $0,85 \pm 0,05$ ч., воздействие УЗ-обработки увеличивает лаг-фазу на $2,1 \pm 0,2$ ч. Затем во всех образцах наступает непродолжительная фаза ускорения роста. Эта фаза характеризуется началом деления клеток, увеличением общей массы и постоянным увеличением скорости роста культуры.

При выравнивании процессов жизнедеятельности микроорганизмов в стационарной фазе увеличение объемов накопления биомассы в образце пробиотического напитка, подвергнутого УЗ-воздействию, относительно контрольного образца составляет 60–313% на разных временных этапах. Воздействие инулина дает положительную динамику, доля увеличения объемов накопления биомассы в таком образце пробиотического напитка составляет 28–44% относительно контрольного образца (рис. 3).

Данные результаты согласовываются с исследованиями Д.А. Дурникина, М.М. Силантьевой [15], доказывающими возможность интенсификации процесса накопления биомассы бактерий (продуцентов молочной кислоты) обработкой ультразвуком.

Последующая оценка титруемой кислотности пробиотических напитков и содержания в них молочной кислоты позволяет отметить возможность активизации сквашивания растительной среды введением инулина и

² Патент № 2639245С1 РФ МПК (51) G01N 33/00 (2006.01). Способ спектрофотометрического определения молочной кислоты.

³ ГОСТ Р 56139-2014 Продукты пищевые функциональные. Методы определения и подсчета пробиотических микроорганизмов.

Рис. 3. Объемы накопления биомассы в растительной среде при разных условиях

Fig. 3. Volumes of biomass accumulation in the plant environment under different conditions

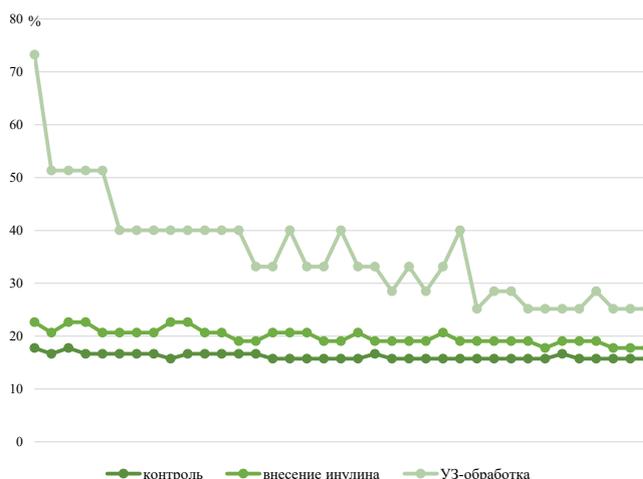
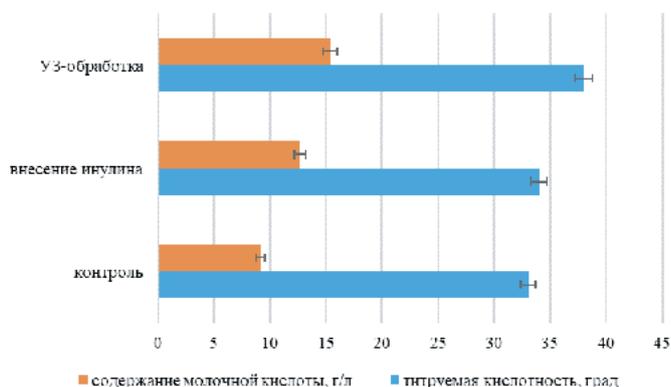


Рис. 4. Результаты оценки титруемой кислотности и содержания молочной кислоты в пробиотических напитках

Fig. 4. Results of assessing titratable acidity and lactic acid content in probiotic drinks



воздействием ультразвука, интенсификация биохимических процессов по титруемой кислотности составляет от 3 до 15%, по накоплению молочной кислоты — от 38,7 до 68%.

Приведенные результаты характеризуют активное развитие комплексной закваски «Бифидо плюс» в растительной среде овсяного напитка.

При определении и подсчете пробиотических микроорганизмов было установлено, что все исследуемые образцы можно отнести к функциональным продуктам с пробиотиками. В связи с тем, что содержание пробиотических микроорганизмов в них находилось в пределах $5,2 \times 10^7$.

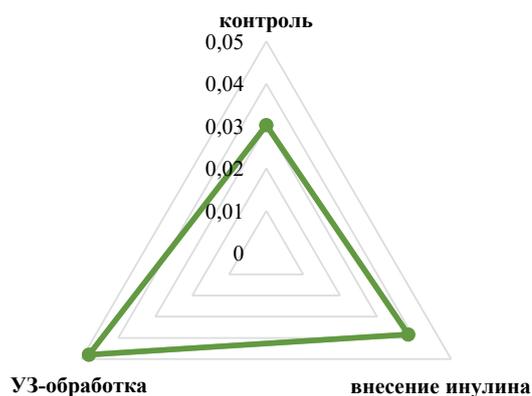
Оценка содержания ЭПС в исследуемых образцах пробиотических напитков также показала зависимость их накопления от дополнительных способов воздействия на штаммы *Streptococcus thermophilus* и *Bifidobacterium* при заквашивании (рис. 5).

Внесение инулина активизирует выработку экзополисахаридов на 27,3%, УЗ-обработка — на 58,8% относительно контрольного образца.

Микроорганизмы синтезируют широкий спектр углеводов, таких как накопительные полимеры (гликогены), расположенные в цитоплазме, или структурные полимеры (гликаны), которые образуют часть микробной оболочки. Микробные полисахариды можно разделить на три категории, состоящие из структурных,

Рис. 5. Результаты оценки доли ЭПС в среде растительного напитка при разных условиях

Fig. 5. Results of assessing the proportion of EPS in the environment of a plant drink under different conditions



внутриклеточных и внеклеточных полисахаридов (также известных как экзополисахариды — ЭПС).

ЭПС представляют собой высокомолекулярные биополимеры, синтезируемые внеклеточно или внутри клеток после секреции во внеклеточную среду без взаимодействия с клеточными мембранами [16]. Исследованиями доказано, что бактериальные ЭПС обладают потенциалом защиты бактериальных клеток от неблагоприятных условий окружающей среды, включая высыхание, осмотический стресс и экстремальный уровень pH. ЭПС могут способствовать колонизации клеток в различных средах посредством адгезии поверхностей, образования биопленки и агрегации клеток. Некоторые штаммы бифидобактерий способны синтезировать и высвобождать ЭПС в окружающую среду. Такие штаммы можно легко обнаружить после прямого микроскопического наблюдения за колониями, растущими на поверхности культуральной среды.

Помимо присущим ЭПС функциональным характеристикам, таким как антиоксидантная, противовоспалительная, иммуномодулирующая, антибактериальная, гипогликемическая, гипотензивная, снижающая уровень холестерина активность и способность способствовать колонизации пробиотиков в кишечнике хозяина [17, 18], полимеры помогают улучшить текстуру, вкус во рту и вязкость ферментированного молока, а также являются эффективными заменителями жира, предотвращая синерезис или отделение сыворотки.

Факт положительного влияния увеличивающегося количества ЭПС в продукте на консистенцию готового продукта подтверждается результатами оценки вязкости образцов. Относительно контрольного образца с вязкостью 3,1 мПа*с обработка ультразвуком сквашиваемой среды увеличивала вязкость на 45,2%, внесение пребиотика инулин — на 25,8%.

В связи с этим активизация выработки ЭПС является положительным фактором развития комплексной закваски «Бифидо плюс» в растительной среде овсяного напитка и может способствовать дальнейшим исследованиям по моделированию процесса их накопления в связи с возможностью таким образом повысить стабильность пробиотических напитков на растительной основе, что в настоящее время очень актуально.

Выводы/Conclusion

Таким образом, результаты исследований подтверждают возможность использования растительного напитка на овсяной основе для ферментации комплексной закваской «Бифидо плюс», включающей в себя штаммы бактерий *Streptococcus salivarius ssp. thermophilus*, *Bifidobacterium adolescentis*, *Bifidobacterium bidum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium longum ssp. longum*, *Bifidobacterium longum subsp. infantis*, *Bifidobacterium animalis ssp. lactis*.

В результате протекающих биотехнологических процессов происходит изменение титруемой кислотности, увеличивается доля молочной кислоты, накапливается биомасса молочнокислых бактерий и ЭПС, что характеризует активную адаптацию молочнокислых бактерий в растительной среде. Стимулирующее действие на

биотехнологические процессы оказывают УЗ-обработка и внесение пребиотика инулин. В частности, внесение инулина сокращает лаг-фазу на $0,85 \pm 0,05$ ч., воздействие УЗ-обработки увеличивает ее на $2,1 \pm 0,2$ ч. При этом увеличение в последующем объемов накопления биомассы в образце пробиотического напитка, подвергнутого УЗ-воздействию, составило 60–313%, воздействию инулина — 28–44%. Введение инулина и воздействие ультразвука активизируют изменение титруемой кислотности на 3–15% (в среднем), накопление молочной кислоты — на 38,7–68%, накопление ЭПС — на 27,3–58,8% относительно контрольного образца.

В связи с этим введение в растительную систему пребиотика инулин и УЗ-обработки в качестве технологического этапа являются способами, перспективными для дальнейших исследований.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 23-26-10063.

FUNDING

The article was financially supported by the grant of the Russian Science Foundation (RNF) 23-26-10063.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Tutelyan V.A., Sukhanov B.P., Kochetkova A.A., Sheveleva S.A., Smirnova E.A. Russian regulations on nutraceuticals, functional foods, and foods for special dietary uses. Bagchi D. (ed.). *Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and around the World*. 3rd Ed. *Academic Press*. 2019; 399–416. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816467-9.00026-5>
- Jan T. *et al.* Diversity, distribution and role of probiotics for human health: Current research and future challenges. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2023; 53: 102889. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102889>
- Patra M. *et al.* A comprehensive review on functional beverages from cereal grains-characterization of nutraceutical potential, processing technologies and product types. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16804. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16804>
- Yu Y. *et al.* Oat milk analogue versus traditional milk: Comprehensive evaluation of scientific evidence for processing techniques and health effects. *Food Chemistry: X*. 2023; 19: 100859. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100859>
- Angelov A., Yaneva-Marinova T., Gotcheva V. Oats as a matrix of choice for developing fermented functional beverages. *Journal of Food Science and Technology*. 2018; 55(7): 2351–2360. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3186-y>
- Srikaeo K. *Biotechnological Tools in the Production of Functional Cereal-Based Beverages*. Grumezescu A.M., Holban A.M. (eds.). *Biotechnological Progress and Beverage Consumption*. Volume 19: *The Science of Beverages*. *Academic Press*. 2020; 149–193. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816678-9.00005-9>
- Kütt M.-L. *et al.* Starter culture growth dynamics and sensory properties of fermented oat drink. *Heliyon*. 2023; 9(5): e15627. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15627>
- Sudesh, Maurya D.K., Jamdar S.N. Gamma-irradiation of inulin improves its biological functionality and feasibility as a functional ingredient in synbiotic food. *Food Chemistry*. 2023; 408: 135217. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135217>
- Kheto A., Bist Y., Awana A., Kaur S., Kumar Y., Sehrawat R. Utilization of inulin as a functional ingredient in food: Processing, physicochemical characteristics, food applications, and future research directions. *Food Chemistry Advances*. 2023; 3: 100443. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100443>
- Songchao Zhou, Wenjuan Chen, Kai Fan. Recent advances in combined ultrasound and microwave treatment for improving food processing efficiency and quality: A review. *Food Bioscience*. 2024; 58: 103683. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103683>
- Ljubić A., Jurić A., Lisak Jakopović K. Utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na fermentaciju mlijeka bifidobakterijama. *Mljekarstvo*. 2015; 65(2): 71–80. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2015.0201>
- Nguyen Thi My Phuc. High intensity ultrasound aided Milk Fermentation by Bifidobacteria. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. *Department of Chemistry, National University of Singapore*. 2011; 191.
- Ferrari M. *et al.* Efficient isolation of membrane-associated exopolysaccharides of four commercial bifidobacterial strains. *Carbohydrate Polymers*. 2022; 278: 118913. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118913>
- Евстигнеев Э.И. Определение полисахаридов в растительном сырье и препаратах лигнина. *Химия растительного сырья*. 2016; (2): 5–11. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2016021179>

REFERENCES

- Tutelyan V.A., Sukhanov B.P., Kochetkova A.A., Sheveleva S.A., Smirnova E.A. Russian regulations on nutraceuticals, functional foods, and foods for special dietary uses. Bagchi D. (ed.). *Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and around the World*. 3rd Ed. *Academic Press*. 2019; 399–416. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816467-9.00026-5>
- Jan T. *et al.* Diversity, distribution and role of probiotics for human health: Current research and future challenges. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2023; 53: 102889. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102889>
- Patra M. *et al.* A comprehensive review on functional beverages from cereal grains-characterization of nutraceutical potential, processing technologies and product types. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16804. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16804>
- Yu Y. *et al.* Oat milk analogue versus traditional milk: Comprehensive evaluation of scientific evidence for processing techniques and health effects. *Food Chemistry: X*. 2023; 19: 100859. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100859>
- Angelov A., Yaneva-Marinova T., Gotcheva V. Oats as a matrix of choice for developing fermented functional beverages. *Journal of Food Science and Technology*. 2018; 55(7): 2351–2360. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3186-y>
- Srikaeo K. *Biotechnological Tools in the Production of Functional Cereal-Based Beverages*. Grumezescu A.M., Holban A.M. (eds.). *Biotechnological Progress and Beverage Consumption*. Volume 19: *The Science of Beverages*. *Academic Press*. 2020; 149–193. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816678-9.00005-9>
- Kütt M.-L. *et al.* Starter culture growth dynamics and sensory properties of fermented oat drink. *Heliyon*. 2023; 9(5): e15627. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15627>
- Sudesh, Maurya D.K., Jamdar S.N. Gamma-irradiation of inulin improves its biological functionality and feasibility as a functional ingredient in synbiotic food. *Food Chemistry*. 2023; 408: 135217. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135217>
- Kheto A., Bist Y., Awana A., Kaur S., Kumar Y., Sehrawat R. Utilization of inulin as a functional ingredient in food: Processing, physicochemical characteristics, food applications, and future research directions. *Food Chemistry Advances*. 2023; 3: 100443. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100443>
- Songchao Zhou, Wenjuan Chen, Kai Fan. Recent advances in combined ultrasound and microwave treatment for improving food processing efficiency and quality: A review. *Food Bioscience*. 2024; 58: 103683. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103683>
- Ljubić A., Jurić A., Lisak Jakopović K. Effect of high intensity ultrasound on the milk fermentation by bifidobacteria. *Mljekarstvo*. 2015; 65(2): 71–80 (in Croatian). <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2015.0201>
- Nguyen Thi My Phuc. High intensity ultrasound aided Milk Fermentation by Bifidobacteria. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. *Department of Chemistry, National University of Singapore*. 2011; 191.
- Ferrari M. *et al.* Efficient isolation of membrane-associated exopolysaccharides of four commercial bifidobacterial strains. *Carbohydrate Polymers*. 2022; 278: 118913. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118913>
- Evstigneev E.I. Quantification of polysaccharides in vegetable raw materials and lignin preparations. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2016; (2): 5–11 (in Russian). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2016021179>

15. Дурникин Д.А., Силантьева М.М., Ерещенко О.В. Стимуляция ультразвуком накопления биомассы молочнокислых и пропионовокислых бактерий при глубинном культивировании. *Биологический вестник МДПУ имени Богдана Хмельницкого*. 2016; 6(2): 287–293. <https://doi.org/10.15421/201659>

16. Chen Z., Ni D., Zhang W., Stressler T., Mu W. Lactic acid bacteria-derived α -glucans: From enzymatic synthesis to miscellaneous applications. *Biotechnology Advances*. 2021; 47: 107708. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107708>

17. Zhang J., Xiao Y., Wang H., Zhang H., Chen W., Lu W. Lactic acid bacteria-derived exopolysaccharide: Formation, immunomodulatory ability, health effects, and structure-function relationship. *Microbiological Research*. 2023; 274: 127432. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127432>

18. Amiri S., Mokarram R.R., Khiabani M.S., Bari M.R., Khaledabad M.A. Exopolysaccharides production by *Lactobacillus acidophilus* LA5 and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB12: Optimization of fermentation variables and characterization of structure and bioactivities. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019; 123: 752–765. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.084>

ОБ АВТОРАХ

Наталья Викторовна Попова

кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий

nvpopova@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4309-891X>

Ксения Сергеевна Каменева

сотрудник управления научной и инновационной деятельности

ksyushenka.kameneva@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0001-8705-3222>

Андрей Константинович Васильев

сотрудник управления научной и инновационной деятельности

mbz2018vak72@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8481-7656>

Южно-Уральский государственный университет,
пр-т Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

15. Durnikin D.A., Silantyeva M.M., Ereshchenko O.V. Ultrasound-enhanced cell production of lactic and propionic acid bacteria under submerged cultivation for industrial purposes. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelniitskiy Melitopol State Pedagogical University*. 2016; 6(2): 287–293 (in Russian). <https://doi.org/10.15421/201659>

16. Chen Z., Ni D., Zhang W., Stressler T., Mu W. Lactic acid bacteria-derived α -glucans: From enzymatic synthesis to miscellaneous applications. *Biotechnology Advances*. 2021; 47: 107708. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107708>

17. Zhang J., Xiao Y., Wang H., Zhang H., Chen W., Lu W. Lactic acid bacteria-derived exopolysaccharide: Formation, immunomodulatory ability, health effects, and structure-function relationship. *Microbiological Research*. 2023; 274: 127432. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127432>

18. Amiri S., Mokarram R.R., Khiabani M.S., Bari M.R., Khaledabad M.A. Exopolysaccharides production by *Lactobacillus acidophilus* LA5 and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB12: Optimization of fermentation variables and characterization of structure and bioactivities. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019; 123: 752–765. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.084>

ABOUT THE AUTHORS

Natalia Viktorovna Popova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology

nvpopova@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4309-891X>

Ksenia Sergeevna Kameneva

Employee of the Department of Scientific and Innovation Activities

ksyushenka.kameneva@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0001-8705-3222>

Andrey Konstantinovich Vasiliev

Employee of the Department of Scientific and Innovative Activities

mbz2018vak72@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8481-7656>

South Ural State University,
76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia



Подпишитесь на Telegram канал ИД «Аграрная наука»



Ежедневно вы будете получать свежие новости АПК и сельского хозяйства, анонсы отраслевых событий, знакомиться с результатами научных исследований, репортажами и интервью.



Оформите подписку на информационные e-mail рассылки



Дважды в неделю на ваш e-mail ящик будут приходить уведомления о топовых событиях АПК, аналитика, прогнозы, приглашения на выставки и конференции.

При желании через наши рассылки вы можете познакомиться со своими товарами и услугами потенциальных клиентов.

Связаться с редакцией:
Тел. +7 (495) 777 67 67
(доб. 1453)
agrovetpress@inbox.ru

Новости из ЦНСХБ

Обзор подготовлен Тимофеевской С. А.

Чусь, Р. В. Пробиотическая добавка Галлобакт-Ф: технология получения и эффективность применения в свиноводстве : монография / Р. В. Чусь, А. Г. Кощаев, В. В. Шкредов. — Краснодар: КубГАУ, 2022. — 185 с. Шифр ЦНСХБ 24-1453.

Монография посвящена актуальным вопросам применения пробиотиков при выращивании поросят. Дана краткая характеристика свиноводства, проблемы отрасли и пути их решения. Приведены классификация пробиотиков и обзор литературных данных о влиянии пробиотиков на продуктивность свиней. Описана разработка технологии получения пробиотической добавки Галлобакт-Ф: подбор штаммов молочнокислых бактерий, изучены их культурально-морфологические свойства, технологический процесс производства добавки и оценка ее токсичности на мышах. Представлены результаты применения добавки Галлобакт-Ф при выращивании поросят-отъемышей. Установлены оптимальные дозы и режим применения кормовой добавки для молодняка на доращивании. Изучены динамика живой массы, расход корма в расчете на 1 голову в сутки, затраты корма на 1 кг прироста живой массы, экстерьер, промеры и индексы телосложения поросят-отъемышей. Проанализированы морфологические и биохимические показатели крови. Рассчитана экономическая эффективность применения различных доз кормовой добавки пороссятам в период доращивания. Проведена производственная проверка применения добавки Галлобакт-Ф на поголовье месячных поросят-отъемышей трехпородного гибрида ландрас х йоркшир х дюрок. Книга содержит 6 иллюстраций, 25 таблиц и список использованной отечественной и иностранной литературы из 278 источников. Предназначена для научных сотрудников, преподавателей вузов, специалистов свиноводческих хозяйств, аспирантов, студентов.

Рациональное использование генетических ресурсов сельскохозяйственных животных и птицы в условиях Нижнего Поволжья : монография / И. Ф. Горлов, О. А. Княжеченко, Е. Ю. Анисимова [и др.]. — Волгоград: ООО «СФЕРА», 2023. — 221 с. Шифр ЦНСХБ 24-1507.

В монографии описаны и сформулированы принципы, методы и алгоритмы повышения продуктивности животных и птицы и качественные характеристики продукции, получаемой в агроэкологических условиях юга России. Предложены новые подходы по рациональному использованию генетического потенциала региональных породных ресурсов, оптимизации кормопроизводства, адресных кормовых добавок, премиксов и минерально-витаминных комплексов. Изучена эффективность производства говядины в условиях Нижнего Поволжья с использованием скота калмыцкой породы и ее помесей с симментальской, герефордской и казахской белоголовой породами. Испытана комплексная минерально-витаминная кормовая добавка в рационах откармливаемых бычков черно-пестрой породы. Приведены результаты использования новой пребиотической

кормовой добавки «Хлорелакт» при откорме свиней, а также добавки «Ди-лактацин-Я» на основе органических кислот и полисахаридов при выращивании цыплят-бройлеров. Обоснована эффективность использования нута в сочетании с инновационными кормовыми добавками в рационах ремонтного молодняка и родительского стада яичных кур. Исследовано влияние использования лактулозосодержащих кормовых добавок и льняного шрота на яичную продуктивность и антиоксидантный статус кур-несушек. Разработаны принципы проектирования рациональных рецептур продуктов питания с заданной пищевой и биологической ценностью. Приведены результаты исследований по совершенствованию технологии рубленых мясных полуфабрикатов из мяса птицы при использовании продуктов комплексной переработки жиров. Оптимизировано производство варено-копченых ветчин из мяса птицы с добавлением нетрадиционного растительного сырья. Изучено влияние использования лактулозосодержащих пребиотических кормовых добавок в рационе коз зааненской породы на качество молока и произведенных из него молочных продуктов. Разработаны новые технологические решения для производства мясных рубленых полуфабрикатов из сырья животного и растительного происхождения с заданными качествами. Книга содержит 21 иллюстрацию, 106 таблиц и список использованной отечественной и иностранной литературы из 51 источника. Предназначена для научных работников, преподавателей профильных вузов, аспирантов, студентов, руководителей и специалистов сельскохозяйственных организаций и перерабатывающих предприятий, слушателей курсов повышения квалификации.

Алейник, С. Н. Эффективность использования различных кормовых добавок в рационах свиней : монография / С. Н. Алейник, Г. С. Походня, А. В. Косов. — Белгород: Изд-во ИПЦ «Политерра», 2023. — 504 с. Шифр ЦНСХБ 24-1570.

В монографии обобщены литературные данные и результаты собственных опытов по использованию в рационах свиней различных кормовых добавок (пророщенное зерно, древесный уголь, суспензия хлореллы, препарат «Мивал-Зоо», добавки «ГидроЛактиВ» и «Элевит») с целью интенсификации воспроизводства стада, выращивания и откорма животных. Приведены биологические особенности свиней, причины рождения поросят с низкой живой массой, описаны основные корма, используемые в рационах свиней, а также способы подготовки кормов к скармливанию. Изучено влияние скармливания пророщенного зерна ячменя свиноматкам за 30 суток до опороса и в течение 30 суток после опороса на их продуктивность. Приведены результаты использования пророщенного зерна ячменя, пшеницы и гороха в рационах поросят-сосунов и пророщенного зерна ячменя в рационах откармливаемых подсосунк. Изучено влияние кормовых добавок древесного угля на продуктивность свиноматок и свиней на откорме. Приведены результаты опытов и производственной провер-

ки использования препарата «Мивал-Зоо» в рационах хряков-производителей, свиноматок и откормочных свиней. Показано положительное действие кормовых добавок суспензии хлореллы на половую функцию хряков, свиноматок и ремонтных свинок, а также влияние скармливания хлореллы на рост поросят, мясную продуктивность и качество мяса свиней на откорме. Изучено влияние на продуктивность и рассчитана экономическая эффективность использования кормовой добавки на основе молочной сыворотки «ГидроЛактив» в рационах различных производственных групп свиней. Дана зоотехническая и экономическая оценка применения кормовой добавки «Элевит» в рационах свиноматок. Книга содержит 14 иллюстраций, 274 таблицы и список использованной отечественной литературы из 366 источников. Предназначена для научных работников, аспирантов, специалистов сельскохозяйственного производства, преподавателей и студентов сельскохозяйственных высших учебных заведений.

Рощин, В.А. Энерго-аминокислотное питание молодняка свиней : монография / В. А. Рощин; РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству». — Жодино, 2022. — 190 с. Шифр ЦНСХБ 24-2020.

Монография посвящена современным принципам нормирования количества обменной энергии и незаменимых аминокислот в комбикормах для растущего и откармливаемого молодняка свиней с высокой генетически обусловленной мясной продуктивностью. Представлены результаты научной работы по изучению зависимости уровня обменной энергии комбикормов и их аминокислотной сбалансированности с учетом региональных особенностей кормопроизводства. Представ-

лены литературные данные по зоотехнической оценке энергетического и аминокислотного питания свиней. Рассмотрены источники энергии в рационах и физиологическая роль аминокислот в организме свиней. Уделено внимание концепции «идеального протеина». Рассмотрены пути повышения конверсии корма в продукцию свиноводства. Предложен новый алгоритм расчета количества обменной энергии в кормах. Установлена питательная ценность и содержание незаменимых аминокислот в зерне гороха, вики и узколистного люпина сортов белорусской селекции. Определены оптимальные нормы ввода в рационы и оценена эффективность скармливания молодняку свиней комбикормов с включением зерна зернобобовых культур, прошедших различные виды влаготепловой обработки. Апробирован механизм снижения затрат сырого протеина в рационах молодняка свиней за счет физиологически обоснованной оптимизации количества и усвояемости потребляемых незаменимых аминокислот. Установлены возрастные особенности потребления и использования подсвинками обменной энергии и аминокислот. Выявлены породные различия в потреблении и использовании отдельных питательных веществ кормов. Разработаны наиболее эффективные уровни содержания обменной энергии в комбикормах для молодняка свиней и ее отношение к лизину. Книга содержит 2 иллюстрации, 99 таблиц и список использованной отечественной и иностранной литературы из 516 источников. Предназначена для научных сотрудников, руководителей и специалистов областных и районных комитетов по сельскому хозяйству и продовольствию, работников сельскохозяйственных предприятий, преподавателей и студентов аграрных учреждений образования.

Подпишитесь на печатные выпуски «АГРАРНОЙ НАУКИ» с любого месяца и на любой срок

» В РЕДАКЦИИ по тел. +7 (495) 777 67 67, доб. 1453, по e-mail agrovetpress@inbox.ru

» В АГЕНТСТВЕ ПОДПИСКИ ООО «Урал-Пресс Округ» <https://www.ural-press.ru/catalog/>



» БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ на отраслевом портале <https://agrarnayanauka.ru>



» ПОДПИСКА НА АРХИВНЫЕ НОМЕРА И ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru



Agros 2025 expo

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ АПК

Птицеводство | Свиноводство | Корма | Ветеринария
Молочное и мясное животноводство | Племенное дело
Полевое кормопроизводство | Кормозаготовка
Комбикормовая промышленность | Хранение зерна

22-24 ЯНВАРЯ | МОСКВА | КРОКУС ЭКСПО

ВЕДУЩИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И МИРОВЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ И ПОСТАВЩИКИ:

- ТЕХНИКА, ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ
- СОВРЕМЕННАЯ ГЕНЕТИКА
- КОРМА, КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ, ПРЕМИКСЫ
- ВЕТЕРИНАРНЫЕ ПРЕПАРАТЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

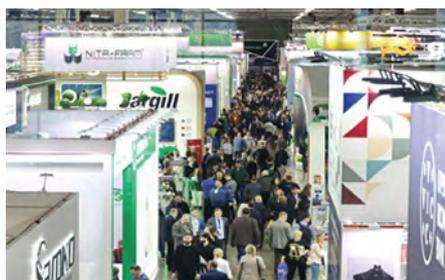
НАСЫЩЕННАЯ ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА – СВЫШЕ 350 СПИКЕРОВ:

- БОЛЕЕ 60 КОНФЕРЕНЦИЙ, СЕМИНАРОВ, КРУГЛЫХ СТОЛОВ
- ВСЕГДА АКТУАЛЬНЫЙ, ПОЛЕЗНЫЙ КОНТЕНТ БЕЗ РЕКЛАМЫ
- ВСЕРОССИЙСКИЕ СЪЕЗДЫ И СОВЕЩАНИЯ
- ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ФОРУМ ФЕРМЕРОВ – ЗИМНЯЯ ТОЧКА ПРИТЯЖЕНИЯ ФЕРМЕРСКОГО СООБЩЕСТВА

НОВОЕ
В 2025г.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ
МЯСОПЕРЕРАБОТКИ

МУКОМОЛЬНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ



«Выставка Агрос - №1 в животноводстве в России и, самое главное, она сделана для специалистов, представителей отрасли, аналитиков и экспертов»

Алексей Гордеев, заместитель Председателя Государственной Думы Федерального Собрания РФ

СОВМЕСТНО С

PotatoHorti
2025 agritechexpo

800+ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОСТАВЩИКОВ
21 000+ ПОСЕТИТЕЛЕЙ
80+ МЕРОПРИЯТИЙ ПРОГРАММЫ
600+ ЭКСПЕРТОВ



AGROS-EXPO.COM

Больше информации об участии в наших выставках:

Тел./WhatsApp: +7 (495) 128 29 59

E-Mail: agros@agros-expo.com

Организатор: ООО «Агрос Экспо Групп»



САМАЯ
АКТУАЛЬНАЯ
ИНФОРМАЦИЯ
О ВЫСТАВКЕ

Защита растений —
наша профессия!



8 800 700-90-36
shans-group.com

Официальное
приложение
ГК «Шанс»

