

научно-теоретический и производственный журнал

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN
SCIENCE

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

4
2024



БЕСПЛАТНО
скачать журнал
и подписаться



Подпишитесь
на наш
Telegram канал!



ТЕНДЕНЦИИ

Россия наращивает объемы
производства продукции
аквакультуры

11

ВЕТЕРИНАРИЯ

Активность трипсина
в дуоденальном содержимом
цыплят-бройлеров как показатель
адаптации к составу рациона

44

АГРОНОМИЯ

Особенности применения
способов обработки почвы
при возделывании сои
в лесостепной зоне

70

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

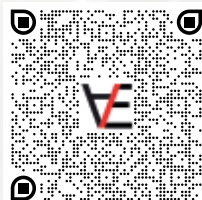
350 ведущих
компаний
отрасли

300 экспертов-
практиков

10 000 целевой
аудитории

**Комьюнити гарантов
продовольственной безопасности –
стань одним из нас!**

**АЗИЯЭКСПО –
открываем мир возможностей!**



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



4 · 2024

Agrarnaya nauka

Том 381, номер 4, 2024

Volume 381, number 4, 2024

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

© 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 Нерозник Д.С.
Журналист Седова Ю.Г.
Менеджер по работе с клиентами Теплова А.С.

Юридический адрес: 107053, РФ, г. Москва, ул. Садовая-Спасская, 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 экземпляров.

Подписано в печать 19.04.2024

Дата выхода в свет 26.04.2024

Отпечатано в типографии ООО «Объединенный полиграфический комплекс»:

115114, г. Москва, Дербеневская наб.,

д. 7, стр. 2, эт. 2, пом. I, к. 3-4.

Тел. +7 (499) 130-60-19,

info@opk.bz, <https://opk.bz>

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

Ежемесячный научно-теоретический и производственный журнал выходит один раз в месяц.

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-Спасская, 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.

16+

Толуприя 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.

Щербаков 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.

Джурраев 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 биологических 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. Махомудалли, 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.

Козыменко 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.

4 · 2024

Agrarnaya nauka

Том 381, номер 4, 2024
Volume 381, number 4, 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 19.04.2024
Release date 26.04.2024

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

16+

АГРАРНАЯ НАУКА AGRARIAN 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.

Abilov 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.

Ansori 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.

Pozyabin 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.

Rebezov 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, Ural'sk, 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, ТRENДЫ, НОВИНКИ	
3 вопроса эксперту. Особенности питания зерновых культур в весенний период	9
Герман Зверев: «Треть общероссийского вылова составляет минтай»	10
Россия наращивает объемы производства продукции аквакультуры	11
В Новосибирской области для сельхозтоваропроизводителей предусмотрено более 50 видов господдержки	12
Экологичность и безопасность: дезинфекция воды на птицефабриках помогает сохранить поголовье и сберечь оборудование	14
Россия наращивает объемы производства рыбной муки	16
Российские сельхозпроизводители с 2021 по 2023 год получили порядка 14,4 млрд рублей страховых выплат	18
Вауер на защите качества	21
Путь к продолжительному хранению плодов	22
ВЕТЕРИНАРИЯ	
Коновалова Г.В., Ковешникова Е.И., Каганова М.М., Никольская Е.Д., Яббаров Н.Г., Курочкина К.Г. Антипролиферативная активность <i>in vitro</i> экстрактов личинок <i>Trichinella spiralis</i> в зависимости от стадии инвазии после экспериментального заражения крыс	24
Симурзина Е.П., Караулов Р.С., Лузова А.В., Боронин В.В., Обухова А.В., Семёнов В.Г. Применение противовоспалительных и иммуностропных средств при декорнуации молочных телят	29
Новгородова И.П. Методы определения концентрации кортизола у животных	35
Сергеенкова Н.А., Вертипрахов В.Г., Шитикова А.В. Активность трипсина в дуоденальном содержимом цыплят-бройлеров как показатель адаптации к составу рациона	44
Никитин Д.А., Семёнов В.Г., Косев Н.И., Юлдашев А.А., Касьянов А.А. Эпизоотологическое состояние водоемов Приволжского федерального округа по инвазионным заболеваниям	49
ЗООТЕХНИКА	
Гречкина В.В., Шейда Е.В., Кван О.В. Механизм взаимодействия организма животных с микробиотой желудочно-кишечного тракта (обзор)	54
Галглов А.Ч., Шугорова М.С. Мясная продуктивность баранчиков при использовании экспериментальной комплексной витаминно-минеральной добавки	59
Маликова М.Г., Сабитов М.Т., Тягичев Ш.А., Искужина Р.С. Продуктивность ярок романовской породы при использовании в рационах комплексной минерально-витаминной кормовой добавки	65
АГРОНОМИЯ	
Нафиков М.М., Смирнов С.Г., Краснов А.В., Шашкаров Л.Г. Особенности применения способов обработки почвы при возделывании сои в лесостепной зоне	70
Левакова О.В., Гладышева О.В., Ерошенко Л.М. Хозяйственно ценные показатели ячменя Любояр	75
Тойгильдин А.Л., Хайртдинова Н.А., Тойгильдина И.А., Сыромятников В.В., Аюпов Д.Э. Прогноз вредоносности видов щетинника в агрофитоценозах с яровым ячменем	80
Шпанев А.М. Вредоносность сорной растительности в травостое многолетних трав на северо-западе РФ	85
Галактионова Л.В., Сизенцов А.Н., Терехова Н.А., Федорова Д.Г. Оценка влияния органических удобрений на ростовые и биохимические параметры <i>Lepidium sativum</i> и <i>Raphanus sativus</i>	89
Кожемяков А.П., Минин В.Б., Лактионов Ю.В., Мельников С.П., Захаров А.М. Особенности воздействия микробиологического препарата «Флавобактерин» на урожайность и качество клубней картофеля сорта Удача	94
Пухальский Я.В., Лоскутов С.И., Сидорова В.Р., Якубовская А.И., Мещеряков Д.Д., Каменева И.А. Использование гермикомпоста <i>Hermetia illucens</i> в технологии выращивания микрозелени бобовых культур	101
Гречушкина-Сухорукова Л.А. Перспективные декоративные злаки и осоки в интродукционной коллекции Ставропольского ботанического сада	108
АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Павкин Д.Ю., Базаев С.О., Комков И.В. Обзор исследований и технологий, применимых для цифровизации процесса оценки экстерьера животных в мясном и молочном животноводстве	114
Воронов Е.В., Новикова Г.В., Зайцев П.В., Михайлова О.В., Просвирыкова М.В. Сравнительный анализ установок для термообработки непищевого мякотного сырья воздействием электрофизических факторов	123
Улитина Е.А., Валиева Ш.С., Тихонов С.Л., Тихонова Н.В. Новый антимикробный пищевой пептид: характеристика, свойства и оценка эффективности	132
Гелазов Р.Х., Яковченко Н.В., Баязитов К.Р., Ширяев В.А. Перспективы применения пробиотических микроорганизмов при производстве ферментированных продуктов на гречневой основе	138
Науменко Н.В., Чаплина А.А., Сысоева П.В., Фаткуллин Р.И., Науменко Е.Е., Калинина И.В. Влияние нетрадиционного сырья на реологические показатели теста и качество хлебобулочных изделий	146
Блинов А.В., Рехман З.А., Голик А.Б., Гвозденко А.А., Нагдалян А.А., Ребезов М.Б. Инновационная форма эссенциального микроэлемента меди для обогащения молочной продукции	153
Новости из ЦНСХБ	160



CONTENTS

NEWS 8

INDUSTRY EVENTS, TRENDS, NOVELTIES

3 questions to the expert. Peculiarities of nutrition of grain crops in the spring	9	
German Zverev: "A third of the all-Russian catch is pollock"	10	
Russia is increasing its aquaculture production volumes	11	
In the Novosibirsk region, more than 50 types of state support are provided for agricultural producers	12	
Environmental friendliness and safety: water disinfection at poultry farms helps preserve livestock and equipment	14	
Russia increases fishmeal production volumes	16	
Russian agricultural producers received about 14.4 billion rubles in insurance payments from 2021 to 2023	18	
Bayer protects quality	21	
The path to long-term storage of fruits	22	

VETERINARY MEDICINE

Konovalova G.V., Koveshnikova E.I., Kaganova M.M., Nikolskaya E.D., Yabbarov N.G., Kurochkin K.G. Antiproliferative activity <i>in vitro</i> of extracts of <i>Trichinella spiralis</i> larvae depending on the stage of invasion after experimental infection of rats	24
Simurzina E.P., Karaulov R.S., Luzova A.V., Boronin V.V., Obukhova A.V., Semenov V.G. The use of anti-inflammatory and immunotropic preparations in the dehorning of dairy calves.	29
Novgorodova I.P. Methods for determining cortisol concentrations in animals	35
Sergeenkov N.A., Vertiprakhov V.G., Shitikova A.V. Trypsin activity in duodenal contents of broiler chickens as an indicator of adaptation to diet composition.	44
Nikitin D.A., Semenov V.G., Kosyayev N.I., Yuldashev A.A., Kasyanov A.A. Epizootological condition of reservoirs of the Volga Federal District for invasive diseases	49

ZOOTECHNICS

Grechkin V.V., Sheida E.V., Kvan O.V. The mechanism of interaction of the animal's body with the microbiota of the gastrointestinal tract (review).	54
Gagloev A.Ch., Shugoreva M.S. Meat productivity of lambs when using an experimental complex vitamin-mineral additive.	59
Malikova M.G., Sabitov M.T., Tyatigachev S.A., Iskuzhina R.S. Productivity of the ewe's lambs Romanov breed when using a complex of mineral and vitamin supplements in diets.	65

AGRONOMY

Nafikov M.M., Smirnov S.G., Krasnov A.V., Shashkarov L.G. Features of the application of methods of tillage in the cultivation of soybeans in the forest-steppe zone.	70
Levakova O.V., Gladysheva O.V., Eroshenko L.M. Economically valuable indicators of Lyuboyar barley	75
Toigildin A.L., Khairtdinova N.A., Toigildina I.A., Syromyatnikov V.V., Ayupov D.E. Prediction of the harmfulness of bristle species in agrophytocenoses with spring barley.	80
Shpanev A.M. The harmfulness of weeds in the herbage of perennial grasses in the north-west of the Russian Federation.	85
Galaktionova L.V., Sizentsov A.N., Terekhova N.A., Fedorova D.G. Assessment of the effect of organic fertilizers on growth and biochemical parameters of <i>Lepidium sativum</i> and <i>Raphanus sativus</i>	89
Kozhemyakov A.P., Minin V.B., Laktionov Yu.V., Melnikov S.P., Zakharov A.M. Features of the microbial biological Flavobacterin impact on the yield and quality of potato tubers of the Udacha variety.	94
Puhalsky J.V., Loskutov S.I., Sidorova V.R., Yakubovskaya A.I., Meshcheryakov D.D., Kameneva I.A. The use of <i>Hermetia illucens</i> hermicompost in the technology of growing legume microgreens.	101
Grechushkina-Sukhorukova L.A. Promising ornamental grasses and sedges in the introduction collection of the Stavropol Botanical Garden.	108

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Yurochka S.S., Khakimov A.R., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O., Kornkov I.V. Review of researches and technologies applicable to digitalization of the process of assessing the exterior of meat and dairy animals	114
Voronov E.V., Novikova G.V., Zaitsev P.V., Mikhailova O.V., Prosviryakova M.V. Comparative analysis of installations for heat treatment of non-food pulp raw materials by the influence of electrophysical factors	123
Ulitin E.A., Valieva S.S., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. A new antimicrobial food peptide: characteristics, properties and effectiveness assessment.	132
Gelazov R.K., Iakovchenko N.V., Bayazitov K.R., Shiriaev V.A. Prospects for the use of probiotic microorganisms in the production of fermented buckwheat-based products. ...	138
Naumenko N.V., Chaplina A.A., Sysoeva P.V., Fatkullin R.I., Naumenko E.E., Kalinina I.V. Influence of non-traditional raw materials on rheological parameters of dough and quality of bakery products	146
Blinov A.V., Rehman Z.A., Golik A.B., Gvozdenko A.A., Nagdalian A.A., Rebezov M.B. An innovative form of the essential trace element copper for fortification of dairy products	153
News from CSAL	160



РОССИЙСКОЕ ПРАВИТЕЛЬСТВО ВЫДЕЛИТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА НА УВЕЛИЧЕНИЕ ЗАПАСОВ ЗЕРНА В ИНТЕРВЕНЦИОННОМ ФОНДЕ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

Правительство России дополнительно выделяет 7 млрд руб. на увеличение запасов зерна в интервенционном фонде сельхозпродукции, сообщил на заседании кабмина премьер-министр РФ Михаил Мишустин.

Как отметил премьер-министр, для сохранения рентабельности хозяйств используется целый комплекс мер — от предоставления субсидий аграриям, выращивающим зерновые культуры, до увеличения запасов зерна в федеральном интервенционном фонде сельхозпродукции. По его словам, выделение дополнительных средств для таких закупок позволит стабилизировать цены на агросырье в России, снизив возможные риски для потребителей и переработчиков, включая пекарную и мукомольную промышленность, и будет способствовать обеспечению продовольственной безопасности.

(Источник: ТАСС)



ПРОФИЛАКТИРОВАТЬ МАСТИТ КОРОВ ПОМОЖЕТ РАЗРАБОТКА ЧУВАШСКИХ УЧЕНЫХ

Учеными Чувашского ГАУ запатентован способ получения препарата для повышения неспецифической резистентности организма и профилактики мастита коров, сообщили в университете.

Данный способ позволит получить средство, стимулирующее защитные силы организма и обладающее бактерицидной активностью против возбудителей мастита, отметили в вузе. Разработка ученых представляет собой водную суспензию, содержащую полисахаридный комплекс дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae*, иммобилизованных в агаровом геле с добавлением вспомогательных компонентов. Разработчики отметили, что стремительное развитие животноводства зачастую приводит к снижению естественной резистентности организма КРС, в этой связи коровы с высокой молочной продуктивностью наиболее подвержены различным воспалительным процессам, в том числе маститам, при которых поражается не только молочная железа, а животное в целом. Поэтому, по мнению ученых, наиболее приемлема комплексная терапия, направленная прежде всего на активизацию клеточных и гуморальных факторов неспецифической резистентности организма.



НА АКВАПОНИКЕ РАСТЕНИЯ РАСТУТ БЫСТРЕЕ

В ЮНЦ РАН исследуются возможности совместного выращивания в аквапонной системе растений и рыб, сообщает официальный телеграм-канал Российской академии наук.

Как уточняется в сообщении, в аквариальном комплексе Южного научного центра РАН (г. Ростов-на-Дону) проходит серия экспериментов по выращиванию спатифиллума Уоллиса — многолетнего растения рода спатифиллум семейства ароидных в условиях аквапонной системы, позволяющей совмещать процессы выращивания растений и рыб.

На данный момент установлено, что на аквапонике растения росли быстрее по сравнению с традиционным почвенным выращиванием. Также улучшилось качество их цветения.

РЕКЛАМА

helicon

Оснащение диагностических лабораторий «под ключ»

- Диагностика фитопатогенов методом ПЦР и ИФА
- Паспортизация растений и выявление ГМО
- Микрклональное размножение растений
- Генотипирование и геномная селекция



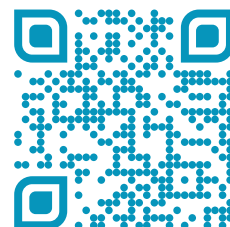
helicon

Единый телефон

8 800 770 71 21

бесплатный звонок по России

ООО «Компания Хеликон», г. Москва,
Новомещерский проезд, д. 9, стр. 1
Адрес центрального отдела продаж
в г. Москве: Кутузовский проспект, д. 88



ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД



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 — об особенностях питания зерновых культур в весенний период.



1 На что следует обратить внимание при проведении весенних подкормок зерновых культур?

Различные сорта озимой пшеницы достигают урожайности благодаря разным факторам. Некоторые из них формируют урожай за счет плотного стеблестоя, в то время как другие — за счет мощного, хорошо озерненного колоса. При планировании и проведении весенних подкормок озимой пшеницы необходимо учитывать особенности каждого сорта.

Основоположник советской агрохимии академик Дмитрий Николаевич Прянишников выразил мнение о том, что избытком удобрений нельзя заменить недостаток знаний. В современных условиях экономической неопределенности избыток удобрений редко становится проблемой, однако недостаток знаний может привести к серьезным финансовым потерям, учитывая падение рентабельности производства пшеницы. Тем не менее экономия на удобрениях не является правильным подходом, поскольку их рациональное использование может значительно увеличить урожай.

2 Расскажите об оптимальных фазах для внесения азотных удобрений.

Весенние подкормки озимой пшеницы можно разделить на три этапа: подкормка на мерзлотовой почве при возобновлении вегетации, которая способствует развитию биомассы и увеличению количества побегов кушения; подкормка в фазу начала выхода в трубку, которая оказывает влияние на урожайность и качество зерна, способствует формированию крупного озерненного колоса и предотвращает сброс слабых побегов; листовая подкормка в фазу колошения и налива зерна, которая влияет только на качество пшеницы, повышая содержание белка в зерне.

3 Какие формы азотных удобрений лучше использовать?

Существуют разные виды азотных удобрений, сроки и способы их внесения.



Для подкормки по мерзлотовой почве — нитратные формы (такие, как аммиачная селитра), для подкормки прикорневым способом — нитратные (аммиачная селитра), аммонийные (сульфат аммония), КАС; для подкормки внекорневым способом — карбамид (мочевина), КАС.

При выборе удобрений для озимой пшеницы важно учитывать форму азота. Существуют нитратная (NO_3), аммонийная (NH_4) и амидная (NH_2) формы азота. Скорость их усвоения зависит от формы. Нитратная форма (NO_3) поступает в растение быстрее всего, поэтому первую подкормку обычно проводят удобрением, содержащим максимальное количество нитратного азота, таким как аммиачная селитра. Это эффективное минеральное удобрение в условиях низких температур, поскольку растение быстро его поглощает и начинает активный рост.

При использовании удобрений с преобладанием других форм азота, таких как аммонийная или амидная, необходимо учитывать, что для их превращения в нитратную форму требуются время, температура и деятельность микроорганизмов.

Первую азотную подкормку рекомендуется проводить с использованием селитры, а после прогрева почвы можно использовать селитру, мочевину, КАС или сульфат аммония (желательно внести их в зону корней).

Некоторые хозяйства предпочитают работу с карбамидом (КАСом). В этом случае следует помнить, что только четверть содержащегося в КАСе азота находится в нитратной форме, которая обеспечивает быстрый результат. КАС является минеральным удобрением пролонгированного действия.

В следующем номере читайте о развитии резистентности к фунгицидам у фитопатогенных грибов.

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.

ГЕРМАН ЗВЕРЕВ: «ТРЕТЬ ОБЩЕРОССИЙСКОГО ВЫЛОВА СОСТАВЛЯЕТ МИНТАЙ»

В ходе 563 заседания верхней палаты российского парламента, прошедшего 20.03.2024, в рамках традиционной рубрики «Время эксперта» с докладом на тему «Россия в мировом рыбном хозяйстве: геополитические вызовы, производственные планы и экономические перспективы» выступил президент НКО «Всероссийская ассоциация рыбохозяйственных предприятий, предпринимателей и экспортеров» (ВАРПЭ) Герман Зверев.

В настоящее время Россия, являясь мировым лидером на рынках минтая, трески, дикого лосося и премиальных видов крабов, подвергается беспрецедентному и неконкурентному давлению со стороны США и Евросоюза, отметил глава ВАРПЭ Герман Зверев, выступая в Совете Федерации. При этом до недавнего времени, по его словам, конкурентная борьба с российскими рыбопромышленниками происходила в цивилизованной форме. «Однако антироссийские санкции — это уже, что называется, игра без правил, — пошлины, запрет на ввоз продукции, закрытие портов парализуют международный рыбный рынок», — заметил эксперт. По его мнению, эффективной стратегией России в современных геополитических условиях должно стать формирование новой коалиции, управляющей мировым рыбным хозяйством, где ключевыми направлениями являются двусторонние соглашения в сфере рыболовства и участие нашей страны в формировании экологической повестки (поскольку четверть мирового вылова сейчас регулируется системами экологической сертификации). «Важно ослабить роль WWF и Гринпис, которые эксплуатируют экологическую повестку для достижения политических целей так же, как это было с выдавливанием советского рыбопромыслового флота из Мирового океана якобы в природоохранных целях. Выбор у нас такой — либо отдаем экологическую повестку в мировом рыболовстве на откуп нашим недоброжелателям, либо сами формируем международную экологическую коалицию», — резюмировал спикер.

Совет Федерации поручил провести инвентаризацию двусторонних соглашений с учетом обеспечения национальных интересов, — рыбацкое сообщество готово принять участие в этой работе, требующей ювелирной тонкости, отметил докладчик. «Особое

направление — сотрудничество с нашими потенциальными союзниками на глобальном Юге, — сказал он. — Запланированный масштабный экспедиционный научный рейс в омывающие Африку моря, — очень сильный ход. Запасы водных биоресурсов в этих водах могут быть весьма и весьма значительными, однако пока они не изучены. Исследования, которые планируются российской рыбохозяйственной наукой, позволят установить эти запасы, и они могут быть предоставлены в пользование отечественным рыбопромышленным предприятиям».

Спикер сделал акцент на особой роли науки в развитии отрасли. Колоссальное количество открытий в этой сфере совершили представители советской науки, отметил он. Так, когда в 60-х годах XX века профессора Александра Кагановского (доктора биологических наук, внесшего большой вклад в изучение биологии промысловых рыб дальневосточных морей) спросили, какая рыба станет главным промысловым объектом в Охотском и Беринговом морях через двадцать лет, он, ненадолго задумавшись, ответил — минтай. «Тогда научные светила расхохотались, услышав, как им показалось, бредовую гипотезу, а сейчас минтай составляет треть общероссийского вылова», — заметил глава ВАРПЭ. Меняются основные объекты промысла в мире, основные товары мирового рыбного рынка, отметил он. В 1976 году, например, главными товарами международной рыбной торговли были сельдь, треска и тунец, а сегодня ими стали лосось — 10% от мирового рыбного рынка, минтай, креветки, кальмар, крабы (их продажи выросли в денежном выражении в 138 раз), уточнил эксперт.

Спикер заострил внимание на специфике внутреннего рынка, выделив в качестве одной из его отличительных черт замкнутость игроков на ценовом предложении. Несмотря на то, что цена, разумеется, важна, рынком управляет не только она, но и разнообразие ассортимента, комфортность расфасовки и качество упаковки, удобство приготовления и репутация продаваемой рыбы, поэтому нельзя сводить присутствие на внутреннем рынке исключительно к ценовому предложению, пояснил он. «Три кита» развития внутреннего рынка рыбопродукции — это расширение муниципальных и госзакупок, субсидирование железнодорожных перевозок и создание современной логистической инфраструктуры, заключил эксперт.

«За последние 20 лет в России произошло пересоздание рыбной отрасли, разрушенной в 1990-е годы. В результате последовательной и поэтапной работы всех ветвей власти под руководством Президента Владимира Путина создана эффективная система управления, учитывающая многоукладность рыбного хозяйства», — подытожил Герман Зверев.

Ю.Г. Седова



РОССИЯ НАРАЩИВАЕТ ОБЪЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ АКВАКУЛЬТУРЫ

В ходе заседания Общественного совета при Федеральном агентстве по рыболовству состоялось обсуждение текущего состояния и перспектив развития рыбохозяйственного комплекса России. В мероприятии, прошедшем 12.03.2024 в Общественной палате РФ, принял участие руководитель Росрыболовства Илья Шестаков.

В 2023 году российским рыбакам удалось выловить более 5,3 млн т водных биоресурсов — этот показатель стал рекордным за последние 30 лет, сообщил глава Федерального агентства по рыболовству Илья Шестаков, выступая на заседании. «Дальше будем только наращивать объем вылова», — отметил он. По словам спикера, рекорд был бы невозможен без планового и поступательного развития отрасли. «Хотя, конечно, ему способствовали хорошая лососевая путина, высокие показатели на промысле сардины (иваси) и минтаевой путине», — добавил он. Положительная динамика промысла сохраняется и в текущем году, отметил чиновник. Согласно его данным, на 11 марта в РФ добыто более 1,1 млн т рыбы — почти на 7% больше, чем в прошлом году. Сегодня на промысле работают прекрасные суда, построенные на отечественных верфях, новые перерабатывающие заводы позволяют диверсифицировать возможности по производству продукции, резюмировал чиновник. «То, что у нас есть все возможности перерабатывать большую часть наших уловов, — это, конечно, здорово», — заметил он. Спикер, отметив важность программы инвестиционных квот, сообщил, что в рамках ее первого этапа строятся 105 рыболовческих судов, из них 41 — для добычи краба. Помимо этого, уже построены 24 рыбоперерабатывающих завода из 25 запланированных, уточнил он. На втором этапе программы инвестквот предусмотрено, помимо строительства 46 судов и 11 заводов, создание логистических комплексов (как важной составляющей в логистике рыбной продукции), что позволит эффективнее организовывать логистику и, как следствие, доставлять потребителям более качественную продукцию, отметил чиновник.

Руководитель Росрыболовства сообщил, что за последнее десятилетие (после принятия закона об аквакультуре) объемы производства товарной рыбы и морепродуктов выросли более чем в 2 раза: с 188,5 до 402 тыс. т продукции. «В настоящее время мы больше сконцентрированы на тех видах рыб, которые наиболее востребованы у нашего населения, а именно лососевых», — уточнил он. Как результат, товарное лососеводство за указанный период выросло в 4 раза (в 2014 году производство лососевых составило 38,8 тыс. т, а в 2023 году — уже 158 тыс. т). Благодаря успехам рыбоводов значительно сокращен импорт форели и семги, отметил Илья Шестаков.

Спикер, заострив внимание на цифровой трансформации рыбопромышленного комплекса, выделил в числе основных достижений в этом направлении



развитие отраслевой системы мониторинга, внедрение электронного рыболовного журнала, использование космических технологий, позволяющих существенно повысить эффективность промысловой разведки и добычи. Так, он сообщил, что отраслевая система мониторинга (ОМС), появившись еще в 1990-х, только в 2017 году стала государственной информационной системой, объединив ряд отраслевых блоков, а сейчас автоматизирует все процессы — от распределения квот до производственной деятельности. Глава агентства напомнил, что с конца 2023 года отчетность переведена в электронный формат: был внедрен электронный рыболовный журнал, оптимизирующий учеты, планирование промысла и контрольную деятельность. На сегодняшний день с помощью программного комплекса «Электронный рыболовный журнал» фиксируется почти 100% вылова, уточнил он.

Росрыболовство активно интегрирует новые субъекты РФ в рыбохозяйственный комплекс страны, отметил Илья Шестаков. На текущий момент завершена работа по синхронизации правил рыболовства для Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна и нормативно-правовой базы для развития аквакультуры на новых субъектах, сообщил он. Помимо этого, в целях устойчивого развития рыболовства региона ученые проводят исследования по оценке состояния рыбных запасов с учетом имеющихся ограничений, отметил спикер. «Для наиболее эффективной работы будем открывать полноценный филиал ВНИИРО в Мариуполе, — сказал он. — Здание уже получили». Чиновник сообщил, что в 2023 году на новых территориях с рыбопромышленниками заключены 622 договора пользования водными биоресурсами. Кроме того, им было выдано 374 разрешения на добычу.

«У нас есть поручение президента РФ по повышению внутреннего потребления отечественной рыбной продукции. Сейчас разработан соответствующий план мероприятий по продвижению и популяризации российской рыбной продукции, будем его реализовывать», — отметил спикер.

Ю.Г. Седова

В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ СЕЛЬХОЗТОВАРОПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПРЕДУСМОТРЕНО БОЛЕЕ 50 ВИДОВ ГОСПОДДЕРЖКИ

Актуальные вопросы развития отрасли животноводства в Новосибирской области (итоги работы в 2023 году и планы на 2024 год) обсудили участники пресс-конференции заместителя председателя правительства Новосибирской области, министра сельского хозяйства региона Евгения Лещенко, прошедшей на площадке ТАСС (Новосибирск).

В ходе пресс-конференции было отмечено, что Новосибирская область, являясь регионом крупнотоварного промышленного животноводства, занимает в РФ 3-е место по поголовью молочных коров, а по производству и реализации молока входит в топ-10 и располагается на 6-м месте (в СФО и за Уралом по данным показателям область находится на 1-м месте).

В целом самообеспеченность региона основными продуктами животноводства по итогам прошлого года составила: по молоку — 317 кг в год на человека, по яйцу — 379 шт. в год на человека, по мясу — 63 кг в год на человека (98%, 146% и 85% от медицинской нормы потребления соответственно). Об этом сообщил заместитель председателя правительства области, министр сельского хозяйства региона Евгений Лещенко. В своей презентации он уточнил, что медицинские нормы потребления — это утвержденные приказом Минздрава России от 19.08.2016 № 614 рациональные нормы потребления пищевых продуктов в год на душу населения. «Крайне важное направление — развитие мясного птицеводства, чем активно занимается «Новосибирская птицефабрика», отметил спикер. — Планируется (с учетом производства дополнительных 20 тысяч тонн на этом предприятии) существенно повысить уровень самообеспеченности мяса в нашем регионе».

Евгений Лещенко акцентировал внимание на мерах государственной поддержки аграриев, отметив, что в регионе для сельхозтоваропроизводителей предусмотрено более 50 видов господдержки. Ежегодно в области вводятся дополнительные меры поддержки мясного и молочного животноводства, включающие

совместное финансирование из федерального и регионального бюджетов, в соотношении 78% к 22%, добавил он. По данным спикера, в 2023 году региональный бюджет увеличил для молочного животноводства процент (с 70 до 95) возмещения затрат на доставку грубых, сочных и концентрированных кормов, так что теперь можно практически полностью компенсировать затраты на доставку кормов в случае их недостатка. Также с 2023 года из местного бюджета предусмотрено возмещение части затрат на приобретение инновационной продукции. «Компенсируется 70% затрат на приобретение нового инновационного продукта именно новосибирских ученых, но пока этим воспользовалось только одно из растениеводческих предприятий области», — уточнил чиновник. Основное направление финансирования из регионального бюджета — субсидирование затрат на приобретение технических средств для сельхозпроизводства, отметил он. «Здесь право на обращение и получение субсидий имеют животноводческие предприятия. Так, если на начало 2023 года это были только производители молока, то в октябре прошлого года список дополнен предприятиями, в которых содержится крупный рогатый скот мясного направления», — проинформировал спикер. В общей сложности в прошлом году по федеральным и региональным направлениям поддержки животноводов производителям молока и говядины было выделено 2,5 млрд руб., а в текущем году сумма поддержки животноводческих предприятий превысит 2,7 млрд руб., сообщил он.

В настоящее время в регионе идет строительство четырех животноводческих комплексов на 1940 молочных голов КРС с общим объемом инвестиций 1,12 млрд руб., введение их в эксплуатацию позволит получить дополнительную продукцию и повысить эффективность функционирования отрасли, отметил Евгений Лещенко. Также в области проектируется создание двух молочных животноводческих комплексов на 2200 голов КРС (общий объем инвестиций — 0,85 млрд руб.) и реализуется проект площадки для выращивания молодняка КРС на 15 600 голов с объемом инвестиций 2,3 млрд руб. Помимо этого, запланировано суммарно инвестировать 3,7 млрд руб. в модернизацию производства трех птицефабрик — «Новосибирской», «Октябрьской» и «Чикской», резюмировал спикер.

Ю.Г. Седова



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

ЭКОЛОГИЧНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ: ДЕЗИНФЕКЦИЯ ВОДЫ НА ПТИЦЕФАБРИКАХ ПОМОГАЕТ СОХРАНИТЬ ПОГОЛОВЬЕ И СБЕРЕЧЬ ОБОРУДОВАНИЕ

Один из главных трендов последних лет — запрос на экологичность и безопасность, заботливое отношение к окружающей среде. Современный потребитель зачастую отдает предпочтение товарам «чистого» производства, в первую очередь это касается продуктов питания. Залогом качества выступает дезинфекция питьевой и технической воды. Чистая вода — это здоровое поголовье и снижение затрат на расходные материалы.



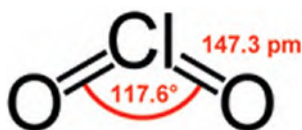
Заместитель директора по маркетингу компании «ВАЛ-КО» Олеся Степура рассказала изданию «Аграрная наука» об уникальном и во многом революционном методе очистки воды с помощью DUTRION — разработке нидерландской компании Duka Production B.V.

— **Вода — основа жизни. Действительно ли существует безопасный способ ее очистки?**

— За долгие годы мы привыкли к тому, что воду очищают хлором, хотя минусов у этого метода очень много. Еще недавно альтернативы были либо слишком дорогими, либо не давали нужного результата. Лишь несколько десятилетий назад началось широкое промышленное использование диоксида хлора ClO_2 , который в 1814 году открыл профессор Лондонского королевского общества сэр Гемфри Дэви. После тщательных исследований стало ясно, что диоксид хлора намного эффективнее и безопаснее хлора, а теперь еще и удобнее — в форме средства DUTRION, разработанного в Duka Production B.V.

Компания «ВАЛ-КО» с 2011 года является официальным партнером и дистрибьютером Duka Production B.V. Сейчас мы обеспечиваем дезинфицирующим средством от европейского производителя не только Россию, но и предприятия Казахстана, Белоруссии и других стран СНГ. Это огромный рынок. Думаю, нас можно считать крупнейшим поставщиком DUTRION не только в Европе,

но и в Азии и Африке.



Основным действующим веществом DUTRION является диоксид хлора, который принципиально

отличается от хлора. Можно сказать, это разница, которая в медицине превращает яд в лекарство. Всё дело в той самой молекуле кислорода, которая принимает электроны в процессе окисления. В привычном хлоре при окислении приемником выступает молекула Cl , что приводит к образованию токсичных хлорорганических, канцерогенных и экстрогенных соединений, в том числе тригалометанов, галоуксусных кислот и мутагена Х. А диоксид хлора во время окисления не вызывает образования хлорфенолов, не вступает в реакцию с органическими веществами, с аммонием, аммиаком, бромистыми соединениями и так далее. При этом он эффективно уничтожает многие вирусы, бактерии (*E. coli*, *Salmonella*, *Chlamydia*, *Mycoplasma*, SARS, гепатита), грибки, водоросли, споры и другие патогенные микроорганизмы.

Второй важный момент: концентрация диоксида хлора, необходимая для полноценного обеззараживания воды, очень мала — всего 100 мл DUTRION на 1000 л



воды. Поэтому он не вызывает отрицательного воздействия на человека, животных и оборудование. Использовать DUTRION очень просто, для этого не существует каких-то особых условий или требований.

— **В каких сферах можно применять DUTRION?**

— Направления использования самые разные. Компания «ВАЛ-КО» начинала свою историю с дистрибуции профессионального оборудования VAL-CO для птицефабрик, и дезинфекция в птицеводстве стала логичным расширением сферы деятельности, но не единственным. Сейчас мы предоставляем широкий спектр направлений с использованием DUTRION: для обеззараживания во всех отраслях животноводства и тепличных комплексах, в промышленности, пищевом хозяйстве, при эксплуатации самолетов, для дезинфекции бассейнов и так далее. То есть применять DUTRION можно непосредственно при взаимодействии с человеком. Средство совершенно безопасно.

Конечно, дезинфекция в птицеводстве остается одним из ключевых направлений работы. Наши клиенты делятся на две основные категории: у одних имеются какие-то проблемы с качеством воды и им необходимо ее улучшить, у других проблем нет, но им нужны уверенность и профилактика, чтобы сохранить воду чистой и безопасной.

— **Чем опасна неочищенная вода?**

— Вода, зараженная болезнетворными микроорганизмами, патогенами, вызывает гибель птицы, особенно молодняка, снижаются яйценоскость и набор веса бройлерами. В целом падает качество продукции. По нашим оценкам, использование DUTRION позволяет сохранить до 2% поголовья, что для крупных хозяйств весьма экономически ощутимо.

Другая очень серьезная проблема: в системе водоснабжения в ходе эксплуатации нарастает биопленка —

слой слизи из микроорганизмов, который сужает диаметр, приводит к протечкам и в целом разрушает систему водоподачи. Для борьбы могут использоваться агрессивные вещества, но они зачастую не только малоэффективны, но и сами причиняют вред окружающей среде и оборудованию.

DUTRION продемонстрировал высокую эффективность и безопасность в борьбе с биопленкой, даже самой застарелой. При добавлении раствора DUTRION в систему водоснабжения диоксид хлора сразу начинает уничтожать бактерии, образующие биопленку. Полное удаление занимает около трех недель, а при сильной загрязненности трубы срок может быть немного дольше, но итог один: слизь исчезает. А при продолжении использования DUTRION биопленка более не сможет образовываться, вода всегда остается чистой.

— В чем удобство применения средства DUTRION для потребителя?

— Компания «ВАЛ-КО» предлагает DUTRION не в растворе, а в таблетках и порошке. Это повышает удобство и безопасность при транспортировке и использовании.

Простой пример: из 5 килограммов порошка DUTRION можно приготовить 400 литров высококонцентрированного раствора диоксида хлора. Далеко не каждому агрохолдингу столько требуется, ведь концентрация в воде должна быть очень мала. Тем более транспортировать и хранить небольшую упаковку порошка или таблеток намного проще, чем несколько бочек и канистр с жидкостью. А для создания раствора есть четкие нормативы, поэтому справится любой фермер, нужна лишь простая и интуитивно понятная в эксплуатации дозирующая установка, о которой подробнее можно узнать на нашем сайте <https://dutrion.ru/produkcija/dozirujushhie-sistemy/>.

Небольшому хозяйству удобнее использовать средство в таблетках, а крупному предприятию выгоднее закупать порошок. Раствор, получаемый из любой формы и фасовки, совершенно одинаков и хранится не менее 60 дней. Срок годности сухого вещества при соблюдении условий хранения — 3 года. Всё это время DUTRION сохраняет свои свойства при разных климатических условиях, взрывобезопасен.

Безопасная для транспортировки форма продукта, а также возможность провести онлайн-консультацию клиента, вплоть до пошаговой инструкции по видеосвязи, позволяют серьезно расширять географию наших покупателей. Сейчас мы поставляем DUTRION во все уголки России, включая Якутию.



— Потребители хотят иметь гарантии, что качественный товар не исчезнет из продажи при каких-то внешних обстоятельствах.

— Предыдущие несколько лет стали для нас своего рода тренировкой. Пандемия показала, как важно быть готовым к любым потрясениям, поэтому в компании «ВАЛ-КО» была разработана успешная стратегия.

Мы сознательно пошли на увеличение собственных расходов и создали большой неснижаемый запас на складах, что гарантирует соблюдение привычных сроков отгрузки товара покупателям — пять дней. Для компании это, конечно, дополнительные финансовые вложения, но они окупаются сохранением собственной репутации и ростом доверия наших клиентов. Кроме того, сложились прочные партнерские отношения с производителем Duka Production B.V., поэтому нет никаких опасений, что поставки DUTRION могут задержаться.

— Кто основной потребитель DUTRION?

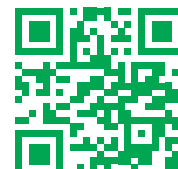
— Мы работаем с любыми организациями. В числе наших клиентов порядка 10 крупнейших птицефабрик России и Казахстана, а также около сотни предприятий поменьше. Среди них есть мини-хозяйства, которые специализируются на экологически чистой продукции, когда птица находится на свободном выгуле и получает лучшее питание и чистую воду. Важно, что компания «ВАЛ-КО» практикует гибкий подход к каждому потребителю. Кроме того, ряд наших клиентов оценили комплексное обслуживание: мы поставляем высококласное оборудование для птицефабрик от бренда VAL-CO (США) и одновременно берем на себя заботу о дезинфекции воды на предприятии по самой выгодной цене.



Для получения подробной информации о возможностях «ВАЛ-КО» обращайтесь:
119634, г. Москва,
ул. Лукинская, д. 16, корп. 1
Тел. +7 (495) 781-54-15
info@dutrion.ru
и info@valcorussia.ru,

www.dutrion.ru

www.valcorussia.ru



РОССИЯ НАРАЩИВАЕТ ОБЪЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА РЫБНОЙ МУКИ

Ведущие эксперты обсудили актуальные отраслевые вопросы, в том числе ситуацию на рынке рыбной муки, в рамках международного Форума «ПротеинТек –2023» (Москва). Организаторами мероприятия выступили Российская биотопливная ассоциация (РБА) и Центр Новых Технологий (ЦНТ).

В ходе форума с обзором текущего состояния и перспектив мирового рынка рыбной муки выступил эксперт-советник подкомитета по развитию рыбного хозяйства Комитета ТПП РФ по развитию АПК Андрей Агеев, отметивший, что объемы этого ценного кормового сырья определяются количеством и состоянием ресурсов для его производства. По словам спикера, ярким примером может служить 2023 год, в первой половине которого действие природного явления Эль-Ниньо повлекло за собой резкое сокращение анчоуса (основного сырья, используемого для получения рыбной муки), вследствие чего на 74% уменьшились выловы в Перу и на 1/3 — мировое производство. В результате выросли цены, — до 1,8 тыс. долл. за 1 т рыбной муки с протеином 64–65% и до 2 тыс. долл. за муку с протеином 68%, продукцию с более высоким содержанием протеина оценивают уже в 2,2 тыс. долл. США, сообщил докладчик.

По данным эксперта, на сегодняшний день мировое производство рыбной муки находится в диапазоне 4,5–5,8 млн т в год и, по прогнозу FAO-OECD, останется на том же уровне — в среднем 5,4 млн т в год — до 2032 года. Согласно его презентации, сценарий предполагает высокую межгодовую изменчивость показателя и сохранение цен на эту муку в целом на текущем уровне, — с колебаниями, в зависимости от ее предложения на рынке, в пределах 1,5–2 тыс. долл. США. Крупнейшим в мире потребителем рыбной муки остается Китай, на который придется 42% глобального потребления (сейчас его доля составляет 40%) и 52% глобального импорта, отметил докладчик.

Отечественное производство данного кормового продукта демонстрирует положительную динамику (в 2022 году его объемы выросли до 161 тыс. т, в 2023 году рост продолжился), что обусловлено хорошим состоянием ресурсов минтая, из которого вырабатывается 90% всей российской рыбной муки, благоприятным курсом рубля и высоким спросом на рынке Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), проинформировал докладчик. Он уточнил, что увеличение производства на внутреннем потреблении (не превышающем 40–50 тыс. т) не отражается, пояснив, что такое положение дел связано с исключительно благоприятными условиями для экспорта, особенно с высоким спросом на продукцию в азиатском регионе. Что касается цен на рыбную муку на внутреннем рынке, то, следуя за мировой тенденцией на повышение ее стоимости, к середине 2023 года они выросли до 123 руб./кг. Однако в будущем ситуация может измениться: ученые прогнозируют сокращение запасов минтая вследствие природной цикличности его ресурсов и потепления океана, сообщил эксперт. В настоящее время производство рыбных кормов в РФ не соответствует потенциалу роста аквакультуры, объемы которой выросли в 2022 году до 357 тыс. т и, предположительно, в 2023 году возрастут до 631 тыс. т, и требуемым характеристикам, отметил он. По данным спикера, дефицит кормового белка в России составляет 2–2,5 млн т (в мире — 30 млн т).



Как отметил ст. науч. сотр. «ГосНИОРХ им. Л.С. Берга» (Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО»), к.б.н. Анатолий Лютиков, проблема стартовых кормов — ключевая в современной аквакультуре. По его словам, переход личинок с эндогенного на экзогенное питание является критическим, и неадекватность кормления в этот период часто приводит к массовой гибели молоди. В мировой практике принято при выращивании ранней молоди (личинок) различных видов рыб использовать живые корма, — недостатками этого метода являются их высокая стоимость, значительные трудозатраты и усложнение автоматизации рыбоводного процесса, сообщил докладчик. До недавнего времени только лососевые виды рыб могли культивироваться на искусственно созданных комбикормах без использования живого корма (зоопланктона), добавил он. Анатолий Лютиков, напомнив о проведенных еще в советские времена комплексных исследованиях ГосНИОРХ под руководством И.Н. Остроумовой, обосновавших перспективность применения в рыбоводстве гаприна и паприна, отметил, — многолетние исследования и практика ученых института опровергают распространенное представление о том, что невозможно эффективно вырастить личинок рыб, за исключением лососевых, без кормления их зоопланктоном. Он привел ряд данных, подтверждающих высокую отдачу микробного белка при кормлении личинок рыб разных видов. Так, в опытах с молодью сиговых было установлено, что корма, в состав которых входил гаприн, оказались эффективнее коммерческих на 15% по темпам роста и до 10% — по выживаемости. Использование гаприна в стартовых кормах для судака, разработанных сотрудниками ВНИИ рыбного хозяйства и океанографии, позволило впервые в мировой практике аквакультуры получить жизнестойкую личинку, выращенную без зоопланктона, резюмировал эксперт. Он сообщил, что в 2023 году по новой технологии с применением новых искусственных кормов на рыбхозе ООО «Форват» удалось вырастить более 5 тыс. экземпляров физиологически полноценной молоди судака, которую можно использовать в том числе для целей воспроизводства.

Ю.Г. Седова

ОСОБЕННЫЕ КОРМОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ И КОРМА

УГЛЕВОДНЫЙ ПРЕБИОТИЧЕСКИЙ КОРМ

«ЖИВОЙ БЕЛОК»

УКК для с/х и диких животных серии «Фелуцен» УК 2-02

для оптимизации пищеварения, повышения продуктивности и оздоровления поголовья

Углеводный пребиотический корм «Живой Белок» имеет сладкий вкус и обладает приятным запахом, что через обонятельную систему стимулирует аппетит у животных и способствует повышению поедаемости кормов основного рациона.

СОСТАВ:

легкопереваримые углеводы - до 35-42% (в т. ч. сахара – до 30%); протеин - не менее 10%

СВОЙСТВА:

- формирует и восстанавливает положительную микрофлору рубца, снижает «Эффект Моногастричности Коров» (ЭМК);
- способствует формированию собственного микробиального белка в рубце;
- улучшает пищеварение и усвоение питательных веществ рациона, стимулирует рост и развитие молодняка, повышает сохранность и продуктивность скота;
- предотвращает развитие ацидоза рубца и заболеваний, связанных с ним, а также последующих нарушений обмена веществ;
- нормализует pH рубца при большом количестве концентратов в рационе и/или плохом качестве грубого и объёмистого корма;
- оказывает мощный гепатопротекторный эффект;
- стимулирует размножение бактерий, переваривающих клетчатку;
- способствует повышению молочной продуктивности коров, содержания белка и молочного жира в молоке;
- увеличивает среднесуточный прирост у молодняка;
- снижает случаи кишечных заболеваний у молодняка и расходы на лечение.

ДОЗИРОВАНИЕ И СПОСОБ ПРИМЕНЕНИЯ:

Корм в соответствии с суточной нормой смешивают с основным кормом. Необходимо обеспечить животным доступ к воде.

СУТОЧНАЯ НОРМА РАСХОДА НА ГОЛОВУ В СУТКИ:

Телята 1-6 месяцев	150-300 г
Молодняк КРС 7-12 месяцев	300-500 г
Молодняк 13-18 месяцев	500-1000 г
Коровы, нетели	1000-2000 г

ПОБОЧНЫЕ ДЕЙСТВИЯ:

Продукт изготовлен из натуральных природных компонентов. Не содержит антибиотиков, стимуляторов роста, пальмового масла, гормональных препаратов и ГМО. Побочных явлений и осложнений при применении продукта не выявлено, противопоказаний не установлено.

УПАКОВКА:

Продукт упакован в герметичные полипропиленовые мешки по 25кг.

УСЛОВИЯ ХРАНЕНИЯ:

Хранить в сухом, защищенном от света месте, при температуре от -25° С до +25° С и влажности не более 75%.

Срок годности: 6 месяцев при температуре от -40° до +15°, 3 месяца при температуре от +15° до +25°



РОССИЙСКИЕ СЕЛЬХОЗПРОИЗВОДИТЕЛИ С 2021 ПО 2023 ГОД ПОЛУЧИЛИ ПОРЯДКА 14,4 МЛРД РУБЛЕЙ СТРАХОВЫХ ВЫПЛАТ

Ключевые задачи и перспективы развития агрострахования в России обсудили участники прошедшей 1 апреля в ТАСС пресс-конференции «Система агрострахования в 2023 году. Защита рисков АПК».

Председатель Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Александр Двойных отметил стратегическую значимость системы агрострахования как механизма обеспечения финансовой устойчивости на предприятиях аграрной сферы, сделав акцент на необходимости вовлечения в систему агрострахования с господдержкой малых и средних сельхозтоваропроизводителей. По его словам, крупные российские агрохолдинги «уже впитали культуру агрострахования и активно пользуются его механизмами».

Заместитель министра сельского хозяйства РФ Елена Фастова сообщила, что в 2023 году в России сельхозорганизации застраховали более 14% посевных площадей — более 11 млн га посевов, тогда как в 2017 году охват посевов агрострахованием составлял порядка 2% (за 6 лет — рост в 7 раз). «Это говорит о том, что действительно произошел так называемый культурный сдвиг: обе стороны — и страховщики, и сельхозтоваропроизводители — стали обращать внимание друг на друга и понимать важность этого механизма», — сказала она. Замминистра напомнила, что в 2022 году в стране был внедрен новый вид страхования — от чрезвычайных ситуаций (ЧС). По новому виду страхования, по итогам позапрошлого года, было застраховано 2,2 млн га, а в 2023 году данный показатель был удвоен — до 4,3 млн га, сообщила она. По прогнозу Минсельхоза, этот показатель будет увеличиваться и в дальнейшем, — «ведь растет количество регионов, участвующих в этом виде страхования», отметила спикер. Так, если в 2022

году в агростраховании от ЧС участвовали 38 субъектов РФ, то в прошлом году — 48 (наиболее активно страховали урожай от ЧС регионы, которые традиционно относятся к зоне рискованного земледелия, в их числе — Дальний Восток и Сибирь).

В животноводстве объем страхования за 2017–2023 год вырос почти втрое, в частности в 2023 году было застраховано 13 млн условных голов — почти 44% всех сельхозживотных, причем ряд регионов застраховал практически все поголовье, сообщила замминистра. По ее данным, лидирует среди таких регионов Тамбовская область (со 100%-м охватом), чуть более низкие показатели у Брянской, Ленинградской, Орловской и Пензенской областей. Указанные результаты достигнуты во многом благодаря вниманию правительства России к государственной поддержке агрострахования, отметила Елена Фастова. На сегодняшний день малым хозяйствам возмещается 70% от суммы затрат на оплату страхового взноса (сельхозтоваропроизводителям регионов Дальнего Востока — 80%), уточнила она. В 2023 году из федерального бюджета на субсидирование страхового взноса было направлено 5 млрд руб. (в текущем году на данную статью расходов заложено 4,8 млрд руб.), добавила спикер.

Замминистра напомнила, что получение некоторых видов субсидий увязано с наличием страхового полиса. Так, если агропредприятие застраховано, то при расчете погектарной поддержки и субсидии на товарное молоко у него есть повышающий коэффициент 1,2, по поддержке застрахованных виноградарей и виноделов действует коэффициент

1,15, кроме того, есть увязка со страхованием субсидий на зерновые и элитное семеноводство. Таким образом сельхозпроизводителям создают максимально комфортные условия, — чтобы им был интересен механизм сельхозстрахования, пояснила Елена Фастова. По ее словам, с появлением повышающего коэффициента поголовье застрахованного крупного рогатого скота (КРС) в 2023 году увеличилось на 60% по сравнению с 2022 годом.

По информации генерального директора АО СК «РСХБ-Страхование» Сергея Простатина, — отметившего, что компания в прошлом году заняла на рынке агрострахования лидерские позиции с



долей, превысившей 43%, — выплаты в течение 2023 года составили порядка 3 млрд рублей. «Мы наблюдаем значительный рост — более 80 процентов. Уровень выплат вырос. В целом по рынку общая доля выплат компании занимает 58 процентов», — сказал он. Так, самая крупная выплата, связанная со вспышкой африканской чумы свиней (АЧС) в Воронежской области, составила 916 млн руб., а крупнейшая единовременная выплата в истории страхования виноградарства — 236 млн руб. — была произведена ставропольскому агропредприятию. Самая крупная выплата, не связанная с риском болезни застрахованной птицы, — 217 млн руб. — произведена птицефабрике в Белгородской области, где погибло 186 тыс. голов, уточнил гендиректор. Рынок, несмотря на рост выплат, считает нынешние тарифы адекватными, что говорит о серьезной конкуренции между компаниями, отметил он. «Действительно, каждый год мы видим снижение тарифов и по животноводству, и по растениеводству в среднем на 1–2 процента в год. В целом у нас по портфелю стоимость страхования на один гектар для страхователя составляет не более 100 рублей. Отмечу, что программа ЧС состоялась. По 2023 году наши выплаты составили около полумиллиарда», — добавил Сергей Простатин.

Тема агрострахования крайне актуальна для ставропольцев, отметил министр сельского хозяйства Ставропольского края Сергей Измаков. Он сообщил, что в 2023 году в регионе была застрахована четвертая часть посевных площадей — на 14% больше, чем в 2022 году. «В течение последних 10–15–20 лет климат на территории края стал существенно жестче, — восток, скажем так, подгорает от засухи, а запад и юг все чаще подвергаются серьезным градобойным и ливневым явлениям», — сказал министр. По его данным, в 2020–2023 году режим ЧС краевого масштаба на Ставрополье объявлялся 3 раза — в 2020, 2021, 2023 годах — по целому комплексу рисков, в том числе по засухам и заморозкам. Страховые выплаты (благодаря организованному во взаимодействии с НСА порядку авансирования страховых выплат) позволяют сельхозтоваропроизводителям региона



своевременно решать вопросы с финансированием полевых работ, отметил чиновник. За последние 5 лет ставропольские аграрии получили господдержку в этой сфере на 2,4 млрд руб., а выплаты возмещений от страховых компаний за погибший урожай составили 3,2 млрд руб., сообщил он.

По данным президента Национального союза агростраховщиков (НСА) Корнея Биждова, за 2021–2023 год российские аграрии получили около 14,4 млрд руб. страховых выплат, что в 2,2 раза выше, чем за предыдущие три года. Выплаты за реализовавшиеся убытки по договорам страхования агрорисков в прошлом году составили порядка 5 млрд руб. и были осуществлены в 37 регионах РФ, сообщил он. За январь–февраль 2024 года страховщики НСА уже заплатили 362 млн рублей страховых выплат, добавил спикер.

По информации главы НСА, в число регионов России с крупнейшим объемом страховых выплат сельхозпроизводителям в 2023 году вошли:

- Воронежская область — 1 млрд руб.;
- Ставропольский край — 961 млн руб.;
- Самарская область — 431 млн руб.;
- Орловская область — 295 млн руб.;
- Приморский край — 197 млн руб.;
- Оренбургская область — 135 млн руб.;
- Республика Мордовия — 115 млн руб. страховых выплат.

«Отмечу три региона, где страховые выплаты в 2023 году превысили страховые премии, — Республика Марий Эл, в которой этот показатель вырос в 2,5 раза, Кабардино-Балкария (в 1,5 раза), Оренбургская область (тоже в 1,5 раза). В трех регионах РФ уровень выплат уже составляет более 70 процентов», — сказал Корней Биждов.

Спикер заострил внимание на необходимости совершенствования процедуры заключения договоров страхования, в частности ее упрощения. «Эти направления деятельности мы реализуем в 2024–2025 году в той мере, в которой позволяет нормативно-правовая база», — отметил он. План этих действий будет скоординирован с Комитетом Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию и Минсельхозом России, заключил президент НСА.

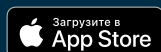
Ю.Г. Седова

Анти-Контрафакт

@ Bayer

Можно ли подделать качество продукции?

Нет, так как на продуктах компании Bayer есть особое подтверждение оригинальности.



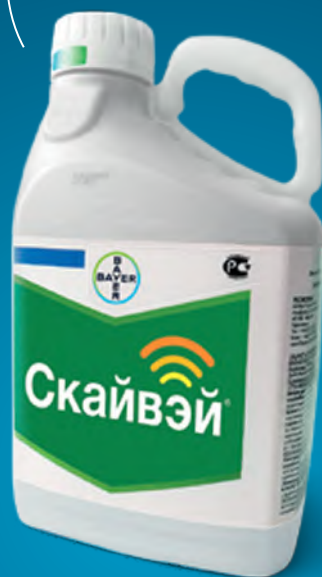
Safety Seal

Технология 3-го поколения позволяет определить подлинность продукции благодаря защитному стикеру с QR-кодом на нашей упаковке

Стикер с QR-кодом на канистре упрощает проверку подлинности оригинальных семян и средств защиты растений Bayer и позволяет избежать подделок.

Защитный стикер с QR-кодом размещается:

- // на нижней части мешка
- // на крышке канистры/флакона



Как это работает?

Стикер содержит голограмму с логотипом Bayer, цветную область и QR-код, который невозможно размножить/воспроизвести благодаря его уникальности. Этот QR-код необходимо сканировать с помощью мобильного приложения **Bayer CropScience Seal Scan**.

После сканирования QR-кода вы сразу же получите моментальное подтверждение подлинности продукции.

Воспользуйтесь приложением для проверки. Скачайте приложение **Bayer CropScience Seal Scan** из App Store и Google Play. Регистрация в приложении не требуется, загрузка бесплатная.



Скачать приложение



Горячая линия Bayer для аграриев: 8 (800) 234-20-15

Реклама, АО «Байер», ИНН 7704017596

BAYER НА ЗАЩИТЕ КАЧЕСТВА

Глобальное влияние контрафакта на сельское хозяйство составляет 12–14% на рынке химических средств защиты растений, 10% — на рынке семян сельхозкультур. По данным европейской команды компании Bayer, ежегодные потери от продаж контрафактных химических средств защиты растений (ХСЗР) и семян под брендом Bayer во всем мире составляют примерно 1,4 млрд и 0,9 млрд евро соответственно. Одна из самых важных целей Bayer — помочь защитить фермеров от покупки контрафактных и фальсифицированных пестицидов и семян с/х культур.

В АЕБ и РСП ХСЗР России (Российский союз производителей ХСЗР России) считают, что оборот контрафактной продукции доходит до 30%, а в некоторых регионах превышает эту цифру. Дачники — садоводы и огородники — сталкиваются с иным объемом контрафактной продукции: до 70% ХСЗР и семян для личных подсобных хозяйств не являются оригинальными.

Контрафакт, контрабанда и фальсификат были всегда

Производство и реализация поддельной продукции включают в себя несколько тяжких преступлений: незаконный ввоз любых составляющих для производства контрафакта или воровство со складов сельхозпредприятий, нелегальное производство ХСЗР и семян, продажа через мошеннические схемы, незаконное использование чужого товарного знака и т. д. Однако существует скрытая составляющая — угроза жизни и здоровью человека, животному миру и окружающей среде. Последствия проявляются не сразу, а через неопределенный период времени: сельскохозяйственная культура, обработанная контрафактным пестицидом, должна вырасти и созреть, поступить на переработку в пищевую и другие отрасли. Если после уборки урожая она идет на корм животным, то такая отравка поступает в организм человека не только с растительной, но и с животной пищей. Это может коснуться и компонентов для детского питания.

Каналы контрафакта

Более 10 лет назад контрафактные продукты (под видом готовой продукции) попадали в Россию из крупных стран с большой численностью населения, недорогой рабочей силой или неконтролируемым производством (Китай, Индия, Турция). После введения механизма ТРОИС таможенными службам удалось отслеживать движение продуктов по товарным брендам, что стало серьезным барьером для ввоза готового контрафакта. Но теперь такая продукция поставляется как конструктор. Канистры едут отдельно от крышек и напечатанных этикеток. Сам продукт завозится под видом неопасной бытовой химии (например, моющих средств) или реагентов со всеми необходимыми сопроводительными документами по сложной цепочке поставок, где разные компании подтверждают законность перевозки груза. Точки для сборки контрафактной продукции расположены по всей стране, как правило, ближе к портовым городам. Это территория Каспийского моря, Чёрного моря, Краснодарский край, Ростовская область, Кавказ, ЦЧЗ и пр. Эти регионы считают житницей нашей страны, ведь их природные условия позволяют выращивать различные сельхозкультуры и получать хороший урожай.

Гаражный кооператив

Поддельные ХСЗР собираются в гаражах или на складах, но встречается и более технологичное производство: есть стойкое убеждение (а по некоторым делам и подтвержденная информация), что для снижения затрат атрибуты упаковки выпускаются на псевдозаконных основаниях в российских типографиях или при использовании существующих мощностей для производства пластика и картона. Головная боль всех производителей

пестицидов — это скупка тары (канистр, флаконов и т. д.) из-под оригинальных ХСЗР. Использованная тара из-под ХСЗР должна утилизироваться, но в законодательстве есть определенные пробелы — это направление слабо контролируется, что играет на руку преступному миру.

Кот в брендированном мешке

Производители фальсификатов не тратят миллиарды евро на разработку молекул, они делают упор на визуализацию упаковки — канистр, крышек, атрибутов этикетки, подобие защитных функций (QR-коды). В тару наливаются жидкости, не имеющие никакого отношения к оригинальному продукту и оказывающие либо нулевой эффект, либо низкокэффективное воздействие на вредные объекты. Это могут быть ворованные или просроченные продукты с перебитыми номерами партий и измененными датами производства. В семенном бизнесе та же ситуация: в 2022 году в Краснодарском крае фермер высеял контрафактный подсолнечник, который просто не взошел.

Идеальный QR-код

Для защиты упаковки в 2016 году глобальная команда Bayer стала наносить на канистры и флаконы защитные стикеры с QR-кодом. Одновременно в России была представлена программа Bayer Seal Scan App — инструмент защиты ХСЗР, включающий в себя стикер с QR-кодом, голограммой и приложением.

С 2022 года защитные стикеры наносятся не только на крышки канистр с оригинальными препаратами, но и на упаковки семян рапса, кукурузы и подсолнечника. Это приложение можно легко установить как на iOS, так и на Android. Отсканировав код, потребитель получает информацию о том, подделка это или продукт Bayer. Казалось бы, банальный элемент для нанесения на упаковку, но за эти семь лет код ни разу не был подделан.

Правила безопасности

Сканирование QR-кода — это простой и быстрый, но не единственный способ идентифицировать подлинность продуктов Bayer. На мероприятиях с клиентами наша команда рекомендует придерживаться следующих правил:

- **Избегать покупок** у неизвестных поставщиков в интернете и с рук.
- Быть внимательными, если вам предлагают **слишком низкую цену** за продукт.
- Всегда **сканировать QR-код** на продуктах компании Bayer.
- **Требовать документы**, в которых указаны все данные, подтверждающие вашу покупку.
- Проверять **внешний вид упаковки**, ее целостность и наличие маркировки.
- Покупать пестициды только у **официальных дистрибьюторов** или у компаний-производителей.

Если вы в чем-либо сомневаетесь, немедленно свяжитесь с официальным представителем Bayer на территории или позвоните на горячую линию: 8 (800) 234-20-15.

ПУТЬ К ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОМУ ХРАНЕНИЮ ПЛОДОВ

Вопрос продолжительности хранения урожая с сохранением его качественных показателей с каждым годом становится всё важнее. Продуктовые сети подстраивают свой сортовой рынок под сезонные потребности конечного потребителя, и год от года сроки реализации яблок разных сортов смещаются, время их хранения вынужденно увеличивается.



Задумываться о хранении полученной продукции аграриям следует уже с начала обрезки деревьев, так как сильная обрезка — это значительный стресс для растения, она может как способствовать периодичности плодоношения, высокому проценту закладки вегетативных (листовых) почек, а в последующих сезонах — высокому уровню нагрузки урожаем и физиологическим отклонениям в развитии растений и плодов, так и появлению на дереве разнокалиберной фракции, которую гораздо труднее длительное время удерживать в камере холодильника без потери качества. Затяжные осадки ранней весной повышают риски проявления складских заболеваний и уменьшают срок хранения продукции. Работа гормональными продуктами, стимулирующими синтез этилена («гормона старения»), для улучшения показателей окраса яблок и его интенсивности значительно снижает срок хранения яблок (до трех недель).

На помощь аграриям приходят элементы технологии, позволяющие снизить риски быстрой потери качества урожая на этапе хранения. Это сбалансированное питание (начиная с ранних этапов вегетации до созревания плодов) удобрениями с высоким содержанием элементов питания, необходимых в соответствии с фазой развития дерева, внесение основных корневых подкормок и фертигация в балансе с листовыми обработками, соблюдение правил синергизма и антагонизма при приготовлении баковых растворов минерального питания, повышение устойчивости деревьев к абиотическим стрессам, а также поддержание водного баланса,

контроль вредителей и болезней. Всё это основополагающие элементы технологии выращивания высококачественных яблок.

Помощь растению на уровне физиологии — неотъемлемый элемент технологии современного садоводства. Продукты, работающие в баковых растворах, применяемые совместно с плановыми обработками, значительно снижают дополнительные затраты, повышают рентабельность урожая. Эффективный запуск физиологических процессов в растениях, например повышение активности клеточного деления, распределение воды, синтез пигментов и накопление сахаров, элементов питания и энергии, — часть комплексного подхода к получению урожая высокого качества.

К физиологическим рискам в садах, с которыми сталкиваются агрономы, относятся подкожная пятнистость, стекловидность яблок, оржавленность, растрескивание плодов, проявление нажимов при сборе из-за нежной, тонкой кожуры, высокий процент физиологического осыпания, низкая плотность плодов и слабая плодоножка. Многие процессы возникновения таких отклонений можно контролировать, своевременно используя элементы минерального питания, аминокислотные биостимуляторы, антистрессовые продукты, максимально поддерживающие потенциал растения.

Важно работать на опережение рисков! Заходя в сад, каждый агроном хочет видеть здоровые деревья, активно развивающуюся в соответствии с периодом сезона вегетативную часть с равномерной нагрузкой урожая, ровным фракционным составом и чистыми яблоками. Работа по непосредственным проявлениям отклонений будет попыткой снижения последствий и приостановки их развития. Например, особенностью горькой ямчатости является ее редкое проявление в саду и частое — непосредственно в камере хранения спустя 4–6 недель после сбора и закладки урожая. В таком случае остановить развитие болезни, восстановить прежние качественные показатели и сохранить высокую рентабельность продукции невозможно.

Потери урожая от пятнистостей составляют в среднем 10–60%. Дополнительными факторами риска развития подкожной пятнистости являются высокие нормы азотных удобрений, поздний переход на питание продуктами без содержания азота или низкими его концентрациями, избыток калия и магния, поздний сьем яблок, несоблюдение условий хранения.

Чтобы контролировать развитие подобных отклонений, необходимо начинать листовые обработки кальцием через 7–10 дней после опадения лепестков, соблюдать интервал между обработками (12–15 дней), использовать высокоэффективные хелатированные продукты.

Еще одним фактором, способствующим проявлению горькой ямчатости, является стекловидность плодов.



Она вызывается разницей осмотического давления в клетках и межклетниках при ускоренном преобразовании крахмала в сахара. Так как клеточные стенки повреждены, клеточный сок заполняет свободное пространство, создавая эффект прозрачности, «остекленения» секторов плода. Это отклонение в большинстве случаев трудно обнаружить визуально, без разрезания плода. Стекловидности особенно подвержены такие сорта, как Флорина, Фуджи, Джонаголд, Айдаред, Ренет Симиренко. Нарушенный водный обмен, резкий перепад температур, воздействие температурного стресса и повышенного солнечного излучения в период вегетации, роста и налива плодов, высокие азотные нормы провоцируют данное физиологическое отклонение. Затягивание сроков сбора яблок дополнительно способствует ускоренному развитию стекловидности, плоды становятся ослабленными, создается высокий риск проявления заболеваний хранения. Ощутимо снижаются сортовые характеристики плодов, их вкусовые и органолептические показатели, сроки хранения, транспортабельность.

Меры профилактики стекловидности: выращивание маловосприимчивых к данному отклонению сортов; обеспечение регулярности плодоношения и равномерной нагрузки плодами; поддержание правильного водного режима, полноценная фертигация; опрыскивание кальцием в критические периоды его потребления, внесение марганца; постепенное охлаждение плодов перед закладкой на хранение.

В портфеле препаратов компании «Сингента» есть эффективные решения для контроля физиологических отклонений и поддержания растений на всех этапах развития.

Продукт КАЛЬБИТ С на основе хелатирующего агента LSA-лигнина позволяет растению быстро идентифицировать и эффективно распределить кальций, в том числе в плодах, что снижает риск дефицита данного элемента и поддерживает структуру и прочность плодов в период высоких температур в дневное и ночное время, когда растение активно тратит кальций в процессе интенсивного дыхания. Жидкая форма продукта легко смешивается в баковых растворах с большинством фунгицидов и инсектицидов компании «Сингента», не выпадает в осадок, не образует расслоений, комков, снижает поверхностное натяжение воды, что повышает эффективность всасывания в растение.

КАЛЬБИТ С можно применять в системах фертигации в качестве продукта для решения вопроса дефицита кальция, доставляя его через корневую систему.

Специальный биостимулятор БЕНЕФИТ Пз запускает активное клеточное деление в плодах, давая корневой системе сигналы о развитии яблок на всех уровнях дерева. Благодаря аминокислотам аргинина и триптофан плоды выравниваются по фракционному составу, потребляют равномерное количество питательных веществ и воды. Выравненная благодаря наличию кальция в яблоках и правильному водному балансу плодовая фракция позволяет эффективно контролировать проявление пятнистостей при хранении.

Независимо от того, какое проводится прореживание — химическое или механическое, БЕНЕФИТ Пз способствует увеличенной продолжительности хранения и высокой рентабельности, повышает процент товарного яблока.

БЕНЕФИТ Пз — продукт, работающий как отдельно, так и в баковых растворах. Он проверен в смесях с большинством препаратов компании «Сингента», не оказывает негативного влияния на эффективность

инсектицидов и фунгицидов. Максимальная отдача от продукта начинается с фазы «образование завязи — плод 1,5 см», повторная обработка проводится через семь дней. Так как БЕНЕФИТ Пз не содержит синтетических гормонов и действует на уровне физиологии растения, смещение применения на более поздние фазы будет значительно снижать его эффективность.

Аминокислотный биостимулятор-антистрессант МЕГАФОЛ поддерживает растение в период воздействия абиотических стрессов, поможет сохранить потенциал урожайности и качество яблок, дополнительно является отличным транспортным агентом для элементов минерального питания. Данный продукт будет способствовать восполнению растением энергии, обеспечит поддержку витаминами в критические фазы развития, такие как «цветение», «образование завязи», когда у растений резко увеличивается вынос элементов питания и высокие энергозатраты.

Специализированный биостимулятор СВИТ, содержащий комплекс из полисахаридов, цинка, магния, кальция и бора, способствует активному синтезу пигментов, улучшению покровного окраса и его интенсивности. Препарат повышает сахаристость (индекс BRIX) и равномерность созревания плодов, а также плотность и срок хранения фруктов, лежкость и транспортабельность за счет физиологического действия без дополнительного гормонального влияния. Полисахариды и микроэлементы стимулируют активность ферментов, непосредственно участвующих в процессах роста и созревания. Максимальную эффективность показывает применение препарата СВИТ в связке с биостимулятором МЕГАФОЛ. Обработки начинают за три недели до предполагаемого сбора в дозировке СВИТ 2 л/га + МЕГАФОЛ 1 л/га, затем следует повторная обработка через семь дней с нормой расхода СВИТ 1 л/га + МЕГАФОЛ 0,5 л/га.

Линия водорастворимых NPK-удобрений ПЛАНТАФОЛ предназначена для повышения продуктивности культур, поддержания в балансе основных элементов питания, контроля дефицита азота, фосфора и калия на этапах их максимального расхода растением. ПЛАНТАФОЛ — это адаптированные для листового применения продукты с растекателями и адъювантами в составе для лучшей усвояемости и эффективного проникновения в пластину листа.

ПЛАНТАФОЛ 10-54-10 — удобрение с высоким содержанием фосфора. Подходит для листового применения с ранних этапов вегетации, когда доступность почвенного фосфора и его подвижность ограничена, а растение начинает активно вегетировать и вступать в реакции фотосинтеза.

ПЛАНТАФОЛ 20-20-20 — равновесная по составу марка удобрений, поддерживающая потенциал растения в середине вегетации, способствующая получению более качественного урожая и повышению рентабельности продукции.

ПЛАНТАФОЛ 5-15-45 — с высоким содержанием калия. Необходим в садах на этапе созревания плодов. Обеспечивает высокую плотность кожуры, участвует в процессе окраса яблок, снижает травмику плодов при сборе, способствует более длительному хранению урожая и повышению процента транспортабельности.

Комплексный подход с интеграцией биологических продуктов и питания растений со средствами защиты компании «Сингента» — перспективная инвестиция, направленная на высокие показатели урожая, качества плодов, длительное хранение и высокую рентабельность.

Хороших урожаев и благоприятного, урожайного сезона!

УДК 619:616

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-24-28

Г.В. Коновалова^{1, 2} ✉
Е.И. Ковешникова¹
М.М. Каганова³
Е.Д. Никольская⁴
Н.Г. Яббаров⁴
К.Г. Курочкина¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений — филиал Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук», Москва, Россия

² Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Москва, Россия

³ Институт иммунологии Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

⁴ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, Москва, Россия

✉ g.konvalova@vgnki.ru

Поступила в редакцию:
22.03.2023

Одобрена после рецензирования:
22.03.2024

Принята к публикации:
28.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-24-28

Gella V. Konovalova^{1, 2} ✉
Elena I. Koveshnikova¹
Maria M. Kaganova
Elena D. Nikolskaya⁴
Nikita G. Yabbarov⁴
Karine G. Kurochkina¹

¹ All-Russian Scientific Research Institute of Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plants — a branch of the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre VIEV", Moscow, Russia

² The Russian state center for animal feed and drug standardization and quality, Moscow, Russia

³ National Research Center — Institute of Immunology Federal Medical-Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

⁴ N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ g.konvalova@vgnki.ru

Received by the editorial office:
22.03.2023

Accepted in revised:
22.03.2024

Accepted for publication:
28.03.2024

Антипролиферативная активность *in vitro* экстрактов личинок *Trichinella spiralis* в зависимости от стадии инвазии после экспериментального заражения крыс

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Цель исследований — оценка антипролиферативной активности *in vitro* экстрактов личинок *T. spiralis*, полученных от зараженных крыс, в зависимости от длительности инвазии.

Методы. Опыт проводили на аутбредных крысах-самцах, зараженных личинками *T. spiralis* из расчета 10 личинок на 1 г массы тела. Антипролиферативную активность экстрактов личинок, полученных через 40 суток, 3 и 12 месяцев после заражения, определяли на опухолевых клетках линии A549 (карцинома легкого человека) с использованием МТТ-теста при культивировании в течение 24, 48 и 72 час. в концентрациях от 32 до 1000 мкг/мл. Антипролиферативную активность выражали в процентах ингибирования и IC₅₀.

Результаты. Выявлена прямая зависимость антипролиферативного действия экстрактов трихинелл от времени культивирования с клетками A549 и концентрации белка в экстрактах. На всех стадиях инвазии антипролиферативная активность экстракта возрастала от 24 к 72 час. при концентрации белка от 250 до 1000 мкг/мл.

Антипролиферативная активность экстрактов, выраженная в значениях % ингибирования опухолевых клеток и IC₅₀, усиливалась от 40 суток к 12 месяцам. Наиболее интенсивная динамика усиления наблюдалась в период между 40 сутками и 3 месяцами. Возможной причиной повышения антипролиферативного эффекта экстрактов к 3 и 12 месяцам инвазии является изменение количественного и качественного состава белков, входящих в экстракты.

Ключевые слова: *Trichinella spiralis*, крысы, опухолевые клетки A549, антипролиферативная активность, % ингибирования, IC₅₀

Для цитирования: Коновалова Г.В., Ковешникова Е.И., Каганова М.М., Никольская Е.Д., Яббаров Н.Г., Курочкина К.Г. Антипролиферативная активность *in vitro* экстрактов личинок *Trichinella spiralis* в зависимости от стадии инвазии после экспериментального заражения крыс. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 24–28.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-24-28>

© Коновалова Г.В., Ковешникова Е.И., Каганова М.М., Никольская Е.Д., Яббаров Н.Г., Курочкина К.Г.

Antiproliferative activity *in vitro* of *Trichinella spiralis* larval extracts depending on the infection stage following experimental infection of rats

ABSTRACT

Relevance. The aim is evaluation *in vitro* antiproliferative activity of *T. spiralis* larvae extracts obtained from experimentally infected rats, depending on the duration of infection.

Methods. The experiment was carried out on outbred male rats infected with *T. spiralis* larvae at the rate of 10 larvae per 1 g of body weight. The antiproliferative activity of larval extracts obtained 40 days, 3 and 12 months after infection was determined on tumor cells of the A549 line (human lung carcinoma) using an MTT test during cultivation for 24, 48 and 72 hours in concentrations from 32 to 1000 micrograms/ml. Antiproliferative activity was expressed as % inhibition and IC₅₀.

Results. There was direct dependence of *Trichinella* extract antiproliferative effects on time of cultivation with A549 cells and protein concentration in extracts. At all stages of invasion, the antiproliferative activity of the extract increased from 24 to 72 hours. at a protein concentration of 250 to 1000 mcg/ml. The extract antiproliferative activity expressed in tumor cell % inhibition and IC₅₀ increased from day 40 to month 12. The most intense dynamics was observed between day 40 and month 3. The possible reason of enhancement in extract antiproliferative effect at months 3 and 12 is alteration in quantitative and qualitative composition of proteins comprised the extracts.

Key words: *Trichinella spiralis*, rats, tumor cells A549, antiproliferative activity, % inhibition, IC₅₀

For citation: Konovalova G.V., Koveshnikova E.I., Kaganova M.M., Nikolskaya E.D., Yabbarov N.G., Kurochkina K.G. Antiproliferative activity *in vitro* of extracts of *Trichinella spiralis* larvae depending on the stage of invasion after experimental infection of rats. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 24–28 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-24-28>

© Konovalova G.V., Koveshnikova E.I., Kaganova M.M., Nikolskaya E.D., Yabbarov N.G., Kurochkina K.G.

Введение/Introduction

Трихинеллез представляет собой гельминтоз, вызываемый паразитирующими в организме человека и животных нематодами рода *Trichinella*. Многие вопросы, касающиеся морфологии трихинелл, круга хозяев, цикла развития, источников и путей заражения, их патогенных свойств и т. п., всесторонне изучены и не нуждаются в особом представлении. Несколько особняком стоит очень интересная биологическая активность трихинелл, которую, несомненно, следует добавить к их общей характеристике.

В 1970 году N.F. Weatherly была открыта противоопухолевая активность *Trichinella spiralis* [1]. Значительно позднее появились отечественные и зарубежные публикации, в которых описан данный феномен в условиях *in vitro* и *in vivo* [2–10]. Имеются данные об антипролиферативном действии метаболитов трихинелл, в частности экскреторно-секреторных белков [11–16]. В указанных публикациях приводится информация об эффективности на различных опухолевых моделях, гипотетическом механизме данного действия, веществах и клетках, ответственных за данный эффект, и многое другое. Однако ни в одной из публикаций данные эффекты не связываются со стадией развития личинок, то есть «возрастом» трихинелл.

Между тем в организме зараженных животных трихинеллы проходят сложный путь развития, на котором происходит модификация их морфологии, функций, белкового состава, что среди прочего может оказать непосредственное влияние на проявление противоопухолевого действия.

В целом настоящее исследование направлено на дальнейшее углубленное исследование интересного феномена антипролиферативного действия трихинелл и продуктов их жизнедеятельности. Кроме того, исследования подобного научного направления открывают новые аспекты взаимоотношений «паразит — хозяин», а также создают перспективу для создания противоопухолевых препаратов совершенно новой природы и биологического происхождения.

Цель исследования — изучение антипролиферативного действия в условиях *in vitro* на опухолевой модели A549 экстрактов личинок *Trichinella spiralis*, полученных на разных стадиях после экспериментального заражения крыс.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования выполняли в 2022–2023 гг. в лаборатории экспериментальной терапии, виварии ВНИИП им К.И. Скрябина и виварии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования Минздрава России. Для заражения использовали половозрелых аутбредных крыс-самцов, полученных из питомника «Филиал “Андреевка” ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий Федерального медико-биологического агентства» (ФГБУН НЦБМТ ФМБА России).

Конвенциональных крыс-самцов заражали личинками *T. spiralis* внутрижелудочно с использованием общепринятого метода^{1, 2} из расчета 10 личинок на 1 г массы тела.

С наблюдением биоэтических норм³ на 40-е сутки, через 3 и 12 месяцев после заражения крыс (по 3 шт.) подвергали эвтаназии дислокацией шейных позвонков. На каждый указанный срок исследования проводили выделение личинок и приготовление экстракта.

Личинок *T. spiralis* выделяли из всей тушки крыс перевариванием мясного фарша в искусственном желудочном соке. Переваривание проводили в термостате при температуре 39–42 °С в течение 12–16 час., и белковый экстракт личинок трихинелл готовили, как описано в патенте РФ⁴. Выделенные инвазионные личинки помещали в физиологический раствор и измельчали при 0 °С до получения однородной массы. Экстракцию проводили в течение 12–16 час. на магнитной мешалке. После окончания экстракции суспензию центрифугировали при 18 000 об/мин в течение 1 час. на холоде, осадок удаляли. Супернатант использовали в качестве белкового экстракта.

Концентрацию белка в экстрактах определяли с использованием бицинхониновой кислоты (в мкг/мл)⁵. Антипролиферативную активность экстрактов оценивали на клетках опухолевой линии A549 (карцинома легкого человека) (ФГБУ «НИЦЭМ им. Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России) с использованием МТТ-теста в стандартном протоколе⁶.

Кратко принцип МТТ-теста: НАДФ-Н-зависимые клеточные оксидоредуктазные ферменты могут (при определенных условиях) отражать количество жизнеспособных клеток. Эти ферменты способны восстанавливать тетразолиевый краситель 3-(4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5-дифенил-тетразолий бромид в нерастворимый формазан, который имеет пурпурное окрашивание.

Экстракты тестировали в диапазоне концентраций от 32 до 1000 мкг/мл.

Результаты тестирования, полученные в значениях оптической плотности (прямо пропорциональной количеству оставшихся живых опухолевых клеток), преобразовывали и выражали в % ингибирования пролиферации опухолевых клеток, а также в значениях IC₅₀ с использованием программы OrogenPro 8.5 (OriginLab Corporation, США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Личинки трихинелл выделяли в разные периоды после экспериментального заражения крыс, когда они достигали мышечной стадии развития. Временные точки отбора личинок были подобраны таким образом, чтобы охватить достаточно продолжительный период времени: практически в самом начале мышечной стадии (40 суток), спустя 3 месяца. Конечной точкой был весьма отдаленный срок, то есть через 12 месяцев после заражения крыс. Такой дизайн эксперимента позволил сравнить и дифференцировать активность экстрактов в разные периоды мышечной стадии развития личинок, которые разделялись значительными интервалами времени.

¹ Астафьев Б.А., Яроцкий Л.С., Лебедева М.Н. Экспериментальные модели паразитозов в биологии и медицине. М.: Наука. 1989; 278.

² Кротов А.И. Основы экспериментальной терапии гельминтозов. Москва. 1973; 272.

³ The Council for International Organizations of Medical Sciences, International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. Alternatives to laboratory animals: ATLA. 1985; 12(4).

⁴ Новик Т.С., Ковешникова Е.И., Бережко В.К. и др. Патент РФ, RU 2 671 632 C1. Применение белкового экстракта в качестве антипролиферативного и цитотоксического средства (опуб. 06.11.2018).

⁵ Smith P.K. et al. Measurement of protein using bicinchoninic acid. Anal. Biochem. Academic Press. 1985; 150: 1: 76–85.

⁶ Faustova M.R., Nikolskaya E.D., Zhunina O.A. et al. Polymer nanoparticles loaded with FeCl₄-tetraphenylporphyrin for binary catalytic therapy of neoplasms. Russ Chem Bull 67. 2018; 359–365. <https://doi.org/10.1007/s11172-018-2081-z>

В таблице 1 и на рисунках 1–3 (в более наглядной форме) приведены данные, выраженные в значениях % ингибирования, в различных концентрациях во временной динамике на разных стадиях инвазии (нулевое значение % ингибирования означает отсутствие различий по сравнению с контрольным вариантом опыта без внесения испытуемых экстрактов).

В целом имела место очевидная прямая зависимость исследуемого антипролиферативного действия экстракта от времени культивирования с опухолевыми клетками A549 и концентрации белка.

На все временные сроки (40 суток, 3 и 12 месяцев) антипролиферативная активность испытуемого экстракта возрастала от 24 к 72 час. (табл. 1) и во всех случаях была наиболее высокой на 72 часа (рис. 1, 2). Однако эта тенденция была наиболее выраженной для экстрактов, приготовленных из личинок, отобранных на 40 суток после заражения (повышение % ингибирования от 17,68 до 66,21%) и в несколько меньшей степени через 3 месяца (повышение % ингибирования от 62,5 до 84,27%). Экстракт из личинок, выделенных через 12 месяцев после заражения, приводил к существенному снижению количества опухолевых клеток уже через 24 часа (% ингибирования — 73,91).

С учетом того что антипролиферативная активность была наиболее высокой на 72 часа, то при дальнейшем совокупном анализе всех полученных данных ориентировались на данное значение в качестве наиболее иллюстративного показателя.

В отношении зависимости «доза — эффект» на разных стадиях инвазии можно отметить следующее: через 40 суток после заражения наиболее высокий процент ингибирования отмечали в максимальной концентрации 1000 мкг/мл (66,21%); в концентрации 500 мкг/мл процент ингибирования также был достаточно выраженным (42,38%) (табл. 1, рис. 1).

Спустя 3 месяца после заражения экстракт трихинелл привел к существенному ингибированию пролиферации опухолевых клеток A549 в двух концентрациях (1000 и 500 мкг/мл) на уровне 84,27% и 77,53% соответственно (табл. 1, рис. 2). Даже концентрация 250 мкг/мл оказала определенное ингибирующее действие (35,96%). То есть по сравнению с начальной точкой (40 суток) активность проявлялась в более широком ряду концентраций 1000, 500 и 250 мкг/мл и на более высоком уровне.

Через 12 месяцев после заражения экстракт личинок проявил высокое антипролиферативное действие в концентрациях 1000 и 500 мкг/мл. Так, соответственно, процент ингибирования в указанных концентрациях составил 89,91% и 86,61%, данный показатель равнялся 35,02% при тестировании в концентрации 250 мкг/мл (табл. 1, рис. 3).

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что антипролиферативная активность экстракта личинок наиболее интенсивно возрастала от 40 суток к 3 месяцам (табл. 1, рис. 1, 2). В последующий период времени, то есть между 3 и 12 месяцами после заражения крыс, динамика повышения антипролиферативной активности не была такой интенсивной, но, как отмечено выше, усиление эффекта наиболее показательным выразилось в более раннем его проявлении, уже на 24 часа (табл. 1, рис. 1–3).

Полученные данные позволили рассчитать значения IC_{50} экстрактов, полученных на разных временных

Таблица 1. Антипролиферативная активность экстрактов из личинок *T. spiralis*, выделенных из мышечной ткани крыс, на разных стадиях инвазии после экспериментального заражения

Table 1. Antiproliferative activity of extracts of *T. spiralis* larvae isolated from rat muscle tissue at different stages following experimental infection

Концентрация белка, мкг/мл	Антипролиферативная активность, % ингибирования								
	40 суток			3 месяца			12 месяцев		
	24 ч.	48 ч.	72 ч.	24 ч.	48 ч.	72 ч.	24 ч.	48 ч.	72 ч.
1000	17,68	47,6	66,21	62,5	79,00	84,27	73,91	82,05	89,91
500	0	11,06	42,38	42,19	69,00	77,53	49,00	72,18	86,61
250	0	0	5,01	15,63	31,00	35,96	6,61	19,39	35,02
125	0	0	0	1,56	13,00	16,85	0	6,33	10,15
63	0	0	0	0	6,00	8,99	0	0	1,90
32	0	0	0	0	0	0	0	0	2,52

Рис. 1. Антипролиферативная активность экстракта личинок *T. spiralis*, выделенных из мышечной ткани крыс через 40 суток после заражения, в различных концентрациях белка и во временной динамике в отношении клеток

Fig. 1. Antiproliferative activity of extract of *T. spiralis* larvae isolated from rat muscle tissue on day 40 following infection at various protein concentrations and time dynamics

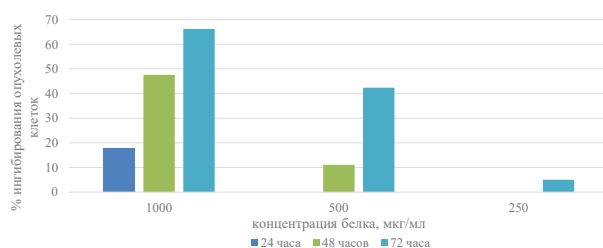


Рис. 2. Антипролиферативная активность экстракта личинок *T. spiralis*, выделенных из мышечной ткани крыс через 3 месяца после заражения, в различных концентрациях белка и во временной динамике.

Fig. 2. Antiproliferative activity of extract of *T. spiralis* larvae isolated from rat muscle tissue on month 3 following infection at various protein concentrations and time dynamics.

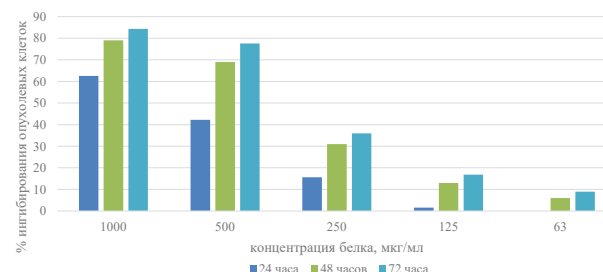
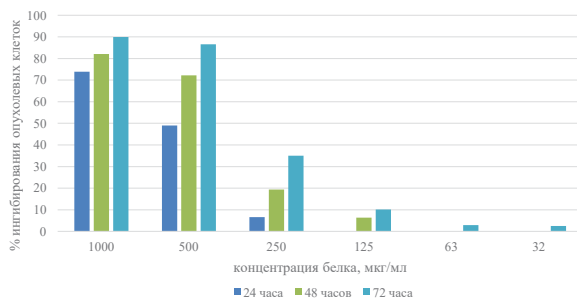


Рис. 3. Антипролиферативная активность экстракта личинок *T. spiralis*, выделенных из мышечной ткани крыс через 12 месяцев после заражения, в различных концентрациях белка и во временной динамике

Fig. 3. Antiproliferative activity of extract of *T. spiralis* larvae isolated from rat muscle tissue on month 12 following infection at various protein concentrations and time dynamics

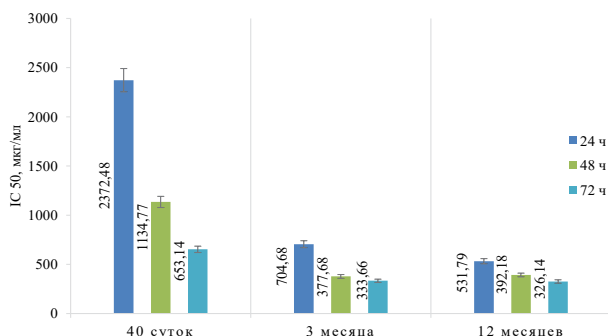


точках после заражения крыс. Значения IC_{50} определяли на 24, 48 и 72 часа (OroginPro 8.5, OroginLab) (рис. 4).

Как следует из данных рисунка, значение IC_{50} наиболее резко снижалось в период от 40 суток к 3 месяцам, в дальнейший период времени (от 3 к 12 месяцам) изменения носили менее выраженный характер.

Рис. 4. Значения IC₅₀ экстрактов личинок *T. spiralis*, выделенных из мышечной ткани крыс через 40 суток, 3 и 12 месяцев после заражения, в отношении опухолевых клеток A549 во временной динамике (24 ч., 48 ч. и 72 ч.)

Fig. 4. IC₅₀ values of extracts of *T. spiralis* larvae isolated from rat muscle tissue on day 40, months 3 and 12 following infection in respect to tumor cell line A549 over time (24 h, 48 h and 72 h)



Как указывалось выше, данное исследование охватывало большой период «жизни» личинок трихинелл (практически целый год) на мышечной стадии их развития. После попадания в мышечную ткань личинки увеличиваются в размере, покрываются капсулой, которая позднее пропитывается солями кальция и в конечном итоге обызвествляется. В таком состоянии личинки могут находиться до 10 лет и более, сохраняя при этом свою жизнеспособность.

В качестве источника продуктов трихинелл использовали цельный экстракт личинок. Испытуемый экстракт трихинелл представляет собой сложную смесь, в частности белковых продуктов, состав которых, несомненно, претерпевает изменения и модификации во времени. Поскольку исследование проводилось в условиях *in vitro* с использованием экстрагированных продуктов личинок, то в данном случае можно говорить об их прямом действии на опухолевые клетки.

В ряде публикаций не только констатируется наличие противоопухолевого действия метаболитов трихинелл, но и установлено, что гибель опухолевых клеток происходит в результате апоптоза [4, 7, 8, 10, 16]. Также гипотетически называются белковые продукты, ответственные за данный эффект, в частности кавеолин-1, белки теплового шока, рибосомальные белки, тропомиозины и другие [7].

В условиях *in vivo* механизм намного сложнее. Некоторые авторы связывают его с воздействием трихинелл на иммунную систему хозяина в качестве иммуномодулятора [7, 13–15, 17]. Тем не менее можно согласиться с мнением большинства авторов о том, что механизм данного эффекта остается неизвестным.

Не имея достаточной информации, невозможно назвать конкретную причину повышения противоопухолевой

активности к 3 или 12 месяцам эксперимента. Однако можно предположить, что определенное возрастание антипролиферативного действия может иметь место за счет повышения уровня белков и белковых фракций, ответственных за данный эффект, «созревания» релевантных белков, превращения их из пробелков в зрелые белки и тому подобное. Возможной причиной повышения антипролиферативного эффекта экстрактов является изменение количественного и качественного состава белков, входящих в состав экстрактов, с преобладанием продуктов, обладающих антипролиферативным действием. Причем наиболее значимые изменения, вероятно, происходят в период между 40 сутками и 3 месяцами, а затем менее интенсивно. Таким образом, более «зрелые» трихинеллы (после 3 месяцев инвазии) являются наиболее оптимальным источником продуктов, активных в отношении противоопухолевого действия.

В качестве еще одного предположения следует отметить, что, возможно, белки, ответственные за антипролиферативное действие, не представляют собой белки, ответственные за другие известные активности личинок, например патогенные, иммуносупрессивные, антигенные свойства или др.

Выводы/Conclusions

Получены белковые экстракты личинок *T. spiralis* через 40 суток, 3 и 12 месяцев после экспериментального заражения крыс. При оценке антипролиферативной активности полученных экстрактов на клетках опухолевой линии A549 установлено, что имела место прямая зависимость исследуемого антипролиферативного действия экстрактов от времени культивирования с опухолевыми клетками A549 и концентрации белка в экстракте. В частности, на всех стадиях инвазии антипролиферативная активность испытуемого экстракта возрастала от 24 к 72 часам в диапазоне концентраций белка от 250 до 1000 мкг/мл.

Антипролиферативная активность экстрактов личинок, выраженная в значениях % ингибирования опухолевых клеток и IC₅₀, последовательно усиливалась от 40 суток к 12 месяцам. Наиболее интенсивную динамику повышения наблюдали в период между 40 сутками и 3 месяцами. В последующий период времени (между 3 и 12 месяцами после заражения крыс) повышение антипролиферативной активности было менее выраженным, но усиление эффекта выражалось в более раннем начале его проявления — уже на 24 часа.

Возможной причиной последовательного повышения антипролиферативного эффекта экстрактов к 3 и 12 месяцам инвазии является изменение количественного и качественного состава белков, входящих в экстракты.

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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Weatherly N.F. Increased Survival of Swiss Mice Given Sublethal Infections of *Trichinella spiralis*. *The Journal of Parasitology*. 1970; 56(4): 748–752. <https://doi.org/10.2307/3277722>
- Kang Y.-J. et al. *Trichinella spiralis* infection reduces tumor growth and metastasis of B16-F10 melanoma cells. *Veterinary Parasitology*. 2013; 196(1–2): 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.02.021>
- Liao C., Cheng X., Liu M., Wang X., Boireau P. *Trichinella spiralis* and Tumors: Cause, Coincidence or Treatment?. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*. 2018; 18(8): 1091–1099. <https://doi.org/10.2174/187152061766617112115847>
- Luo J. et al. Study on the mitochondrial apoptosis pathways of small cell lung cancer H446 cells induced by *Trichinella spiralis* muscle larvae ESPs. *Parasitology*. 2017; 144(6): 793–800. <https://doi.org/10.1017/S0031182016002535>

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.

REFERENCES

- Weatherly N.F. Increased Survival of Swiss Mice Given Sublethal Infections of *Trichinella spiralis*. *The Journal of Parasitology*. 1970; 56(4): 748–752. <https://doi.org/10.2307/3277722>
- Kang Y.-J. et al. *Trichinella spiralis* infection reduces tumor growth and metastasis of B16-F10 melanoma cells. *Veterinary Parasitology*. 2013; 196(1–2): 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.02.021>
- Liao C., Cheng X., Liu M., Wang X., Boireau P. *Trichinella spiralis* and Tumors: Cause, Coincidence or Treatment?. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*. 2018; 18(8): 1091–1099. <https://doi.org/10.2174/187152061766617112115847>
- Luo J. et al. Study on the mitochondrial apoptosis pathways of small cell lung cancer H446 cells induced by *Trichinella spiralis* muscle larvae ESPs. *Parasitology*. 2017; 144(6): 793–800. <https://doi.org/10.1017/S0031182016002535>

5. Molinari J.A., Ebersole J.L. Antineoplastic Effects of Long-Term *Trichinella spiralis* Infection on B-16 Melanoma. *International Archives of Allergy and Applied Immunology*. 1977; 55(1-6): 444-448. <https://doi.org/10.1159/000231956>
6. Pocock D., Meerovitch E. The anti-neoplastic effect of trichinellosis in a syngenic murine model. *Parasitology*. 1982; 84(3): 463-473. <https://doi.org/10.1017/S0031182000052768>
7. Sadr S., Yousefsani Z., Simab P.A., Alizadeh A.J.R., Lotfalizadeh N., Borji H. *Trichinella spiralis* as a Potential Antitumor Agent: An Update. *World's Veterinary Journal*. 2023; 13(1): 65-74. <https://doi.org/10.54203/scil.2023.vwj7>
8. Vasilev S., Ilic N., Gruden-Movsesijan A., Vasiljic S., Bosic M., Sofronic-Milosavljevic L. Necrosis and apoptosis in *Trichinella spiralis*-mediated tumor reduction. *Central European Journal of Immunology*. 2015; 40(1): 42-53. <https://doi.org/10.5114/ceji.2015.50832>
9. Wang X.L. et al. *Trichinella spiralis* — A potential anti-tumor agent. *Veterinary Parasitology*. 2009; 159(3-4): 249-252. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.10.052>
10. Wang X.L. et al. An anti-tumor protein produced by *Trichinella spiralis* induces apoptosis in human hepatoma H7402 cells. *Veterinary Parasitology*. 2013; 194(2-4): 186-188. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.01.052>
11. Бережко В.К. и др. *Trichinella spiralis* как ингибитор пролиферации опухолевых клеток. Труды ВИАЭВ. 2018; 80(1): 101-110. <https://doi.org/10.30917/ATT-PRINT-2018-1>
12. Berezhko V.K. et al. Evaluation of *Trichinella spiralis* larvae extract as an inhibitor of antiproliferative effect on human breast cancer cell culture — MCF-7. *Scientia Parasitologica*. 2019; 20(5): 123-124. <https://www.elibrary.ru/grreoj>
13. Ding J. et al. *Trichinella spiralis* ESP inhibits tumor cell growth by regulating the immune response and inducing apoptosis. 2021; 19. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-257172/v1>
14. Ding J. et al. Excretory-secretory product of *Trichinella spiralis* inhibits tumor cell growth by regulating the immune response and inducing apoptosis. *Acta Tropica*. 2022; 225: 106172. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.106172>
15. Sofronic-Milosavljevic L., Ilic N., Pinelli E., Gruden-Movsesijan A. Secretory Products of *Trichinella spiralis* Muscle Larvae and Immunomodulation: Implication for Autoimmune Diseases, Allergies, and Malignancies. *Journal of Immunology Research*. 2015; 2015: 523875. <https://doi.org/10.1155/2015/523875>
16. Wu H. et al. *Trichinella spiralis* muscle larvae excretory/secretory products trigger apoptosis and S-phase arrest of the non-small-cell lung cancer line A549. *Experimental Parasitology*. 2020; 218: 107983. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2020.107983>
17. Gong P. et al. Identification and characterization of myeloma-associated antigens in *Trichinella spiralis*. *Experimental Parasitology*. 2011; 127(4): 784-788. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2010.12.001>

ОБ АВТОРАХ

Гелла Владимировна Коновалова^{1, 2}

заведующая отделом
g.konovlova@vgnki.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5306-7303>

Елена Ивановна Ковешникова¹

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
koveshnikova.e.i@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4512-7772>

Мария Михайловна Каганова³

младший научный сотрудник
mariya.kaganova.99@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2596-5779>

Елена Дмитриевна Никольская⁴

кандидат химических наук, старший научный сотрудник
elenanikolskaja@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1931-3117>

Никита Григорьевич Яббаров⁴

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
yabbarovng@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3361-9136>

Каринэ Гегамова Курочкина¹

доктор ветеринарных наук
kar.kur.49@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2738-8853>

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений — филиал Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук», ул. Большая Черемушнская, 28, Москва, 117218, Россия

² Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Звенигородское шоссе, 5, Москва, 123022, Россия

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр «Институт иммунологии» Федерального медико-биологического агентства» (ФГБУ ГНЦ «Институт иммунологии» ФМБА России), Каширское шоссе, 24, Москва, 115522, Россия

⁴ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук
ул. им. Косыгина, 4, Москва, 119334, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Gella Vladimirovna Konovlova^{1, 2}

Head of the Department
g.konovlova@vgnki.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5306-7303>

Elena Ivanovna Koveshnikova¹

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
koveshnikova.e.i@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4512-7772>

Maria Mikhailovna Kaganova³

Junior Research Assistant
mariya.kaganova.99@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2596-5779>

Elena Dmitrievna Nikolskaya⁴

Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher
elenanikolskaja@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1931-3117>

Nikita Grigoryevich Yabbarov⁴

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
yabbarovng@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3361-9136>

Karine Gegamova Kurochkina¹

Doctor of Veterinary Sciences
kar.kur.49@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2738-8853>

¹ All-Russian Scientific Research Institute of Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plants – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre VIEV", 28 Bolshaya Cheremushkinskaya Str., Moscow, 117218, Russia

² All-Russian State Center for Quality and Standardization of Medicines for Animals and Feed, 5 Zvenigorodskoe highway, Moscow, 123022, Russia

³ Federal State Budgetary Institution «State Scientific Center "Institute of Immunology" of the Federal Medical and Biological Agency» (FSBI SSC "Institute of Immunology" of the FMBA of Russia), 24 Kashirskoe highway, Moscow, 115522, Russia

⁴ N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, 4 Kosygin Str., Moscow, 119334, Russia

УДК 619:617.5:636.2.053

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-29-34

Е.П. Симурзина ✉
Р.С. Караулов
А.В. Лузова
В.В. Боронин
А.В. Обухова
В.Г. Семёнов

Чувашский государственный аграрный
университет, Чебоксары, Россия

✉ Gra92gra@gmail.com

Поступила в редакцию:
12.12.2023

Одобрена после рецензирования:
12.03.2024

Принята к публикации:
28.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-29-34

Elena P. Simurzina ✉
Roman S. Karaulov
Anna V. Luzova
Valery V. Boronin
Anastasia V. Obukhova
Vladimir G. Semenov

Chuvash State Agrarian University,
Cheboksary, Russia

✉ Gra92gra@gmail.com

Received by the editorial office:
12.12.2023

Accepted in revised:
12.03.2024

Accepted for publication:
28.03.2024

Применение противовоспалительных и иммунотропных средств при декорнуации молочных телят

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Обезроживание телят — это рутинная практика, используемая на многих молочных фермах. Прижигание роговых отростков является болезненной процедурой. Местные анестетики блокируют роговой нерв, уменьшая боль в момент процедуры, но это не устраняет послеоперационную боль. Применение противовоспалительных и иммуностимулирующих препаратов может снизить негативное влияние данной процедуры на организм животных.

Методы. Методология работы заключалась в исследовании эффективности применения иммунотропного препарата Bovistim-K и нестероидного противовоспалительного препарата «Кетопроф» при обезроживании телят.

Для проведения научных исследований были подобраны три группы телят черно-пестрой породы в возрасте 10–14 дней (по 10 животных в каждой). В контрольной группе телятам до и после термической обработки роговых отростков инъекций препаратов и инфильтрационную анестезию не проводили. В 1-й опытной группе перед обезроживанием проводили инфильтрационную анестезию и внутримышечно вводили «Кетопроф» в дозе 1,5 мл. Телятам 2-й опытной группы дополнительно за три дня до операции и в день операции инъектировали Bovistim-K в дозе 3,0 мл.

Результаты. Термический метод декорнуации в схеме с применением препаратов «Кетопроф» и Bovistim-K способствует наиболее быстрому восстановлению клинико-физиологических показателей телят, повышает концентрацию эритроцитов и гемоглобина в крови, снижает уровень лейкоцитов и общего белка, что свидетельствует об активизации компенсаторных механизмов организма. Использование иммунотропного средства Bovistim-K стимулирует регенерацию тканей, повышает устойчивость пораженных тканей в области термического ожога.

Ключевые слова: телята, декорнуация, «Кетопроф», Bovistim-K, термический ожог, общий белок, живая масса

Для цитирования: Симурзина Е.П., Караулов Р.С., Лузова А.В., Боронин В.В., Обухова А.В., Семёнов В.Г. Применение противовоспалительных и иммунотропных средств при декорнуации молочных телят. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 29–34.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-29-34>

© Симурзина Е.П., Караулов Р.С., Лузова А.В., Боронин В.В., Обухова А.В., Семёнов В.Г.

The use of anti-inflammatory and immunotropic preparations in the dehorning of dairy calves

ABSTRACT

Relevance. Decontamination of calves is a routine practice used on many dairy farms. Cauterization of the horny appendages is a painful procedure. Local anesthetics block the horny nerve, reducing pain at the time of the procedure, but this does not eliminate postoperative pain. The use of anti-inflammatory and immunostimulating drugs can reduce the negative effect of this procedure on the animal body.

Methods. The methodology of the work was to study the effectiveness of the use of the immunotropic drug “Bovistim-K” and the nonsteroidal anti-inflammatory drug “Ketoprof” in the decontamination of calves.

Three groups of black-and-white calves aged 10–14 days (10 animals each) were selected for scientific research. In the control group, the calves were not injected with drugs and infiltration anesthesia before and after heat treatment of the horny processes. In the 1st experimental group, infiltration anesthesia was performed before decontamination and “Ketoprof” was administered intramuscularly at a dose of 1.5 ml. The calves of the 2nd experimental group were additionally injected with “Bovistim-K” at a dose of 3.0 ml three days before surgery and on the day of surgery.

Results. The thermal method of decoration in the scheme using “Ketoprof” and “Bovistim-K” drugs contributes to the fastest recovery of clinical and physiological parameters of calves, increases the concentration of erythrocytes and hemoglobin in the blood, reduces the level of leukocytes and total protein, which indicates the activation of compensatory mechanisms of the body. The use of the immunotropic agent “Bovistim-K” stimulates tissue regeneration, increases the resistance of affected tissues in the area of thermal burn.

Key words: calves, dehorning, “Ketoprof”, “Bovistim-K”, thermal burn, total protein, live weight

For citation: Simurzina E.P., Karaulov R.S., Luzova A.V., Boronin V.V., Obukhova A.V., Semenov V.G. The use of anti-inflammatory and immunotropic preparations in the dehorning of dairy calves. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 29–34 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-29-34>

© Simurzina E.P., Karaulov R.S., Luzova A.V., Boronin V.V., Obukhova A.V., Semenov V.G.

Введение/Introduction

При рождении телята представляют собой «иммуностерильный организм» и именно по этой причине восприимчивы к ряду заболеваний [1, 2]. Высокому уровню заболеваемости молодняка животных способствуют технологические стрессы, даже перегруппировки и вакцинации повышают риски снижения иммунного ответа [3]. В условиях ведения молочного скотоводства уже в первые дни жизни телятам проводят удаление роговых зачатков, купирование хвостов, вакцинацию и т. д. [4, 6].

Удаление роговых зачатков у телят в ранний период развития имеет важное значение для снижения травматизма в условиях производства [6]. Известны три основных способа предотвращения роста рогов у молодняка крупного рогатого скота: термическая обработка, химический способ, хирургический способ.

Хирургический метод в современном скотоводстве менее востребован. Скотоводческие предприятия предпочитают химический метод, который заключается в нанесении едкой пасты на роговые отростки и постепенным их выжиганием. Процедура довольно проста в исполнении и требует минимальных затрат трудовых ресурсов. Однако данный метод не дает 100%-ного результата, и зачастую роговые зачатки продолжают развиваться. Именно поэтому ряд специалистов считают наиболее эффективным термический способ предупреждения роста рогов у телят [7]. Преимуществом термообезроживания является возможность проводить его массово во время зооветеринарных мероприятий, сочетая с вакцинацией или взвешиванием [8].

В Европейском союзе процедура удаления зачатков и рогов регулируется законами о защите животных, согласно которым обезроживание телят допустимо в возрасте до 4 недель путем термического прижигания с обязательной блокадой нерва рога¹. Однако на территории России большинство ветеринарных специалистов пренебрегают местной анестезией, и в итоге у животных в послеоперационный период отмечается выраженное нарушение поведения, а именно подергивание ушами, тряска головой и растирание головы, а также физиологические изменения, включая повышение уровня кортизола в плазме крови и частоту сердечных сокращений. В открытых источниках информации имеются данные по применению нестероидных противовоспалительных средств (НПВС) («Флуниксина») при декорнуации телят для смягчения стресса, боли, воспалительных реакций и аномального поведения после удаления рогов, кастрации [9, 10].

Применение препаратов, способствующих смягчению стрессового воздействия (обезболивание и введение антистрессовых препаратов), положительно сказывается на общем состоянии телят, интенсивности роста и их продуктивности [11].

Для снижения негативных последствий зооветеринарных мероприятий на организм животных применяются витаминно-минеральные комплексы в виде кормовых добавок или инъекционных препаратов, содержащих медь, цинк, селен, марганец и витамины А и Е,

которые способны скорректировать антиоксидантный статус и улучшить иммунный ответ [12–17].

Таким образом, предположим, что внутримышечные инъекции комплексного биопрепарата Bovistim-K, содержащего полисахаридный комплекс дрожжевых клеток в качестве иммуностимулирующего компонента и бета-каротин — провитамин А, обладающий выраженным антиоксидантным свойством, могут уменьшить стресс телят при обезроживании.

Цель данной работы — определить целесообразность применения нестероидного противовоспалительного препарата «Кетопроф» и иммуностимулирующего средства Bovistim-K в схеме декорнуации телят.

Для достижения цели поставлены следующие задачи: изучить основные показатели клинко-физиологического состояния (температуру тела, количество дыхательных движений, пульс) телят при обезроживании; определить состояние послеоперационных ран у опытных животных; провести анализ морфологических показателей крови телят на фоне термического способа предупреждения роста рогов; исследовать динамику общего белка в крови телят при обезроживании; изучить показатели прироста живой массы телят опытных групп.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

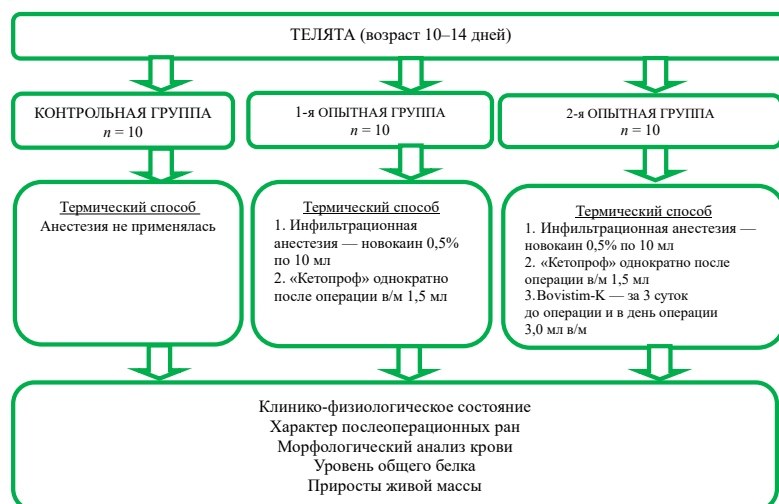
Научно-производственный эксперимент проведен на базе животноводческого комплекса ООО «Красное Сорново» (Красноармейский муниципальный округ, Республика Чувашия, Россия) с февраля по май 2023 года, обработка полученных данных произведена в условиях лаборатории клинко-гематологических исследований Чувашского государственного аграрного университета.

Объектами исследований выступили телята голштинской породы. Животные были подобраны по принципу групп-аналогов с учетом живой массы, сложности отела коров-матерей и клинко-физиологического состояния.

Всего сформированы три группы телят (по 10 голов в каждой). Исследования проведены согласно указанной схеме (рис. 1).

Телятам контрольной группы до и после термической обработки роговых отростков инъекций препаратов и инфильтрационную анестезию в области рогового бугорка не проводили.

Рис. 1. Схема опыта
Fig. 1. Experiment scheme



¹ Council Directive 98/58/EC of 20 July 1998 concerning the protection of animals kept for farming purposes. Official Journal L. 1998; 221: 0023–0027.

Животным 1-й опытной группы перед обезроживанием за 15–10 мин. проводили инфильтрационную анестезию в области каждого рогового зачатка, введя новокаин 0,5% по 10,0 мл. Для предупреждения воспалительных процессов и болезненных ощущений однократно после операции внутримышечно инъектировали «Кетопроф» в дозе 1,5 мл.

Телятам 2-й опытной группы, помимо местной инфильтрационной анестезии и инъекций нестероидного противовоспалительного препарата, дополнительно для активизации неспецифической резистентности и регенерации тканей за три дня до операции и в день операции проводили внутримышечные инъекции препарата Bovistim-K в дозе 3,0 мл.

Bovistim-K представляет собой суспензию, состоящую из полисахаридного комплекса дрожжевых клеток, иммобилизованных в агаре, с добавлением производного бензимидазола и бета-каротина (патентообладатель²: ФГБОУ ВО «Чувашский ГАУ», Россия).

«Кетопроф» — нестероидный противовоспалительный препарат, используется в качестве противовоспалительного, жаропонижающего и анальгезирующего средства (ООО «НПК «Асконт+»³, Россия).

Новокаин 0,5% применяли для местной инфильтрационной анестезии в области рогового зачатка (АО «Мосагроген», Россия)⁴.

Для обезроживания в опыте применяли электрический роговыжигатель (Buddex, Albert Kerbl GmbH, Германия), максимальная температура — 620 °С, время нагревания — 11 мин. Экспозиция термокаутера в области рогового бугорка варьировала от 5 до 8 сек., что напрямую зависело от размера рогового зачатка и толщины роговой пластинки.

При удалении роговых зачатков термокаутером важно снизить болевые ощущения и стрессовое воздействие на организм животных, обеспечивая бережное отношение к животным не только в рамках научных исследований, но и в условиях производства. Исходя из вышеизложенного, декорнуацию у животных проводили согласно принципам биоэтики⁵, в качестве местного анальгетика использовали новокаин 0,5%, действие которого начинается спустя 10 мин. после инъекции, продолжительность эффекта — 30 мин. Перед процедурой обезроживания телят надежно фиксировали, готовили операционное поле (выстригли волосяной покров). После проведения операции наблюдали за клиническим состоянием телят и состоянием операционных ран (наличие струпа, экссудата, отека и болезненности).

Выбранные временные точки: до операции, спустя 10 час., 5-е и 10-е сутки после удаления отростков представляли интерес, так как демонстрируют клинико-физиологический статус дооперационного, послеоперационного и переходного периодов, когда первоначальная некротическая ткань начинает отслаиваться от кожи

головы и в конечном итоге отпадает, оставляя открытую рану.

Научно-исследовательскую работу выполняли с использованием современных методик:

1) физиологических — регулярно осматривали телят, наблюдали за поведением и потреблением корма, проводили термометрию⁶, измеряли частоту пульса и количество дыхательных движений⁷; определение безопасности и эффективности методов обезроживания проводили по результатам сроков регенерации тканей⁸;

2) клинических — отбор проб крови проводили из яремной вены в одноразовые пробирки с коагулянтом до процедуры, спустя 24 ч. и 72 ч. после обезроживания⁹;

3) зоотехнических — определяли живую массу и среднесуточный прирост животных ежемесячным взвешиванием на электронных весах ВСП4-1000.2 Ж (ЗАО «Вес-Сервис», Россия), анализ приростов проводился с помощью компьютерной системы «1С:Цифровое животноводство. Оперативный учет и управление производством. КРС» («1С», «Концепт», Россия);

4) гематологических — общий анализ крови (эритроциты, гемоглобин, лейкоциты) проводили на автоматическом гематологическом анализаторе PCE 90 Vet (High Technology Inc., США);

5) уровень общего белка в сыворотке крови телят исследовали с помощью автоматического биохимического анализатора VetScanVS2 (Abaxis Inc., США);

6) статистических — полученные в ходе эксперимента результаты исследований подвергали анализу с использованием компьютерной программы Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

При физиологическом обследовании до операции средние показатели пульса составили в контрольной группе телят $74 \pm 1,28$ колеб/мин, в 1-й опытной группе — $75 \pm 0,98$, во 2-й опытной — $74 \pm 1,13$, что свидетельствует о стабильном состоянии и отсутствии нарушений сердечной деятельности. Однако через 10 час. после обезроживания у телят отмечено увеличение данного показателя, во 2-й опытной группе пульс был $77 \pm 1,09$ колеб/мин, что меньше, чем в контрольной, на 3 ед. Лишь к 5-м суткам после операции пульс телят в опытных группах стабилизировался, что подтверждает мнение ученых о длительности хронической боли после термического воздействия.

Температура тела у животных контрольной группы спустя 10 часов после обезроживания составила $39,3 \pm 0,42$ °С, при этом у трех телят этой группы было зафиксировано повышение данного показателя выше физиологической нормы — $39,5–40,0$ °С. Однако на 5-е сутки наблюдения температура тела телят нормализовалась.

Количество дыхательных движений имеет тенденцию к увеличению в послеоперационный период у животных

² Патент № 2800119 С1 Российская Федерация, МПК А61К 31/729, А61К 31/4184, А61К 31/715. Способ получения препарата для повышения неспецифической резистентности организма и профилактики акушерско-гинекологических заболеваний коров. Заявка № 2022128831 : заявл. 07.11.2022: опублик. 18.07.2023 / В.Г. Семёнов, В.Г. Тюрин, Е.П. Симурзина и др. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет».

³ ООО «НПК «Асконт+». Инструкция по ветеринарному применению лекарственного препарата «Кетопроф». Московская обл., г. Серпухов. — URL: <https://areal-bio.com/upload/iblock/06a/06a685f4bc3a9a1e4c1356e133e277c0.pdf>

⁴ ООО «АО «Мосагроген». Инструкция по применению лекарственного препарата «Новокаин 0,5%». Москва. — URL: <https://www.mosagrogen.ru/catalog/novokain-0-5/?ysclid=loh67ohzw462501809>

⁵ The Council for International Organizations of Medical Sciences, International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. 1985. Alternatives to laboratory animals: ATLA. 12(4).

⁶ Термометр электронный ветеринарный Vitavet PRO с гибким наконечником. Китай. Инструкция по применению. — URL: <https://yarvet.ru/upload/iblock/80f/nngasc2sfkydus32f69mil5ccbs0l9qd.pdf>

⁷ Клиническая диагностика внутренних болезней животных: учебник для вузов / С.П. Ковалев, А.П. Курдеко, Е.Л. Братушкина. 6-е изд. СПб.: Лань. 2022; 540.

⁸ Декорнуация крупного рогатого скота: учебно-методическое пособие / В.М. Руколь, Э.И. Веремей, В.А. Журба, Е.Е. Анашкин. Витебск: ВГАВМ. 2015; 34.

⁹ Пробирки вакуумные с коагулянтами, активатор свертывания. AMPULAB, Республика Корея. Инструкция по применению. — URL: https://vetshops.spb.ru/f/probirk_igly_ampulab.pdf?ysclid=ltv8qa40kv51234146

Таблица 1. Клинико-физиологический статус телят
Table 1. Clinical and physiological status of calves

Показатель	Группа животных (n = 10)			
	до операции	спустя 10 ч. после операции	5-е сутки после операции	10-е сутки после операции
<i>Контрольная (без анестезии)</i>				
Температура тела, °С	38,5±0,16	39,3±0,42	38,9±0,31	39,2±0,10
Пульс, колеб/мин	74±1,28	80±1,46	76±1,05	72±0,84
Дыхание, дв/мин	23±0,74	26±0,52	25±0,95	25±0,62
<i>1-я опытная (новокаин + «Кетопроф»)</i>				
Температура тела, °С	38,7±0,32	39,0±0,22*	38,8±0,25	39,0±0,46
Пульс, колеб/мин	75±0,98	79±0,80*	77±0,83*	74±0,77
Дыхание, дв/мин	22±1,15	24±0,76	20±0,62	22±0,84
<i>2-я опытная (новокаин + «Кетопроф» + Bovistim-K)</i>				
Температура тела, °С	38,4±0,09	38,9±0,05*	39,0±0,18*	38,8±0,27
Пульс, колеб/мин	74±1,13	77±1,09	75±0,75*	74±1,24
Дыхание, дв/мин	24±0,93	25±0,38	22±0,55	23±0,61

Примечание: * $p \leq 0,05$.

всех групп, однако в течение всего наблюдения показатель не выходил за пределы нормы, характерной для двухнедельного возраста телят.

Исходя из данных таблицы, можно утверждать, что наиболее критичным периодом при обезроживании являются 1-е сутки после процедуры, именно в эти сроки ослабленный организм телят восприимчив к патологическим изменениям на фоне стресса. Чтобы снизить нагрузку на компенсаторные механизмы организма, следует применять анестезию, НПВС (нестероидные противовоспалительные препараты) и иммуностимуляторы.

При внешнем осмотре ран уже на 2-е сутки отмечено воспаление в области роговых зачатков, при пальпации отмечали болезненность и повышение местной температуры. К 6-м суткам исследования у всех телят 1-й и 2-й опытных групп процесс заживления раны происходил в соответствии с нормой: струп серого цвета, болезненности и экссудата нет, местная температура незначительно выше общей. В контрольной группе у двух телят были зарегистрированы следующие изменения: болезненность, слабый рост соединительной ткани, у одного животного — значительный отек.

Установлено, что количество эритроцитов в крови телят отличалось, и спустя 24 часа после обезроживания концентрация данных форменных элементов у животных 1-й опытной группы превосходила контрольные показатели на $1,36 \times 10^{12}/л$ и $1,03 \times 10^{12}/л$ во 2-й опытной, спустя 72 ч. — на $1,23 \times 10^{12}/л$ и $1,49 \times 10^{12}/л$ соответственно.

Физиологический лейкоцитоз спустя 24 ч. и 72 ч. после декорнуации у подопытных животных, вероятнее всего, связан с выработкой адреналина и кортизола в ответ на стрессовое воздействие и болевые ощущения в результате обезроживания, что отмечается у телят всех подопытных групп. Концентрация белых клеток крови у телят контрольной группы возрастала за период наблюдения с $8,13 \pm 0,26$ г/л до $11,15 \pm 0,86$, то есть на 37,14%. В 1-й опытной группе наблюдалось повышение данного показателя на 21,12%, а во 2-й опытной — на 10,87%.

Применение «Кетопрофа» и Bovistim-K телятам после обезроживания способствует повышению концентрации в крови гемоглобина и эритроцитов. Так, на 1-е и 3-и сутки после декорнуации содержание гемоглобина в крови животных было выше (по сравнению с контролем в 1-й опытной группе) на 1,58% и 2,87%, во 2-й опытной — на 8,42% и 9,88% соответственно. При этом уже после первой инъекции Bovistim-K уровень всех изучаемых показателей у животных 2-й опытной группы был выше до проведения обезроживания в сравнении

Таблица 2. Морфологический профиль крови телят
Table 2. Morphological profile of blood of calves

Показатель	Группа		
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная
<i>До проведения обезроживания</i>			
Эритроциты, $\times 10^{12}/л$	8,05±0,08	8,14±0,10	8,23±0,12
Лейкоциты, $\times 10^9/л$	8,13±0,26	8,25±0,31	9,47±0,25
Гемоглобин, г/л	84,00±1,13	85,17±4,20	90,27±1,37
<i>Спустя 24 ч. после обезроживания</i>			
Эритроциты, $\times 10^{12}/л$	8,17±0,03	9,53±0,44	9,20±0,41
Лейкоциты, $\times 10^9/л$	10,45±0,11	9,05±0,35	9,44±0,90
Гемоглобин, г/л	85,15±0,88	86,50±3,34	92,32±1,86
<i>Спустя 72 ч. после обезроживания</i>			
Эритроциты, $\times 10^{12}/л$	8,62±0,25	9,85±0,72	10,11±0,73
Лейкоциты, $\times 10^9/л$	11,15±0,86	10,00±0,35*	10,50±0,19
Гемоглобин, г/л	86,00±4,74	88,47±2,05	94,50±2,22

Примечание: * $p \leq 0,05$.

с контрольными значениями: эритроцитов — на 2,23%, лейкоцитов — на 16,48%, гемоглобина — на 7,46%.

В 1-е сутки после удаления роговых зачатков у телят отмечался синдром общей адаптации организма, который способствует сохранению гомеостаза, данное явление сопровождалось также снижением количества общего белка, что и отмечено у телят всех групп.

В группах телят, где применялось иммуностимулирующее средство Bovistim-K, показатели общего белка сыворотки крови имели минимальную тенденцию к снижению за трое суток — всего на 0,89 г/л (1,38%), в то время как в контрольной группе выявлено снижение общего белка на 5,28 г/л (8,72%), в 1-й опытной группе — на 2,53 г/л (3,97%). Анализируя данные диаграммы (рис. 2), следует отметить, что концентрация общего белка не имела достоверных отличий между телятами всех групп.

О росте телят судили по результатам динамики живой массы (рис. 3) и среднесуточного прироста (табл. 3).

Установлено, что живая масса телят контрольной, 1-й и 2-й опытной групп за период опыта возрастала с $35,8 \pm 3,62$ до $88,4 \pm 1,56$, с $35,7 \pm 2,95$ до $90,4 \pm 2,07$ и с $35,5 \pm 1,14$ до $91,6 \pm 1,44$ кг соответственно. К 30-м

Рис. 2. Динамика уровня общего белка в сыворотке крови телят, г/л
Fig. 2. Dynamics of total protein in the blood of calves, g/l

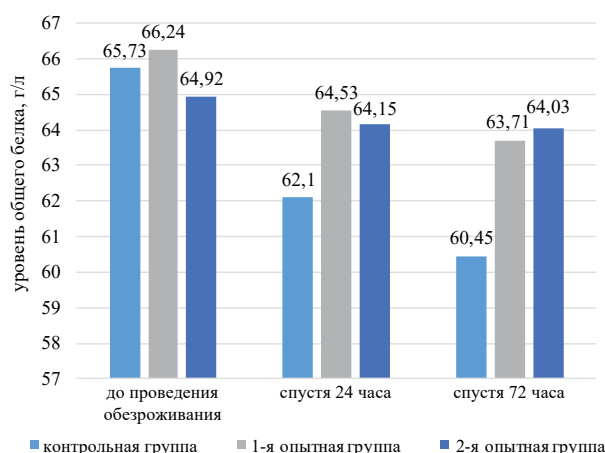


Рис. 3. Динамика роста живой массы телят, кг
Fig. 3. Dynamics of growth in live weight of calves

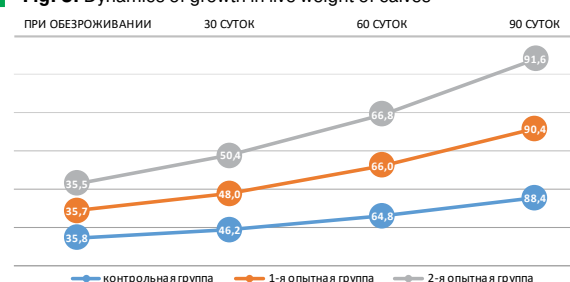


Таблица 3. Показатели среднесуточного прироста живой массы телят, г

Table 3. Indicators of the average daily gain in live weight of calves, g

Группа	Сроки наблюдения		
	30 суток	60 суток	90 суток
Контрольная	346,66 ± 3,20	620,00 ± 2,83	786,66 ± 1,02
1-я опытная	410,00 ± 1,37	600,00 ± 1,90	813,33 ± 2,45
2-я опытная	496,66 ± 2,18*	546,66 ± 1,72*	826,66 ± 2,15

Примечание: * $p \leq 0,05$.

суткам в контрольной группе средняя живая масса телят была ниже, чем в 1-й и 2-й опытных группах, на 0,6 кг и 0,9 кг, к 90-м суткам — на 1,4 кг и 2,6 кг соответственно.

На фоне термического обезроживания без применения местной анестезии и НПВС показатель среднесуточного прироста живой массы телят был ниже, чем в контроле, на 30-е сутки на 63,4 г и 150,0 г соответственно. К 90-м суткам животные 1-й и 2-й опытной групп превосходили контрольных животных на 26,7 г и 40,0 г соответственно.

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.

Выводы/Conclusion

Согласно полученным результатам термический метод декорнуации в схеме с применением «Кето-профа» и Bovistim-K способствует наиболее быстрому восстановлению клинико-физиологических показателей телят, повышает концентрацию эритроцитов на 2,23%, гемоглобина на 7,46%, сохраняет оптимальный уровень общего белка в крови, превосходя контрольные значения на 3,3–5,9%, снижает уровень лейкоцитов на 5,8–10,3%, что свидетельствует об активизации компенсаторных механизмов организма, направленных на снижение негативных последствий термического ожога.

Использование иммуностимулирующего средства Bovistim-K стимулирует регенерацию тканей, ускоряет процесс формирования струпа в области термического ожога. Дополнительное использование НПВС в схеме с Bovistim-K при обезроживании снижает отрицательное воздействие стресс-фактора на организм.

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

- Piccione G., Casella S., Pennisi P., Giannetto C., Costa A., Caola G. Monitoring of physiological and blood parameters during perinatal and neonatal period in calves. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2010; 62(1): 1–12. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000100001>
- Gomes V. et al. Morbidity and mortality in Holstein calves from birth to 145 days of age on a large dairy farm in Brazil. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2021; 73(5): 1029–1038. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12284>
- Шульга Н.Н., Труш Н.В., Саяпина И.Ю., Бугаева Л.И. Диагностика и патология стресса у новорожденных телят. *Эколого-биологическое благополучие растительного и животного мира. Тезисы докладов Международной научно-практической конференции: Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет*. 2020: 123–124. EDN: WUEPGW
- Alhussien M.N., Tiwari S., Panda B.S.K., Pandey Y., Lathwal S.S., Dang A.K. Supplementation of antioxidant micronutrients reduces stress and improves immune function/response in periparturient dairy cows and their calves. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2021; 65: 126718. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126718>
- Arfuso F. et al. Stress and inflammatory response of cows and their calves during peripartum and early neonatal period. *Theriogenology*. 2023; 196: 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.11.019>
- Веремей Э.И., Журба В.А., Андрейков А.А. Некоторые методы профилактики травматизма быков на откорме / Э.И. Веремей, В.А. Журба, А.А. Андрейков // *Ученые записки учреждения образования «Витебская академия «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»*. 2002; 38(2): 20–22. EDN: WAJUDZ
- Park S.J. et al. Effects of dehorning and lidocaine-plus-flunixin treatment on indicators of stress and acute inflammation, behaviors, and their association in Korean cattle bull calves. *Livestock Science*. 2020; 241: 104198. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104198>
- Лапина А.В., Евстафьев Д.М. Сравнение методов декорнуации телят в Калужской области. *Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной Дню основания Российского государственного аграрного университета. Калуга: Калужский филиал РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева*. 2023; 399–403. EDN: CFGNDX
- Mosher R.A., Wang C., Allen P.S., Coetzee J.F. Comparative effects of castration and dehorning in series or concurrent castration and dehorning procedures on stress responses and production in Holstein calves. *Journal of Animal Science*. 2013; 91(9): 4133–4145. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6007>
- Herskin M.S., Nielsen B.H. Welfare Effects of the Use of a Combination of Local Anesthesia and NSAID for Disbudding Analgesia in Dairy Calves—Reviewed Across Different Welfare Concerns. *Frontiers in Veterinary Science*. 2018; 5: 117. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00117>
- Анашкин Е.Е. Влияние комплексных (термического и химического) способов декорнуации телят на концентрацию кортизола в сыворотке крови и продуктивность при их применении. *Сельское хозяйство — проблемы и перспективы: Сборник научных трудов. Гродно: Гродненский государственный аграрный университет*. 2022; 3–8. EDN: TBYSKV
- Prince K. et al. Effect of Prepartum Vitamin E and Selenium on Antibody Transfer in Colostrum and Cattle Calves. *Pakistan Journal of Zoology*. 2017; 49(6): 1937–2341. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.6.2057.2066>

REFERENCES

- Piccione G., Casella S., Pennisi P., Giannetto C., Costa A., Caola G. Monitoring of physiological and blood parameters during perinatal and neonatal period in calves. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2010; 62(1): 1–12. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000100001>
- Gomes V. et al. Morbidity and mortality in Holstein calves from birth to 145 days of age on a large dairy farm in Brazil. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2021; 73(5): 1029–1038. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12284>
- Shulga N.N., Trush N.V., Sayapina I.Yu., Bugaeva L.I. Diagnosis and pathology of stress in newborn calves. *Ecological and biological well-being of flora and fauna. Abstracts of reports of the International scientific and practical conference: Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University*. 2020: 123–124. EDN: WUEPGW
- Alhussien M.N., Tiwari S., Panda B.S.K., Pandey Y., Lathwal S.S., Dang A.K. Supplementation of antioxidant micronutrients reduces stress and improves immune function/response in periparturient dairy cows and their calves. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2021; 65: 126718. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126718>
- Arfuso F. et al. Stress and inflammatory response of cows and their calves during peripartum and early neonatal period. *Theriogenology*. 2023; 196: 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.11.019>
- Veremey E.I., Zhurba V.A., Andreikov A.A. Some methods of injury prevention in fattening bulls / E.I. Veremey, V.A. Zhurba, A.A. Andreikov // *Scientific notes of the educational institution "Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine"*. 2002; 38(2): 20–22. EDN: WAJUDZ
- Park S.J. et al. Effects of dehorning and lidocaine-plus-flunixin treatment on indicators of stress and acute inflammation, behaviors, and their association in Korean cattle bull calves. *Livestock Science*. 2020; 241: 104198. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104198>
- Lapina A.V., Evstafiev D.M. Comparison of methods of calf decoration in the Kaluga region. *Materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference with international participation dedicated to the Founding Day of the Russian State Agrarian University. Kaluga: Kaluga branch of the Russian State Agrarian Academy named after K.A. Timiryazev*. 2023; 399–403. EDN: CFGNDX
- Mosher R.A., Wang C., Allen P.S., Coetzee J.F. Comparative effects of castration and dehorning in series or concurrent castration and dehorning procedures on stress responses and production in Holstein calves. *Journal of Animal Science*. 2013; 91(9): 4133–4145. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6007>
- Herskin M.S., Nielsen B.H. Welfare Effects of the Use of a Combination of Local Anesthesia and NSAID for Disbudding Analgesia in Dairy Calves—Reviewed Across Different Welfare Concerns. *Frontiers in Veterinary Science*. 2018; 5: 117. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00117>
- Anashkin E.E. The influence of complex (thermal and chemical) methods of decoration of calves on the concentration of cortisol in the blood serum and productivity when they are used. *Agriculture — problems and prospects: Collection of scientific papers. Grodno: Grodno State Agrarian University*. 2022; 3–8. EDN: TBYSKV
- Prince K. et al. Effect of Prepartum Vitamin E and Selenium on Antibody Transfer in Colostrum and Cattle Calves. *Pakistan Journal of Zoology*. 2017; 49(6): 1937–2341. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.6.2057.2066>

13. Semenov V.G. *et al.* Influence of biopreparations on the postnatal period of highly productive cows. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 935: 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/935/1/012041>

14. Kaewlamun W. *et al.* The influence of a supplement of β -carotene given during the dry period to dairy cows on colostrum quality, and β -carotene status, metabolites and hormones in newborn calves. *Animal Feed Science and Technology*. 2011; 165(1–2): 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.02.013>

15. Khatti A. *et al.* Supplementation of vitamin E, selenium and increased energy allowance mitigates the transition stress and improves postpartum reproductive performance in the crossbred cow. *Theriogenology*. 2017; 104: 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.08.014>

16. Mattioli G.A., Rosa D.E., Turic E., Relling A.E., Galarza E., Fazio L.E. Effects of Copper and Zinc Supplementation on Weight Gain and Hematological Parameters in Pre-weaning Calves. *Biological Trace Element Research*. 2018; 185(2): 327–331. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1239-0>

17. De K., Pal S., Mukherjee J., Prasad S., Dang A.K. Effect of In Vitro Copper and Zinc Supplementation on Neutrophil Phagocytic Activity and Lymphocyte Proliferation Response of Transition Dairy Cows. *Agricultural Research*. 2015; 4(4): 388–395. <https://doi.org/10.1007/s40003-015-0181-7>

13. Semenov V.G. *et al.* Influence of biopreparations on the postnatal period of highly productive cows. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 935: 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/935/1/012041>

14. Kaewlamun W. *et al.* The influence of a supplement of β -carotene given during the dry period to dairy cows on colostrum quality, and β -carotene status, metabolites and hormones in newborn calves. *Animal Feed Science and Technology*. 2011; 165(1–2): 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.02.013>

15. Khatti A. *et al.* Supplementation of vitamin E, selenium and increased energy allowance mitigates the transition stress and improves postpartum reproductive performance in the crossbred cow. *Theriogenology*. 2017; 104: 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.08.014>

16. Mattioli G.A., Rosa D.E., Turic E., Relling A.E., Galarza E., Fazio L.E. Effects of Copper and Zinc Supplementation on Weight Gain and Hematological Parameters in Pre-weaning Calves. *Biological Trace Element Research*. 2018; 185(2): 327–331. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1239-0>

17. De K., Pal S., Mukherjee J., Prasad S., Dang A.K. Effect of In Vitro Copper and Zinc Supplementation on Neutrophil Phagocytic Activity and Lymphocyte Proliferation Response of Transition Dairy Cows. *Agricultural Research*. 2015; 4(4): 388–395. <https://doi.org/10.1007/s40003-015-0181-7>

ОБ АВТОРАХ

Елена Павловна Симурица

кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры морфологии, акушерства и терапии
gra92gra@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3539-7808>

Роман Сергеевич Караулов

ассистент кафедры морфологии, акушерства и терапии
kafmorf@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7968-3411>

Анна Вячеславовна Лузова

ассистент кафедры морфологии, акушерства и терапии
annuutochka1@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8584-7205>

Валерий Викторович Боронин

кандидат ветеринарных наук, старший преподаватель кафедры морфологии, акушерства и терапии
boronin.v@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7500-8299>

Анастасия Вячеславна Обухова

кандидат ветеринарных наук, старший преподаватель кафедры морфологии, акушерства и терапии
nasty_obu@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1927-6675>

Владимир Григорьевич Семёнов

доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии
semenov_v.g@list.ru
<http://orcid.org/0000-0002-0349-5825>

Чувашский государственный аграрный университет,
ул. им. К. Маркса, 29, Чебоксары, 428003, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Elena Pavlovna Simurzina

Candidate of Veterinary Sciences, Docent of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy
gra92gra@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3539-7808>

Roman Sergeevich Karaulov

Assistant of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy
kafmorf@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7968-3411>

Anna Vyacheslavovna Luzova

Assistant of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy
annuutochka1@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8584-7205>

Valery Viktorovich Boronin

Candidate of Veterinary Sciences, Senior Lecturer of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy
boronin.v@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7500-8299>

Anastasia Vyacheslavna Obukhova

Candidate of Veterinary Sciences, Senior Lecturer of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy
nasty_obu@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1927-6675>

Vladimir Grigoryevich Semenov

Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy
semenov_v.g@list.ru
<http://orcid.org/0000-0002-0349-5825>

Chuvash State Agrarian University,
29 K. Marx Str., Cheboksary, 428003, Russia

УДК:612.824.6:636.2

Научный обзор

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-35-43

И.П. Новгородова

Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ им. академика
Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, г. о. Подольск,
Московская обл., Россия

✉ novg-inna2005@yandex.ru

Поступила в редакцию:
29.12.2023

Одобрена после рецензирования:
12.03.2024

Принята к публикации:
28.03.2024

Review

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-35-43

Inna P. Novgorodova

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal
Husbandry, Dubrovitsy village, Podolsk,
Moscow region, Russia

✉ novg-inna2005@yandex.ru

Received by the editorial office:
29.12.2023

Accepted in revised:
12.03.2024

Accepted for publication:
28.03.2024

Методы определения концентрации кортизола у животных

РЕЗЮМЕ

Стероидный гормон кортизол является конечным продуктом гипоталамо-гипофизонадпочечниковой оси (ГГНО). В последнее время кортизол рассматривают как потенциальный биомаркер для выявления стресса, так как он напрямую связан с реакцией организма на тревогу. Наиболее распространенными методами для определения эндокринного статуса, в том числе кортизола, являются иммуноферментный анализ (ИФА) и радиоиммуноанализ (РИА). Они являются наиболее надежными и обладают высокой чувствительностью. Уровень кортизола определяют в основном в крови, слюне, сыворотке и моче. Концентрация гормона в этих пробах связана с циркадным ритмом и колеблется в течение дня. Поэтому образцы биоматериала позволяют анализировать острые динамические изменения кортизола. Последствия хронического стресса требуют оценки его долгосрочных уровней. Концентрация кортизола в волосах (шерсти) всё чаще используется в качестве биомаркера длительного стресса. Анализ кортизола в волосах, таким образом, стал крупным методологическим достижением, поскольку обеспечивает ретроспективную оценку кумулятивных уровней в течение длительного периода времени — от нескольких дней до нескольких месяцев. За последнее десятилетие была установлена достоверность динамики уровня кортизола в волосах (шерсти) как показателя долгосрочного уровня. Кроме того, этот материал является наиболее стабильным в течение длительного времени и устойчивым к воздействию окружающей среды. Измерение уровня кортизола в волосах — это инновационный метод определения долгосрочного его повышения, не зависящего от многих методологических трудностей и не связанного с другими матрицами. Интерес к волосам как к объекту эндокринной активности обусловлен различными уникальными особенностями, которые дают много преимуществ по сравнению с другими биоматериалами.

Ключевые слова: кортизол, стресс, гипоталамо-гипофизонадпочечниковая ось, циркадный ритм, ИФА, животные

Для цитирования: Новгородова И.П. Методы определения концентрации кортизола у животных. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 35–43.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-35-43>

© Новгородова И.П.

Methods for determining cortisol concentrations in animals

ABSTRACT

The steroid hormone cortisol is the end product of the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis. Recently, cortisol has been considered as a potential biomarker for identifying stress, because it is directly related to the body's response. The most common methods for determining endocrine status, including cortisol, are enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) and radioimmunoassay (RIA), as they are the most reliable and have high sensitivity. Cortisol levels are determined mainly in blood, saliva, serum and urine. The concentration of this hormone in these samples is related to the circadian rhythm and fluctuates throughout the day. Therefore, samples of this biomaterial allow the analysis of acute dynamic changes in cortisol. The effects of chronic stress require assessment of long-term stress levels. Hair (fur) cortisol concentrations are increasingly used as a biomarker of long-term stress. Hair cortisol analysis has thus been a major methodological advance because it provides retrospective assessment of cumulative levels over long periods of time (from days to months). Over the past decade, the validity of hair (fur) cortisol levels as an indicator of long-term levels has been established. In addition, this material is the most stable over time and resistant to environmental influences. Measuring hair cortisol levels is an innovative method for determining long-term increases in cortisol levels, independent of many methodological difficulties and not associated with other matrices. Interest in hair as an object of endocrine activity is due to various unique features that provide many advantages over other biomaterials.

Key words: cortisol, stress, Hypothalamus-pituitary gland adrenal axis, circadian rhythm, ELISA, animals

For citation: Novgorodova I.P. Methods for determining cortisol concentrations in animals. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 35–43 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-35-43>

© Novgorodova I.P.

Введение/Introduction

Отсутствие надежного метода для определения хронического стресса как у людей, так и у животных привело к необходимости поиска неинвазивного надежного способа, отражающего долгосрочные концентрации кортизола в организме. Исследования, направленные на сравнение традиционно используемых субстратов (кровь, фекалии, слюна) и волос (шерсти) с целью изучения влияния стрессовых состояний на концентрацию гормонов, позволили получить доказательства, что последние являются подходящей матрицей для анализа глюкокортикоидов в организме [1].

Во время активного роста волос волосяная луковица тесно связана с капиллярной системой, окружающей фолликулы, и гормоны, в том числе кортизол, пассивно перемещаются из капилляров в стержень волоса. Эти образцы не позволяют определять краткосрочные гормональные колебания, а затрагивают только изменения, происходящие в организме при хроническом стрессе и к подавлению неадаптивных функций (изменение иммунной, репродуктивной системы и т. д.) [2, 3].

Анализ определения концентрации кортизола с использованием волос (шерсти) стал достаточно широко применяемым для ретроспективной оценки активности гипоталамо-гипофизонадпочечниковой системы (ГГНС) как за рубежом, так и в России. Основные работы, связанные с использованием шерсти в качестве «индикатора» содержания этого гормона у многих видов млекопитающих (диких и домашних), были проведены иностранными исследователями.

Основное преимущество использования волос (шерсти) при определении содержания кортизола в организме — это то, что они являются своего рода «архивом» деятельности эндокринной системы. Эти образцы позволяют определять средний уровень гормона, накопленного за определенный срок жизни у людей или животных при хроническом стрессе [1]. В то время как при традиционных методах можно выявить только кратковременные колебания кортизола при остром стрессе (период от нескольких минут до нескольких дней), для получения информации за более длительный период времени необходимо собирать несколько образцов таких субстратов, как кровь, моча и т. д. Отбор проб крови, слюны является стрессом для организма, что затрудняет интерпретацию полученных данных. Измерение кратковременных колебаний кортизола полезно при изучении непосредственных реакций животных на внешние раздражители и связанные с ними физиологические изменения в организме [4].

Другим преимуществом использования волос (шерсти) для определения концентрации кортизола в организме является стабильная среда для стероидов [3, 5]. Поэтому эти образцы могут транспортироваться и храниться в условиях окружающей среды, оставаясь биологически значимыми в течение длительного периода времени. Их можно собирать с помощью минимально инвазивных методов (выстригание, бритье), что является очень важным для мониторинга долгосрочной активности ГГНС системы, а также сохранения и благополучия жизни и здоровья животных [1]. Определение концентрации кортизола из волос (шерсти) является относительно простым методом при использовании в основном стандартного метода ИФА.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В работе применяли аналитические методы сбора информации и анализа иностранных источников

литературы за последние 25 лет. Глубина поиска была проведена с использованием данных Scopus, Web of Science и других научных баз.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ содержания кортизола в волосах (шерсти) является методологическим достижением, обеспечивающим ретроспективную оценку его кумулятивного уровня в течение длительного периода времени.

Использование кортизола. Кортизол является гормоном, секретлируемым пучковой оболочкой коры надпочечников и связываемым с глюкокортикоидными рецепторами. Этот гормон обнаружен почти в каждой клетке позвоночных. Секретция кортизола в организме происходит по определенному циркадному ритму и может существенно повышаться в ответ на физиологический стресс. Он играет важную роль в метаболизме жиров, белков и углеводов [6] и участвует в широком спектре физиологических процессов организма человека и животных.

Считается, что лучший способ биологического измерения стресс-реакции заключается в оценке активности гипоталамо-гипофизонадпочечниковой системы (ГГНС) с определением уровня кортизола. Уровень этого стероидного гормона в биологических образцах является ценным биомаркером для диагностики стресса. Именно поэтому определение кортизола в биологических жидкостях (сыворотка крови, слюна, моча) имеет большое клиническое значение [7].

Примерно 80–90% гормона в плазме крови связано с кортикостероидсвязывающими белками, остальная часть циркулирует в связанном виде с альбумином, лишь небольшая часть (около 10%) циркулирует в свободном виде. Секретция кортизола происходит под контролем гипоталамо-гипофизонадпочечниковой оси (ГГНО).

К основным функциям кортизола в организме относятся иммунный ответ, реакцию на стресс, а также гомеостаз глюкозы и белка. Кортизол оказывает большое влияние на уровень сахара в крови, обмен веществ, воспалительные процессы. Высокий уровень этого гормона может быть связан с неблагоприятным состоянием организма (тревогой), низкий уровень диагностируется при первичной надпочечниковой недостаточности [8].

Работы многих авторов были направлены на изучение корреляции уровня кортизола со стрессом. Следует учитывать тот факт, что содержание этого гормона варьирует в зависимости от разных факторов, таких как окружающая среда, температура, влажность, других физиологических условий (возраст животного, репродуктивное состояние, статус, общее состояние) [9–11], а также половых различий.

Определение содержания кортизола является физиологической реакцией на стресс — как у людей [12], так и у разных млекопитающих [13]. Есть данные исследований, изучающих этот вопрос, на домашних животных (свиньях, овцах, козах, коровах и лошадях), а также диких млекопитающих (макаки, пумы) [14–16].

Кортизол играет регулируемую роль в скорости метаболизма, что связано с уменьшением массы. Кроме того, уровень кортизола различается в зависимости от полового признака у млекопитающих и от вида. У мужских особей концентрация гормона, как правило, более высокая по сравнению с самками, у мартишек эта закономерность не подтвердилась (у мужских особей наблюдался более низкий уровень кортизола, чем у женских), у собак не удалось обнаружить каких-либо существенных различий в зависимости от пола.

M. Sandri и другими учеными (2015 г.) были проведены исследования на собаках между интактными кобелями и суками, кастрированными кобелями и стерилизованными собаками разных видов, на основании результатов которых была выявлена существенная гетерогенность по полу как между видами, так и внутри видов [17].

Роль кортизола в ГГНО. ГГНО является основным эндокринным путем реакции млекопитающих на стресс. Активация этой оси происходит в течение нескольких секунд после идентификации организмом стрессовых стимулов, когда сигналы от высшего центра головного мозга стимулируют синтез и высвобождение кортикотропин-рилизинг-гормона и аргинин-вазопрессина в паравентрикулярном ядре гипоталамуса [18, 19]. Затем они проникают в гипофизарную портальную систему и транспортируются в переднюю долю гипофиза.

У большинства млекопитающих кортизол является основным гормоном, секретируемым клетками пучковой оболочки, а повышение его уровня является ключевым компонентом реакции на стресс. Необходимо учитывать, что острый стресс у животных, вызванный в том числе спариванием, охотой, ухаживанием, рассматривается как «полезный» [9, 10, 19].

В течение нескольких секунд после события стресса происходят мобилизация и перераспределение энергии, которое способствует изменению физиологии и поведения, приводящему к повышению уровня кортизола через несколько минут после этого. Всё это помогает выживанию организма при неожиданном стрессе [13]. Эти изменения могут включать временные разрешительные эффекты, такие как увеличение сердечного ритма, выброс артериального давления, повышение мозгового кровообращения, печеночный глюконеогенез и т. д.

Наряду с этим происходят различные подавляющие эффекты накопления энергии, роста, иммунитета, репродуктивной функции, а также снижение аппетита. При хронической активации ГГНО, происходящей в течение нескольких недель и даже месяцев (длительный стресс), воздействие постоянно повышенного кортизола может отрицательно сказаться на многих системах организма. Эти изменения могут привести к развитию патологического синдрома — дистресса, характеризующегося плохим здоровьем и снижением физической формы у отдельных животных. Это может отразиться на снижении показателей выживаемости и воспроизводстве на ранних стадиях.

Взаимоотношения между иммунной системой и кортизолом сложны и оказывают как стимулирующее, так и подавляющее действие в зависимости от типа и продолжительности стресса. Практически все компоненты иммунной системы подавляются постоянной активностью ГГНО. Повышенный уровень циркулирующего кортизола может также влиять на желудочно-кишечную, пищеварительную, сердечно-сосудистую системы, снизить воспалительную реакцию, которая является жизненно важным компонентом эффективной иммунной функции. Долговременный стресс может снизить устойчивость к инфекционным, аутоиммунным, аллергическим заболеваниям, секрецию гормона роста, инсулина и т. д. [20].

Повышенный уровень кортизола может ингибировать секрецию или высвобождение основных половых гормонов (лютеинизирующего, фолликулостимулирующего, гонадотропин-рилизинг-гормона). Кроме того, длительный стресс может сделать ткань гонады резистентной к половым стероидам и вызвать их атрофию, что в свою очередь приводит к снижению восприимчивости репродуктивной функции, снижению уровня зачатия. При

наступлении беременности изменения могут отрицательно влиять на рост и развитие плода, а также на его последующее здоровье, долгосрочную жизнеспособность.

В нормальных условиях выброс кортизола соответствует циркадному ритму, но его уровень может повышаться на короткий период времени при остром стрессе, чтобы обеспечить глюкозой клетки организма для реагирования на стресс. Как только острая реакция на стресс утихает, уровень кортизола возвращается к нормальному (базовому) уровню. И наоборот, хронический стресс возникает, когда организм сталкивается с постоянными или периодическими внешними угрозами, что может привести к нарушению циркадных ритмов с высвобождением кортизола [21].

Стресс, перенесенный женскими особями в процессе жизни, может иметь последствия на потомство, отражающиеся даже на нескольких поколениях. Это в свою очередь проявляется у потомков самок, находящихся в хроническом стрессе. Последствия материнского стресса могут еще больше усиливаться за счет переноса кортизола с молоком в раннем неонатальном периоде развития и созревания ГГНО.

У сельскохозяйственных животных стрессовые реакции могут вызывать такие манипуляции, как обработка, транспортировка, обезроживание. Длительная или чрезмерная активация ГГНО может привести к хроническому стрессу, вызывающему поведенческие реакции и соматические расстройства. Так, у молочного скота долгосрочное повышение концентрации глюкокортикоидов связано с иммуносупрессией и снижением плодовитости.

A. Comin и другие исследователи (2013 г.) в своих работах указывают на то, что у коров с клиническими проявлениями заболеваний (ламинита, метрита, мастита) отмечались более высокие концентрации кортизола, чем у особей без проявления клинических симптомов [22].

Существует огромное количество внешних и внутренних факторов, вызывающих стресс. В зависимости от продолжительности их воздействия стресс может быть острым или хроническим. Кратковременный стресс является адаптивным и помогает индивидуумам справляться с возникающей ситуацией, а долгосрочный стресс вызывает дезадаптивные реакции.

Удержание животных является кратковременным стрессором, приводящим к довольно быстрому повышению уровня кортизола [23, 24]. В волосах (шерсти) такое колебание не наблюдается, в отличие от уровня кортизола в крови или слюне. Слюна и сыворотка предоставляют информацию о кратких точечных измерениях, тогда как при 24-часовом сборе мочи можно получить информацию о выработке кортизола, близкой к результатам анализа волос [12].

Определенные риски для организма могут возникнуть в результате травм, болезней, старения или врожденных заболеваний [25, 26]. Так, например, взаимосвязь между физическими нарушениями и уровнем кортизола у животных была выявлена у лошадей (с проблемами позвоночника), овец (при болезнях копыт), белых медведей (при плохом самочувствии).

Проводились исследования, связанные с изучением корреляции между ухудшением состояния животных и повышением уровня кортизола при паразитарных заболеваниях [27]. Изменение содержания этого гормона зависит от нескольких внешних факторов (холода, жары, влажности, ветра). Стоит отметить, что было

выявлено влияние экологических факторов на уровень кортизола в организме животных [28].

Концентрация глюкокортикоидов изменяется в зависимости от возраста. В основном наблюдается повышение их содержания при старении у многих видов животных. В то же время отмечены исключения. Так, например, у взрослых касаток-самцов более низкие показатели концентрации глюкокортикоидов, чем у более молодых. Более низкие значения кортизола наблюдались в волосах и плазме голштинских телок по сравнению с показателями лактирующих коров [29].

Следует учитывать, что результаты исследований могут отличаться в зависимости от методологических подходов, от типа образца, протокола сбора данных, обработки и метода анализа проб [11].

Методы определения кортизола. Обычно концентрацию кортизола оценивают путем отбора проб плазмы или сыворотки крови, слюны, мочи, фекалий и молока [30]. Измерение этого гормона в разных образцах имеет свои индивидуальные особенности и клиническую ценность. Применение надежных лабораторных исследований, позволяющих получать точные и надежные результаты, играет ключевую роль в диагностике кортизола [31] (рис. 1).

Гормон кортизола подвержен циркадным ритмам как у людей, так и у животных, его содержание может колебаться. Именно поэтому следует учитывать суточные закономерности секреторной активности глюкокортикоидов, изменяющиеся также в зависимости от вида животного [11]. Очень важно учитывать время отбора образцов на протяжении всего периода эксперимента.

Определение концентрации кортизола в течение недели или месяца является достаточно трудным при использовании традиционных методов измерения в сыворотке крови, слюне или моче, так как требует отбора проб в течение многих дней с использованием нескольких образцов в день для выявления циркадных и сезонных (время года) изменений [31].

Кроме того, традиционные методы измерения кортизола могут использоваться только при определенных условиях, в то время как анализ волос (шерсти) открывает возможность ретроспективного определения этого гормона (в течение более длительного периода времени с возможностью измерения секреции до начала исследования). Рост волос также следует циклическому ритму активного роста, чередующегося со спокойствием [32].

Для определения концентрации кортизола используют такие аналитические методы, как хроматография (жидкостная хроматография и спектрометрия) и традиционные иммуноанализы (радиоиммунный и иммуноферментный) [33–35]. Метод ИФА основан на использовании антител, распознающих кортизол. Он считается «золотым стандартом» за счет высокой чувствительности, достаточно низкой цены, относительно быстрого времени проведения и простоты исполнения, а также высокой пропускной способности образцов. Иммуноанализ используют для определения концентрации кортизола в сыворотке и плазме крови, но при этом нужно учитывать, что на показатели могут влиять изменения уровня альбумина. Наиболее часто этот метод используют для определения свободного кортизола в моче, а также в слюне, так как он позволяет определять достаточно низкие концентрации [36]. Метод ИФА для определения концентрации кортизола является наиболее предпочтительным из-за доступности и простоты использования [37, 38, 7].

Несмотря на множество исследований, проведенных в большинстве случаев как на людях, так и на животных, используемые аналитические методы могут

Рис. 1. Схема образцов проб, используемых для определения концентрации кортизола

Fig. 1. Diagram of sample samples used to determine cortisol concentrations



значительно различаться в разных лабораториях [12]. Оценка доступности, простоты и точности измерения кортизола имеет большое значение [31], а выбор метода зависит от интересующего временного периода и проблем исследования.

Кровь является наиболее предпочтительным материалом для определения гормонов у животных. В научной литературе описан ряд работ, проведенных на позвоночных. Особое внимание в них уделено таким диким животным, как черные медведи, морские черепахи, пингвины, змеи, мыши и приматы. Определение концентрации кортизола в крови используется в качестве стандартной процедуры для оценки стресса у сельскохозяйственных животных, так как избыток кортизола синтезируется и высвобождается в системный кровоток в условиях стресса. При сборе крови основные преимущества — простота и скорость сбора образцов, а также безопасность исследования [39].

В то же время необходимо учитывать, что это инвазивный метод. Измерение кортизола в плазме крови сопровождается стрессовой процедурой при обращении с животными при отлове, удерживании и фиксации животных и непосредственно при венепункции или заборе крови [23, 24, 31].

Таким образом, эти процедуры могут повлиять на содержание гормона, в результате чего показатели могут отличаться. Общеизвестное время при отборе проб этим способом — 3 мин. [16]. Особенно это важно при исследовании стресса, так как сам процесс может вызвать повышение уровня глюкокортикоидов у птиц через 2–5 мин., у мелкого и крупного рогатого скота через 4 мин., у ламантинов через 20 мин., у кошачьих через 30 мин. Кровь позволяет получить данные о содержании гормона в данный момент.

Слюна считается наиболее подходящим биоматериалом для диагностики кортизола в организме [40], так как имеет определенные преимущества, связанные с минимальным вторжением, позволяет избежать стресс, который в свою очередь может повлиять на уровень кортизола [33]. Но недостаток этого метода в том, что уровень гормона во многом зависит от времени и ситуации сбора проб (колебания в естественном пульсирующем режиме, изменения в течение дня), а также влияния различных ситуаций или физических факторов, способных повышать уровень кортизола в течение часа после начала процедуры до исходного состояния [41].

Измерение уровня кортизола в слюне считается надежной альтернативой измерению свободного

кортизола в сыворотке (плазме) крови, так как существует высокая корреляция между уровнем кортизола в слюне, уровнем несвязанного кортизола в сыворотке (плазме), поэтому считают, что кортизол в слюне позволяет определить изменения уровня свободного кортизола в сыворотке (плазме) [33, 42].

Определение кортизола в слюне отражает его свободную фракцию (свободный кортизол), его концентрация при этом ниже, чем сывороточного кортизола (примерно 50–70%). Кортизол в слюне стабилен при комнатной температуре до 7 дней, что позволяет взять пробу в любое время дня и ночи и анализировать циркадные ритмы кортизола [43, 44]. Образцы слюны и сыворотки представляют возможность для измерения уровня кортизола в момент взятия образцов. Поэтому их можно использовать для тестирования острых изменений, но подверженных серьезным физиологическим суточным колебаниям, что делает оценку общего долгосрочного системного воздействия кортизола затрудненной [12]. Данные о концентрации кортизола в слюне хорошо коррелируют с его уровнем в сыворотке.

Образцы кортизола в плазме и слюне отражают «ментальные показатели» активности ГГНО, отражающие активность в течение нескольких секунд или минут до сбора.

Измерение метаболитов кортизола в фекалиях животных используют для оценки высвобождения глюкокортикоидов и, следовательно, выявления активности надпочечников у различных видов животных [10, 7]. Концентрация метаболитов кортизола в фекалиях отражает общее количество выведенного вещества, следовательно, секреция кортизола при этом лучше, чем в крови. Образцы фекалий являются наиболее распространенным неинвазивным биологическим образцом для измерения глюкокортикоидов при исследованиях на животных. Преимущество этого метода заключается в том, что образцы можно легко собрать, не подвергая животных стрессу (без нарушения распорядка дня животного, не требуют отлова). При исследованиях этим способом необходимо учитывать временные изменения организма. Циркулирующий кортизол изменяется в зависимости от времени суток, что в свою очередь приводит к существенным индивидуальным изменениям. В образцах фекалий концентрация циркулирующего кортизола отражает его содержание за 10–12 час. до сбора образцов. Данный метод практически невозможно использовать для долгосрочных изменений, характерных для хронического стресса. К ограничениям этого метода относят

время, прошедшее между дефекацией и сбором, так как воздействие бактериального метаболизма может изменить показатели. Необходимо учитывать, что содержание нескольких животных в одном помещении требует использования пищевого красителя, для того чтобы можно было различать образцы [10].

Кортизол в моче отражает несвязанный и биологически активный кортизол. Образцы кортизола в моче дают представление о временном периоде сбора данных, варьирующих от ночи до 24 час. (суточной дозе из-за суточного ритма его экскреции). Использование мочи для определения концентрации кортизола довольно затруднительно в полевых условиях. В то же время были определены видоспецифические временные значения интервалов для некоторых животных. Ранее свободный кортизол в моче считался основным тестом для определения кортизола, сейчас данный анализ рассматривается в качестве дополнительного.

Кортизол также может быть обнаружен в выделяемом молоке. Существенным недостатком при этом является то, что молоко можно отбирать только у лактирующих самок животных или людей [45].

В нескольких публикациях описана тесная связь между кортизолом в сыворотке крови и кортизолом слюны. По данным других ученых, корреляция кортизола с концентрацией в крови, моче или слюне оценивалась как умеренная или слабая, в то время как L. Cieszynski с коллегами (2020 г.) не была выявлена корреляция между этими жидкостями [44].

Эти результаты согласуются с работами ряда исследователей, в которых корреляция была слабой или отсутствовала [46, 47]. Определение долгосрочного уровня кортизола в таких матрицах, как кровь, кал, слюна и моча, затруднено, так как они подвержены влиянию циркадных изменений, факторам окружающей среды и внезапным колебаниям.

Каждый из этих образцов имеет свои преимущества и ограничения, а также требует наличия нескольких образцов для оценки уровня кортизола в течение длительного периода времени. Более того, из-за суточных колебаний пробы либо необходимо брать в определенное время суток (слюна и сыворотка), либо требуют трудоемкого метода сбора (для сбора мочи 24 час.), что делает их непригодными для популяционного анализа. В то же время суточный сбор мочи отражает содержание кортизола в последний день, а не изменения, которые могут произойти в течение недель или месяцев (табл. 1).

Таблица 1. Краткая характеристика биоматериала, используемого для определения концентрации кортизола [10, 31, 33, 39, 40, 45, 48]

Table 1. Brief characteristics of the biomaterial used to determine cortisol concentration [10, 31, 33, 39, 40, 45, 48]

Материал	Преимущество	Недостатки	Время отбора проб
Кровь	Простота, безопасность	Инвазивный метод (может вызвать стресс)	Концентрация зависит от циркадных ритмов (времени суток) — от нескольких секунд до нескольких минут
Слюна	Простота	Менее инвазивный	Концентрация зависит от циркадных ритмов (времени суток) — от нескольких секунд до нескольких минут*
Моча	Неинвазивный	Достаточно трудно провести отбор проб в полевых условиях, трудоемкий	Подвержены суточным изменениям, необходимо 24 час. для сбора проб
Фекалии	Неинвазивный, отражает концентрацию за 12 час. до сбора проб	Затруднителен отбор в стадах (актуален при клеточном содержании или с использованием приемников для кала), обсеменение микрофлорой при увеличении времени забора материала	Подвержены суточным изменениям
Молоко	Простота, безопасность, неинвазивный	Возможность отбора только у самок	Концентрация зависит от циркадных ритмов (времени суток)
Шерсть	Простота, безопасность, биодоступность, комплексная диагностика от недели до 6 мес., неинвазивный (не подвергает животных стрессу при отборе проб), не требует подготовки, результаты не подвержены циркадным ритмам, долгосрочный	При сильном загрязнении шерсти требует дополнительной очистки, не позволяет получить информацию о суточных изменениях гормона	Достаточно быстро

Примечание: * приравнивается к крови.

Все эти матрицы подвержены основным ежедневным изменениям, физиологическим колебаниям, и по этой причине оценка экспозиции общего долгосрочного системного кортизола затруднена.

Оценка долгосрочных концентраций глюкокортикоидов в исследованиях включает различные кератинизированные ткани, такие как волосы (шерсть) [48], копыта [49], когти [50] и перья [51].

В перьях измеряют кортикостерон, концентрация которого коррелирует со стрессом, испытываемым птицей во время оперения [51]. У млекопитающих когти содержат ороговевший эпителий с васкуляризированным внутренним корнем, где кортизол пассивно накапливается из кровотока.

Шерсть (волосы). С конца 1990-х годов стало известно, что в волосах людей можно обнаружить ряд кортикостероидов. Считается, что кортизол попадает в стержень волоса прямо пропорционально его биологически доступной концентрации в крови. Этот процесс ограничивается фазой активного роста волос в отдельных волосяных фолликулах [14]. Таким образом, измерение кортизола на всей длине волос (шерсти) должно представлять собой комплексный показатель ГГНО в период их роста, который может отражать временные рамки — от недель до месяцев. Кроме того, концентрация кортизола в волосах (шерсти), возможно, не так чувствительна к кратковременному стрессу, как другие показатели активности ГГНО в сыворотке крови, слюне, моче и фекалиях.

Наличие кортизола в волосах (шерсти) можно объяснить пассивной диффузией свободного кортизола из крови, питающей фолликулы или из окружающих сальных желез. Существует гипотеза, что волосяные фолликулы сами производят кортизол (местно). Также учитывают тот факт, что определенное количество этого гормона может откладываться из пота и подкожного жира. Доказано, что концентрация кортизола в волосах (шерсти) отражает эндокринные закономерности [52]. Как и слюнные железы, волосяные фолликулы окружены капиллярной сетью, за счет которой происходит пассивная диффузия веществ из крови. Кортизол, полученный из волос головы, представляет собой липофильное вещество, попадающее в волосы из кровоснабжения, питающее их, а также из стволовых фолликулярных клеток. Уровень кортизола в волосах (шерсти) измеряют с помощью стандартной промывки (если это необходимо), измельчения и экстракции, отражающей свободный, а не связанный стероид [53].

В литературе представлено достаточно много работ, в которых описано определение концентрации кортизола в волосах человека, а также шерсти домашних животных (собак, кошек, коров) и диких животных (белок, шимпанзе и медведей) [48].

У медведей гризли содержание кортизола в шерсти зависит от типа волос на теле (самая низкая концентрация в остевых волосах), области тела и метода отбора проб. Известно, что у самок белых медведей уровень кортизола в волосах выше, чем у самцов белых медведей, тогда как у медведей гризли такой разницы не было обнаружено. Возможно, это можно объяснить разницей в физиологическом состоянии, так как уровень кортизола в волосах у людей и приматов увеличивается с беременностью, однако информация о состоянии беременности в этих исследованиях не была предоставлена авторами в исследовании.

Существует гипотеза, что гигиена людей влияет на концентрацию кортизола вследствие того, что мытье

волос изменяет содержание гормона. A. F. Hamel и коллеги (2011 г.) описывали, что у макак-резусов многократное мытье шампунем или водой снижает уровень кортизола в шерсти [54]. Было проведено многократное мытье (10–30 раз) отобранных образцов шерсти в шампуни. Анализ непромытых (контрольных) образцов позволил выявить значительно большую концентрацию кортизола по сравнению с шерстью, подвергавшуюся любой из промывок. Кроме того, концентрация образцов, вымытых шампунем 30 раз, имела значительно меньшие показатели, чем при другом количестве промывания [12].

Концентрация кортизола в волосах (шерсти) дает представление о его уровне (кумулятивной выработке до 6 мес.), что позволяет предположить, что этот гормон в волосах может быть уникальным биомаркером долгосрочной активности ГГНО. Имеются данные о количественном определении кортикостерона, прогестерона, эстрадиола, тестостерона и гормонов щитовидной железы в волосах.

Волосы (шерсть) являются источником биологической информации для решения генетических вопросов, при анализе питания или кормления, при изучении влияния на организм окружающей среды, нарушении здоровья и репродуктивного статуса [55]. Этот метод открывает возможности измерения концентрации гормонов в разных ситуациях, связанных с загрязнением окружающей среды или токсинами, попадающими в волосы, до измерения от нескольких лет до столетий после их осаждения [56].

Необходимо учитывать тот факт, что определение концентрации кортизола в волосах (шерсти) позволяет отбирать пробы при неинвазивном способе, не требующем особой подготовки, а также существует возможность хранения их при комнатной температуре в течение длительного периода времени. Кортизол в волосах (шерсти) отражает долгосрочную перспективу хронической реакции в течение нескольких месяцев, на которую не влияют циркадные вариации или стресс, вызванный сбором образцов [46].

Анализ кортизола в волосах или шерсти представляет собой большой потенциал для понимания долгосрочного воздействия стресса и дистресса на организм. Этот метод позволяет изучать не только среднюю выработку гормона в течение недель и месяцев, но и потенциально определить его уровень за несколько месяцев до того, как образцы были отобраны [57].

Измерение кортизола в шерсти животных является достаточно новой методикой, позволяющей выявлять стрессовое состояние у домашнего скота. Волосы (шерсть) являются относительно стабильной средой, их можно собирать оппортунистическим или дистанционным способом у многих видов животных, даже находящихся на свободном выгуле [56]. Этот метод безболезненный и позволяет легко и удобно проводить отбор образцов. Анализ вариации кортизола в шерсти был описан как на диких, так и на домашних животных в зависимости от стресса, роста и деградации.

Усредненные по времени показатели кортизола из образцов волос отличаются от образцов слюны, крови и кала, отражающих его кратковременные колебания [58, 59].

Стоит отметить, что при хранении волос (шерсти) в сухих бумажных конвертах в темноте содержание кортизола сохраняется более года. В волосах, хранящихся в измельченном виде, наблюдается значительное снижение гормона за более короткий период времени

(около 9 мес.). E. Webb и коллеги (2010 г.) измеряли закономерности отложения кортизола в человеческих волосах многовековой давности [56].

Стоит отметить, что в ходе археологических раскопок кортизол был идентифицирован и проанализирован в человеческих волосах, но необходимо помнить, что волосы сохраняют свои свойства для исследований с этой целью в определенных условиях [56, 60]. Отмечено, что из музейных образцов шерсти шкур медведей можно получить данные о долговременном стрессе.

Кортизол попадает в волосы (шерсть) по мере их роста, и измерение уровня кортизола в определенном сегменте отражает интегрированную, кумулятивную секрецию кортизола в течение этого периода их роста. Рост волос на коже головы человека варьирует, но общепринятой считается средняя скорость роста волос 1 см в месяц. Таким образом, проксимальный (приближающийся к коже головы) сегмент волос длиной 1 см отражает общую секрецию кортизола за последний месяц, второй проксимальный сегмент длиной 1 см представляет выработку кортизола за месяц до этого и так далее. Скорость роста волос варьирует не только между отдельными особями, но и между разными областями тела у одной и той же особи [16].

Волосы (шерсть) не растут постоянно, а следуют циклическому ритму чередующихся периодов активного роста и покоя, по мере того как матричные клетки в зоне прорастания размножаются и дифференцируются в три слоя. В этот период волосная луковица тесно связана с кровоснабжением кожного сплетения и дермальным сосочком. Соответственно, лекарства, метаболиты и гормоны, циркулирующие в крови, попадают в волосы (шерсть) в первую очередь во время этой активной фазы роста [14].

Одно из первых исследований, изучающих возможность обнаружения кортизола в организме при помощи волос (шерсти), было выполнено L. Koren и другими учеными (2008 г.) на диких даманах. Они обнаружили корреляцию между концентрацией кортизола в волосах и социальным рейтингом даманов. Позже анализ кортизола в волосах был использован для подтверждения гипотезы «доминирования стресса». У доминирующих особей даманов концентрация кортизола в шерсти указывала на большее социальное доминирование [15].

Первые исследования для определения кортизола в волосах людей были описаны в 2004 г. [44]. Учитывая, что средний рост волос у человека за месяц находится примерно на уровне 1 см, уровень кортизола в образце в зависимости от его длины может отражать его содержание за последние дни, недели или месяцы.

B. Sauve и коллеги (2007 г.) в своих исследованиях описывали незначительные различия концентрации кортизола в волосах, отобранных из разных частей головы человека [46]. Было сделано предположение, что текстура и рост волос у животных отличаются в зависимости от места отбора образцов и накопления этого гормона.

Экспериментальное исследование, проведенное M.D. Davenport и коллегами (2008 г.) на животных, позволило выявить, что концентрация кортизола в шерсти может изменяться [14]. Ими были изучены макаки-резусы,

переселенные из обычной жилищной среды, вследствие чего были отмечены изменения в проявлении поведения, характерные для повышенного стресса. Были отобраны образцы шерсти в разные периоды времени (через 13, 14 недель после переезда и через год). Полученные в ходе исследований результаты подтвердили, что стресс связан с увеличением концентрации кортизола в шерсти, а также что содержание кортизола при этом динамически реагирует на изменения с течением времени. При этом в эксперименте были детеныши макак, воспитывавшиеся матерями или животными, не имеющими родственных связей. В 8-месячном возрасте животных из эксперимента поселили без взрослых, после чего определяли содержание гормона в волосяном покрове. В ходе исследований было доказано, что уровень кортизола может варьировать в зависимости от возраста, тревожности и социальной ситуации.

Образцы волос (шерсти) не разлагаются по сравнению с жидкими образцами, что позволяет их хранить в течение длительного времени при комнатной температуре. Кортизол в волосах (шерсти), скорее всего, отражает свободный, несвязанный кортизол и, таким образом, является менее восприимчивым к типичным факторам по сравнению с кровью и слюной.

Было доказано, что кортизол чуть в меньшей степени, чем другие стероиды, обнаруживается в волосах человека или шерсти млекопитающих при использовании наборов для иммуноферментного анализа (ELISA) [46, 14, 61].

К отрицательным моментам этого метода можно отнести интерпретацию уровня кортизола из-за его кумулятивной секреции, так как он выполняет функцию множества потенциально взаимодействующих факторов, включая хронический стресс, генетическую предрасположенность; кумулятивные уровни гормона представляют собой средние значения во времени и, таким образом, не дают информации о регуляции суточных ритмов ГГНО (реакция пробуждения кортизола в ночное время) или пиковой реакции на стресс. Одним из основных ограничений является использование разных методологий анализа в разных лабораториях (в основном ИФА).

Измерение уровня кортизола в волосах оказалось эффективным как при исследованиях человека, так и других млекопитающих. Измерение уровня кортизола в волосах использовали для оценки стресса у людей [12], свиней [62] и лошадей [63].

B. Sauve (2007 г.) и коллеги были первыми, кто использовал протокол ИФА на людях, страдающих ожирением [46]. У макак-резусов была обнаружена значительная корреляция между концентрацией кортизола в слюне и волосах [14]. A. Bennett и V. Hayssen (2010 г.) обнаружили у собак корреляцию с кортизолом в слюне [64].

Выводы/Conclusions

Таким образом, определение концентрации кортизола в волосах (шерсти) является наиболее предпочтительным при исследовании длительного стресса и позволяет дать ретроспективную оценку кумулятивных уровней в течение длительного периода времени — от нескольких дней до нескольких месяцев.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания при финансовой поддержке фундаментальных научных исследований Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FGGN-2024-0014, регистрационный номер 124020200127-7

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Fourie N.H., Brown J.L., Jolly C.J., Phillips-Conroy J.E., Rogers J., Bernstein R.M. Sources of variation in hair cortisol in wild and captive non-human primates. *Zoology*. 2016; 119(2): 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2016.01.001>
- Fürtbauer I., Solman C., Fry A. Sheep wool cortisol as a retrospective measure of long-term HPA axis activity and its links to body mass. *Domestic Animal Endocrinology*. 2019; 68: 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2018.12.009>
- Dulude-de Broin F., Côté S.D., Whiteside D.P., Mastromonaco G.F. Faecal metabolites and hair cortisol as biological markers of HPA-axis activity in the Rocky mountain goat. *General and Comparative Endocrinology*. 2019; 280: 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2019.04.022>
- Binz T.M. *et al.* Endogenous cortisol in keratinized matrices: Systematic determination of baseline cortisol levels in hair and the influence of sex, age and hair color. *Forensic Science International*. 2018; 284: 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.12.032>
- Acker M., Mastromonaco G., Schulte-Hostedde A.I. The effects of body region, season and external arsenic application on hair cortisol concentration. *Conservation Physiology*. 2018; 6(1): coy037. <https://doi.org/10.1093/conphys/coy037>
- Kibe M. *et al.* Transition to a market economy and chronic psychosocial stress in northern Laos: An exploratory study of urinary free cortisol in rural residents. *American Journal of Human Biology*. 2024; 36(1): e23976. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23976>
- Karachaliou C.-E. *et al.* Cortisol Immunosensors: A Literature Review. *Biosensors*. 2023; 13(2): 285. <https://doi.org/10.3390/bios13020285>
- Hadad M., Hadad N., Zestos A.G. Carbon Electrode Sensor for the Measurement of Cortisol with Fast-Scan Cyclic Voltammetry. *Biosensors*. 2023; 13(6): 626. <https://doi.org/10.3390/bios13060626>
- Bougea A., Stefanis L., Chrousos G. Stress system and related biomarkers in Parkinson's disease. *Advances in Clinical Chemistry*. 2022; 111: 177–215. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2022.07.004>
- Palme R. Non-invasive measurement of glucocorticoids: Advances and problems. *Physiology & Behavior*. 2019; 199: 229–243. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.11.021>
- Whitham J.C., Bryant J.L., Miller L.J. Beyond Glucocorticoids: Integrating Dehydroepiandrosterone (DHEA) into Animal Welfare Research. *Animals*. 2020; 10(8): 1381. <https://doi.org/10.3390/ani10081381>
- Russell E., Koren G., Rieder M., Van Uum S. Hair cortisol as a biological marker of chronic stress: Current status, future directions and unanswered questions. *Psychoneuroendocrinology*. 2012; 37(5): 589–601. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.09.009>
- Price E. *et al.* Individual, social and environmental factors affecting salivary and fecal cortisol levels in captive pied tamarins (*Saguinus bicolor*). *American Journal of Primatology*. 2019; 81(8): e23033. <https://doi.org/10.1002/ajp.23033>
- Davenport M.D., Lutz C.K., Tiefenbacher S., Novak M.A., Meyer J.S. A Rhesus Monkey Model of Self-Injury: Effects of Relocation Stress on Behavior and Neuroendocrine Function. *Biological Psychiatry*. 2008; 63(10): 990–996. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2007.10.025>
- Koren L., Mokady O., Geffen E. Social status and cortisol levels in singing rock hyraxes. *Hormones and Behavior*. 2008; 54(1): 212–216. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2008.02.020>
- Mesarcova L., Kottferova J., Skurkova L., Leskova L., Kmecova N. Analysis of cortisol in dog hair — a potential biomarker of chronic stress: a review. *Veterinární medicína*. 2017; 62(7): 363–376. <https://doi.org/10.17221/19/2017-VETMED>
- Sandri M., Colussi A., Perrotta M.G., Stefanon B. Salivary cortisol concentration in healthy dogs is affected by size, sex, and housing context. *Journal of Veterinary Behavior*. 2015; 10(4): 302–306. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2015.03.011>
- Sapolsky R.M., Romero L.M., Munck A.U. How Do Glucocorticoids Influence Stress Responses? Integrating Permissive, Suppressive, Stimulatory, and Preparative Actions. *Endocrine Reviews*. 2000; 21(1): 55–89. <https://doi.org/10.1210/edrv.21.1.0389>
- Papadimitriou A., Priftis K.N. Regulation of the Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis. *Neuroimmunomodulation*. 2009; 16(5): 265–271. <https://doi.org/10.1159/000216184>
- Shepherdson D.J., Carlstead K.C., Wielebnowski N. Cross-institutional assessment of stress responses in zoo animals using longitudinal monitoring of faecal corticoids and behaviour. *Animal Welfare*. 2004; 13(S1): S105–S113. <https://doi.org/10.1017/S0962728600014445>

FUNDING

The work was carried out within the framework of a state assignment with the financial support of fundamental scientific research from the Ministry of Science Higher Education of the Russian Federation FGGN-2024-0014, registration number 124020200127-7

- Ford J.L., Boch S.J., McCarthy D.O. Feasibility of Hair Collection for Cortisol Measurement in Population Research on Adolescent Health. *Nursing Research*. 2016; 65(3): 249–255. <https://doi.org/10.1097/NNR.000000000000154>
- Pochigaeva K. *et al.* Hair cortisol as a marker of hypothalamic-pituitary-adrenal Axis activity in female patients with major depressive disorder. *Metabolic Brain Disease*. 2017; 32(2): 577–583. <https://doi.org/10.1007/s11011-017-9952-0>
- Ghassemi Nejad J., Kim B.-W., Lee B.-H., Sung K.-I. Coat and hair color: hair cortisol and serotonin levels in lactating Holstein cows under heat stress conditions. *Animal Science Journal*. 2017; 88(1): 190–194. <https://doi.org/10.1111/asj.12662>
- Ghassemi Nejad J., Kim B.-W., Lee B.-H., Kim J.-Y., Sung K.-I. Effects of water addition to total mixed ration on water intake, nutrient digestibility, wool cortisol and blood indices in Corriedale ewes. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2017; 30(10): 1435–1441. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0705>
- Thompson M.E., Rosati A.G., Snyder-Mackler N. Insights from evolutionarily relevant models for human ageing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2020; 375(1811): 20190605. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0605>
- Espitia-Contreras J.P., Fedigan L.M., Turner S.E. Social grooming efficiency and techniques are influenced by manual impairment in free-ranging Japanese macaques (*Macaca fuscata*). *PLoS ONE*. 2020; 15(2): e0228978. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228978>
- Narayan E. Physiological stress levels in wild koala sub-populations facing anthropogenic induced environmental trauma and disease. *Scientific Reports*. 2019; 9: 6031. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42448-8>
- Turner S.E. *et al.* Mothers of disabled infants had higher cortisol levels in a free-ranging group of Japanese macaques (*Macaca fuscata*). *American Journal of Primatology*. 2023; 85(7): e23500. <https://doi.org/10.1002/ajp.23500>
- Nedić S. *et al.* Cortisol concentrations in hair, blood and milk of Holstein and Busha cattle. *Slovenian Veterinary Research*. 2017; 54(4): 163–172. <https://doi.org/10.26873/SVR-398-2017>
- Zhang Q., Chen Z., Chen S., Xu Y., Deng H. Intraindividual stability of cortisol and cortisone and the ratio of cortisol to cortisone in saliva, urine and hair. *Steroids*. 2017; 118: 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2016.12.008>
- Nejad J.G., Park K.-H., Forghani F., Lee H.-G., Lee J.-S., Sung K.-I. Measuring hair and blood cortisol in sheep and dairy cattle using RIA and ELISA assay: a comparison. *Biological Rhythm Research*. 2020; 51(6): 887–897. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1611335>
- Sergiel A. Do follicles matter? Testing the effect of follicles on hair cortisol levels. *Conservation Physiology*. 2020; 8(1): coaa003. <https://doi.org/10.1093/conphys/coaa003>
- Boolani A. *et al.* Trends in Analysis of Cortisol and Its Derivatives. Woods A.G., Darie C.C. (eds.). *Advancements of Mass Spectrometry in Biomedical Research*. Cham: Springer. 2019; 649–664. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15950-4_39
- Giacomello G., Scholten A., Parr M.K. Current methods for stress marker detection in saliva. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2020; 191: 113604. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113604>
- Kannankeril J. *et al.* Prospective Evaluation of Late-Night Salivary Cortisol and Cortisone by EIA and LC-MS/MS in Suspected Cushing Syndrome. *Journal of the Endocrine Society*. 2020; 4(10): bvaa107. <https://doi.org/10.1210/jendso/bvaa107>
- Casals G., Hanzu F.A. Cortisol Measurements in Cushing's Syndrome: Immunoassay or Mass Spectrometry? *Annals of Laboratory Medicine*. 2020; 40(4): 285–296. <https://doi.org/10.3343/alm.2020.40.4.285>
- Caruso B., Bovo C., Guidi G.C. Causes of preanalytical interferences on laboratory immunoassays — a critical review. *The Journal of the International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. 2020; 31(1): 70–84.
- Lopez A.-G., Fraissinet F., Lefebvre H., Brunel V., Ziegler F. Pharmacological and analytical interference in hormone assays for diagnosis of adrenal incidentaloma. *Annales d'Endocrinologie*. 2019; 80(4): 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.ando.2018.11.006>
- Sheriff M.J., Dantzer B., Delehanty B., Palme R., Boonstra R. Measuring stress in wildlife: techniques for quantifying glucocorticoids. *Oecologia*. 2011; 166(4): 869–887. <https://doi.org/10.1007/s00442-011-1943-y>
- Boroumand M. *et al.* Saliva, a bodily fluid with recognized and potential diagnostic applications. *Journal of Separation Science*. 2021; 44(19): 3677–3690. <https://doi.org/10.1002/jssc.202100384>

41. Gonzalez D. *et al.* Hair Cortisol Measurement by an Automated Method. *Scientific Reports*. 2019; 9: 8213. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44693-3>
42. El Milili N., Ahabrach H., Cauli O. Hair Cortisol Concentration as a Biomarker of Sleep Quality and Related Disorders. *Life*. 2021; 11(2): 81. <https://doi.org/10.3390/life11020081>
43. Cieszyński Ł., Jendrzewski J., Wiśniewski P., Owczarzak A., Sworczak K. Hair cortisol concentration in a population without hypothalamic-pituitary-adrenal axis disorders. *Advances in clinical and experimental medicine*. 2019; 28(3): 369–373. <https://doi.org/10.17219/acem/90038>
44. Cieszyński Ł., Jendrzewski J., Wiśniewski P., Kłosowski P., Sworczak K. Correlation analysis of cortisol concentration in hair versus concentrations in serum, saliva and urine. *Endokrynologia Polska*. 2020; 71(6): 539–544. <https://doi.org/10.5603/EP.a2020.0058>
45. Peric T. Hair: a tool to evaluate HPA axis activity. Dissertation thesis. Bologna. 2014; X: 61. <https://doi.org/10.6092/unibo/amsdottorato/6253>
46. Sauvé B., Koren G., Walsh G., Tokmakejian S., Van Uum S.H.M. Measurement of cortisol in human hair as a biomarker of systemic exposure. *Clinical and Investigative Medicine*. 2007; 30(5): E183–E191. <https://doi.org/10.25011/cim.v30i5.2894>
47. Vanaelst B. *et al.* Intercorrelations between serum, salivary, and hair cortisol and child-reported estimates of stress in elementary school girls. *Psychophysiology*. 2012; 49(8): 1072–1081. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01396.x>
48. Yamanashi Y. *et al.* Analysis of hair cortisol levels in captive chimpanzees: Effect of various methods on cortisol stability and variability. *MethodsX*. 2016; 3: 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2016.01.004>
49. Comin A., Peric T., Magrin L., Corazzin M., Cornacchia G., Prandi A. Study of progesterone and cortisol concentrations in the Italian Friesian claw. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(9): 5491–5496. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7943>
50. Veronesi M.C., Comin A., Meloni T., Faustini M., Rota A., Prandi A. Coat and claws as new matrices for noninvasive long-term cortisol assessment in dogs from birth up to 30 days of age. *Theriogenology*. 2015; 84(5): 791–796. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.05.013>
51. Romero L.M., Fairhurst G.D. Measuring corticosterone in feathers: Strengths, limitations, and suggestions for the future. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2016; 202: 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2016.05.002>
52. Schaafsma F.G., Hulsegge G., de Jong M.A., Overvliet J., van Rossum E.F.C., Nieuwenhuijsen K. The potential of using hair cortisol to measure chronic stress in occupational healthcare: a scoping review. *Journal of Occupational Health*. 2021; 63(1): e12189. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12189>
53. de Meirelles A.G. *et al.* Hair as a Specimen to Determine the Concentration of Cortisol Levels in Individuals that have Performed Physical Activity. *Trichology and Cosmetology*. 2018; 3(1): 1–6. <https://doi.org/10.17140/TCOJ-3-110>
54. Hamel A.F., Meyer J.S., Henchey E., Dettmer A.M., Suomi S.J., Novak M.A. Effects of shampoo and water washing on hair cortisol concentrations. *Clinica Chimica Acta*. 2011; 412(3–4): 382–385. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2010.10.019>
55. Cattet M. *et al.* Can concentration of steroid hormones in brown bear hair reveal age class?. *Conservation Physiology*. 2018; 6(1): coy001. <https://doi.org/10.1093/conphys/coy001>
56. Webb E. *et al.* Assessing individual systemic stress through cortisol analysis of archaeological hair. *Journal of Archaeological Science*. 2010; 37(4): 807–812. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.11.010>
57. Reid J., Parker K., Clemens L., Bristow M. Validity and reliability of method used to analyse hair cortisol concentration. *F1000Research*. 2021; 10: 349. <https://doi.org/10.12688/f1000research.28187.1>
58. Heimbürge S., Kanitz E., Otten W. The use of hair cortisol for the assessment of stress in animals. *General and Comparative Endocrinology*. 2019; 270: 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2018.09.016>
59. Bowland G.B. *et al.* Fur Color and Nutritional Status Predict Hair Cortisol Concentrations of Dogs in Nicaragua. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020; 7: 565346. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.565346>
60. Quade L., Chazot P.L., Gowland R. Desperately seeking stress: A pilot study of cortisol in archaeological tooth structures. *American Journal of Biological Anthropology*. 2021; 174(3): 532–541. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24157>
61. Helfrecht C., Hagen E.H., DeAvila D., Bernstein R.M., Dira S.J., Meehan C.L. DHEAS patterning across childhood in three sub-Saharan populations: Associations with age, sex, ethnicity, and cortisol. *American Journal of Human Biology*. 2018; 30(2): e23090. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23090>
62. Bergamin C. *et al.* Cortisol, DHEA, and Sexual Steroid Concentrations in Fattening Pigs' Hair. *Animals*. 2019; 9(6): 345. <https://doi.org/10.3390/ani9060345>
63. Placci M. *et al.* Natural Horse Boarding Vs Traditional Stable: A Comparison of Hormonal, Hematological and Immunological Parameters. *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 2020; 23(3): 366–377. <https://doi.org/10.1080/10888705.2019.1663737>
64. Bennett A., Hayssen V. Measuring cortisol in hair and saliva from dogs: coat color and pigment differences. *Domestic Animal Endocrinology*. 2010; 39(3): 171–180. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2010.04.003>

ОБ АВТОРАХ

Инна Петровна Новгородова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
лаборатории клеточной инженерии
novg-inna2005@yandex.ru

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ
им. академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, 60, г. о. Подольск, Московская обл., 142132,
Россия

ABOUT THE AUTHORS

Inna Petrovna Novgorodova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
of the Laboratory of Cell Engineering
novg-inna2005@yandex.ru

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,
60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132,
Russia

Н.А. Сергееenkova
В.Г. Вертипрахов ✉
А.В. Шитикова

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

✉ vertiprakhov@mail.ru

Поступила в редакцию:
12.07.2023

Одобрена после рецензирования:
12.03.2024

Принята к публикации:
28.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-44-48

Nadezhda A. Sergeenkova
Vladimir G. Vertiprakhov ✉
Aleksandra V. Shitikova

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

✉ vertiprakhov@mail.ru

Received by the editorial office:
12.07.2023

Accepted in revised:
12.03.2024

Accepted for publication:
28.03.2024

Активность трипсина в дуоденальном содержимом цыплят-бройлеров как показатель адаптации к составу рациона

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Применение в птицеводстве нетрадиционных компонентов рациона связано с потребностью отрасли в новых добавках, которые могли бы конкурировать по цене и качеству с соевыми продуктами и кормами животного происхождения. Их использование должно базироваться на всестороннем изучении их химического состава и физиологических свойств.

Методы. Наиболее объективным способом оценки является определение вкусовых ощущений и питательной ценности на фистульной птице по активности пищеварительных ферментов через 60 и 120 мин. с момента кормления при использовании в рационе изучаемых добавок.

Результаты. Эксперименты, выполненные на цыплятах-бройлерах, показали, что из трех добавок (соевый шрот, семена рапса и белый люпин) наибольшее предпочтение подопытные фистульные цыплята отдали люпину белому, поскольку в этом случае наблюдалась более выраженная реакция со стороны активности трипсина по сравнению с контрольным кормом (активность трипсина была выше на 29,0% ($p < 0,05$) в первые 60 мин. после кормления. В этом случае отмечали самые низкие показатели фосфатазно-трипсинового индекса и повышение белкового обмена по биохимическим показателям крови. При использовании семян рапса в кормосмеси наблюдали тенденцию снижения активности трипсина в первые 60 мин. после кормления, что указывает более низкие вкусовые ощущения от этой добавки.

Ключевые слова: активность трипсина, цыплята-бройлеры, дуоденальный химус, вкусовые ощущения, питательная ценность, люпин белый, рапс

Для цитирования: Сергееenkova Н.А., Вертипрахов В.Г., Шитикова А.В. Активность трипсина в дуоденальном содержимом цыплят-бройлеров как показатель адаптации к составу рациона. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 44–48.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-44-48>

© Сергееenkova Н.А., Вертипрахов В.Г., Шитикова А.В.

Trypsin activity in duodenal contents of broiler chickens as an indicator of adaptation to diet composition

ABSTRACT

Relevance. The use of non-traditional dietary components in poultry farming is associated with the industry's need for new additives that could compete in price and quality with soy products and animal feeds. Their use should be based on a comprehensive study of their chemical composition and physiological properties.

Methods. The most objective way of evaluation is the determination of taste and nutritive value on fistulated birds by the activity of digestive enzymes after 60 and 120 minutes from the moment of feeding when using the studied additives in the diet.

Results. Experiments performed on broiler chickens showed that out of three additives (soybean meal, rape seeds and white lupine) the most preference was given to white lupine by experimental fistula chickens, because in this case there was a more pronounced reaction from the side of trypsin activity in comparison with the control feed (trypsin activity was higher by 29,0% ($p < 0.05$) in the first 60 minutes after feeding. In this case, the lowest indices of phosphatase-trypsin index and increase of protein metabolism by blood biochemical indices were noted. When using rape seeds in the feed mixture, a tendency of trypsin activity decrease in the first 60 minutes after feeding was observed, indicating lower palatability of this additive.

Key words: trypsin activity, broiler chickens, duodenal chyme, palatability, nutritional value, white lupin, rapeseed

For citation: Sergeenkova N.A., Vertiprakhov V.G., Shitikova A.V. Trypsin activity in duodenal contents of broiler chickens as an indicator of adaptation to diet composition. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 44–48 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-44-48>

© Sergeenkova N.A., Vertiprakhov V.G., Shitikova A.V.

Введение/Introduction

Потребность страны в растительном белке, ее продовольственная безопасность, а также условия рыночной экономики определяют необходимость расширения производства высокобелковых и урожайных культур, к которым относится люпин белый. Семена люпина белого содержат 35–40% протеина и 9–12% масла [1]. Корни усваивают фосфор и другие элементы, фиксированные в почве. Благодаря азотфиксации возможно получение достаточно высокого урожая семян и протеина без внесения азотных удобрений. По урожайности семян и белковой продуктивности люпин превосходит сою. В отличие от сои, семена белого люпина практически не содержат ингибиторов трипсина, их можно использовать на корм животным без тепловой обработки [2].

В семенах рапса содержание сырого протеина составляет 22,8%, фосфора — 1,74% [3]. Белок семян рапса богат такими незаменимыми аминокислотами, как лизин, метионин, цистин и триптофан, а из углеводов основную долю составляет сахароза. Химический анализ рапсового масла указывает на высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот: линолевой (26,3%) и линоленовой (12,1%), которые являются незаменимыми для животных [4]. По оценке фармакологической и биологической активности рапса, основанной на традиционном и народном опыте, его рекомендуют к использованию в медицинской практике [5]. Наличие глюкозинолатов и эруковой кислоты в семенах рапса снижает его использование в кормлении моногастрических животных [3].

С использованием молекулярно-генетических методов было доказано, что в ротовой полости птицы находится достаточное количество рецепторов, чтобы четко различать пять основных вкусовых ощущений: сладкое, кислое, горькое, соленое и вкус умами [6, 7]. Это является физиологической основой для определения основных компонентов в рационе и включения регуляторных механизмов адаптации к составу корма. Известно, что секреторная функция поджелудочной железы тонко адаптируется к белковым, углеводным и жировым ингредиентам корма. Это было показано в опытах на собаках в лаборатории И.П. Павлова (1951 г.), свиньях и птице [8].

Цель работы — сравнить белковые добавки (соевый шрот, семена рапса и люпина белого) по влиянию на активность трипсина в дуоденальном химусе цыплят-бройлеров через 60 и 120 мин. постпрандиального периода, которые соответствуют разным периодам регуляции пищеварения.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования выполняли на базе птичника РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева (Россия) в 2023 году, руководствуясь требованиями гуманного отношения к животным¹. Для опытов использовали цыплят-бройлеров кросса Ross 308 20–42-суточного возраста с хронической дуоденальной фистулой. Цыплят оперировали в 15-суточном возрасте, вживляя фистулу в 12-перстную кишку [8].

После восстановления здоровья цыплят-бройлеров (после хирургической операции) через 3–5 суток приступали к физиологическим опытам. Всех цыплят

Таблица 1. Состав рационов цыплят-бройлеров при использовании разных белковых добавок

Table 1. Composition of broiler chicken diets when using different protein supplements

Ингредиент, %	Группа		
	1-я контрольная (шрот соевый)	2-я опытная (семена рапса)	3-я опытная (семена люпина белого)
Пшеница	30,73	75,00	75,00
Кукуруза	30,00	–	–
Шрот соевый 46% СП	23,66	–	–
Рапс (измельченные семена)		24,00	
Люпин белый (измельченные семена)			24,00
Шрот подсолнечный СП 34% СК 20%	7,85	–	–
Масло подсолнечное	3,79	–	–
Сульфат лизина	0,43	–	–
DL-метионин	0,24	–	–
L-треонин	0,08	–	–
Монокальций фосфат (МКФ)	1,30	–	–
Соль поваренная	0,20	–	–
Мел кормовой	0,72	–	–
Витаминно-минеральный премикс	1,00	1,00	1,00

делили методом случайной выборки на 3 группы (по 5 голов в каждой). Первая группа получала основной рацион (ОР), в составе которого был соевый шрот (она служила контролем) (табл. 1).

Физиологические опыты выполняли утром (натощак). Цыплятам давали по 150 г комбикорма на группу, дуоденальный химус (1,0–2,0 мл) собирали через 60 и 120 мин. после кормления. Химус центрифугировали с использованием центрифуги Eppendorf MiniSpin® plus (Германия) при 7000 об/мин в течение 5 мин. и определяли активность ферментов в надосадочной жидкости, разбавляя ее физиологическим раствором 1:10. Определение активности ферментов проводилось на полуавтоматическом биохимическом анализаторе BS 3000M (Sinnova, КНР). Активность трипсина выполняли по методу Вертипрахова, Грозиной (2018 г.) [9], щелочной фосфатазы, кальция и фосфора — с использованием реактивов («ДиаВЕТ», Россия). Фосфатазно-трипсиновый индекс (ФТИ) рассчитывали делением показателя активности щелочной фосфатазы на активность трипсина², который показывал способ оценки адаптации пищеварения птицы к ингредиентному составу рациона. Общий анализ крови выполняли на автоматическом биохимическом анализаторе BioChem FC-120 (HTI Technology, США) с использованием реактивов HTI Technology. Весь цифровой материал обрабатывали методом вариационной статистики с использованием таблиц Стьюдента, достоверными считали различия при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Испытание рационов, содержащих разные белковые добавки, на цыплятах-бройлерах выполняли на одной птице в одинаковых условиях с целью определения различий в активности трипсина в дуоденальном содержимом через 60 и 120 мин. постпрандиального периода. Данные представлены в таблице 2.

Результаты исследований показали, что по активности трипсина в первую фазу регуляции пищеварения,

¹ Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123) [рус., англ.]. Страсбург, 18.03.1986.

² Вертипрахов В.Г., Грозина А.А., Кислова И.В. Патент RU 2742175 C1. Способ оценки адаптации пищеварения птицы к ингредиентному составу рациона (опубл. 02.02.2021).

Таблица 2. Активность трипсина в дуоденальном химусе цыплят-бройлеров при использовании разных белковых добавок

Table 2. Trypsin activity in duodenal chyme of broiler chickens using different protein supplements

Показатель	1-я контрольная группа		2-я опытная группа		3-я опытная группа	
	60 мин.	120 мин.	60 мин.	120 мин.	60 мин.	120 мин.
Активность трипсина, ед/л	1408,0 ± 63,4	1692,0 ± 142,5	1583,0 ± 94,0	1609,0 ± 71,0	1817,0 ± 97,1*	1899,0 ± 150,2
Активность щелочной фосфатазы, ед/л	16721,0 ± 1150,5	14961,0 ± 1867,5	15838,0 ± 1070,8	12540,0 ± 997,5	12930,0 ± 2032,3	11230,0 ± 1003,0
Фосфатазно-трипсиновый индекс (ФТИ), ед	11,87	8,84	10,0	7,79	7,12	5,91

Примечание: * различия с контрольной группой (соевый шрот) достоверны при $p < 0,05$.

которая достигает максимальной величины через 60 мин. постпрандиального периода [11, 12], различия наблюдаются между люпином белым и соевым шротом. У птицы реакция на люпин белый более выраженная по сравнению с контрольным кормом, активность трипсина выше на 29,0% ($p < 0,05$). По вкусовым ощущениям, если судить по активности трипсина, люпин белый превосходит семена рапса на 14,8% ($p > 0,05$). Сравнительный анализ фосфатазно-трипсинового индекса (ФТИ) подтверждает, что наиболее здоровое состояние кишечника соответствует использованию люпина белого, затем семян рапса. Самый высокий абсолютный, но менее эффективный по адаптации к питанию показатель у полнорационного корма, содержащего в качестве белковой добавки соевый шрот [12].

Данные, полученные через 120 мин. постпрандиального периода, показали, что наиболее эффективным по переваримости протеина является люпин белый, показатель ФТИ которого равен 5,91, что превосходит рапс (7,79) и шрот соевый (8,84). Такая интерпретация показателя ФТИ базируется на том, что активность трипсина определяет уровень метаболизма в организме животных, а активность щелочной фосфатазы связана с разрушением клеток и выходом фермента в тканевую жидкость и кровь. Состояние, когда разрушается меньше клеток и увеличивается обмен веществ, более благоприятно для здоровья и адаптации к питанию у животных.

Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров указывают на изменение обменных процессов у птицы при использовании разных белковых добавок (табл. 3)

Результаты исследований показали, что самая высокая активность трипсина отмечается в группе цыплят-бройлеров, которые получали ОР с соевым шротом. При добавлении семян рапса в кормосмесь (25,0%) активность трипсина снижалась на 69,2% ($p < 0,05$), при добавлении в кормосмесь люпина белого (25,0%) снижение было менее значительным и составило 21,5% по сравнению с контрольной группой. Активность амилазы в сыворотке крови цыплят-бройлеров самая низкая при использовании в рационе добавки рапса (на 30,3% ниже контроля), а при использовании в кормосмеси добавки люпина белого показатель превышает контрольный на 15,3% ($p < 0,05$). Общий белок в крови повышается на 12,7% ($p < 0,05$) у цыплят-бройлеров, получавших люпин белый в составе кормосмеси. Количество мочевой кислоты значительно снижается в крови цыплят, получавших рапс, на 66,7%, люпин белый — на 41,1%.

Это свидетельствует об усилении белкового обмена в данных группах, приводящего к снижению продуктов переработки белка, что положительно влияет на продуктивность птицы. Липидный обмен в опытных группах значительно снижается (на 69,2% и 84,6%), если судить по количеству триглицеридов в сыворотке крови у цыплят-бройлеров. Это можно объяснить уменьшением содержания жира в рационе. Отмечается снижение кальция в крови в опытной группе с добавкой рапса на 77,8% по сравнению с контрольной группой, а фосфора — в группе с белым люпином (на 24,1%).

Таблица 3. Результаты биохимических исследований крови у цыплят-бройлеров при использовании разных белковых добавок ($M \pm m$, $n = 5$)Table 3. Results of blood biochemical studies in broiler chickens using different protein supplements ($M \pm m$, $n = 5$)

Показатель	Группа		
	1-я контрольная	2-я опытная	3-я опытная
Активность трипсина, ед/л	172,0 ± 14,5	53,0 ± 3,4 ^a	135,0 ± 5,1 ^a
Активность амилазы, ед/л	720,0 ± 19,5	502,0 ± 12,3 ^a	830,0 ± 35,4 ^a
Глюкоза, ммоль/л	10,0 ± 0,20	7,5 ± 0,19	10,0 ± 1,90
Общий белок, г/л	35,4 ± 0,55	36,0 ± 0,35	39,9 ± 1,89 ^a
Мочевая кислота, мкмоль/л	336,0 ± 19,1	112,0 ± 3,0	198,0 ± 12,9 ^a
Триглицериды, ммоль/л	1,30 ± 0,05	0,40 ± 0,02 ^a	0,20 ± 0,04 ^a
Холестерин, ммоль/л	3,70 ± 0,21	4,50 ± 0,70	4,00 ± 0,04
Кальций, ммоль/л	5,40 ± 0,32	1,20 ± 0,01 ^a	6,50 ± 0,60 ^b
Фосфор, ммоль/л	2,90 ± 0,19	2,90 ± 0,01	2,20 ± 0,05 ^a

Примечание: ^a различия с соевым шротом достоверны при $p < 0,05$, ^b различия между показателями люпина белого и рапсом достоверны при $p < 0,05$.

Таким образом, замена соевого шрота в рационе цыплят-бройлеров на белковые добавки рапс и люпин белый способствует изменению метаболизма в организме птицы и одновременно лучшему усвоению протеина корма.

Долгое время не было четкого понимания функции вкусовой системы птиц, состоящей из вкусовых рецепторов, которые не собраны в сосочки и расположены в основном (60%) в верхнем небе, скрытом в щелях слюнных протоков. Исследования показали наличие 767 вкусовых рецепторов в полости рта цыпленка. Цыплята, по-видимому, обладают острым чувством вкуса, позволяющим различать пищевые аминокислоты, жирные кислоты, сахара, хинин, Са и соль среди прочих. Однако у кур и других птиц небольшой репертуар рецепторов горького вкуса (T2R) и отсутствует T1R2 (связанный со сладким вкусом у млекопитающих) [13]. Результаты исследований указывают на наличие систем восприятия горького и умами во вкусовых рецепторах цыплят и широкое распространение T2R7 и T1R1 в полости рта цыплят [14].

Данные о составе и физиологических свойствах кормов имеют огромное значение при составлении рационов. Для оценки вкусовых ощущений и разработки аттрактантов используются этнологические методы, где основной критерий — предпочтение животного того или иного корма.

В работе впервые были приведены данные по использованию нового подхода к оценке вкусовых ощущений и питательной ценности компонентов корма, основанной на ферментативной активности дуоденального химуса в разные фазы секреторного процесса поджелудочной железы птицы. Если для животных задача исследователей направлена на повышение продуктивности, то для людей имеет значение регуляция метаболизма при ожирении. Установлено, что при ожирении изменится восприятие вкуса пищи, и это имеет определенные последствия для человека [15].

Выводы/Conclusions

Сравнительный анализ трех белковых добавок позволяет делать следующие выводы: наиболее перспективной добавкой для питания птицы может служить люпин белый, обладающий по ферментативному критерию лучшими вкусовыми свойствами по сравнению с соевым шротом и семенами рапса; показатель ФТИ добавки люпина белого в рационе цыплят-бройлеров имеет самые оптимальные значения в первой и второй

фазах регуляции пищеварения, что указывает на более высокий уровень адаптации при использовании данной добавки в количестве 25,0% от массы корма; биохимические показатели крови согласуются с результатами ферментативной активности дуоденального содержимого, что может быть основанием объективности гипотезы оценки вкусовых ощущений и питательной ценности компонентов рациона *in vivo* на цыплятах-бройлерах с применением фистульных технологий.

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. Гатаулина Г.Г., Медведова Н.В., Шитикова А.В. Люпин белый (*Lupinus albus* L.) — альтернатива сое: новый сорт Тимирязевский. *Кормопроизводство*. 2020; (1): 36–40. <https://elibrary.ru/sahenl>
2. Гатаулина Г.Г., Никитина С.С. Зернобобовые культуры: системный подход к анализу роста, развития и формирования урожая. М.: Инфра-М. 2016; 240. ISBN 978-5-16-011846-8 <https://elibrary.ru/vuhij>
3. Медведев В.В., Хахимов Е.И., Фатыхов И.Ш., Вафина Э.Ф. Биохимический состав сухого вещества надземной биомассы и семян рапса. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020; 15(2): 29–34. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-29-34>
4. Зыбалов В.С. Яровой рапс — культура больших возможностей на Южном Урале. *АПК России*. 2019; 26(5): 755–762. <https://elibrary.ru/qcufuj>
5. Жидебаева Ж.К., Тилеуберди Н.Н. Перспектива применения рапса (*Brassica napus*) в качестве источника биологически активных веществ. *Молодая фармация — потенциал будущего. Сборник материалов XII Всероссийской научной конференции студентов и аспирантов с международным участием*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет. 2022; 139–142. <https://elibrary.ru/mksofq>
6. Niknafs S., Roura E. Nutrient sensing, taste and feed intake in avian species. *Nutrition Research Reviews*. 2018; 31(2): 256–266. <https://doi.org/10.1017/S0954422418000100>
7. Yoshida Y. et al. Bitter taste receptor T2R7 and umami taste receptor subunit T1R1 are expressed highly in Vimentin-negative taste bud cells in chickens. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2019; 511(2): 280–286. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2019.02.021>
8. Вертипрахов В.Г. Физиология кишечного пищеварения у кур (экспериментальный подход). М.: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева. 2022; 175. ISBN 978-5-9675-1887-4 <https://elibrary.ru/vcffiy>
9. Вертипрахов В.Г., Грозина А.А. Оценка состояния поджелудочной железы методом определения активности трипсина в крови птицы. *Ветеринария*. 2018; (12): 51–54. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2018.21.12.51-54>
10. Вертипрахов В.Г., Кислова И.В. Экзокринная функция поджелудочной железы кур-несушек при изменении уровня кальция в рационе. *Международный вестник ветеринарии*. 2019; (4): 118–124. <https://elibrary.ru/lpcyij>
11. Батоев Ц.Ж. Физиология пищеварения птиц. Улан-Удэ: Издательство Бурятского государственного университета. 2001; 213.
12. Бердников П.П., Сердцев М.И., Самсоненко И.А. Физиологическая сложнорефлекторная фаза пищевого возбуждения поджелудочной железы у мускусных уток. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2012; (8): 105–106. <https://elibrary.ru/pboked>
13. Yoshida Y., Kawabata Y., Kawabata F., Nishimura S., Tabata S. Expression of multiple umami taste receptors in oral and gastrointestinal tissues and synergism of umami taste in chickens. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2015; 466(3): 346–349. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.09.025>
14. Yoshida Y., Kawabata F., Kawabata Y., Nishimura S., Tabata S. Short-term perception of and conditioned taste aversion to umami taste, and oral expression patterns of umami taste receptors in chickens. *Physiology & Behavior*. 2018; 191: 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.03.020>
15. Alessandrini M., Vezzoli A., Mrakic-Spota S., Malacrida S., Micarelli A. Commentary: Is obesity associated with taste alterations? A systematic review. *Frontiers in Endocrinology*. 2024; 14: 1282276. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1282276>

REFERENCES

1. Gataulina G.G., Medvedeva N.V., Shitikova A.V. White lupine (*Lupinus albus* L.) — soybean alternative: new variety Timiryazevskiy. *Fodder Journal*. 2020; (1): 36–40 (in Russian). <https://elibrary.ru/sahenl>
2. Gataulina G.G., Nikitina S.S. Leguminous cultures: system approach to the analysis of growth, development and formation. Moscow: *Infra-M*. 2016; 240 (in Russian). ISBN 978-5-16-011846-8 <https://elibrary.ru/vuhij>
3. Medvedev V.V., Khakimov E.I., Fatykhov I.Sh., Vafina E.F. Biochemical composition of dry substance of above-ground biomass and rape seeds. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2020; 15(2): 29–34 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-29-34>
4. Zybailov V.S. Spring rape as a culture with great opportunities in the Southern Urals. *Agro-industrial complex of Russia*. 2019; 26(5): 755–762 (in Russian). <https://elibrary.ru/qcufuj>
5. Zhidibaeva Zh.K., Tileuberdi N.N. The prospect of using rapeseed (*Brassica napus*) as a source of biologically active substances. *Young pharmacy — potential of the future. Proceedings of the XII All-Russian scientific conference of students and postgraduates with international participation*. St. Petersburg: St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University. 2022; 139–142 (in Russian). <https://elibrary.ru/mksofq>
6. Niknafs S., Roura E. Nutrient sensing, taste and feed intake in avian species. *Nutrition Research Reviews*. 2018; 31(2): 256–266. <https://doi.org/10.1017/S0954422418000100>
7. Yoshida Y. et al. Bitter taste receptor T2R7 and umami taste receptor subunit T1R1 are expressed highly in Vimentin-negative taste bud cells in chickens. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2019; 511(2): 280–286. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2019.02.021>
8. Vertiprakhov V.G. Physiology of intestinal digestion in chickens (experimental approach). Moscow: *Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev*. 2022; 175 (in Russian). ISBN 978-5-9675-1887-4 <https://elibrary.ru/vcffiy>
9. Vertiprakhov V.G., Grozina A.A. The estimation of pancreatic functionality in chicken using tryptic activity in blood serum. *Veterinary medicine*. 2018; (12): 51–54 (in Russian). <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2018.21.12.51-54>
10. Vertiprakhov V.G., Kislova I.V. The exocrine pancreatic function in laying hens fed different calcium levels. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2019; (4): 118–124 (in Russian). <https://elibrary.ru/lpcyij>
11. Batoev Ts.Zh. Physiology of digestion of birds. Ulan-Ude: *Buryat State University Publishing House*. 2001; 213 (in Russian).
12. Berdnikov P.P., Serdtsev M.I., Samsonenko I.A. Physiological complex reflex phase of alimentary excitation of pancreas in muscovy duck. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2012; (8): 105–106 (in Russian). <https://elibrary.ru/pboked>
13. Yoshida Y., Kawabata Y., Kawabata F., Nishimura S., Tabata S. Expression of multiple umami taste receptors in oral and gastrointestinal tissues and synergism of umami taste in chickens. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2015; 466(3): 346–349. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.09.025>
14. Yoshida Y., Kawabata F., Kawabata Y., Nishimura S., Tabata S. Short-term perception of and conditioned taste aversion to umami taste, and oral expression patterns of umami taste receptors in chickens. *Physiology & Behavior*. 2018; 191: 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.03.020>
15. Alessandrini M., Vezzoli A., Mrakic-Spota S., Malacrida S., Micarelli A. Commentary: Is obesity associated with taste alterations? A systematic review. *Frontiers in Endocrinology*. 2024; 14: 1282276. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1282276>

ОБ АВТОРАХ

Надежда Алексеевна Сергеевкова

кандидат биологических наук
nsergeenkova@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8769-951X>
Тел. 8 (977) 832-94-90

Владимир Георгиевич Вертипрахов

доктор биологических наук, доцент
vertiprahov@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3240-7636>
Тел. 8 (915) 492-63-63

Александра Васильевна Шитикова

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
plant@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5943-0430>

Российский государственный аграрный университет —
МСХА им. К.А. Тимирязева,
ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Nadezhda Alekseevna Sergeenkova

Candidate of Biological Sciences
nsergeenkova@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8769-951X>
Phone 8 (977) 832-94-90

Vladimir Georgievich Vertiprahov

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
vertiprahov@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3240-7636>
Phone 8 (915) 492-63-63

Aleksandra Vasilyevna Shitikova

Doctor of Agricultural Sciences, Professor
plant@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5943-0430>

Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural
Academy,
49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia



ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ
НА НАШ
TELEGRAM-КАНАЛ
@AGRORUS1

АГРОРУСЬ PRO 2024

28-30 АВГУСТА 2024

33-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА



КОНГРЕССНАЯ
ПРОГРАММА

ЭКСПОЗИЦИИ
РЕГИОНОВ РОССИИ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ
ЭКСПОЗИЦИИ

ЦЕНТР
ДЕЛОВЫХ
КОНТАКТОВ

ОТРАСЛЕВОЙ
КОНКУРС
«ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ»



КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ
ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

AGRORUS.EXPOFORUM.RU
ТЕЛ.: +7 (812) 240-40-40, ДОБ. 2980, 2427, 2434



6+

УДК:639.2.09

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-49-53

Д.А. Никитин¹ ✉
В.Г. Семёнов¹
Н.И. Косяев¹
А.А. Юлдашев²
А.А. Касьянов¹

¹ Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия

² Филиал ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» в Ташкентской области Республики Узбекистан, Салар, Узбекистан

✉ Nikitin_d_a@mail.ru

Поступила в редакцию:
12.07.2023

Одобрена после рецензирования:
12.03.2024

Принята к публикации:
28.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-49-53

Dmitry A. Nikitin¹ ✉
Vladimir G. Semenov¹
Nikolay I. Kosyaev¹
Alo A. Yuldashev²
Andrey A. Kasyanov¹

¹ Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia

² Branch of the Astrakhan State Technical University in the Tashkent region of the Republic of Uzbekistan, Salar, Uzbekistan

✉ Nikitin_d_a@mail.ru

Received by the editorial office:
12.07.2023

Accepted in revised:
12.03.2024

Accepted for publication:
28.03.2024

Эпизоотологическое состояние водоемов Приволжского федерального округа по инвазионным заболеваниям

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Широкая распространенность постодиплостомоза и высокая экстенсивность инвазии гидробионтов паразитами, с одной стороны, и популярность в рационе населения добываемой рыбаками-любителями и не прошедшей ветеринарно-санитарную экспертизу рыбной продукции — с другой, предопределяют высокую вероятность причинения вреда здоровью человека и подчеркивают актуальность этого паразитарного заболевания и необходимость проведения мониторинга его распространенности в акваториях водоемов — популярных местах лова рыбы.

Методы. С мая по июнь 2023 года выполнен контрольный лов рыбы на 12 водоемах Приволжского федерального округа. Вся выловленная рыба была тщательно исследована на предмет наличия на теле характерных клинических признаков постодиплостомоза. В случае выявления последних (с целью подтверждения диагноза) проводили микроскопическое исследование.

Результаты. Установлено, что из 12 мест лова рыбы благополучными по постодиплостомозу оказались только 5. Экстенсивность инвазии рыб метацеркариями составила 100% в двух местах лова. Экстенсивность инвазии отличалась в зависимости от вида рыбы. Например, 100% окуней, пойманных на участке реки Волги (в окрестностях поселка Сосновка), оказались поражены метацеркариями, а все особи судака оказались здоровыми. Благополучие двух находящихся в непосредственной близости друг от друга участков акватории (даже одного водоема) может существенно отличаться. Так, например, экстенсивность инвазии рыбы, выловленной на участке реки Волги вблизи села Сумки (место лова № 4), была 100%, а на расположенном в непосредственной близости от него месте лова № 5 она составила лишь 25%.

Ключевые слова: постодиплостомоз, метацеркарии дигенетического сосальщика *Posthodiplostomum cuticola*, река Волга, окунь, судак, берш, язь, щука, плотва

Для цитирования: Никитин Д.А., Семёнов В.Г., Косяев Н.И., Юлдашев А.А., Касьянов А.А. Эпизоотологическое состояние водоемов Приволжского федерального округа по инвазионным заболеваниям. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 49–53.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-49-53>

©Никитин Д.А., Семёнов В.Г., Косяев Н.И., Юлдашев А.А., Касьянов А.А.

Epizootological condition of reservoirs of the Volga Federal District for invasive diseases

ABSTRACT

Relevance. The widespread prevalence of postdiplostomiasis and the high prevalence of parasite invasion of aquatic organisms, on the one hand, and the popularity in the diet of the population of fish products harvested by amateur fishermen and not passed veterinary and sanitary examination, on the other hand, determine the high probability of harm to human health and emphasize the relevance of this parasitic disease and the need to monitor its prevalence in the waters of reservoirs — popular fishing grounds.

Methods. From May to June 2023, control fishing was carried out in 12 reservoirs of the Volga Federal District. All the fish caught were carefully examined for the presence of characteristic clinical signs of postdiplostomosis on the body. In case of detection of the latter (in order to confirm the diagnosis), a microscopic examination was performed.

Results. It was found that out of 12 fishing sites, only 5 turned out to be safe for postdiplostomiasis. The extent of fish invasion by metacercariae was 100% in two fishing sites. The extent of the invasion differed depending on the type of fish. For example, 100% of perches caught on the Volga River section (in the vicinity of the village of Sosnovka) were affected by metacercariae, and all individuals of walleye turned out to be healthy. The well-being of two sections of the water area located in close proximity to each other (even one reservoir) may differ significantly. For example, the extent of invasion of fish caught in the Volga River area near the village of Bags (fishing site No. 4) was 100%, and in the fishing site No. 5 located in the immediate vicinity it was only 25%.

Key words: postdiplostomosis, metacercariae of the digenetic sucker *Posthodiplostomum cuticola*, Volga River, perch, walleye, bersh, ide, pike, roach

For citation: Nikitin D.A., Semenov V.G., Kosyaev N.I., Yuldashev A.A., Kasyanov A.A. Epizootological condition of reservoirs of the Volga Federal District for invasive diseases. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 49–53 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-49-53>

© Nikitin D.A., Semenov V.G., Kosyaev N.I., Yuldashev A.A., Kasyanov A.A.

Введение/Introduction

Постодиплостомоз — одно из широко распространенных паразитарных заболеваний пресноводных рыб, обитающих в реках, водохранилищах, прудах и озерах, возбудителем которого являются метацеркарии дигенетического сосальщика *Postodiplostomum cuticola*. Широкая распространенность и высокая (достигающая на некоторых водоемах 90–100%) экстенсивность инвазии гидробионтов паразитами, с одной стороны, и популярность в рационе населения добываемой рыбаками-любителями, и не прошедшей процедуру ветеринарно-санитарной экспертизы рыбной продукции — с другой, определяют высокую вероятность причинения вреда здоровью человека и подчеркивают актуальность изучения постодиплостомоза рыб [1–4].

Проблему болезней рыб, несущих угрозу здоровью человека, кроме того, обостряет плохая осведомленность рыбаков-любителей. Учитывая тот факт, что эпизоотологическое состояние водоемов по постодиплостомозу зависит от ряда экологических и антропогенных факторов, рыболовы, зная взаимосвязь экстенсивности инвазии рыб метацеркариями с географическим расположением водоема, сезоном года, температурой воды, скоростью течения, глубиной и характером дна, наличием на нем растительности, видовым и количественным составом гидробионтов и фауны, обитающей на водоеме, выбирали бы правильные, с высокой долей вероятности благополучные места лова рыбы, избегая заведомо неблагополучные [5–9].

Несмотря на большое число исследований, посвященных постодиплостомозу рыб, в доступной литературе мало сведений о распространенности данного заболевания в водоемах, а исследований по мониторингу экстенсивности инвазии метацеркариями рыб, обитающих в акваториях Приволжского федерального округа, популярных среди рыбаков, практически никем не проводилось, поэтому с учетом актуальности остро стоит вопрос о необходимости проведения такого исследования, в том числе на территории Приволжского федерального округа [10–14].

Цель работы — мониторинг экстенсивности инвазии рыб метацеркариями дигенетического сосальщика *Postodiplostomum cuticola*, обитающих в акваториях водоемов Приволжского федерального округа.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проведены с мая по июнь 2023 года. Выполнен контрольный лов рыбы на акватории водоемов Приволжского федерального округа, популярных у рыбаков (расположение водоемов указано на карте) (рис. 1),

Рис. 1. Расположение обследованных мест лова рыбы

Fig. 1. Location of surveyed fishing sites



Таблица 1. Географические координаты обследованных водоемов реки Волги

Table 1. Geographical coordinates of the surveyed reservoirs of the Volga River

Водоем, №	Координаты водоема	Республика
1	56.188865, 47.184474	Чувашская Республика
2	55.203779, 49.311293	Республика Татарстан
3	56.352161, 46.787011	Республика Марий Эл
4	56.251879, 46.263415	Республика Марий Эл
5	56.253327, 46.268305	Республика Марий Эл
6	55.872758, 48.209454	Чувашская Республика
7	56.128326, 47.830310	Республика Марий Эл
8	56.146489, 47.788425	Республика Марий Эл
9	56.218757, 46.618093	Республика Марий Эл
10	55.673371, 47.810914	Чувашская Республика
11	55.824998, 48.100300	Чувашская Республика
12	55.784513, 48.130979	Чувашская Республика

координаты водоемов представлены в таблице 1. Мониторинг пораженности выловленных рыб метацеркариями проводили согласно методическим указаниям^{1, 2}.

Вся выловленная рыба была исследована на предмет наличия на теле характерных клинических признаков постодиплостомоза (черных бугорков, пятен и точек). В случае выявления последних (с целью подтверждения диагноза) проводили микроскопическое исследование с определением вида паразита по определителю паразитов пресноводных рыб фауны СССР³ (О.Н. Бауэр, 1987 г.).

С целью выявления причинно-следственных связей благополучия водоемов по постодиплостомозу и экстенсивности инвазии выловленных на них рыб метацеркариями определяли ряд характеристик водоемов. Географическую характеристику оценивали, используя спутниковые карты глубин рек и водохранилищ для рыбалки Glive⁴. Скорость и направление течения, температуру воды определяли измерителем скорости, температуры, направления течения потока воды «Вектор» (ГК «Новые технологии», Россия). Глубину и характер дна

¹ Профилактика паразитарных болезней. Эпидемиологический надзор за паразитарными болезнями. МУ 3.2.1756-03 (утв. главным государственным санитарным врачом Российской Федерации, первым заместителем министра здравоохранения Российской Федерации Г.Г. Онищенко 28 марта 2003 года).

² Постановление главного государственного санитарного врача Российской Федерации «О предупреждении распространения паразитозов, передающихся через рыбу и рыбную продукцию, в Российской Федерации» от 12 декабря 2016 г. № 179.

³ О.Н. Бауэр. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. 1987; 2–3: 428.

⁴ <https://dapdrift.ru/maps-region/?yclid=16768108431714287615>

исследовали подводной видеокамерой CALYPSO UVS-04 (Camping World, Китай) и эхолотом Lowrance Hook Reveal (Lowrance, США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Экстенсивность инвазии рыб метацеркариями и результаты ветеринарно-санитарной экспертизы представлены в таблице 2.

На участке реки Волги (окрестности поселка городского типа Сосновка) Чебоксарского городского округа (№ 1, географические координаты 56.188865, 47.184474) (табл. 2, рис. 1) были выловлены 12 окуней и 5 особей судака. Данная акватория характеризуется фоновой глубиной 6–8 м, а берег реки имеет здесь изгиб и образует небольшой залив, обуславливая тем самым снижение (вплоть до полного отсутствия скорости течения воды). Установлено, что все 12 окуней оказались поражены метацеркариями, а 5 особей судака — не поражены метацеркариями. Абсолютная пораженность метацеркариями окуней, выловленных здесь, скорее всего, объясняется отсутствием течения и, следовательно, комфортными условиями для больной, неспособной преодолевать сильное течение рыбы, которая большую часть времени здесь и обитает. Все 5 особей судака были пойманы на условной границе этого «залива», а отсутствие среди них пораженных метацеркариями экземпляров, вероятно, объясняется тем, что данный вид рыб преимущественно обитает и охотится на участках реки с выраженным течением, а на мелководные, со слабым течением воды участки он заходит для отдыха.

На другом, давно интересовавшем участке реки Волги (окрестности поселка городского типа Камское устье Республики Татарстан) (№ 2, географические координаты 55.203779, 49.311293) (табл. 2, рис. 1), характеризующемся сильным течением, было выловлено большое число разнообразной рыбы. Все выловленные группой рыбаков 26 окуней, 15 особей судака, 8 бершей, 4 экземпляра язя и 6 щук оказались не поражены метацеркариями. Вероятнее всего, благополучие этого участка реки Волги как раз и объясняется сильным течением воды. Большая рыба неспособна его преодолевать и вынуждена перемещаться на участки водоема со слабым течением или его отсутствием.

Следующий участок реки Волги (окрестности пос. Дубовский Ардинского сельского поселения Килемарского района Республики Марий Эл) (№ 3, географические координаты 56.352161, 46.787011) (табл. 2, рис. 1) характеризуется мелководьем, отсутствием течения, наличием обильной водной растительности и большим числом гнездящихся здесь рыбоядных птиц. Именно этим, скорее всего, объясняется то, что все 52 выловленных здесь окуня разных размеров (от 10 до 300 г) оказались поражены метацеркариями. Интенсивность инвазии была высокой, и непригодными в пищу (даже после термической обработки) были признаны 10 небольших (до 50 г) экземпляров. Планируется исследовать эту акваторию в дальнейшем в осенне-зимний период, когда, вероятно, больные особи погибнут.

Другой участок реки Волги (вблизи с. Сумки Емешевского сельского поселения Горномарийского района Республики Марий Эл) (№ 4, географические координаты 56.251879, 46.263415) (табл. 2, рис. 1, 2) характеризуется

Таблица 2. Экстенсивность инвазии метацеркариями *Postodiplostomum cuticola* и ветеринарно-санитарная экспертиза выловленной рыбы

Table 2. Extent of invasion by metacercariae of *Postodiplostomum cuticola* and veterinary and sanitary examination of caught fish

Водоем, №	Вид рыбы	Кол-во, выловленных рыб, шт.	Здоровые особи, шт.	Пораженные метацеркариями особи, шт.		
				всего	пригодные в пищу	непригодные в пищу
1	окунь	12	0	12	12	0
	судак	5	5	0	0	0
	окунь	26	26	0	0	0
2	судак	15	15	0	0	0
	берш	8	8	0	0	0
	язь	4	4	0	0	0
	щука	6	6	0	0	0
3	окунь	52	0	52	42	10
4	окунь	25	0	25	25	0
5	окунь	20	15	5	5	0
6	судак	11	11	0	0	0
	плотва	14	14	0	0	0
7	окунь	14	4	10	10	0
8	окунь	12	12	0	0	0
9	окунь	15	15	0	0	0
	плотва	12	12	0	0	0
10	окунь	15	5	10	10	0
	плотва	13	8	5	5	0
11	окунь	13	13	0	0	0
	щука	5	5	0	0	0
	карась	11	11	0	0	0
12	окунь	42	37	5	5	0
Итого		350	226	124	114	10

глубиной не более 4–5 м и выраженной водной растительностью, формирующей непрерывную полосу различной ширины (рис. 2). Неудивительно, что все 25 пойманных здесь окуней были больны постодиплостомозом.

В это же время на близлежащем открытом участке русла реки Волги с наличием течения (№ 5, географические координаты 56.253327, 46.268305) (табл. 2, рис. 1, 2) из 20 пойманных окуней поражены метацеркариями были только 5, а 15 особей не были поражены метацеркариями. Выявленный факт в очередной раз подтверждает взаимосвязь скорости течения воды и экстенсивности инвазии рыб метацеркариями.

Акватория Куйбышевского водохранилища реки Волги (район дер. Новородионовка Козловского муниципального округа Чувашской Республики) (№ 6, географические координаты 55.872758, 48.209454) (табл. 2, рис. 1) характеризуется большой шириной и славится сильным течением воды, обуславливающим чистоту дна и отсутствие водной растительности. Все выловленные здесь 11 особей судака и 14 экземпляров плотвы не были поражены.

На очередном участке реки Волги (район слияния с р. Кокшагой в окрестностях с. Кокшайск Кокшайского сельского поселения Звениговского района Республики Марий Эл) (№ 7, географические координаты 56.128326, 47.830310) (табл. 2, рис. 1, 3) из 14 выловленных окуней 10 оказались больны постодиплостомозом.

Рис. 2. Залив реки Волги в районе с. Сумки
Fig. 2. Volga river bay near the village of Bags



В это же время на находящемся в непосредственной близости участке реки Кокшаги (№ 8, географические координаты 56.146489, 47.788425) (табл. 2, рис. 1, 3) все 12 экземпляров пойманных окуней оказались не поражены метацеркариями. Вероятно, это объясняется тем, что на реке Кокшаге течение воды сильнее, чем на Волге, температура воды (из-за наличия большого числа подводных ключей) ниже, и, как результат, хуже условия для комфортного обитания большой рыбы.

На небольшом, но глубоком водоеме в окрестностях деревни Мишкино Усолинского сельского поселения Горномарийского района Республики Марий Эл (№ 9, географические координаты 56.218757, 46.618093) (табл. 2, рис. 1) были выловлены 12 особей плотвы и 15 окуней — все не были поражены метацеркариями. Благополучие данного водоема по постодиплостомозу рыб объясняется, скорее всего, большой его глубиной и, как результат, отсутствием на дне водной растительности, а также малым числом гнездящихся на берегу рыбобоядных птиц.

На пруду около села Батеево Урмарского муниципального округа Чувашской Республики (№ 10, географические координаты 55.673371, 47.810914) (табл. 2, рис. 1) были выловлены 15 окуней и 13 особей плотвы. Пораженными метацеркариями оказались 10 экземпляров окуня и 5 — плотвы. Выявленная высокая экстенсивность инвазии рыбы на данном водоеме объясняется, скорее всего, как и на ряде ранее обследованных водоемов, отсутствием течения, малой (не превышающей 4 м) глубиной, заиленным дном с наличием обильной водной растительности.

Водоем вблизи деревни Осинкино Козловского муниципального округа Чувашской Республики (№ 11, географические координаты 55.824998, 48.100300) (табл. 2, рис. 1) характеризуется большой глубиной и протяженностью, низкой температурой воды, чистым дном и наличием водной растительности только в прибрежной зоне. Именно это, скорее всего, и предопределило его благополучие по постодиплостомозу. Так, среди 13 выловленных окуней, 5 щук и 11 карасей не было особей, пораженных метацеркариями.

На запруде реки Белая Воложка (окрестность дер. Мартыново Козловского муниципального округа Чувашской Республики (№ 12, географические координаты 55.784513, 48.130979) (табл. 2, рис. 1), имеющей относительно большую глубину, вода практически не застаивается и постоянно обновляется. Дно чистое, преимущественно глинистое, без водной растительности. Среди выловленных на этом водоеме 42 окуней лишь 5 оказались поражены метацеркариями,

Рис. 3. Слияние р. Кокшаги с р. Волгой

Fig. 3. The confluence of the Kokshaga river with the Volga river



а 37 не были поражены метацеркариями. Следует отметить, что все 5 больных постодиплостомозом окуней были выловлены в прибрежной зоне с малой глубиной и наличием водной растительности, а 37 не пораженных метацеркариями особей — на участках акватории с большой глубиной и глинистым дном без водной растительности.

Выводы/Conclusion

Таким образом, из 12 мест лова рыбы благополучными по постодиплостомозу оказались только 5, и выловленная рыба всех видов не была поражена метацеркариями. Экстенсивность инвазии рыб метацеркариями составила 100% в двух местах лова.

Следует отдельно отметить, что экстенсивность инвазии отличается в зависимости от вида рыбы. Так, 100% окуней, пойманных на участке реки Волги (окрестность поселка городского типа Сосновка Чебоксарского городского округа), оказались поражены метацеркариями, а все особи судака — не пораженными метацеркариями.

Следует отметить, что эпизоотологическое состояние двух находящихся в непосредственной близости друг от друга участков акватории (даже одного водоема) может существенно отличаться. Экстенсивность инвазии рыбы, выловленной на участке реки Волги (вблизи с. Сумки Емешевского сельского поселения Горномарийского района Республики Марий Эл) (место лова № 4), составляет 100%, а на расположенном в непосредственной близости от него месте лова № 5 она составила лишь 25%. Аналогичная разница выявлена и между акваториями реки Волги в районе слияния с р. Кокшагой и самой р. Кокшагой (места лова № 7, 8).

Следовательно, зная взаимосвязь экстенсивности инвазии метацеркариями рыб с характеристиками водоемов, в которых они обитают, и с учетом видовой предрасположенности, рыбаки имеют возможность минимизировать опасность постодиплостомоза, выбирая заведомо благополучные водоемы и правильную стратегию лова рыбы.

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. Ананьев И.С. Организация ветеринарного обслуживания рыбоводческих предприятий Республики Татарстан. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2019; (4): 16–20. <https://www.elibrary.ru/bzzalg>
2. Головина Н.А., Романова Н.Н., Головин П.П. Эколого-фаунистический анализ паразитов рыб Белгородского и Старооскольского водохранилищ. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2017; (11): 51–64. <https://www.elibrary.ru/zbgxat>

REFERENCES

1. Anan'ev I.S. Organization of veterinary services fish-breeding enterprises of the Republic Tatarstan. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2019; (4): 16–20 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/bzzalg>
2. Golovina N.A., Romanova N.N., Golovin P.P. Ecological and faunistic analysis of fish parasites of the Belgorodsky and Starooskolsky water storage reservoirs. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences*. 2017; (11): 51–64 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zbgxat>

3. Почичкая И.М., Лобазова И.Е., Говор Т.А., Петрова Э.А. Паразиты пресноводной рыбы и рыбопродукции, представленной на рынке Беларуси. *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2018; (7): 47–55. <https://www.elibrary.ru/uvvjms>
4. Теряева И.Ю., Веснина Л.В. Ихтиопатологическое благополучие в некоторых водных объектах Алтайского края. *Вестник НГАСУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2016; (3): 113–118. <https://www.elibrary.ru/wvpidf>
5. Медведова А.М., Лысенко А.А., Черных О.Ю., Пошивач А.В., Калашкина И.М. Анализ состояния рыбодонных хозяйств и рыбопромысловых водоемов Краснодарского края по заразным болезням прудовых рыб. *Ветеринария Кубани*. 2021; (1): 26–29. <https://www.elibrary.ru/npuwru>
6. Зюзина Е.А., Михайлов А.Н., Наход К.В., Золотарев К.В., Михайлова М.В. Возможности использования баз данных мониторинга ихтиофауны внутренних водоемов для принятия управленческих решений по организации мелиоративных мероприятий. *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2018; (3): 52–60. <https://www.elibrary.ru/xntolr>
7. Машникова Т.О., Василевич Ф.И. Гельминтофауна карповых рыб Можайского водохранилища. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2017; (3): 92–96. <https://www.elibrary.ru/ytcxoh>
8. Романова Н.Н., Головина Н.А., Вишторская А.А., Головин П.П. Фауна трематод рыб в водохранилищах европейской части России. *Российский паразитологический журнал*. 2023; 17(1): 28–42. <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2023-17-1-28-42>
9. Романова Н.Н., Головина Н.А., Головин П.П., Малыгина М.М., Кошкарлова В.В. Фаунистический анализ гельминтов леща в водоемах Центральной зоны РФ. *Труды Центра паразитологии*. 2016; XLIX: 132–135. <https://www.elibrary.ru/woinjd>
10. Бонина О.М., Удальцов Е.А., Борцова М.С. Обнаружение *Posthodiplostomum cuticola* (Nordmann, 1832) у рыб в водоемах Новосибирской области. *Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. Сборник научных статей по материалам Международной научной конференции*. М.: Наука. 2023; 24: 100–104. <https://doi.org/10.31016/978-5-6048555-6-0.2023.24.100-104>
11. Минеева О.В., Рубанова М.В. Постодиплостомоз карповых рыб (*Pisces*, *Cyprinidae*) в Саратовском водохранилище. *Вода: химия и экология*. 2019; (3–6): 73–77. <https://www.elibrary.ru/hupwbm>
12. Хасбулатова З.А., Давудова Э.З., Гацаиниева Х.А., Магомедова С.М. Показатели зараженности воблы (*Rutilus rutilus caspicus*) постодиплостомозом в Аграханском заливе Каспийского моря. *Проблемы развития АПК региона*. 2022; (4): 180–185. https://doi.org/10.52671/20790996_2022_4_180
13. Романова Н.Н., Головина Н.А., Головин П.П. Гельминтофауна карповых рыб из естественных водоемов Центральной зоны России. *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2016; (10): 41–46. <https://www.elibrary.ru/xaemhd>
14. Капустина Я.А., Осипов А.С., Ширшов В.Я., Тараданов И.Н., Шпак Р.М. Современные данные по эпизоотическому состоянию рыбохозяйственных водоемов и рыбодонных хозяйств Тюменской области. *Вестник рыбохозяйственной науки*. 2017; 4(3): 84–95. <https://www.elibrary.ru/xqbsgd>
3. Pochitskaya I.M., Lobazova I.E., Govor T.A., Petrova E.A. Parasites of fresh-water fish and fish-products presented at the Belorussian market. *Fish breeding and fisheries*. 2018; (7): 47–55 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/uvvjms>
4. Teryaeva I.Yu., Vesnina L.V. Ichthyopathological well-being in some water bodies of the Altai Territory. *Bulletin of the NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2016; (3): 113–118 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wvpidf>
5. Medvedeva A.M., Lysenko A.A., Chernykh O.Yu., Poshivach A.V., Kaloshkina I.M. State analysis of fish farms and fishery reservoirs in Krasnodar region for contagious diseases of pond fish. *Veterinaria Kubani*. 2021; (1): 26–29 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/npuwru>
6. Zuzina E.A., Mikhailov A.N., Nahod K.V., Zolotarev K.V., Mikhailova M.V. Possibilities of use of inland reservoirs fish fauna monitoring databases in order to make administrative decisions on the organization of melioration actions. *Fish breeding and fisheries*. 2018; (3): 52–60 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xntolr>
7. Mashnikova T.O., Vasilevich F.I. The helminthofauna of cyprinid fish of the Mozhaik reservoir. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2017; (3): 92–96 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ytcxoh>
8. Romanova N.N., Golovina N.A., Vishtorskaya A.A., Golovin P.P. Trematode fauna of fish inhabiting reservoirs of the European part of Russia. *Russian Journal of Parasitology*. 2023; 17(1): 28–42 (in Russian). <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2023-17-1-28-42>
9. Romanova N.N., Golovina N.A., Golovin P.P., Malygina M.M., Koshkarova V.V. Ecological and faunistic analysis of helminthes in bream from water bodies of the RF Central Zone. *Transactions of Center for Parasitology*. 2016; XLIX: 132–135 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/woinjd>
10. Bonina O.M., Udaltsov E.A., Bortsova M.S. Detection of *Posthodiplostomum cuticola* (Nordmann, 1832) in fish in the water bodies of the Novosibirsk region. *Theory and Practice of Parasitic Disease Control. Collection of Scientific Articles adapted from the International Scientific Conference*. Moscow: Nauka. 2023; 24: 100–104 (in Russian). <https://doi.org/10.31016/978-5-6048555-6-0.2023.24.100-104>
11. Mineeva O.V., Rubanova M.V. Postdiplostomosis of cyprinid fishes (*Pisces*, *Cyprinidae*) in the Saratov reservoir. *Water: chemistry and ecology*. 2019; (3–6): 73–77 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/hupwbm>
12. Khasbulatova Z.A., Davudova E.Z., Gatsainieva H.A., Magomedova S.M. Infection indicators of the vobla (*Rutilus rutilus caspicus*) with postodiplostomiasium in the Agrakhan Bay of the Caspian Sea. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2022; (4): 180–185 (in Russian). https://doi.org/10.52671/20790996_2022_4_180
13. Romanova N.N., Golovina N.A., Golovin P.P. The helminth fauna of cyprinid fish from natural reservoirs in the Central Zone of Russia. *Fish breeding and fisheries*. 2016; (10): 41–46 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xaemhd>
14. Kapustina Ya.A., Osipov A.S., Shirshov V.Ya., Taradanov I.N., Shpak R.M. Current information about epizootic state of fishing water reservoirs and fisheries of Tyumen region. *Vestnik rybokhozyaystvennoy nauki*. 2017; 4(3): 84–95 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xqbsgd>

ОБ АВТОРАХ

Дмитрий Анатольевич Никитин¹

доктор ветеринарных наук, доцент, профессор кафедры морфологии, акушерства и терапии
Nikitin_d_a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4765-8742>

Владимир Григорьевич Семёнов¹

доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии
semenov_v.g@list.ru
<http://orcid.org/0000-0002-0349-5825>

Николай Иванович Косьяев¹

доктор ветеринарных наук, профессор кафедры эпизоотологии, паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы
kocyevni81@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-4474-4541>

Ало Аскарлович Юлдашев²

доктор философии по сельскохозяйственным наукам, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры
semenov_v.g@list.ru
<http://orcid.org/0009-0005-1338-2356>

Андрей Александрович Касьянов¹

аспирант кафедры морфологии, акушерства и терапии
andrey-kasyanov99@mail.ru
<http://orcid.org/0009-0002-5582-3090>

ABOUT THE AUTHORS

Dmitry Anatolyevich Nikitin¹

Doctor of Veterinary Sciences, Docent, Professor of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy
Nikitin_d_a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4765-8742>

Vladimir Grigoryevich Semenov¹

Doctor of Biological Science, Professor, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy
semenov_v.g@list.ru
<http://orcid.org/0000-0002-0349-5825>

Nikolay Ivanovich Kosyaev¹

Doctor of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Epizootology, Parasitology and Veterinary and Sanitary Expertise
kocyevni81@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-4474-4541>

Alo Askarovich Yuldashev²

PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture
semenov_v.g@list.ru
<http://orcid.org/0009-0005-1338-2356>

Andrey Aleksandrovich Kasyanov¹

Postgraduate Student of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy
andrey-kasyanov99@mail.ru
<http://orcid.org/0009-0002-5582-3090>

¹ Чувашский государственный аграрный университет, ул. им. К. Маркса, 29, Чебоксары, 428003, Россия

² Астраханский государственный технический университет — филиал в Ташкентской области Республики Узбекистан, ул. Университетская, 2, Салар, 100164, Узбекистан

¹ Chuvash State Agrarian University, 29 Karl Marx Str., Cheboksary, 428003, Russia

² Astrakhan State Technical University is a branch in the Tashkent region of the Republic of Uzbekistan, 2 Universitetskaya Str., Salar, 100164, Uzbekistan

УДК 636.5:559.28

Научный обзор

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-54-58

В.В. Гречкина^{1, 2}
Е.В. Шейда^{1, 3}
О.В. Кван^{1, 3} ✉

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

² Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

³ Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

✉ kwan111@yandex.ru

Поступила в редакцию:
08.11.2023

Одобрена после рецензирования:
12.03.2024

Принята к публикации:
28.03.2024

Review

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-54-58

Viktoriya V. Grechkina^{1, 2}
Elena V. Sheida^{1, 3}
Olga V. Kvan^{1, 3} ✉

¹ Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

² Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

³ Orenburg State University, Orenburg, Russia

✉ kwan111@yandex.ru

Received by the editorial office:
08.11.2023

Accepted in revised:
12.03.2024

Accepted for publication:
28.03.2024

Механизм взаимодействия организма животного с микробиотой желудочно-кишечного тракта (обзор)

РЕЗЮМЕ

Кишечник животных представляет собой сложную экосистему, состоящую из микробиома, клеток-хозяев и питательных веществ. В кишечном тракте насчитываются около 100 трлн бактерий, которые формируют кишечную микробиоту. Они таксономически классифицируются по роду, семейству, порядку и типу. Микрофлора кишечника в основном состоит из шести типов: *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria*, *Fusobacteria* и *Verrucomicrobia*. Бактериоидеты и фирмикуты занимают доминирующее положение в кишечном тракте животных, играют ключевую роль в системе всасывания питательных веществ и способствуют укреплению кишечного барьера.

Цель представленного обзора — анализ микробиомы желудочно-кишечного тракта животных и факторов, влияющих на их биоразнообразие. Состав экосистемы микробного сообщества динамичен и зависит от многих факторов, включая гены, лекарства и кормление. Изменения в рационе кормления могут вызывать временные сдвиги (в течение 24 часов) в большом количестве микроорганизмов. Отсюда следует, что кормление является жизненно важным регулятором кишечной микробиоты. Перспективы применения результатов исследования микробиот организма сельскохозяйственных животных очевидны, поскольку могут стать основой создания технологий, позволяющих корректировать нежелательные изменения микробиома животных, возникающие в качестве негативных последствий интенсификации высокопродуктивного сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: животные, микробиота, обмен веществ, кормление, рост, развитие, микрофлора кишечника

Для цитирования: Гречкина В.В., Шейда Е.В., Кван О.В. Механизм взаимодействия организма животных с микробиотой желудочно-кишечного тракта (обзор). *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 54–58. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-54-58>

© Гречкина В.В., Шейда Е.В., Кван О.В.

The mechanism of interaction of the animal's body with the microbiota of the gastrointestinal tract (review)

ABSTRACT

The intestines of animals are a complex ecosystem consisting of a microbiome, host cells, and nutrients. There are about 100 trillion bacteria in the intestinal tract that form the intestinal microbiota. They are taxonomically classified by genus, family, order, and type. The intestinal microflora mainly consists of six types: *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria*, *Fusobacteria* and *Verrucomicrobia*. Bacterioidetes and firmicutes occupy a dominant position in the intestinal tract of animals and play a key role in the nutrient absorption system and help strengthen the intestinal barrier. The composition of the microbial community ecosystem is dynamic, and its composition depends on many factors including genes, medications, and feeding.

The purpose of this review is to analyze the microbiome of the gastrointestinal tract of animals and factors affecting their biodiversity. The composition of the microbial community ecosystem is dynamic and depends on many factors, including genes, medications, and feeding. Changes in the feeding diet can cause time shifts (within 24 hours) in a large number of microorganisms. It follows that feeding is also a vital regulator of the intestinal microbiota. The prospects for applying the results of the study of the microbiota of the body of farm animals are obvious, since they can become the basis for creating technologies that allow correcting undesirable changes in the microbiome of animals that arise as negative consequences of the intensification of highly productive agricultural production.

Key words: animals, microbiota, metabolism, feeding, growth, development, intestinal microflora

For citation: Grechkina V.V., Sheida E.V., Kvan O.V. The mechanism of interaction of the animal's body with the microbiota of the gastrointestinal tract (review). *Agrarian science*. 2024; 381(4): 54–58 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-54-58>

© Grechkina V.V., Sheida E.V., Kvan O.V.

Введение/Introduction

Микробиота желудочно-кишечного тракта млекопитающих получила название «забытый орган», ее изучение стало основой развиваемой в последние годы теории о роли микробиоты в процессах эволюции. Каждый вид млекопитающих содержит кишечную микробиоту, изменчивость которой ассоциирована с процессами адаптации и диверсификации животных, способствуя возможностям изменения типа кормления, фенотипической пластичности, работе врожденного и адаптивного иммунитета. Микробиота служит важной мишенью действия факторов окружающей среды и селективным агентом, формирующим адаптивную эволюцию рациона млекопитающих, фенотипическую пластичность и морфологию кишечника [1].

Состав микробиоты меняется в зависимости от возраста и вида животного, это происходит из-за отклонений в рационе кормления и патологиях, приводящих к снижению функции иммунной системы [2]. Эти факторы могут оказывать потенциальное влияние на возникновение метаболических заболеваний, таких как хронический панкреатит, постхолецистэктомический синдром, дисахаридазная недостаточность, гепатит, цирроз печени и др. Тип, качество, компоненты и источник кормов, потребляемых животными, будут влиять на состав функции и взаимодействия в экосистеме микробиома [3].

Различные типы стрессов, как физических, так и химических, модулируют состав и общую биомассу кишечной микробиоты независимо от времени действия стресса. Эти эффекты могут быть опосредованы через параллельные нейроэндокринные выходные эфферентные системы (то есть вегетативную нервную систему и гормональную), передачу сигналов между хозяином и кишечной микробиотой и косвенно из-за изменения в кишечной среде [4]. Кроме того, мозг, отвечающий за психологический стресс, играет важную роль в модуляции таких функций кишечника, как подвижность, секреция кислоты, бикарбонатов и слизи, переваривание кишечной жидкости и иммунный ответ, что важно для поддержания слизистого слоя и биопленки, где отдельные группы бактерий растут во множестве различных микробиотических и метаболических ниш, связанных со слизистой оболочкой [5].

Основной продукт метаболизма бактерий — короткоцепочечные жирные кислоты, такие как масляная, пропионовая и уксусная, которые способны стимулировать симпатическую нервную систему, высвобождение серотонина и влиять на биологический процесс в организме [6]. В этом контексте интересно, что поведение животных взаимосвязано с кормлением и микробиотой. Мыши обычно используются в качестве биологической модели при изучении микрофлоры кишечника. Они помогают обеспечить оценку лабораторных экспериментов, направленных на изучение нарушений работы иммунной системы, с использованием современного оборудования. Более тщательное наблюдение за составом микробиоты необходимо для выявления и оценки потенциальных причинно-следственных связей и возможного механизма взаимодействия между микроорганизмами кишечника сельскохозяйственных животных [7].

Цель работы — провести анализ публикаций научных исследований по изучению путей взаимодействия хозяина с микробиотой желудочно-кишечного тракта животных и факторов, влияющих на биоразнообразие микробиоты.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Поиск и анализ литературы проводился с использованием интернет-ресурсов: РИНЦ — <https://www.elibrary.ru>, ScienceDirect — <https://www.sciencedirect.com>, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>. Предпочтение было отдано источникам с 2017 по 2022 год.

Для обзора отбирались материалы, подготовленные отечественными и зарубежными учеными в области кормления животных, и использовались теоретические методы исследования (анализ, классификация и обобщение).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Все ткани и органы многоклеточного организма колонизированы сосуществующим с ним микробным сообществом, состав которого включает бактерии, вирусы, грибы, дрожжи, археи и простейших. Разнообразие микроорганизмов в пределах той или иной физиологической системы макроорганизма определяется как видовой состав микробного сообщества — микробиоты. Преобладающий по количеству вид микроорганизмов называют доминирующим, и каждый орган или система в макроорганизме имеет свой собственный характерный состав микробных ассоциаций [8].

Определения «микробиота» и «микробиом» часто взаимозаменяемы, между этими двумя терминами существуют определенные различия. Микробиота описывает живые микроорганизмы, встречающиеся в определенной среде, такие как микробиота полости рта и кишечника. Микробиомом называется совокупность геномов всех микроорганизмов в окружающей среде, которая включает не только сообщество микроорганизмов, но и микробные структурные элементы, метаболиты и условия окружающей среды. В этом отношении микробиом охватывает более широкий спектр, чем микробиота [9].

Эти исследования ориентированы прежде всего в разрешении вопросов, связанных с нормализацией гомеостаза, поддержания обмена веществ на уровне, соответствующем здоровому организму, путем воздействия на микробный мир. В связи этим представляется важным решение задач по продлению продуктивного долголетия сельскохозяйственных животных путем воздействия в первую очередь на микробиоту пищеварительной системы.

Желудочно-кишечный тракт считается органом, в котором содержится самая большая популяция иммунных клеток и микробов, численность которых превышает численность всех клеток хозяина. Существует мнение, что здоровый кишечник приводит к появлению здоровых жвачных животных с оптимальной производительностью. Рубец является самой разнообразной и сложной микробной экосистемой у животных. Это микробное сообщество, состоящее из симбиотических бактерий, архей, простейших, грибов и фагов, обеспечивает эволюционное преимущество для жвачных животных, которое позволяет им использовать лигноцеллюлозные материалы и небелковый азот для производства высококачественных продуктов питания. Жвачные животные способны переваривать широкий спектр кормов, снижая конкуренцию за пищевые продукты, пригодные для человека. Однако микробиологическая ферментация в рубце имеет некоторые недостатки: протеолиз, осуществляемый простейшими и определенными видами бактерий, может привести к низкой эффективности азотирования, а избыток аммиака в рубце, который не

улавливается для синтеза собственного белка, поглощается и выводится в окружающую среду [10].

Важно отметить, исследования N.T. Mueller *et al.* (2017 г.) [11] показали, что изменчивость микробиоты рубца у разных животных меняется с течением времени. Конкретные кормовые добавки были объектом экспериментальных испытаний микробиома рубца. К ним относятся пробиотические бактерии, органические кислоты. В основном их применяли с целью противления воздействию высококалорийных рационов, типичных для молочных коров, на pH, состав микробиоты рубца и здоровье животных.

Исследования, в которых применялась гипотеза Коха, доказывала, что микроорганизмы являются возбудителями многих заболеваний, и помогла в изучении возможной причинно-следственной связи между микробиотой кишечника и ожирением [12]. Бактерии являются наиболее распространенными микроорганизмами и вносят основной вклад в переваривание растений в рубце, составляя около 95% микробиоты. Ферменты, которые кодируются и секретируются микроорганизмами, играют основную роль в деградации. Многочисленные гликозидгидролазы работают над разрушением сложной химической структуры биомассы растений, эти ферментативные функции фактически транслируются микробам, играющим определенную роль в экосистеме рубца. Липазы могут регулировать метаболизм жирных кислот в рубце, а контроль липолиза может играть жизненно важную роль в ограничении биогидрирования полиненасыщенных жирных кислот [13].

Ксиланаза и целлюлоза — наиболее популярные экзогенные фибролитические ферменты, используемые у жвачных животных для регуляции микробиоты рубца [14]. Экзогенные ферменты могут улучшать перевариваемость, указывая на то, что при определенных обстоятельствах (например, при более слабом развитии рубца) количество фибринолитического фермента в рубце ограничено [15, 16].

B. Liu *et al.* (2018 г.) [17] установили, что для оценки микробиоты у жвачных животных первыми процедурами являются забор содержимого и извлечение метабеномной ДНК. Содержимое рубца может быть собрано с помощью руминальной канюли или методом желудочного зонда, в то время как образцы кала могут быть собраны ректальным захватом с использованием чистой перчатки. Анализ других сегментов, таких как двенадцатиперстная, тощая, подвздошная, слепая и толстая кишка, может быть собран у животных после умерщвления. Изучено, что состав и метаболизм кишечной микробиоты можно регулировать с помощью пребиотиков и клетчатки, так как они улучшают метаболические маркеры на экспериментальных моделях [18, 19].

Всем известна информация, что наиболее распространенным методом воздействия на микробиоту остается использование биотиков — пробиотиков, пребиотиков (и их комбинаций), метабитиков, позволяющих пополнять желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) полезными бактериями и их метаболитами, ежедневно получаемыми аналогичными видами животных в природных условиях. Опыт применения таких кормовых добавок и препаратов показывает, что наряду с улучшением продуктивных качеств сельскохозяйственных животных и птицы наблюдается увеличение периода их хозяйственного использования [20].

Обогащение организма пробиотиками в целом увеличивает продолжительность жизни животного. В контексте применения природоподобных веществ в целях

регуляции микробиоты ЖКТ находят свое применение фитобиотики, помимо антибактериальных свойств (к патогенным возбудителям), увеличивающие численность полезных бактерий, что в совокупности позволяет нормализовать обмен веществ с лучшей реализацией генетического потенциала животного [21].

Микробный дисбаланс может явиться пусковым механизмом в развитии аллергических реакций, воспалительных процессов органов и систем, гиповитаминозов, гипомикроэлементов, нарушений, связанных с обменными процессами организма, аутоиммунных заболеваний. По мнению известных ученых [22], нормальная микрофлора является мишенью негативного влияния разных по своей природе факторов. В зависимости от интенсивности и характера воздействия формируются микробиологические нарушения, степень выраженности и характер проявления которых могут быть различными. Многочисленные группы факторов (экзо- и эндогенной природы) способны изменить состав, видовое разнообразие аутомикрофлоры, способствовать появлению в определенном штамме микроорганизмов генов вирулентности и др.

Патогенез кишечной нормофлоры ведет к уменьшению всасывания питательных веществ, раздражению кишечных стенок, вызывающему усиленную перистальтику, диарею и снижение переваримости корма. На этом фоне у животных формируются дисбиотические состояния, снижается естественная резистентность и продуктивность.

Дисбиоз кишечника — состояние, характеризующееся нарушением качественного и количественного состава кишечной микрофлоры в результате влияния многочисленных неблагоприятных экзогенных и эндогенных факторов. В результате снижения колонизационной резистентности в отношении патогенной и условно-патогенной флоры создаются условия для нарушения кишечного слизистого барьера и проникновения бактерий за пределы кишечной стенки [23].

Состав микробиоты отражает их физиологические свойства, на которые влияют химические, пищевые и иммунологические градиенты вдоль кишечника. В тонком кишечнике, как правило, высокий уровень кислот, кислорода и противомикробных препаратов, а также короткое время прохождения. Проводимые микробиомные исследования [24] направлены на то, чтобы выявить недостающие детали в патофизиологических процессах и объяснить кажущиеся случайными вариации тяжести заболевания и фенотипических проявлений в связи, например, с такими факторами, как эколого-географические и кормовые. Благодаря достижениям в изучении микробных сообществ была получена важная информация, что бактериальный дисбиоз может приводить, в частности, к нарушениям в деятельности нервной системы.

Для защиты от повреждений и поддержания гомеостаза желудочно-кишечный тракт ограничивает воздействие иммунной системы хозяина на микробиоту путем создания многофакторного и динамичного кишечного барьера. Барьер включает в себя несколько интегрированных компонентов, включая физические (слои эпителия и слизи), биохимические (ферменты и антимикробные белки) и иммунологические (IgA и эпителиально-ассоциированные иммунные клетки) факторы. Продолжительность жизни отдельного микроба определяется тем, вносит ли он вклад в выполнение ряда важнейших функций, от которых зависит приспособленность организма-хозяина [25].

Обнаружено, что кишечные микробы могут быть адаптированы к определенному типу образа жизни из-за

относительно меньшего количества биохимических ниш, доступных в кишечнике, по сравнению с другими средами, богатыми микробами. В кишечнике энергия, как правило, может быть получена посредством таких процессов, как ферментация и сульфатредукция пищевых углеводов и углеводов хозяина. Таким образом, организмы, которые могут выживать в кишечнике, ограничены своими фенотипическими признаками [26].

В течение последних лет методы, основанные на высокопроизводительном секвенировании, такие как метабаркодирование ДНК, открыли ряд новых вопросов в исследованиях кормления животных. Этот метод основан на извлечении ДНК из остатков переваренного корма в образце рациона (то есть содержимого желудка, срыгиваний или фекалий), ее амплификации универсальными праймерами, а затем секвенировании отдельных молекул ДНК, идентификации полученных путем сопоставления их с эталонной базой данных последовательностей. Основное преимущество заключается в возможности определения количественной взаимосвязи между пропорциями считанных последовательностей и биомассой, съеденным кормом. Однако надежность этой взаимосвязи в значительной степени зависит от исследуемой системы, что требует оценки для конкретного случая [27].

Метабаркодирование особенно выгодно применять для анализа сложных рационов в кормлении животных, состоящих из множества таксономически разнообразных таксонов, поскольку метод требует небольшого предварительного знания об изучаемой системе. С качественной точки зрения способность

метабаркодирования рациона обнаруживать даже сильно деградированную ДНК позволяет получить доступ к редким или неизвестным заболеваниям. В последующем данный метод поможет выявлять и корректировать нарушения у животных, связанные с микробиотой желудочно-кишечного тракта [28, 29].

Выводы/Conclusion

Микробиота служит фактором, объединяющим все физиологические системы организма. Микробные сообщества меняются на уровне системы или даже органа, это приводит к возникновению патологических процессов. Микрофлора легко восстанавливается при изменении состава рациона, увеличении двигательной активности, улучшении среды обитания, использовании пробиотиков, пребиотиков, метаболитов, ферментов. Значительные изменения в рационе кормления могут вызывать временные сдвиги в большом количестве микроорганизмов, поскольку кормление является основным источником энергии для животных и важнейшим методом поддержания здоровья и роста, состав рациона оказывает большое влияние на микробиоту желудочно-кишечного тракта. В настоящее время накопление данных о микробиомах животных сельскохозяйственных видов имеет как теоретическое, так и практическое значение. Это научное направление остается актуальным и перспективным, поскольку продуктивность и адаптивный потенциал ценных сельскохозяйственных видов и пород животных могут быть улучшены целенаправленным изменением качественного и количественного состава их микробных сообществ.

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 № 23-16-00061.

FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00061.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Allin K.H. et al. Aberrant intestinal microbiota in individuals with prediabetes. *Diabetologia*. 2018; 61(4): 810–820. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4550-1>
- Azad M.A.K., Sarker M., Li T., Yin J. Impact of Nutritional and Environmental Factors on Inflammation, Oxidative Stress, and the Microbiome. *BioMed Research International*. 2018; 2018: 9478630. <https://doi.org/10.1155/2018/9478630>
- Dao M.C. et al. *Akkermansia muciniphila* and improved metabolic health during a dietary intervention in obesity: relationship with gut microbiome richness and ecology. *Gut*. 2016; 65(3): 426–436. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-308778>
- Grechikina V.V., Lebedev S.V., Miroshnikov I.S., Ryazanov V.A., Sheida E.V., Korolev V.L. Justification of rational and safe biotechnological methods of using fat additives from vegetable raw materials. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2021; 624: 012160. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012160>
- Gholizadeh P. et al. Microbial balance in the intestinal microbiota and its association with diabetes, obesity and allergic disease. *Microbial Pathogenesis*. 2019; 127: 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.11.031>
- Gowd V., Xie L., Zheng X., Chen W. Dietary fibers as emerging nutritional factors against diabetes: focus on the involvement of gut microbiota. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2019; 39(4): 524–540. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1576025>
- Holscher H.D., Caporaso J.G., Hooda S., Brulc J.M., Fahey G.C.Jr., Swanson K.S. Fiber supplementation influences phylogenetic structure and functional capacity of the human intestinal microbiome: follow-up of a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2015; 101(1): 55–64. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.092064>
- Hosseindoust A. et al. A dose-response study to evaluate the effects of pH-stable β -mannanase derived from *Trichoderma citrinoviride* on growth performance, nutrient retention, and intestine morphology in broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*. 2019; 18(1): 147–154. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1500872>
- Heath R.D., Cockerell C., Mankoo R., Ibdah J.A., Tahan V. Fecal microbiota transplantation and its potential therapeutic uses in gastrointestinal disorders. *Northern Clinics of Istanbul*. 2018; 5(1): 79–88. <https://doi.org/10.14744/nci.2017.10692>

REFERENCES

- Allin K.H. et al. Aberrant intestinal microbiota in individuals with prediabetes. *Diabetologia*. 2018; 61(4): 810–820. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4550-1>
- Azad M.A.K., Sarker M., Li T., Yin J. Impact of Nutritional and Environmental Factors on Inflammation, Oxidative Stress, and the Microbiome. *BioMed Research International*. 2018; 2018: 9478630. <https://doi.org/10.1155/2018/9478630>
- Dao M.C. et al. *Akkermansia muciniphila* and improved metabolic health during a dietary intervention in obesity: relationship with gut microbiome richness and ecology. *Gut*. 2016; 65(3): 426–436. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-308778>
- Grechikina V.V., Lebedev S.V., Miroshnikov I.S., Ryazanov V.A., Sheida E.V., Korolev V.L. Justification of rational and safe biotechnological methods of using fat additives from vegetable raw materials. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2021; 624: 012160. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012160>
- Gholizadeh P. et al. Microbial balance in the intestinal microbiota and its association with diabetes, obesity and allergic disease. *Microbial Pathogenesis*. 2019; 127: 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.11.031>
- Gowd V., Xie L., Zheng X., Chen W. Dietary fibers as emerging nutritional factors against diabetes: focus on the involvement of gut microbiota. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2019; 39(4): 524–540. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1576025>
- Holscher H.D., Caporaso J.G., Hooda S., Brulc J.M., Fahey G.C.Jr., Swanson K.S. Fiber supplementation influences phylogenetic structure and functional capacity of the human intestinal microbiome: follow-up of a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2015; 101(1): 55–64. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.092064>
- Hosseindoust A. et al. A dose-response study to evaluate the effects of pH-stable β -mannanase derived from *Trichoderma citrinoviride* on growth performance, nutrient retention, and intestine morphology in broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*. 2019; 18(1): 147–154. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1500872>
- Heath R.D., Cockerell C., Mankoo R., Ibdah J.A., Tahan V. Fecal microbiota transplantation and its potential therapeutic uses in gastrointestinal disorders. *Northern Clinics of Istanbul*. 2018; 5(1): 79–88. <https://doi.org/10.14744/nci.2017.10692>

10. Makki K., Deehan E.C., Walter J., Bäckhed F. The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease. *Cell Host & Microbe*. 2018; 23(6): 705–715. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>

11. de la Cuesta-Zuluaga J. *et al.* Metformin Is Associated With Higher Relative Abundance of Mucin-Degrading *Akkermansia muciniphila* and Several Short-Chain Fatty Acid-Producing Microbiota in the Gut. *Diabetes Care*. 2017; 40(1): 54–62. <https://doi.org/10.2337/dc16-1324>

12. Jha R., Fohse J.M., Tiwari U.P., Li L., Willing B.P. Dietary Fiber and Intestinal Health of Monogastric Animals. *Frontiers in Veterinary Science*. 2019; 6: 48. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00048>

13. Kimiaieitalab M.V., Mirzaie Goudarzi S., Jiménez-Moreno E., Cámara L., Mateos G.G. A comparative study on the effects of dietary sunflower hulls on growth performance and digestive tract traits of broilers and pullets fed a pullet diet from 0 to 21 days of age. *Animal Feed Science and Technology*. 2018; 236: 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.11.023>

14. Koçer B., Bozkurt M., Ege G., Tüzün A.E. Effects of sunflower meal supplementation in the diet on productive performance, egg quality and gastrointestinal tract traits of laying hens. *British Poultry Science*. 2021; 62(1): 101–109. <https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1814202>

15. Lebedev S. *et al.* Use of chromium nanoparticles as a protector of digestive enzymes and biochemical parameters for various sources of fat in the diet of calves. *AIMS Agriculture and Food*. 2020; 6(1): 14–31. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021002>

16. Li Y., Yang H., Xu L., Wang Z., Zhao Y., Chen X. Effects of dietary fiber levels on cecal microbiota composition in geese. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2018; 31(8): 1285–1290. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0915>

17. Liu B. *et al.* Response of Gut Microbiota to Dietary Fiber and Metabolic Interaction with SCFAs in Piglets. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2344. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02344>

18. Meijnikman A.S., Gerdes V.E., Nieuwdorp M., Herrema H. Evaluating Causality of Gut Microbiota in Obesity and Diabetes in Humans. *Endocrine Reviews*. 2018; 39(2): 133–153. <https://doi.org/10.1210/er.2017-00192>

19. Sadeghi A., Toghyani M., Tabeidian S.A., Foroozandeh A.D., Ghalamkari G. Efficacy of dietary supplemental insoluble fibrous materials in ameliorating adverse effects of coccidial challenge in broiler chickens. *Archives of Animal Nutrition*. 2020; 74(5): 362–379. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2020.1764811>

20. Сизова Е.А., Мирошников С.А., Лебедев С.В., Левахин Ю.И., Бабичева И.А., Косилов В.И. Сравнительные испытания ультрадисперсного сплава, солей и органических форм Си и Zn как источников микроэлементов в кормлении цыплят-бройлеров. *Сельскохозяйственная биология*. 2018; 53(2): 393–403. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.2.393rus>

21. Sonnenburg J.L., Bäckhed F. Diet-microbiota interactions as moderators of human metabolism. *Nature*. 2016; 535(7610): 56–64. <https://doi.org/10.1038/nature18846>

22. Wilson Tang W.H., Kitai T., Hazen S.L. Gut Microbiota in Cardiovascular Health and Disease. *Circulation Research*. 2017; 120(7): 1183–1196. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.117.309715>

23. Tsigos C., Chrousos G.P. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis, neuroendocrine factors and stress. *Journal of Psychosomatic Research*. 2022; 53(4): 865–871. [https://doi.org/10.1016/S0022-3999\(02\)00429-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3999(02)00429-4)

24. Vaiserman A.M., Koliada A.K., Marotta F. Gut microbiota: A player in aging and a target for anti-aging intervention. *Ageing Research Reviews*. 2017; 35: 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2017.01.001>

25. Wu H. *et al.* Metformin alters the gut microbiome of individuals with treatment-naïve type 2 diabetes, contributing to the therapeutic effects of the drug. *Nature Medicine*. 2017; 23(7): 850–858. <https://doi.org/10.1038/nm.4345>

26. Zeevi D. *et al.* Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses. *Cell*. 2015; 163(5): 1079–1094. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.11.001>

27. Zeng M.Y., Inohara N., Nuñez G. Mechanisms of inflammation-driven bacterial dysbiosis in the gut. *Mucosal Immunology*. 2017; 10(1): 18–26. <https://doi.org/10.1038/mi.2016.75>

28. Zhang F. *et al.* Response of gut microbiota in type 2 diabetes to hypoglycemic agents. *Endocrine*. 2019; 66(3): 485–493. <https://doi.org/10.1007/s12020-019-02041-5>

29. Zhao L. *et al.* Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes. *Science*. 2018; 359(6380): 1151–1156. <https://doi.org/10.1126/science.aao5774>

ОБ АВТОРАХ

Виктория Владимировна Гречкина^{1, 2}

кандидат биологических наук

Viktoria1985too@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>

Елена Владимировна Шейда^{1, 3}

кандидат биологических наук

elena-shejda@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Ольга Вилориевна Кван^{1, 3}

кандидат биологических наук

kwan111@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, ул. 9 Января, 29, Оренбург, 460000, Россия

² Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия

³ Оренбургский государственный университет, пр. Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия

10. Makki K., Deehan E.C., Walter J., Bäckhed F. The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease. *Cell Host & Microbe*. 2018; 23(6): 705–715. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>

11. de la Cuesta-Zuluaga J. *et al.* Metformin Is Associated With Higher Relative Abundance of Mucin-Degrading *Akkermansia muciniphila* and Several Short-Chain Fatty Acid-Producing Microbiota in the Gut. *Diabetes Care*. 2017; 40(1): 54–62. <https://doi.org/10.2337/dc16-1324>

12. Jha R., Fohse J.M., Tiwari U.P., Li L., Willing B.P. Dietary Fiber and Intestinal Health of Monogastric Animals. *Frontiers in Veterinary Science*. 2019; 6: 48. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00048>

13. Kimiaieitalab M.V., Mirzaie Goudarzi S., Jiménez-Moreno E., Cámara L., Mateos G.G. A comparative study on the effects of dietary sunflower hulls on growth performance and digestive tract traits of broilers and pullets fed a pullet diet from 0 to 21 days of age. *Animal Feed Science and Technology*. 2018; 236: 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.11.023>

14. Koçer B., Bozkurt M., Ege G., Tüzün A.E. Effects of sunflower meal supplementation in the diet on productive performance, egg quality and gastrointestinal tract traits of laying hens. *British Poultry Science*. 2021; 62(1): 101–109. <https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1814202>

15. Lebedev S. *et al.* Use of chromium nanoparticles as a protector of digestive enzymes and biochemical parameters for various sources of fat in the diet of calves. *AIMS Agriculture and Food*. 2020; 6(1): 14–31. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021002>

16. Li Y., Yang H., Xu L., Wang Z., Zhao Y., Chen X. Effects of dietary fiber levels on cecal microbiota composition in geese. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2018; 31(8): 1285–1290. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0915>

17. Liu B. *et al.* Response of Gut Microbiota to Dietary Fiber and Metabolic Interaction with SCFAs in Piglets. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2344. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02344>

18. Meijnikman A.S., Gerdes V.E., Nieuwdorp M., Herrema H. Evaluating Causality of Gut Microbiota in Obesity and Diabetes in Humans. *Endocrine Reviews*. 2018; 39(2): 133–153. <https://doi.org/10.1210/er.2017-00192>

19. Sadeghi A., Toghyani M., Tabeidian S.A., Foroozandeh A.D., Ghalamkari G. Efficacy of dietary supplemental insoluble fibrous materials in ameliorating adverse effects of coccidial challenge in broiler chickens. *Archives of Animal Nutrition*. 2020; 74(5): 362–379. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2020.1764811>

20. Sizova E.A., Miroshnikov S.A., Lebedev S.V., Levakhin Yu.I., Babicheva I.A., Kosilov V.I. Comparative tests of various sources of microelements in feeding chicken-broilers. *Agricultural Biology*. 2018; 53(2): 393–403. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.2.393eng>

21. Sonnenburg J.L., Bäckhed F. Diet-microbiota interactions as moderators of human metabolism. *Nature*. 2016; 535(7610): 56–64. <https://doi.org/10.1038/nature18846>

22. Wilson Tang W.H., Kitai T., Hazen S.L. Gut Microbiota in Cardiovascular Health and Disease. *Circulation Research*. 2017; 120(7): 1183–1196. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.117.309715>

23. Tsigos C., Chrousos G.P. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis, neuroendocrine factors and stress. *Journal of Psychosomatic Research*. 2022; 53(4): 865–871. [https://doi.org/10.1016/S0022-3999\(02\)00429-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3999(02)00429-4)

24. Vaiserman A.M., Koliada A.K., Marotta F. Gut microbiota: A player in aging and a target for anti-aging intervention. *Ageing Research Reviews*. 2017; 35: 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2017.01.001>

25. Wu H. *et al.* Metformin alters the gut microbiome of individuals with treatment-naïve type 2 diabetes, contributing to the therapeutic effects of the drug. *Nature Medicine*. 2017; 23(7): 850–858. <https://doi.org/10.1038/nm.4345>

26. Zeevi D. *et al.* Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses. *Cell*. 2015; 163(5): 1079–1094. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.11.001>

27. Zeng M.Y., Inohara N., Nuñez G. Mechanisms of inflammation-driven bacterial dysbiosis in the gut. *Mucosal Immunology*. 2017; 10(1): 18–26. <https://doi.org/10.1038/mi.2016.75>

28. Zhang F. *et al.* Response of gut microbiota in type 2 diabetes to hypoglycemic agents. *Endocrine*. 2019; 66(3): 485–493. <https://doi.org/10.1007/s12020-019-02041-5>

29. Zhao L. *et al.* Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes. *Science*. 2018; 359(6380): 1151–1156. <https://doi.org/10.1126/science.aao5774>

ABOUT THE AUTHORS

Viktoria Vladimirovna Grechkin^{1, 2}

Candidate of Biological Sciences

Viktoria1985too@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Elena Vladimirovna Sheida^{1, 3}

Candidate of Biological Sciences

elena-snejda@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Olga Vilorievna Kvan^{1, 3}

Candidate of Biological Sciences

kwan111@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

¹ Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 January 9th Str., Orenburg, 460000, Russia

² Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev Str., Orenburg, 460014, Russia

³ Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia

УДК 636.32/.38:636.085.552

Научный обзор

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-59-64

А. Ч. Гаглов 

М. С. Щугорева

Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия adik.gaglov@yandex.ruПоступила в редакцию:
08.11.2023Одобрена после рецензирования:
12.03.2024Принята к публикации:
28.03.2024

Review

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-59-64

Alexander Ch. Gaglov 

Marina S. Shugoreva

*Michurinsk State Agrarian University,
Michurinsk, Russia* adik.gaglov@yandex.ruReceived by the editorial office:
08.11.2023Accepted in revised:
12.03.2024Accepted for publication:
28.03.2024

Мясная продуктивность баранчиков при использовании экспериментальной комплексной витаминно-минеральной добавки

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Перед современным овцеводством в России стоит важная задача: обеспечение населения высококачественными и полезными диетическими продуктами питания — мясом ягнят и молодой бараниной. Для получения необходимого количества качественной баранины и ягнятины нужно укреплять кормовую базу. Одним из способов укрепления кормовой базы овцеводства в России является разработка отечественных белково-витаминно-минеральных концентратов на основе местных кормовых ресурсов, которые помогут решить проблемы по улучшению здоровья молодняка овец, обеспечению их сбалансированного и полноценного питания, а также повышению их продуктивных показателей и сокращению сроков откорма.

Методы. Исследования по влиянию на мясную продуктивность помесных баранчиков замены части хозяйственного комбикорма на опытный БВМК проводились на овцеводческой ферме ОАО «Сатинское» Тамбовской области России в 2021–2022 гг.

Изучение мясных качеств баранчиков подопытных групп проводилось по результатам контрольного убоя трех типичных животных из каждой группы в возрасте 8 месяцев по общепринятой методике.

Результаты. В результате исследований установлено, что баранчики 1-й опытной группы, которые имели долю замены хозяйственного комбикорма на БВМК в 30%, 25% и 20%, по большинству изучаемых показателей превосходили своих сверстников из контрольной и 2-й опытной групп. Так, по убойной массе баранчики 1-й группы достоверно превосходили своих аналогов из контрольной и 2-й опытной групп, соответственно, на 2,87 кг ($p \geq 0,99$) и 1,21 кг ($p \geq 0,95$).

Ключевые слова: помесные баранчики, белково-витаминно-минеральный концентрат, мясная продуктивность, масса туши, убойный выход

Для цитирования: Гаглов А.Ч., Щугорева М.С. Мясная продуктивность баранчиков при использовании экспериментальной комплексной витаминно-минеральной добавки. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 59–64.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-59-64>

©Гаглов А.Ч., Щугорева М.С.

Meat productivity of lambs when using an experimental complex vitamin-mineral additive

ABSTRACT

Relevance. Modern sheep farming in Russia faces an important task: providing the population with high-quality and healthy dietary foods - lamb meat and young mutton. To obtain the necessary amount of high-quality mutton and lamb, it is necessary to strengthen the feed base. One of the ways to strengthen the feed base of sheep breeding in Russia is the development of domestic protein-vitamin-mineral concentrates based on local feed resources, which will help solve problems to improve the health of young sheep, ensure their balanced and nutritious nutrition, as well as increase their productive indicators and reduce fattening times.

Methods. Studies on the effect on the meat productivity of crossbred sheep by replacing part of the household compound feed with an experienced PVMC were conducted at the sheep farm of JSC "Satinskoye" in the Tambov region in 2021–2022. The study of the meat qualities of sheep of experimental groups was carried out based on the results of control slaughter of three typical animals from each group at the age of 8 months according to a generally accepted method.

Results. As a result of the research, it was found that the sheep of the 1st experimental group, which had a share of 30%, 25% and 20% replacement of household compound feed with BVMC, surpassed their peers from the control and 2nd experimental groups in most of the studied indicators. Thus, in terms of slaughter weight, the sheep of the 1st group significantly surpassed their counterparts from the control and 2nd experimental groups, respectively, by 2.87 kg ($p \geq 0.99$) and 1.21 kg ($p \geq 0.95$).

Key words: crossbreeds, protein-vitamin-mineral concentrate, meat productivity, carcass weight, slaughter yield

For citation: Gaglov A.Ch., Shugoreva M.S. Meat productivity of lambs when using an experimental complex vitamin-mineral additive. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 59–64 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-59-64>

© Gaglov A.Ch., Shugoreva M.S.

Введение/Introduction

В настоящее время мясо считается важным продуктом, получаемым от овец. Основным путем дальнейшего увеличения производства баранины является организация интенсивного выращивания ранотелятных ягнят и правильного откорма овец, а также развитие скороспелого специализированного мясного овцеводства. Мясная продуктивность овец зависит от породной принадлежности, метода разведения, пола, возраста, многоплодия, содержания, сроков убоя и во многом от условий кормления. Обеспечить высокую скороспелость у молодняка овец можно прежде всего за счет сбалансированного полноценного кормления [1–4].

Основными внешними факторами, отмечают некоторые авторы, оказывающими решающее влияние на рост, развитие и последующую продуктивность молодняка овец, являются условия их питания. Правильная организация кормления ягнят служит неперенным условием успешного воспроизводства стада и дальнейшего совершенствования продуктивных качеств у овец. Поэтому в условиях интенсификации овцеводства для повышения эффективности выращивания молодняка овец наиболее существенное значение имеет полноценное кормление, сбалансированное по всем показателям питательности кормов [5].

Первостепенная роль в кормлении овец отводится протеиновому питанию животных, поскольку основная часть шерстных волокон состоит из особых белков — кератинов, характерной особенностью которых является высокое содержание в них аминокислоты цистина. Генетический потенциал продуктивности недоиспользуется более чем на 40% ввиду дефицита протеина. Причем не только в его количественном выражении, но и в полноценности. [5–7] В овцеводстве кормление дефицитно по ряду незаменимых аминокислот: лизина, метионина, цистина и триптофана [8, 9].

Решить проблему дефицита протеина, витаминов и незаменимых аминокислот, а также повысить сохранность ягнят за счет снижения желудочно-кишечных заболеваний можно при включении в рацион кормления молодняка овец гранулированных кормов с добавлением белково-витаминно-минеральных концентратов (БВМК) [10]. В его состав входят компоненты с высоким содержанием протеина (белка), биологически активные добавки (БАДы), микро- и макроэлементы, витаминный комплекс. Кормовая ценность высокобелковых концентратов основана на грамотном сочетании обменной энергии и легкоусвояемого и легкопереваримого белка. Использование БВМК решает типичные проблемы животноводства, в том числе и овцеводства, повышает среднесуточный прирост и продуктивность, обеспечивает лучшие темпы воспроизводства и сохранность приплода [11]. Анализ научных трудов отечественных и зарубежных ученых подтверждает положительное влияние кормовых добавок, в том числе и БВМК на мясную продуктивность ягнят [12–17].

Промышленная технология приготовления кормов к скормливанию — один из важных факторов управления потреблением и переваримостью питательных веществ. Это связано с тем, что состав кормов и форма их скормливания существенно влияют на работу желудочно-кишечного тракта овец, переваримость и усвоение питательных веществ. Корма, входящие в

состав кормосмеси, находятся в измельченном состоянии, при этом увеличивается площадь их поверхности, вступают во взаимодействие с ферментами, а это способствует лучшему перевариванию и всасыванию питательных веществ. Доказано, что овцы поедают гранулированных кормосмесей на 25–35% больше, чем натуральных кормов, что приводит к увеличению приростов, молока и настрига шерсти. [18, 19]

Традиционно белково-витаминно-минеральная добавка состоит из трех основных составляющих:

1) белков — получают из субстратов растительного и животного происхождения (зерновых культур, продуктов переработки сои и подсолнечника, сухой молочной сыворотки, дрожжей);

2) витаминов — могут быть водо- и жирорастворимыми. К базовым относятся: витамины А, Е, D₃, К, группы В;

3) минералов — источником являются органические и неорганические субстраты, содержащие поваренную соль, известняк, монокальцийфосфат, железо, селен, йод, цинк, медь, кобальт.

Применение в кормлении сельскохозяйственных животных кормовых добавок по типу белково-витаминно-минеральных концентратов оказывает положительное влияние на их организм, повышает приросты и снижает сроки откорма, а также повышает рентабельность отрасли. Установлено, что без обогащения полнорационных комбикормов балансирующими кормовыми добавками и белковыми концентратами невозможно организовать интенсивное животноводство, в том числе овцеводство. Однако среди разработанных отечественных и включенных в госреестр БВМК отсутствуют специальные добавки такого типа для молодняка овец. В связи с этим возникла необходимость научных исследований по разработке и организации производства в кормопроизводстве отечественных БВМК для ягнят из российского сырья [21–23].

Цели исследования — изучение и оценка мясной продуктивности помесных баранчиков при частичной замене стандартного комбикорма в их рационе новой белково-витаминно-минеральной добавкой.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Экспериментальные исследования по влиянию на мясную продуктивность помесных баранчиков замены части комбикорма на опытный БВМК¹, изготовленного по рецепту авторов на ОАО «Агро» (г. Котовск, Россия), проводились на овцеводческой ферме ОАО «Сатинское» Тамбовской области в 2021–2022 гг. Рационы кормления помесных баранчиков приведены в таблице 1.

Объект исследования — 45 голов помесных баранчиков (цигайская × эдильбаевская) 2-месячного возраста. Из них были сформированы 3 группы: контрольная, 1-я и 2-я опытная (по 15 голов в каждой). Для изучения хозяйственно-биологических особенностей, роста и развития молодняка овец в период выращивания скормливали разработанный нами БВМК с раннего возраста ягнятам опытных групп.

В основе разработанного БВМК, включаемого в качестве замены хозяйственного комбикорма, в рационах ягнят использовали белки растительного происхождения из местных кормовых ресурсов, биологически активные

¹ ГОСТ Р 51551-2000. Белково-витаминно-минеральные и амидо-витаминно-минеральные концентраты. Технические условия. М.: Госстандарт России. 2000; 10.

Таблица 1. Рационы кормления баранчиков

Table 1. Mutton feeding diets

№ п/п	Состав рациона	Группа баранчиков								
		контрольная			1-я опытная			2-я опытная		
		2–4 мес.	4–6 мес.	6–8 мес.	2–4 мес.	4–6 мес.	6–8 мес.	2–4 мес.	4–6 мес.	6–8 мес.
1	Гранулированный комбикорм, кг	0,45	0,48	0,4	0,315	0,36	0,32	0,27	0,31	0,28
2	БВМК, кг	0	0	0	0,135	0,12	0,08	0,18	0,17	0,12
3	Сено люцерны, кг	1,0	1,1	–	1,0	1,1	–	1,0	1,1	–
4	Трава злаково-разнотравного пастбища, кг	–	–	2,8	–	–	2,8	–	–	2,8
Показатели питательности										
1	Обменная энергия, МДж/кг	12,19	13,24	14,01	12,17	13,22	14,00	12,17	13,21	13,99
2	Кормовые единицы	1,0	1,05	1,20	1,0	1,05	1,20	1,0	1,05	1,20
3	Сухое вещество, г	1226,00	1335,40	1343,20	1225,00	1334,51	1342,61	1224,67	1334,14	1342,31
4	Сырой протеин, г	206,73	225,31	187,36	228,18	244,38	200,07	235,33	252,33	206,43
5	Переваримый протеин, г	155,24	168,96	132,22	159,64	172,87	134,82	161,10	174,49	136,12
6	Сырая клетчатка, г	275,28	302,06	302,60	278,70	305,11	304,63	279,85	306,38	305,65
7	Крахмал, г	144,95	154,91	140,72	120,48	133,16	126,22	112,33	124,10	118,98
8	Сахар, г	67,19	72,33	106,34	55,45	61,90	99,39	51,53	57,55	95,91
9	Лизин, г	10,41	11,35	8,08	11,66	12,46	8,83	12,08	12,93	9,20
10	Метионин + цистин, г	7,22	7,88	5,45	7,74	8,35	5,76	7,92	8,54	5,91
11	Ca, г	17,38	19,10	4,54	19,79	21,25	5,96	20,59	22,14	6,68
12	P, г	3,73	4,06	3,60	5,72	5,82	4,78	6,38	6,55	5,37
13	Mg, г	3,51	3,84	1,57	4,25	4,50	2,01	4,49	4,77	2,23
14	S, г	2,14	2,34	1,42	2,18	2,38	1,45	2,20	2,40	1,46
15	Каротин, мг	49,27	54,18	98,24	53,51	57,95	100,75	54,92	59,52	102,01
16	Витамин D, ME	360,00	396,00	9,80	360,04	396,04	9,82	360,05	396,05	9,84
17	Fe, мг	189,74	207,98	131,32	198,03	215,36	136,24	200,80	218,43	138,70
18	Cu, мг	10,76	11,75	3,67	11,69	12,57	4,22	12,00	12,92	4,50
19	Zn, мг	30,07	32,71	14,51	33,31	35,59	16,43	34,39	36,80	17,39
20	Mn, мг	39,19	42,68	49,17	40,97	44,27	50,23	41,57	44,93	50,75
21	Co, мг	0,27	0,29	0,12	0,39	0,40	0,19	0,43	0,45	0,23
22	J, мг	0,35	0,38	0,13	0,49	0,51	0,21	0,53	0,56	0,25

Таблица 2. Рецепт опытного белково-витаминно-минерального концентрата

Table 2. Recipe for protein-vitamin-mineral concentrate

Состав	В рецепте, %
1. Люпин кормовой	30,0
2. Горох экструдированный	10,6
3. Соя полножирная экструдированная	45,0
4. Лен масличный	5,00
5. Соль поваренная, NaCl ²	1,00
6. Монокальцийфосфат ³ (АО «Апатит», Россия)	5,00
7. Мел кормовой ⁴ (ООО «МегаМикс», Россия)	2,00
8. Микосорб ⁵ (ООО Alltech, Россия)	0,05
9. Натусим (Bioprotein, Австралия)	0,05
10. Ароматизатор (ООО «Экокремний», Россия)	0,20
11. Лисофортэкстенд (ООО «Компания Новые Технологии», Россия)	0,08
12. Эндокс (ООО «ЛайтФид», Россия)	0,02
13. П 81-1 для ягнят ⁶ («Веторм», Россия)	1,00

Таблица 3. Схема замены части хозяйственного гранулированного комбикорма на БВМК

Table 3. Scheme of replacement of a part of household granulated compound feed at PVMK

№ и наименование группы молодняка овец	Комби-корм, %	Белково-витаминно-минеральный концентрат, %	Энергетическая ценность, МДж
Контрольная:			
2–4 мес.	100	0	12,19
4–6 мес.	100	0	13,24
6–8 мес.	100	0	14,01
1-я опытная:			
2–4 мес.	70	30	12,17
4–6 мес.	75	25	13,22
6–8 мес.	80	20	14,0
2-я опытная:			
2–4 мес.	60	40	12,17
4–6 мес.	65	35	13,21
6–8 мес.	70	30	13,99

вещества, комплексные препараты для оздоровления желудочно-кишечного тракта с синергическим взаимодействием, улучшающие обмен веществ и иммунный статус животных (табл. 2).

В контрольной группе молодняку овец с 2 до 6 месячного возраста скармливали ОР (основной рацион), состоящий из комбикорма и сена, в соответствии с возрастом и технологической группой, а в двух других опытных группах часть комбикорма заменяли опытным БВМК согласно схеме в разных пропорциях по периодам выращивания (табл. 3). При этом в периоде с 6 до 8 месячного возраста (приходящегося на летние

месяцы) вместо сена скармливали траву злаково-разнотравного пастбища. Рационы всех групп баранчиков соответствовали нормам кормления⁷.

По окончании научно-хозяйственного опыта для изучения мясной продуктивности подопытных баранчиков был проведен контрольный убой по методике Всероссийского научно-исследовательского института животноводства им. академика Л.К. Эрнста (г. Москва)⁸. Для убоя из каждой опытной группы были отобраны по 3 типичных баранчика в возрасте 8 месяцев. Исследование проводилось в соответствии с принципами биоэтики⁹.

² ГОСТ Р 51574-2018 Соль пищевая. Общие технические условия.

³ ГОСТ 23999-80 Кальция фосфат кормовой. Технические условия.

⁴ ГОСТ 17498-72 Мел. Виды, марки и основные технические требования.

⁵ Ветеринарные препараты. Показатели качества, требования и нормы. Департамент ветеринарии Минсельхозпрода Российской Федерации 17 октября 1997 г. № 13-5-2/1062РАЗ. Разработчик — Всероссийский государственный научно-исследовательский институт контроля, стандартизации и сертификации ветеринарных препаратов (ВГНКИ).

⁶ ГОСТ 10199-2017 Комбикорма-концентраты для овец и коз. Общие технические условия.

⁷ Калашников А.П., Фисинин В.И., Щеглов В.В., Клейменов Н.И. и др. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е изд. (перераб. и доп.). М.: Знание. 2003; 456.

⁸ Методика изучения мясной продуктивности овец. Методические рекомендации. М.: ВИЖ. 1978; 45.

⁹ Европейская конвенция о защите позвоночных животных для экспериментальных и других научных целей. 1986.

Предубойную массу баранчиков определяли путем взвешивания их после 24-часовой голодной выдержки с точностью до 0,1 кг на весах «Живой вес» («МосВес», г. Москва, Россия). В период выдержки частично опорожнялись желудочно-кишечный тракт и мочевой пузырь. В результате живая масса баранчиков снижалась и одновременно в мышцах происходила нормализация кислотности и накопление гликогена, которые необходимы для созревания мяса. Массу туши определяли путем взвешивания с почками и окопачечным жиром, но без кожи, внутренних органов, головы, ног и хвоста¹⁰. У туш баранчиков отделяли передние ноги по запястному суставу, а задние — по скакательному. Убойную массу и убойный выход определяли, используя общепринятые методы¹¹. Для определения морфологического состава туши производили обвалку согласно ГОСТ 34200-2017¹².

Коэффициент мясности определяли как отношение массы мякоти к массе костей по формуле 1:

$$K = \frac{\text{вес мякоти туши (кг)}}{\text{вес костей и сухожилий (кг)}}$$

Полученные в ходе экспериментов данные обработаны математическими методами вариационной статистики¹³ с использованием пакета программ Microsoft Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Мясная продуктивность овец, как и других животных, характеризуется количеством и качеством продуктов, полученных в результате убоя. Показатели убойных качеств опытных баранчиков приведены в таблице 4.

Данные (табл. 4) свидетельствуют, что максимальную предубойную массу имели баранчики 1-й опытной группы, в рационе которых 30%, 25% и 20% комбикорма в зависимости от возраста заменяли опытным БВМК. Она достоверно превосходила показатель контрольной группы на 3,3 кг ($p \geq 0,95$), а 2-й опытной группы, в рацион которой 40%, 35% и 30% включали опытный БВМК, — на 1,66 кг, но полученная разница оказалась недостоверной. Очевидно, это является следствием более высокой скороспелости у баранчиков опытных групп, где использовали опытный БВМК.

Масса туши баранчиков 1-й опытной группы превосходила массу туш баранчиков из контрольной и 2-й опытной групп на 2,61 кг ($p \geq 0,99$) и 1,2 кг ($p \leq 0,95$) соответственно. При этом тушки баранчиков 1-й опытной группы были более массивными, имели округлую форму и равномерное распределение подкожного жира.

В отложении жира у овец наблюдалась определенная последовательность: сначала откладывался жир на внутренних органах и только после этого — подкожный жир (у корня хвоста и т. д.), затем формировался межмышечный, а потом и внутримышечный жир. При исследовании проводили взвешивание только внутреннего и хвостового жира. Наибольшее содержание хвостового жира наблюдалось у баранчиков 1-й опытной группы — 0,92 кг, что на 0,1 кг ($p \geq 0,99$) и 0,03 кг ($p \leq 0,95$) больше, чем показатели их сверстников

Таблица 4. Показатели убойных качеств опытных баранчиков
Table 4. Indicators of slaughter qualities of experienced sheep

Показатели	Группа		
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная
Предубойная масса, кг	47,23 ± 0,59	50,53 ± 0,64*	48,87 ± 0,25
Масса туши, кг	19,73 ± 0,41	22,34 ± 0,32**	21,14 ± 0,33
Убойная масса, кг	21,10 ± 0,44	23,97 ± 0,38**	22,76 ± 0,31*
Хвостовой жир, кг	0,82 ± 0,02	0,92 ± 0,01*	0,89 ± 0,03
Внутренний жир, кг	0,55 ± 0,02	0,71 ± 0,05*	0,73 ± 0,02**
Содержание в туше:			
мышечной ткани, кг	15,07 ± 0,33	18,17 ± 0,39**	16,93 ± 0,36*
мышечной ткани, %	76,35 ± 0,11	81,33 ± 0,61**	80,14 ± 1,64*
костей и сухожилий, кг	4,67 ± 0,08	4,17 ± 0,08	4,20 ± 0,37
костей и сухожилий, %	23,65 ± 0,11	18,67 ± 0,61	19,86 ± 1,64
Коэффициент мясности	3,23 ± 0,02	4,36 ± 0,17**	4,08 ± 0,39
Выход туши, %	41,77 ± 0,38	44,20 ± 0,26**	43,24 ± 0,47
Убойный выход, %	44,67 ± 0,40	47,61 ± 0,31**	46,57 ± 0,41*
Толщина жира, мм	3,62 ± 0,11	4,03 ± 0,08*	3,80 ± 0,14

Примечание: * $p \geq 0,95$, ** $p \geq 0,99$.

из контрольной и 2-й опытной групп соответственно. Однако по величине внутреннего жира баранчики 2-й опытной группы, получавшие 40%, 35% и 30% опытного БВМК вместо части хозяйственного комбикорма, превосходили животных из 1-й опытной и контрольной групп на 0,18 кг ($p \geq 0,99$) и на 0,02 кг ($p \leq 0,95$) соответственно.

По убойной массе баранчики 1-й и 2-й опытных групп достоверно превосходили своих аналогов из контрольной группы, соответственно, на 2,87 кг ($p \geq 0,99$) и 1,66 кг ($p \geq 0,95$). Баранчики 1-й опытной группы по величине убойного выхода превосходили своих аналогов из контрольной и 2-й опытной групп, соответственно, на 2,94% ($p \geq 0,99$) и 1,04% ($p \leq 0,95$). Аналогичная тенденция наблюдалась и оценке величины выхода туши, которую определяли в процентах как отношение массы туши к предубойной живой массе.

В результате обвалки был установлен такой показатель, как количество мякоти и костей в туше, а также сортовой состав туш¹⁴, данные которых приведены в таблице 5.

По содержанию в туше мякоти баранчики 1-й опытной группы имели превосходство над своими сверстниками из контрольной и 2-й опытной групп, соответственно, на 3,1 кг (4,98%) ($p \geq 0,99$) и 1,24 кг (1,19%) ($p \leq 0,95$). При этом величина содержания в туше костей и сухожилий ожидаемо оказалась выше у животных из контрольной

Таблица 5. Масса отрубов и сортовой состав туш опытных баранчиков
Table 5. Mass of cuts and varietal composition of carcasses of experimental sheep

Наименование отрубов	Группа					
	контрольная		1-я опытная		2-я опытная	
	кг	%	кг	%	кг	%
Масса туши	19,73 ± 0,41	100,00	22,34 ± 0,32**	100,00	21,14 ± 0,33	100,00
1-й сорт:	16,94 ± 0,42	85,84	19,45 ± 0,28**	87,07	18,30 ± 0,28	86,56
поясничный	2,09 ± 0,06	10,57	2,44 ± 0,04**	10,93	2,28 ± 0,09	10,79
тазобедренный	7,65 ± 0,18	38,75	8,76 ± 0,19*	39,24	8,28 ± 0,09*	39,16
лопаточно-спинной	7,20 ± 0,18	36,52	8,24 ± 0,12**	36,91	7,74 ± 0,12	36,61
2-й сорт:	2,79 ± 0,06	14,16	2,89 ± 0,04	12,93	2,84 ± 0,09	13,44
предплечье	1,01 ± 0,04	5,10	1,01 ± 0,01	4,51	1,03 ± 0,04	4,91
зарез	0,90 ± 0,10	4,54	0,85 ± 0,01	3,81	0,88 ± 0,02	4,15
задняя голяшка	0,88 ± 0,02	4,51	1,03 ± 0,01	4,61	0,93 ± 0,02	4,38

Примечание: * $p \geq 0,95$, ** $p \geq 0,99$.

¹⁰ Ветеринарно-санитарные требования «Правила ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов». <https://fsvps.gov.ru/files/veterinarno-sanitarnye-trebovaniya-p/>

¹¹ Овцеводство / А. Ч. Гаглоев, Ю. А. Юлдашбаев, Ф. А. Мусаев и др. М.: Лань. 2023; 288. ISBN 978-5-6049509-2-0. EDN SRQLZT

¹² ГОСТ 34200-2017 Мясо. Отрубы баранины и козлятины. Технические условия. М.: Стандартинформ. 2018; 12.

¹³ Плохинский Н. А. Биометрия. 2-е изд. М.: МГУ. 1970; 376.

¹⁴ ГОСТ 34200-2017 Мясо. Отрубы из баранины и козлятины. Технические условия.

группы, и, как следствие, величина коэффициента мясности также выявила преимущество молодняка 1-й опытной группы по этому показателю. Баранчики этой группы по величине показателя были выше у животных из контрольной и 2-й опытной групп на 1,13% ($p \geq 0,99$) и 0,28% ($p \leq 0,95$) соответственно.

Соотношение в тушах отдельных естественно-анатомических частей, то есть выход различных отрубов и сортовой состав туш, является важным показателем для определения мясной продуктивности молодняка овец. Из данных (табл. 5) видно, что в результате разделки туш баранчиков на отруба у животных опытных групп выявлено естественно-анатомическое различие по величине отрубов. В ходе исследования установлено достоверное превосходство туш баранчиков 1-й опытной группы по массе отрубов 1-го сорта: поясничного, тазобедренного и лопаточно-спинного. От баранчиков 1-й опытной группы получен выход отрубов 1-го сорта больше, чем от животных из контрольной и 2-й опытной групп, соответственно, на 2,51 кг ($p \geq 0,99$) и 1,15 кг ($p \geq 0,95$). Так, молодняк 1-й опытной группы по массе поясничного отруба превосходил аналогичный показатель баранчиков из контрольной и 2-й опытной групп на

0,35 кг ($p \geq 0,99$) и 0,16 кг ($p \leq 0,95$) соответственно. Аналогичная закономерность выявлена и при сравнении величин показателей массы тазобедренного и лопаточного отрубов.

Что касается выхода отрубов 2-го сорта — зареза, предплечья и задней голяшки, то значительной и достоверной разницы между опытными группами выявлено не было. Если туши животных из контрольной и 2-й опытных групп имели большую массу предплечья и зареза, то выход задней голяшки у баранчиков 1-й опытной группы был больше, чем у туш их сверстников.

Выводы/Conclusion

Следовательно, как показали результаты исследования, использование частичной замены хозяйственного комбикорма в рационе молодняка овец опытными БВМК способствовало улучшению показателей убойных качеств и сортового состава туш. Наиболее эффективной оказалась замена части хозяйственного комбикорма на опытный БВМК в размере 30%, 25% и 20%, которая способствовала лучшему повышению мясности и увеличению выхода наиболее ценных отрубов 1-го сорта у туш опытных баранчиков.

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

- Ерохин А.И., Шуварики А.С., Ерохин С.А., Пастух О.Н. Продукция овец и коз: мясо, молоко и молочные продукты. Иркутск: Мегалит. 2018; 414. ISBN 978-5-905624-71-1
<https://www.elibrary.ru/xsqned>
- Колосов Ю.А. (ред.). Использование потенциала интенсивных пород овец для увеличения производства продукции овцеводства. Персиановский: Донской государственный аграрный университет. 2020; 234. ISBN 978-5-98252-371-6
<https://www.elibrary.ru/yhemqb>
- Чуба А.Ю., Кирилова О.В. Современные тенденции развития рынка фермерской продукции овцеводства. Вестник Евразийской науки. 2023; 15(4): 45.
<https://www.elibrary.ru/vmpvcv>
- Арылов Ю.Н., Убушаев Б.С., Мороз Н.Н. Влияние концентрации минеральных веществ в рационе на использование питательных веществ жвачными животными. Аграрная наука. 2017; (11–12): 50–52.
<https://www.elibrary.ru/qimnjv>
- Погосян Д.Г. К вопросу оценки качества протеина в рационах овец. Состояние и тенденции развития овцеводства и козоводства: Сборник статей научно-производственной конференции, посвященной памяти профессора Зеленого Георгия Григорьевича (100-летие со дня рождения), Пенза, 18–19 ноября 2010 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. 2010; 104–108. EDN XSMQLT
- Имбс Б.Г. Влияние полноценного протеинового кормления на продуктивность овец. Животноводство. 1956; 8: 24–30.
- Курилов Н.В. Использование протеина кормов животными. М.: Колос. 2017; 345.
- Ефремов А.Н., Злыднев Н.З., Харченко Л.Н. Аминокислоты в питании высокопродуктивных овец. Овцеводство. 1993; 1: 40–42. EDN UCCXLV
- Кулешов П.Н. Овцеводство. М.: Новая деревня. 1925; 328.
- Гаглоев А.С., Шугорева М.С. Белково-витаминно-минеральные концентраты в кормлении овец. Зоотехническая наука в условиях современных вызовов: Сборник трудов IV научно-практической конференции с международным участием, Киров, 30 ноября 2022 года. Киров: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный агротехнологический университет». 2022; 33–38. EDN FTEXVT
- Энговатов Д.В., Никитин А.В., Гаглоев А.С., Энговатов В.Ф. Эффективность использования прелостартерного комбикорма с белково-витаминно-минеральным концентратом в кормлении поросят. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2021; (3): 105–112.
https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_3_105
- Абилов Б.Т., Пашкова Л.А. Влияние БАВ из кормовых добавок на мясную продуктивность овец мясо-шерстного направления. Овцы, козы, шерстяное дело. 2018; (3): 46–47.
<https://www.elibrary.ru/mfobed>

REFERENCES

- Erokhin A.I., Shuvarikov A.S., Erokhin S.A., Pastukh O.N. Sheep and goat products: meat, milk and dairy products. Irkutsk: Megalprint. 2018; 414 (in Russian). ISBN 978-5-905624-71-1
<https://www.elibrary.ru/xsqned>
- Kolosov Yu.A. (ed.). Using the potential of intensive sheep breeds to increase the production of sheep products. Persianovsky: Don State Agrarian University. 2020; 234 (in Russian). ISBN 978-5-98252-371-6
<https://www.elibrary.ru/yhemqb>
- Chuba A.Yu., Kirilova O.V. Modern trends in the development of the market of sheep farming products. Eurasian Scientific Journal. 2023; 15(4): 45 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/vmpvcv>
- Arylov Yu.N., Ubushaev B.S., Moroz N.N. The influence of the concentration of minerals in the feeding regime on nutrient utilization by ruminants. Agrarian science. 2017; (11–12): 50–52 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/qimnjv>
- Poghosyan D.G. On the issue of assessing the quality of protein in the diets of sheep. Status and trends of sheep and goat breeding development: Collection of articles of scientific and production conference dedicated to the memory of Professor Zelensky Georgy Grigorievich (100th anniversary of birth), Penza, November 18–19, 2010. Penza: Penza State Agrarian University. 2010; 104–108 (in Russian). EDN XSMQLT
- Imbs B.G. Effect of full protein feeding on sheep productivity. Animal husbandry. 1956; 8: 24–30 (in Russian).
- Kurilov N.V. Use of animal feed protein. M.: Kolos. 2017; 345 (in Russian).
- Efremov A.N., Zidnev N.Z., Kharchenko L.N. Amino acids in the nutrition of highly productive sheep. Sheep farming. 1993; 1: 40–42 (in Russian). EDN UCCXLV
- Kuleshov P.N. Sheep breeding. M.: New village. 1925; 328 (in Russian).
- Gagloev A.C., Shchugoreva M.S. Protein-vitamin-mineral concentrates in feeding sheep. Zootechnical science in the context of modern challenges: A collection of works of the IV scientific and practical conference with international participation, Kirov, November 30, 2022. Kirov: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vyatka State Agrotechnological University". 2022; 33–38 (in Russian). EDN FTEXVT
- Engovatov D.V., Nikitin A.V., Gagloev A.C., Engovatov V.F. Efficiency of using pre-starter compound feed with protein and vitamin-mineral premix in feeding piglets of early weaning. Vestnik of Omsk SAU. 2021; (3): 105–112 (in Russian).
https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_3_105
- Abilov B.T., Pashkova L.A. The effect of BAS from feed additives on the meat productivity of sheep of the meat and wool direction. Sheep, goats, wool business. 2018; (3): 46–47 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/mfobed>

13. Молчанов А.В., Егорова Е.А., Козин А.Н. Влияние витаминно-минерального премикса на убойные показатели и химический состав мяса баранчиков эдильбаевской породы. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2020; (1): 32–33. <https://www.elibrary.ru/arjmxj>
14. Омаров А.А. Мясная продуктивность молодняка овец при разном уровне кормления. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2016; (2): 39–40. <https://www.elibrary.ru/wclkmh>
15. Магомедов Т.А. и др. Мясность овец эдильбаевской породы в зависимости от уровня кормления. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2018; (2): 25–29. <https://www.elibrary.ru/xqgzcl>
16. Jin Y., Zhang X., Zhang J., Zhang Q., Tana. Comparison of Three Feeding Regimens on Blood Fatty Acids Metabolites of Wujumqin Sheep in Inner Mongolia. *Animals*. 2021; 11(4): 1080. <https://doi.org/10.3390/ani11041080>
17. Гусейнова Н.В., Кулиничев В.В., Абилов Б.Т., Голембовский В.В. Эффективность кормовой добавки «Диаретин-С» при скормлении молодняка овец в период нагула. *Сельскохозяйственный журнал*. 2021; (4): 24–30. <https://doi.org/10.25930/2687-1254/003.4.14.2021>
18. Бережнюк Н.А. Исследование углеводного питания и переваримость питательных веществ у овец. *Сельское хозяйство: проблемы и перспективы. Сборник научных трудов*. Гродно: Гродненский государственный аграрный университет. 2019; 44: 11–20. EDN QRSLGO
19. Боголюбова Н.В., Романов В.Н., Десяткин В.А. и др. Биологические параметры пищеварительных и обменных процессов у межвидовых гибридов домашней овцы (*ovis aries*) и архара (*ovis ammon polii*). *Сельскохозяйственная биология*. 2016; 51: 4: 500–508. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.4.500rus EDN WKCFITL
20. Кердяшов Н.Н., Дарын А.И. Нетрадиционные кормовые добавки и их использование в животноводстве. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. 2021; 278. ISBN 978-5-6045206-7-3 <https://www.elibrary.ru/wvapma>
21. Миколайчик И.Н. и др. Инновационные подходы к использованию кормов и добавок в животноводстве. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева. 2020; 190. ISBN 978-5-91596-128-8 <https://www.elibrary.ru/ovmxkm>
22. Свазлян Г.А., Попов В.С., Наумов Н.М. Научно-практические аспекты разработки кормовой добавки. *Аграрная наука*. 2023; (12): 85–89. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-85-89>

ОБ АВТОРАХ

Александр Черменович Гаглов

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры зоотехнии и ветеринарии
adik.gaglov@yandex.ru

Марина Сергеевна Щугорева

аспирант
shugoreva89@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет,
ул. Интернациональная, 101, Мичуринск, Тамбовская обл.,
393760, Россия

13. Molchanov A.V., Egorova E.A., Kozin A.N. The effect of vitamin and mineral premix on slaughter parameters and chemical composition of meat of sheep of the Edilbaev breed. *Sheep, goats, wool business*. 2020; (1): 32–33 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/arjmxj>
14. Omarov A.A. Meat productivity of young sheep at different feeding levels. *Sheep, goats, wool business*. 2016; (2): 39–40 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wclkmh>
15. Magomedov T.A. et al. Meat content of sheep of the Edilbaev breed depending on the level of feeding. *Sheep, goats, wool business*. 2018; (2): 25–29 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xqgzcl>
16. Jin Y., Zhang X., Zhang J., Zhang Q., Tana. Comparison of Three Feeding Regimens on Blood Fatty Acids Metabolites of Wujumqin Sheep in Inner Mongolia. *Animals*. 2021; 11(4): 1080. <https://doi.org/10.3390/ani11041080>
17. Guseynova N.V., Kulintsev V.V., Abilov B.T., Golembovsky V.V. The effectiveness of the feed additive "Diaretin-C" when feeding lambs during fattening. *Agricultural journal*. 2021; (4): 24–30 (in Russian). <https://doi.org/10.25930/2687-1254/003.4.14.2021>
18. Berezhnyuk N.A. Study of carbohydrate nutrition and nutrient digestibility in sheep. *Agriculture: problems and prospects. A collection of scientific papers*. Grodno: Grodno State Agrarian University. 2019; 44: 11–20 (in Russian). EDN QRSLGO
19. Bogolyubova N.V., Romanov V.N., Devyatkin V.A. etc. Biological parameters of digestive and metabolic processes in interspecies hybrids of domestic sheep (*ovis aries*) and archar (*ovis ammon polii*). *Agricultural biology*. 2016; 51: 4: 500–508 (in Russian). DOI: 10.15389/agrobiology.2016.4.500rus EDN WKCFITL
20. Kerdyashov N.N., Darin A.I. Non-traditional feed additives and their use in animal husbandry. Penza: *Penza State Agrarian University*. 2021; 278 (in Russian). ISBN 978-5-6045206-7-3 <https://www.elibrary.ru/wvapma>
21. Mikolaychik I.N. et al. Innovative approaches to the use of feed and additives in animal husbandry. Kurgan: *Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev*. 2020; 190 (in Russian). ISBN 978-5-91596-128-8 <https://www.elibrary.ru/ovmxkm>
22. Svazlyan G.A., Popov V.S., Naumov N.M. Scientific and practical aspects of the development of feed additives. *Agrarian science*. 2023; (12): 85–89 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-85-89>

ABOUT THE AUTHORS

Alexander Chermenovich Gaglov

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Animal Science and Veterinary Medicine
adik.gaglov@yandex.ru

Marina Sergeevna Shchugoreva

Graduate Student
shugoreva89@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University,
101 Internatsionalnaya Str., Michurinsk, 393760, Russia



Подпишитесь на Telegram канал ИД «Аграрная наука»



Ежедневно вы будете получать
свежие новости АПК
и сельского хозяйства,
анонсы отраслевых событий,
знакомьтесь 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
познакомить со своими товарами и услугами
потенциальных клиентов.

Связаться с редакцией:
Тел. +7 (495) 777 67 67
(доб. 1453)
agrovetpress@inbox.ru

УДК 636.034

Научный обзор

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-65-69

М.Г. Маликова
М.Т. Сабитов
Ш.А. Тятигачев
Р.С. Искужина ✉

Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

✉ iskuzhina94@mail.ru

Поступила в редакцию:
04.12.2023

Одобрена после рецензирования:
12.03.2024

Принята к публикации:
28.03.2024

Review

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-65-69

Maryam G. Malikova
Munir T. Sabitov
Shamil A. Tyatigachev
Raushaniya S. Iskuzhina ✉

Bashkir Research Institute of Agriculture — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

✉ iskuzhina94@mail.ru

Received by the editorial office:
04.12.2023

Accepted in revised:
12.03.2024

Accepted for publication:
28.03.2024

Продуктивность ярок романовской породы при использовании в рационах комплексной минерально-витаминной добавки

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Известно, что минеральный состав кормов Республики Башкортостан, используемых в рационах животных, по кальцию, фосфору, магнию, меди, в кобальте и сере не обеспечивает потребности животных. Дефицит минеральных веществ особенно велик у растущего молодняка. В связи с этим разработана и научно обоснована комплексная минерально-витаминная кормовая добавка (далее — КМВКД) в рационах растущего молодняка овец, которая стимулирует пищеварение и переваримость питательных веществ кормов рациона, повышая тем самым продуктивность, приобретают особую значимость.

Методы. Для изучения эффективности скармливания КМВКД в рационах ярок романовской породы на показатели прироста живой массы в условиях крестьянско-фермерского хозяйства были сформированы 4 группы ярок по принципу пар-аналогов (по 10 голов в каждой). Ярки контрольной группы получали дополнительно к основному рациону из расчета на одну голову 20 г монокальцийфосфата и 15 г премикса (П81-1-89). Яркам опытных групп КМВКД вводили в состав дробленной зерносмеси: изготовленные по рецептам № 1 — для первой, № 2 — для второй, № 3 — для третьей (по 35 г на одну голову в сутки).

Результаты. При небольшой разнице потребляемых веществ между группами использование КМВКД по 35 г на голову в сутки оказало существенное влияние на прирост живой массы. За период опыта у животных контрольной группы среднесуточный прирост живой массы составил 165 г, а в опытных группах, соответственно, 174,75 г, 183,52 г и 190,68 г, или больше на 5,91%, 11,22% и 15,56% в сравнении с контролем.

Уровень рентабельности производства в опытных группах повысился на 10,60%, 16,30% и 20,54% по сравнению со сверстницами из контрольной группы.

Ключевые слова: минеральная кормовая добавка, прирост живой массы, продуктивность, молодняк овец

Для цитирования: Маликова М.Г., Сабитов М.Т., Тятигачев Ш.А., Искужина Р.С. Продуктивность ярок романовской породы при использовании в рационах комплексной минерально-витаминной кормовой добавки. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 65–69.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-65-69>

© Маликова М.Г., Сабитов М.Т., Тятигачев Ш.А., Искужина Р.С.

Productivity of the ewe's lambs Romanov breed when using a complex of mineral and vitamin supplements in diets

ABSTRACT

Relevance. It is known that the mineral composition of the feeds of the Republic of Bashkortostan used in animal diets, in terms of calcium, phosphorus, magnesium, copper, cobalt and sulfur, does not meet the needs of animals. The deficiency of minerals is especially high in growing young animals.

In this regard, the development and scientific justification of the use of a complex mineral and vitamin feed additive (hereinafter CMVFA) in the diets of growing young sheep, which stimulate digestion and digestibility of nutrients in the diet, thereby increasing productivity, is of particular importance.

Methods. To study the effectiveness of feeding KMVKD in the diets of the Romanov breed yarak on the indicators of body weight gain in peasant farming conditions, 4 groups of yarak were formed on the principle of pairs of analogues (10 heads each). Yarki of the control group received in addition to the main diet at the rate of 20 g of monocalcium phosphate and 15 g of premix per head (P81-1-89). The yarks of the experimental groups of KMVKD were introduced into the composition of crushed grain mixtures: made according to recipes No. 1 — for the first, No. 2 — for the second, No. 3 — for the third (35 g per head per day).

Results. With a small difference in the intake of substances between the groups, the use of UMVD of 35 g per head per day had a significant impact on body weight gain. During the experiment period, the average daily weight gain in animals of the control group was 165 g, and in the experimental groups, respectively, 174.75 g, 183.52 g and 190.68 g, or more by 5.91%, 11.22% and 15.56% compared with the control.

The level of profitability of production in the experimental groups increased by 10.60%, 16.03% and 20.54% compared with peers from the control group.

Key words: mineral feed additive, live weight gain, productivity, young sheep

For citation: Malikova M.G., Sabitov M.T., Tyatigachev S.A., Iskuzhina R.S. Productivity of the ewe's lambs Romanov breed when using a complex of mineral and vitamin supplements in diets. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 65–69 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-65-69>

© Malikova M.G., Sabitov M.T., Tyatigachev S.A., Iskuzhina R.S.

Введение/Introduction

Главным резервом увеличения производства баранины в России в ближайшей перспективе является улучшение использования потенциала мясной продуктивности имеющегося поголовья овец. Однако существующие в настоящее время российские породы овец не обладают в полной мере необходимым уровнем продуктивности, прежде всего из-за невысоких мясных качеств. Для увеличения объемов производства продукции овцеводства необходимо максимально использовать генетический потенциал пород отечественной и зарубежной селекции, влияющий на хозяйственно-биологические особенности и уровень продуктивности животных. Прежде всего за счет полноценного кормления, удовлетворяющего потребности животных во всех элементах питания, в том числе по минеральным веществам. Потребность в них в основном зависит от физиологического состояния животных. Минеральные вещества являются структурным материалом при формировании тканей и органов, входят в состав органических веществ, участвуют в активации процессов ассимиляции, создании запасов элементов питания и многочисленных физиологических функциях организма [1–3].

Республика Башкортостан располагает большими возможностями для развития овцеводства: площадь природных кормовых угодий составляет 3,4 млн га пастбищ и 1,1 млн га сенокосов. Эти огромные площади кормовых угодий дают возможность увеличить поголовье и их продуктивность, обеспечить в необходимом объеме качественными кормами с почти круглогодичным содержанием [4, 5].

Однако минеральный состав кормов Башкортостана, используемых в рационах животных, по кальцию, фосфору, магнию, натрию, меди, в кобальте и сере, не обеспечивает потребности и зависит в основном от физиологического состояния организма, уровня продуктивности. Дефицит минеральных веществ особенно велик у растущего молодняка, а у овцематок — во время суягности и в период лактации [4, 5]. Поэтому кормление должно осуществляться с учетом пола, возраста овец и их физиологического состояния и обеспечить в необходимом объеме в типичных хозяйствах для каждой зоны. Рационы должны быть сбалансированы по всем показателям и удовлетворять потребностям овец в энергии, протеине, легкорастворимых углеводах, витаминах и минеральных веществах, способствующих повышению мясной продуктивности, сохранности поголовья, улучшению качества продукции и позволяющих наиболее полно использовать генетический потенциал овцепоголовья и повышать рентабельность отрасли [6–9].

В Республике Башкортостан комплексных исследований по использованию микроэлементов, местных природных цеолитов, изготовленных в виде комплексной минерально-витаминной кормовой добавки, в зависимости от химического состава и питательности кормов в рационах овцепоголовья, в том числе ярок, не

проводилось, а имеющиеся сведения об использовании различных добавок, в том числе минеральных, в их рационах малочисленны и требуют дальнейшего углубленного изучения в конкретных условиях кормления и содержания [9–12].

Цель исследований — изучение влияния скармливания КМВКД в рационах растущего молодняка овец на прирост их живой массы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

С целью изучения эффективности скармливания КМВКД в рационах ярок романовской породы на показатели прироста живой массы авторами в 2022 году проводились научно-хозяйственные опыты в условиях крестьянско-фермерского хозяйства Д.Н. Якупова Бирского района Республики Башкортостан Российской Федерации.

Для проведения опытов были сформированы 4 группы ярок романовской породы 4-месячного возраста по принципу пар-аналогов по возрасту (4 мес.) и живой массе (30,5–30,8 кг) по 10 голов в каждой.

Условия содержания и кормления подопытных групп ярок были одинаковыми: в овчарнях (стойловая система содержания), оборудованных специальными кормушками и поилками; кормили 3 раза в сутки (утром, днем и вечером).

Лабораторные исследования проводились в лаборатории Башкирского научно-исследовательского института сельского хозяйства Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук.

Анализ кормов провели по следующим методикам: содержание сухого вещества — по ГОСТ 31640-2012¹, содержание азота и сырого протеина — по ГОСТ 13496.4-2019², содержание сырой клетчатки — по ГОСТ 31675-2012³, содержание кальция — по ГОСТ 32904-2014⁴, фосфора — фотометрическим методом (ГОСТ 26657-97)⁵, сырого жира — по ГОСТ 13496.15-97⁶, каротина — экстрагированием в петролейном эфире и дальнейшем фотометрическом измерении интенсивности окраски экстракта (ГОСТ 13496.17-2019)⁷, сахара — экстрагированием дистиллированной водой при температуре 50–60 °C и дальнейшим фотометрическим измерением оптической плотности (ГОСТ 26176-2019)⁸, серы — по методическим указаниям, разработанным сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (2004 г.)⁹, магний и микроэлементы — на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAA-6300 Shimadzu (Япония) ГОСТ 31343-2013¹⁰; йода — фотометрическим методом (ГОСТ 28458-90)¹¹, витамины А и D — методом высокоэффективной жидкостной хроматографии согласно ГОСТ 32043-2012¹². Переваримый протеин, энергетическую кормовую единицу (далее — ЭКЕ) и обменную энергию (далее — ОЭ) определяли расчетным путем согласно методическим указаниям, разработанным

¹ ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения содержания сухого вещества.

² ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

³ ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации.

⁴ ГОСТ 32904-2014 Корма, комбикорма. Определение содержания кальция титриметрическим методом.

⁵ ГОСТ 26657-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора.

⁶ ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира.

⁷ ГОСТ 13496.17-2019 Корма. Методы определения каротина.

⁸ ГОСТ 26176-2019 Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов.

⁹ Методические указания по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения. М.: Росинформагротех. 2004; 8.

¹⁰ ГОСТ 31343-2013 (ISO 6869:2000) Корма, комбикорма. Определение содержания кальция, меди, железа, магния, марганца, калия, натрия и цинка методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

¹¹ ГОСТ 28458-90 Корма растительные. Метод определения йода.

¹² ГОСТ 32043-2012 Премиксы. Методы определения витаминов А, D, E.

Всероссийским научно-исследовательским институтом им. Д.Н. Прянишникова (2002 г.)¹³ и Федеральным исследовательским центром животноводства им. Л.К. Эрнста (2008 г.)¹⁴. Рационы кормления составляли по фактической питательности кормов в соответствии с детализированными нормами кормления по А.П. Калашникову и др. (2003 г.)¹⁵ и в зависимости от планируемого прироста живой массы ягнят.

На основании полученных данных по потреблению кормов, себестоимости кормов и минеральных добавок по окончании исследований была рассчитана экономическая эффективность используемых КМВКД в рационах ярок в соответствии с методическими рекомендациями И.С. Санду и др. (2004 г.)¹⁶.

По результатам исследований химического состава основных кормов определили дефицит минеральных веществ, с учетом дефицита разрабатывались три рецепта комплексной минерально-витаминной кормовой добавки с введением в их состав местного природного цеолита (размер зерен — 0,5–1,0 мм) Кальтубанского месторождения и сапропеля Чишминского района Республики Башкортостан, монокальцийфосфата (ЗАО «Балаковские минеральные удобрения», Россия), премикса П-81-1-89 (ООО «БИЗОЛ», Россия) и серы

кормовой (ООО ТК «Серапром», Россия) в разных соотношениях для каждого рецепта: № 1 — отношение цеолита к сапропелю составило 1:1, № 2 — 1:2, № 3 — 2:1. Устанавливались одинаковые нормы и техника скормливания¹⁷. Изготовление опытных партий КМВКД по разработанным рецептам осуществлялось в Башкирском НИИСХ УФИЦ РАН.

Ярки контрольной группы получали дополнительно к основному рациону из расчета на одну голову 20 г монокальцийфосфата (ЗАО «Балаковские минеральные удобрения», Россия) и 15 г премикса (П81-1-89 (ООО «БИЗОЛ», Россия).

Яркам опытных групп КМВКД, изготовленные по рецептам (№ 1 — для первой опытной группы, № 2 — для второй, № 3 — для третьей), вводили в составе дробленной зерносмеси (овес, ячмень, пшеница, отруби), тщательно смешивая, по 35 г на одну голову в сутки в утренние часы кормления.

Для изучения влияния скормливания КМВКД на поедаемость кормов проводили индивидуальный учет заданных, съеденных и несъеденных кормов. По фактической поедаемости кормов составили средневзвешенный рацион. Для изучения влияния скормливания КМВКД на живую массу подопытных животных проводились ежемесячные взвешивания.

Продолжительность опытов составила 120 дней^{18, 19}.

Статистическая обработка полученных показателей проводилась с помощью программного пакета Office Microsoft Excel (2019 г.)²⁰, критерии достоверности разности определяли по Стьюденту.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В рамках данного исследования выбор одного рациона для ягнят породы романов в возрасте от 4 до 8 месяцев был сделан не случайно. Основываясь на обзоре научной литературы и предварительных данных, пришли к выводу, что в данном возрастном периоде основные потребности ягнят в питательных веществах остаются относительно стабильными, а внимание должно быть уделено качеству и балансу этих веществ, а не их колебаниям в разные периоды (табл. 1).

В 1 кг сухого вещества концентрации энергии составила в контрольной группе 0,90 ЭКЕ, в опытных группах, соответственно, 0,90, 0,89 и 0,88. Обменная энергия в 1 кг сухого вещества составила для контрольной группы 9,50 МДж, для опытных групп, соответственно,

Таблица 1. Средневзвешенный рацион ярок по фактической поедаемости кормов ($M \pm m$)
Table 1. The weighted average diet is ewe's lambs according to the actual feed intake ($M \pm m$)

Показатель	Группа животных			
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная
Съедено за сутки, кг				
сено разнотравное, кг	1,00	1,06	1,10	1,15
сенаж злаково-бобовый, кг	1,30	1,25	1,20	1,30
концентрированные корма, кг	0,50	0,50	0,50	0,50
КМВКД, г	—	—	—	—
рецепт № 1	—	35,00	—	—
рецепт № 2	—	—	35,00	—
рецепт № 3	—	—	—	35,00
монокальцийфосфат, г	20,0	—	—	—
премикс П81-1-89, г	15,0	—	—	—
В рационе содержалось:				
ЭКЕ	1,46±0,12	1,49±0,14	1,51±0,30	1,52±0,32
Обменная энергия, МДж	15,48±0,20	15,77±0,35	16,01±0,22	16,15±0,15*
Сухое вещество, г	1631,00±3,12	1663,00±2,96***	1701,00±3,07***	1718,00±4,56***
Сырой протеин, г	204,60±3,35	206,70±3,46	210,20±3,53	213,10±4,12
Переваримый протеин, г	168,15±1,26	169,58±1,28	170,70±2,01	177,34±2,39**
Сырая клетчатка, г	431,00±1,13	470,00±2,05***	441,00±1,07***	464,00±1,93***
Сахар, г	47,43±0,57	47,33±0,52	48,80±0,61	50,73±0,66**
Сырой жир, г	48,90±0,43	49,83±0,49	50,22±0,51	53,14±0,57***
Кальций, г	5,60±0,19	5,76±0,21	5,84±0,24	6,12±0,36
Фосфор, г	3,28±0,13	3,36±0,15	3,39±0,20	3,50±0,23
Магний, г	2,42±0,28	2,52±0,30	2,48±0,34	2,61±0,39
Сера, г	2,31±0,07	2,34±0,09	2,35±0,09	2,46±0,11
Железо, мг	512,00±0,29	503,00±0,21***	523,70±0,33***	545,40±0,37***
Медь, мг	8,46±0,31	8,56±0,42	8,68±0,46	8,91±0,48
Цинк, мг	44,80±1,33	44,70±1,39	45,03±1,41	45,50±1,26
Кобальт, мг	0,19±0,09	0,19±0,09	0,17±0,08	0,20±0,10
Йод, мг	0,69±0,25	0,69±0,25	0,70±0,29	0,71±0,30
Марганец, мг	47,11±0,94	47,72±0,96	47,86±1,01	50,56±1,12*
Каротин, мг	23,70±0,75	26,96±0,87***	28,0 ±0,99***	28,43±1,13***
Витамин А, тыс. МЕ	9,60±1,06	9,60±1,06	9,60±1,06	9,60±1,06
Витамин D, тыс. МЕ	0,72±0,81	0,73±0,83	0,73±0,83	0,76±1,01

Примечание: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

¹³ Методические указания по оценке качества и питательности кормов. М.: ЦИНАО. 2002; 75.

¹⁴ Методика расчета энергии в кормах на основе содержания сырых питательных веществ (для крупного рогатого скота, овец и свиней). Дубровицы: ВНИИЖ Россельхозакадемии. 2008; 30.

¹⁵ Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е изд. (перераб. и доп.) / Под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. Москва. 2003; 456. ISBN 5-94587-093-5

¹⁶ Методические рекомендации по определению эффективности научно-технической продукции (завершенных НИОКР) в АПК. М.: ГНУ ВНИИЭСХ. 2004; 41.

¹⁷ Моделирование использования кормов на сельскохозяйственных предприятиях: Методическое пособие / Ю.И. Копенкин. М.: МСХА. 2004; 55.

¹⁸ Основы опытного дела в животноводстве. Учебное пособие / А.И. Овсянников. М.: Колос. 1976; 304.

¹⁹ Методология и методы научных исследований в животноводстве. Учебное пособие. Составитель Е.Н. Мартынова. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. 2019; 108.

²⁰ Руководство по биометрии для зоотехников. Учебник / Н.А. Плохинский. М.: Колос. 1969; 256.

9,60, 9,41 и 9,40. В расчете на 1 ЭКЕ в контрольной группе сырого протеина приходилось 140,1 г, соответственно, в опытных группах 138,7 г, 139,2 г и 140,2 г, в том числе переваримого протеина 115,2 г, 113,8 г, 113 г и 116,7 г.

По результатам контрольных взвешиваний подопытных ярок установлено, что скормливание КМВКД, изготовленных по трем рецептам, способствовало улучшению поедаемости используемых кормов рациона, что оказало положительное влияние на среднесуточный прирост живой массы ярок. Так, за период опыта у животных контрольной группы среднесуточный прирост живой массы составил 165,00 г, а в опытных группах, соответственно, 174,75 г, 183,52 г и 190,68 г, или больше на 5,9%, 11,22% и 15,56% в сравнении с контролем (табл. 2).

Анализ данных (табл. 2) показывает, что на протяжении всего опыта ярки 3-й опытной группы дали больше прироста живой массы, чем сверстники из контрольной, 1-й и 2-й опытных групп. Так, абсолютный прирост живой массы в 3-й опытной группе составил 22,88 кг, что больше на 15,50%, 9,11% и 3,91%, чем в контрольной, 1-й и 2-й опытных группах соответственно. При этом ярки из 1-й опытной группы превосходили сверстников контрольной группы на 5,91%, соответственно, 2-й опытной группы — на 11,21%.

Для более объективной оценки используемых КМВКД в рационах ярок рассчитана экономическая эффективность (табл. 3).

За период опыта производственные затраты во всех группах составили 5179,00 руб., но они окупались дополнительным приростом живой массы и позволили получить дополнительную прибыль в размере 209,00 руб. в контрольной группе, 552,63 руб. в 1-й опытной группе, 836,72 руб. в 2-й опытной группе, 1072,30 руб. в 3-й опытной группе на одну голову. При этом уровень рентабельности производства в опытных группах повысилась на 10,60%, 16,30% и 20,54% по сравнению со сверстниками из контрольной группы.

Выводы/Conclusion

По результатам исследований можно сделать вывод, что при небольшой разнице потребляемых веществ между группами использование КМВКД, изготовленных по рецептам № 1, № 2 и № 3, в рационах ярок в возрасте с 5 до 8 месяцев выращивания для сбалансирования по недостающим элементам питания в дозе 35,0 г/гол в сутки дало положительное влияние на динамику роста живой массы опытных групп животных, чем применение в контрольной группе отдельных минеральных добавок.

Таблица 2. Динамика живой массы и приростов подопытных ярок ($M \pm m$)

Table 2. Dynamics of live weight and gains of test subjects ($M \pm m$)

Возраст ярок	Группа животных			
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная
Среднесуточный прирост, г				
5 месяцев	165,00 ± 2,39	175,60 ± 3,06*	177,84 ± 3,21**	190,70 ± 3,10***
6 месяцев	166,70 ± 2,00	173,00 ± 2,94	182,40 ± 3,00***	190,00 ± 2,97***
7 месяцев	165,00 ± 1,83	176,00 ± 2,65**	188,00 ± 2,41***	191,00 ± 3,14***
8 месяцев	165,30 ± 2,45	174,30 ± 2,78*	185,00 ± 2,36***	191,00 ± 3,06***
В среднем за период, г	165,00 ± 2,03	174,75 ± 2,21**	183,52 ± 2,62***	190,68 ± 2,38***
Прирост живой массы, кг				
5 месяцев	4,95 ± 0,89	5,27 ± 0,92	5,34 ± 1,00	5,72 ± 0,85
6 месяцев	5,00 ± 1,17	5,19 ± 1,12	5,47 ± 1,06	5,70 ± 1,11
7 месяцев	4,95 ± 1,21	5,28 ± 1,28	5,69 ± 1,31	5,73 ± 1,29
8 месяцев	4,90 ± 0,89	5,23 ± 1,09	5,57 ± 1,24	5,73 ± 1,14
Абсолютный прирост, кг	19,80 ± 0,24	20,97 ± 0,28**	22,02 ± 0,33***	22,88 ± 0,27***

Примечание: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

Таблица 3. Экономическая эффективность использования КМВКД в рационах ярок

Table 3. The economic efficiency of using CMVFA in diets is ewe's lambs

Показатель	Группа животных			
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная
Абсолютный прирост, кг	19,80	20,97	22,02	22,88
Стоимость кормовых добавок на 2022 г., руб.,	57,01	—	—	—
в том числе КМВКД, руб.	—	35,12	39,28	40,70
Производственные затраты, руб.	5179,00	5179,00	5179,00	5179,00
Реализационная стоимость 1 кг живой массы, руб.	275,00	275,00	275,00	275,00
Выручка от реализации, руб.	5445,00	5766,75	6055,50	6292,00
Прибыль, руб.	209,00	552,63	836,72	1072,30
Рентабельность, %	3,80	10,60	16,03	20,54

Так, абсолютный прирост живой массы ярок контрольной группы был меньше на 1,17 кг, 2,94 кг и 3,80 кг, чем в опытных группах соответственно. При этом животные 3-й опытной группы по приросту живой массы превосходили ярок контрольной, 1-й и 2-й опытных групп на 15,50%, 9,11% и 3,91% соответственно.

Таким образом, применение комплексной минерально-витаминной кормовой добавки в дозе 35,0 г/гол в сутки по рецепту № 3 оказалось наиболее целесообразным.

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. Георгиевский В.И., Анненков Б.Н., Самохин В.Т. Минеральное питание животных. М.: Колос. 1979; 471.
2. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А. Романовская порода овец: состояние, совершенствование, использование генофонда. М.: Ростехинформагротех. 2015; 329. <https://www.elibrary.ru/qkxkvj>
3. Хайруллин Д.Д., Шакиров Ш.К., Папунди Э.К., Крупин Е.О. Научно-практические аспекты коррекции витаминно-минерального питания жвачных животных. Казань: Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2020; 172. ISBN 978-5-905314-59-9 <https://www.elibrary.ru/klxfln>
4. Маликова М.Г., Сафин Х.М., Сабитов М.Т. Инновационные технологии производства и использования кормов. Уфа: Мир печати. 2017; 304. ISBN 978-5-9613-0492-3 <https://www.elibrary.ru/bteyji>

REFERENCES

1. Georgievsky V.I., Annenkov B.N., Samokhin V.T. Mineral nutrition of animals. Moscow: Kolos. 1979; 471 (in Russian).
2. Erokhin A.I., Karasev E.A., Erokhin S.A. Romanov sheep breed: condition, improvement, use of the gene pool. Moscow: Rostekhininformagrotech. 2015; 329 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qkxkvj>
3. Khairullin D.D., Shakirov S.K., Papunidi E.K., Krupin E.O. Scientific and practical aspects of correction of vitamin and mineral nutrition of ruminants. Kazan: Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. 2020; 172 (in Russian). ISBN 978-5-905314-59-9 <https://www.elibrary.ru/klxfln>
4. Malikova M.G., Safin Kh.M., Sabitov M.T. Innovative technologies for the production and use of feed. Ufa: Mir pechaty. 2017; 304 (in Russian). ISBN 978-5-9613-0492-3 <https://www.elibrary.ru/bteyji>

5. Маликова М.Г., Суяргулов Р.Р. Кормовые ресурсы Республики Башкортостан и пути их рационального использования. Уфа: *Рег-Тайм*. 2009; 360.
ISBN 978-5-903982-04-2
<https://www.elibrary.ru/nmxkat>
6. Колосов А.Ю., Дегтярь А.С., Ганзенко Е.А. Прижизненные показатели мясности помесных овец. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2016; (1): 37–39.
<https://www.elibrary.ru/vsxgmt>
7. Глаголев А.Ч., Шугорева М.С. Динамика роста ярких при выращивании их с использованием разработанного БВМК. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2023; (1): 74–78.
<https://www.elibrary.ru/cwugsu>
8. Якунин К.А. Кормовые комплексы «Фелутсен»: решение проблемы микроэлементозов у овец. *Аграрная наука*. 2022; (4): 41.
<https://www.elibrary.ru/jcnicm>
9. Траисов Б.Б., Юлдашбаев Ю.А., Есенгалиев К.Г. Пути повышения продуктивности полутонкорунных овец в Западно-Казахстанской области. *Аграрная наука*. 2022; (1): 48–52.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-48-52>
10. Семенов В.В., Марынич А.П., Абилов Б.Т., Джафаров Н.М.О., Кулинцев В.В. Повышение убойных показателей при выращивании ягнят. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2022; (2): 38–41.
<https://doi.org/10.26897/2074-0840-2022-2-38-41>
11. Николаев С.И. и др. Использование балансирующих добавок в рационах молодняка мелкого и крупного рогатого скота. *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2022; (4): 22–31.
<https://doi.org/10.33920/sel-05-2204-03>
12. Убушаев Б.С., Натиров А.К., Салаев Б.К., Мороз Н.Н., Кугультинова Д.А. Эффективность использования природной минеральной кормовой добавки при выращивании молодняка овец. *Аграрно-пищевые инновации*. 2021; (2): 59–67.
<https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-14-59-67>

ОБ АВТОРАХ

Марьям Гумаровна Маликова

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела животноводства
malikowa1941@yandex.ru

Раушания Салаватовна Искужина

аспирант, главный инженер-технолог
iskuzhina94@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-1887-5559>

Мунир Тимергалиевич Сабитов

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела животноводства
munir.sab@yandex.ru

Шамиль Арсланбаевич Тятигачев

кандидат ветеринарных наук, заведующий аналитической лабораторией
tyatigachev1956@mail.ru

Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. Рихарда Зорге, 19, Уфа, 450059, Россия

5. Malikova M.G., Suyargulov R.R. Fodder resources of the Republic of Bashkortostan and ways of their rational use. Ufa: *Reg-Taim*. 2009; 360 (in Russian).
ISBN 978-5-903982-04-2
<https://www.elibrary.ru/nmxkat>

6. Kolosov A.Yu., Degtyar A.S., Ganzenko E.A. Lifetime indicators of meat content of crossbred sheep. *Sheep, goats, wool business*. 2016; (1): 37–39 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/vsxgmt>

7. Gagloev A.Ch., Shchugoreva M.S. The dynamics of the growth of bright flowers when growing them using the developed BVMP. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2023; (1): 74–78 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/cwugsu>

8. Yakunin K.A. Feed complexes “Felutsen”: solution of the sheep microelementoses problem. *Agrarian science*. 2022; (4): 41 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/jcnicm>

9. Traisov B.B., Yuldashbayev Yu.A., Esengaliyev K.G. Ways to increase the productivity of semi-fine-fleeced sheep in the West Kazakhstan region. *Agrarian science*. 2022; (1): 48–52 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-48-52>

10. Semenov V.V., Marynich A.P., Abilov B.T., Jafarov N.M.O., Kulintsev V.V. Increase in slaughter indicators when raising lambs. *Sheep, goats, wool business*. 2022; (2): 38–41 (in Russian).
<https://doi.org/10.26897/2074-0840-2022-2-38-41>

11. Nikolaev S.I. et al. The use of balancing additives in the rations of young small ruminants and cattle. *Feeding of farm animals and feed production*. 2022; (4): 22–31 (in Russian).
<https://doi.org/10.33920/sel-05-2204-03>

12. Ubushaev B.S., Natyrov A.K., Salaev B.K., Moroz N.N., Kugultinova D.A. The effectiveness of the use of natural mineral feed additives in the cultivation of young sheep. *Agrarian-and-food innovations*. 2021; (2): 59–67 (in Russian).
<https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-14-59-67>

ABOUT THE AUTHORS

Maryam Gumarovna Malikova

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Main Researcher of the Department of Animal Husbandry
malikowa1941@yandex.ru

Raushaniya Salavatovna Iskuzhina

Graduate student, Main Technology Engineer
iskuzhina94@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-1887-5559>

Munir Timergalievich Sabitov

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Department of Animal Husbandry
munir.sab@yandex.ru

Shamil Aslanbaevich Tyatigachev

Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Analytical Laboratory
tyatigachev1956@mail.ru

Bashkir Research Institute of Agriculture — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 19 Richard Zorge Str., Ufa, 450059, Russia

УДК 633.34:631

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74

М.М. Нафиков¹ ✉С.Г. Смирнов^{1, 2}А.В. Краснов²Л.Г. Шашкаров³¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия² Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса, Казань, Россия³ Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия

✉ nafikov_makarim@mail.ru

Поступила в редакцию:
12.12.2023Одобрена после рецензирования:
13.03.2024Принята к публикации:
29.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74

Makarim M. Nafikov¹ ✉Sergey G. Smirnov^{1, 2}Artur V. Krasnov²Leonid G. Shashkarov³¹ Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia² Tatar Institute for the Retraining of Agribusiness Personnel, Kazan, Russia³ Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia

✉ nafikov_makarim@mail.ru

Received by the editorial office:
12.12.2023Accepted in revised:
13.03.2024Accepted for publication:
29.03.2024

Особенности применения способов обработки почвы при возделывании сои в лесостепной зоне

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Соя в Российской Федерации имеет особо важное значение для восполнения дефицита белка в животноводстве, который в последние годы составляет более 1,80 млн т зерна. Первоначальной задачей является увеличение урожайности, а также расширение площадей сои в новых регионах с разработкой технологии возделывания.

Методы. Полевые опыты были заложены в Западном Закамье на полях КФХ «Рахматуллин» Чистопольского района Республики Татарстан в 2019–2021 гг. Содержание гумуса на выщелоченном черноземе — 5,7–6,0%. Объект исследований — сорт сои СибНИИК 315.

Результаты. Применение отвальной вспашки на глубину 25–27 см на 6-м варианте «боронование + культивация + 2 междурядные обработки» способствовало снижению сорных растений на посевах в среднем за 3 года до 20 шт/м². При проведении безотвальной обработки на соответствующую глубину в начале вегетации наибольшее количество сорняков составило 58,7 шт/м² на 1-м варианте «боронование в 2 следа (контроль)», а наименьшее (41,3 шт/м²) — на 5-м варианте «боронование + культивация + 1 междурядная обработка». В среднем за время проведения опытов наибольшая сырая масса сорных растений в начале вегетации 73,6 г/м² сформировалась на 1-м варианте «боронование в 2 следа (контроль)», а наименьшая (53,2 г/м²) — на 6-м варианте «боронование + культивация + 2 междурядные обработки». К уборочной спелости сои при взвешивании выявлено, что наибольшая сырая масса сорных растений на 1-м варианте «боронование в 2 следа (контроль)» — 50,6 г/м², а наименьшая (29,4 г/м²) — на 6-м варианте «боронование + культивация + 2 междурядные обработки». Наибольшая урожайность зерна (2,2 т/га) сформировалась при вспашке на глубину 25–27 см на 6-м варианте «боронование + культивация + 2 междурядные обработки», прибавка от контроля составила 0,9 т/га.

Ключевые слова: обработка почвы, глубина, сорт, сорные растения, урожайность

Для цитирования: Нафиков М.М., Смирнов С.Г., Краснов А.В., Шашкаров Л.Г. Особенности применения способов обработки почвы при возделывании сои в лесостепной зоне. *Аграрная наука.* 2024; 381(4): 70–74.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74>

© Нафиков М.М., Смирнов С.Г., Краснов А.В., Шашкаров Л.Г.

Features of the application of soil cultivation methods in the cultivation of soybeans in the forest-steppe zone

ABSTRACT

Relevance. Soybean in the Russian Federation is of particular importance in replenishing the protein deficit in livestock farming, which in recent years has amounted to more than 1.80 million tons. Therefore, the initial task is to increase yields, as well as expand the area of soybean cultivation in new regions, with the development of cultivation technology.

Methods. Field experiments were conducted in the Western Zakamye in the fields of the “Rakhmatullin” farm in the Chistopol district of the Republic of Tatarstan in 2019–2021. The humus content on leached chernozem is 5.7–6.0%. The object of research is the soybean variety SibNIK 315.

Results. The use of dump plowing to a depth of 25–27 cm on the 6th variant “harrowing + cultivation + 2 row-to-row treatments” contributed to the reduction of weeds on crops in an average of 3 years to 20 pcs/m². When carrying out non-dumping treatment to the appropriate depth at the beginning of the growing season, the largest number of weeds was 58.7 pcs/m² in the 1st variant “harrowing in 2 tracks (control)”, and the smallest (41.3 pcs/m²) — in the 5th variant “harrowing + cultivation + 1 row-to-row treatment”. On average, during the experiments, the largest raw mass of weeds at the beginning of the growing season, 73.6 g/m², was formed on the 1st variant “harrowing in 2 tracks (control)”, and the smallest (53.2 g/m²) — on the 6th variant “harrowing + cultivation + 2 row-to-row treatments”. By the harvest ripeness of soybeans, weighing revealed that the largest raw mass of weeds in the 1st variant “harrowing in 2 tracks (control)” was 50.6 g/m², and the smallest (29.4 g/m²) — in the 6th variant “harrowing + cultivation + 2 row-to-row treatments”. The highest grain yield (2.2 t/ha) was formed when plowing to a depth of 25–27 cm on the 6th variant “harrowing + cultivation + 2 row-to-row treatments”, the increase from the control was 0.9 t/ha.

Key words: tillage, depth, variety, weeds, productivity

For citation: Nafikov M.M., Smirnov S.G., Krasnov A.V., Shashkarov L.G. Features of the application of methods of tillage in the cultivation of soybeans in the forest-steppe zone. *Agrarian science.* 2024; 381(4): 70–74 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74>

© Nafikov M.M., Smirnov S.G., Krasnov A.V., Shashkarov L.G.

Введение/Introduction

В настоящее время соя является широко востребованной зернобобовой культурой в мире. Семена сои содержат от 37 до 45% белка, более 28% жира, около 30% углеводов и т. д. Из сои производят высокобелковые продукты питания, отходы которых востребованы производителями комбикормов для животных. Соя имеет особое значение в восполнении дефицита белка, который в последние годы составляет около 1,80 млн т зерна [1]. Как и все зернобобовые культуры, соя играет важную роль в обогащении полей полноценным атмосферным биологическим азотом. Поэтому первоначальной задачей растениеводов является увеличение урожайности, а также расширение посевов сои в новых регионах с разработкой зональных технологий возделывания [2–4].

Ученые и практики в своих многолетних опытах выявили лучших предшественников для сои, которыми являются озимые и яровые колосовые культуры. Хорошими предшественниками считаются и кукуруза на силос, картофель ранний, сахарная свекла. Эти культуры очищают почву от патогенов, запасов семян сорных растений, тем самым обеспечивают хорошие условия для роста и развития сои [5–10].

В технологии возделывания сои важнейшими элементами являются основная и предпосевная обработка почвы, а также комплекс мероприятий проводимых в течение вегетации. От качества и своевременности проведения комплекса агротехнических работ зависят ее агрофизические и агрохимические свойства, а также засоренность посевов, заселенность вредителями и болезнями в период вегетации, развитие клубеньковых бактерий. Соя является культурой короткого светового дня, хотя выведенные в Российской Федерации сорта менее чувствительны к длине светлой части суток. В то же время из-за своей особенности медленного роста и развития в начальные периоды вегетации она угнетается сорными растениями, которые затеняют ее, отнимают влагу и элементы питания, увеличивают период роста, что в дальнейшем ведет к снижению урожайности [11, 12].

Цель работы — выявление эффективных методов проведения основной, предпосевной и послепосевных работ в технологии возделывания сои.

Материалы и методы исследований / Materials and methods

Полевые опыты и лабораторные исследования проводились с 2019 по 2021 г. на полях КФХ «Рахматуллин» Чистопольского района Республики Татарстан.

Почва опытного поля представлена выщелоченным черноземом. В пахотном слое в годы исследований содержалось: гумуса по Тюрину¹ — 5,7–6,0%, щелочно-гидролизующего азота по Корнфилду¹ — 84–91 мг/кг, подвижного фосфора — 160–163, обменного калия (по Чирикову¹) — 182–190 мг/кг почвы, рН сол. — 5,6–5,8.

Схема опыта

Фактор (А) — способы основной обработки почвы:

1. Вспашка на глубину 25–27 см.
2. Безотвальная обработка на глубину 25–27 см.

Фактор (В) — способы предпосевной и послепосевных работ:

1. Боронование в 2 следа (контроль).
2. Боронование + культивация.

3. Боронование + культивация + прикатывание до посевов.

4. Боронование + культивация + прикатывание по посевам.

5. Боронование + культивация + 1 междурядная обработка.

6. Боронование + культивация + 2 междурядные обработки.

Фон минерального питания — $N_{40} P_{60} K_{60}$.

Делянки в опыте располагались систематически. Повторность опыта — трехкратная. Общая площадь делянки — 120 м², учетная — 100 м². В опытах использовали сорт сои СибНИИК 315. Предшественник — однолетние травы (вика + овес) на сенаж. В опыте соблюдали общепринятую технологию, за исключением изучаемых агротехнических приемов. Посев проводили на глубину 6–7 см.

Учеты и наблюдения проводились по общепринятой методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989 г.)², засоренность посевов — количественно-весовым методом по Б.А. Доспехову (1977 г.)³. Плотность сложения почвы определяли буром Некрасова⁴. Математическую обработку результатов исследований проводили по Б.А. Доспехову⁵.

Результаты и обсуждение / Results and discussions

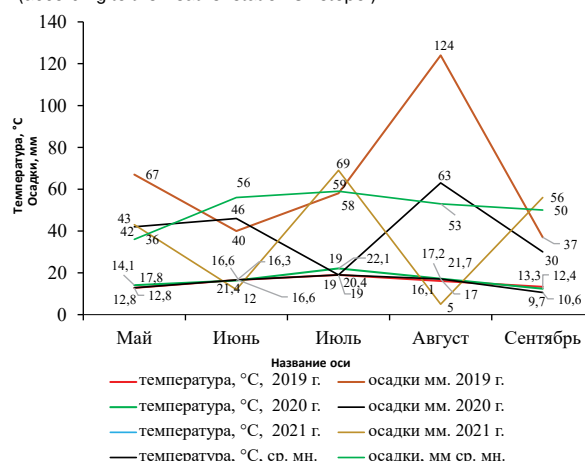
Климат в Западном Закамье умеренно континентальный с продолжительной умеренно холодной зимой, теплым, временами жарким и засушливым летом, что предопределяет нахождение в зоне рискованного земледелия. Три года из пяти повторяются засухи различной интенсивности, иногда они сопровождаются суховеями.

Погодные условия в годы проведения опытов складывались неодинаково. Наименее благоприятными условиями для формирования урожайности сои складывался 2021 год. Более благоприятными они были в 2019 г., средними — в 2020-м (рис. 1).

Сорняки составляют жесткую конкуренцию растениям за водные ресурсы, питательные вещества и солнечную энергию. Необходимо учитывать и то обстоятельство, что корневая система некоторых сорных растений выделяет в почву вредные вещества. Уровень

Рис. 1. Метеорологические условия вегетационного периода за 2019–2021 гг. (по данным метеостанции Чистополь)⁶

Fig. 1. Meteorological conditions of the growing season for 2019–2021 (according to the weather station Chistopol)



¹ Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. 1961; 491.

² Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Госкомиссия по сортоиспытанию с.-х. культур. Москва. 1989; 2: 194.

³ Доспехов Б.А. и др. Практикум по земледелию. М.: Колос. 1977; 369.

⁴ Практикум по земледелию / Васильев И.П., Туликов А.М., Баздырев Г.И. и др. М.: Колос. 2004; 424.

⁵ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

⁶ <https://www.meteoservice.ru/weather/now/chistopol>

засоренности поля делится на три варианта: слабый, средний и высокий. Чем выше засоренность, тем больше наблюдается угнетение культурных растений⁷.

В целом борьба с сорными растениями является сложной и многовариантной задачей. В связи с высоким спросом на рынке экологически чистой, безвредной продукции производители зерна стараются применять технологии без гербицидов.

В опытах в вариантах основной обработки почвы (вспашки) в начале вегетации флористический состав представлен такими малолетними ранними сорными растениями, как марь белая (*Chenopodium album* L.), овсюг полевой (*Avena fatua* Linn.), подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.), из поздних — щирца запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.), щетинник сизый (*Setaria pumila*), ежовник обыкновенный (*Echinochloa crus-galli* (Linn.) P. Beauv.), из многолетних корнеотпрысковых — осот полевой (*Sonchus arvensis*).

При проведении учета сорных растений в эксперименте в начале вегетации наблюдалась минимальная засоренность при основной обработке (вспашке) на глубину 25–27 см в 6-м варианте (в среднем за три года) — 20 шт/м², а наибольшая — в 1-м варианте (31,7 шт/м²). В фазе уборочной спелости наименьшая засоренность также в 6-м варианте (в среднем за три года) — 8,7 шт/м², а наибольшая — в 3-м варианте (22,3 шт/м²) (рис. 2).

В вариантах опыта с безотвальной обработкой почвы преобладали в начале вегетации зимующие сорняки — трехреберник непахучий (*Matricaria inodora* L.), василек синий (*Centaurea cyanus* L.), а в фазу уборочной спелости — многолетние корнеотпрысковые сорняки: вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*), осот полевой (*Sonchus arvensis*).

При проведении безотвальной обработки на глубину 25–27 см в начале вегетации наибольшее количество сорных растений (58,7 шт/м²) наблюдалось в 1-м варианте, а наименьшее — в 5-м (41,3 шт/м²). При подсчете сорных растений в фазе наступления уборочной спелости наибольшее количество сорных растений (41 шт/м²) сохранилось в 1-м и 4-м вариантах, а наименьшее (13,0 шт/м²) — в 6-м.

В опытах определяли сырую массу сорных растений в начале вегетации и при наступлении уборочной спелости. При проведении основной обработки (вспашки) наибольшая сырая масса (71,5 г/м²) наблюдалась в начале вегетации в 1-м варианте, а наименьшая (53,2 г/м²) — в 6-м (такая же тенденция практически до наступления уборочной спелости) (рис. 3).

При проведении безотвальной обработки наибольшая сырая масса сорняков в начале вегетации сои наблюдалась в 1-м варианте (95 г/м²), наименьшая (81,5 г/м²) — во 2-м. Взвешивание сырой биомассы сорняков к уборке показало, что наибольшая их масса наблюдалась в 1-м варианте (51 г/м²), а наименьшая (29,4 г/м²) — в 6-м.

В технологии возделывания сои одним из затратных элементов является основная обработка почвы, поэтому различные способы основной обработки почвы при возделывании культуры сои оказывают большое влияние на свойства почвы, питательный режим, обеспечение влагой в различные фазы вегетации, прохождение фенологических фаз, которые в совокупности определяют урожайность.

В данных опытах для получения стабильно высоких урожаев заданного параметра проводился поиск оптимальных способов и систем основной и предпосевной

Рис. 2. Засоренность посевов сои при проведении основной обработки почвы (средняя за три года), шт/м²
Fig. 2. Infestation of soybean crops during basic tillage (average for three years), pieces/m²



Рис. 3. Натуральная масса сорных растений на посевах сои (средняя за три года), г/м²
Fig. 3. The raw mass of weeds on soybean crops (average for three years), g/m²

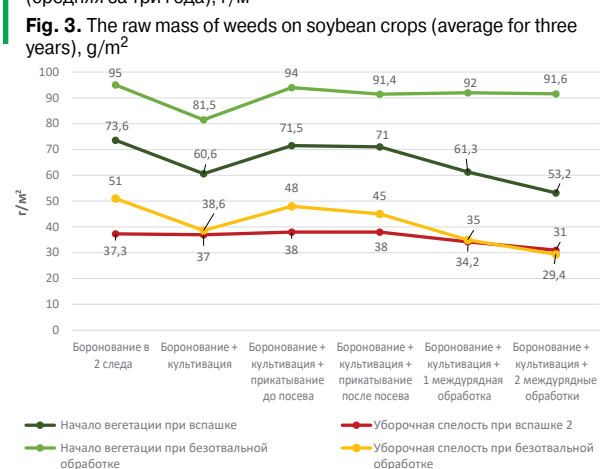
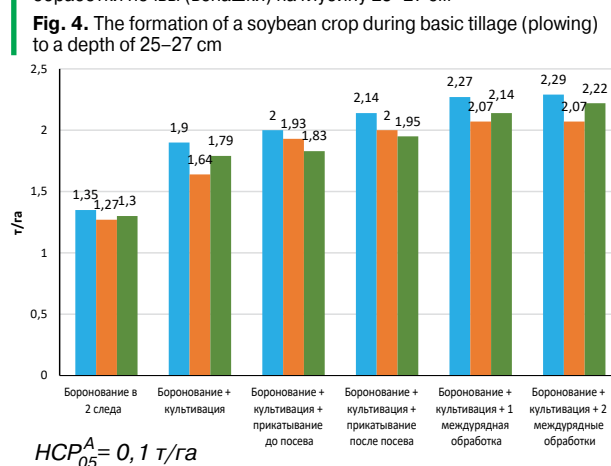


Рис. 4. Формирование урожая сои при проведении основной обработки почвы (вспашки) на глубину 25–27 см
Fig. 4. The formation of a soybean crop during basic tillage (plowing) to a depth of 25–27 cm



$HCP_{05}^A = 0,1 \text{ т/га}$

обработки почвы с соей, которые в дальнейшем позволят создать все необходимые условия в период вегетации, что в высокой степени будет соответствовать ее биологическим особенностям, росту и развитию, а также формированию запланированных урожаев с высоким качеством выращенного урожая.

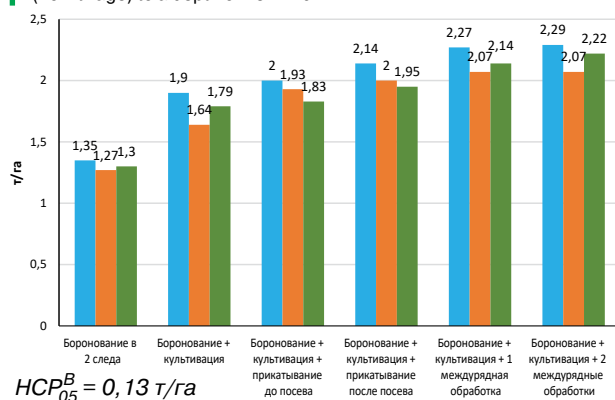
Результаты урожайности сои при проведении основной обработки почвы (вспашке) показывают, что в 1-м варианте (боронование в 2 следа), взятом за контроль, во все годы проведения опытов наблюдалась наименьшая урожайность — 1,3 т/га (рис. 4).

⁷ Земледелие с основами почвоведения и агрохимии / Баздырев Г.И., Сафонов А.Ф. и др. М.: Колос. 2009; 415.

На фоне безотвальной обработки почвы наибольшая урожайность сформировалась в 6-м варианте (боронование + культивация + 2 междурядные обработки) — 1,82 т/га, что выше контроля на 0,7 т/га (рис. 5).

Рис. 5. Формирование урожая сои при проведении основной обработки почвы (безотвальной обработки) на глубину 25–27 см

Fig. 5. The formation of a soybean crop during basic tillage (non-tillage) to a depth of 25–27 cm



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.

Несколько ниже урожайность в 5-м варианте (боронование + культивация + 1 междурядная обработка) (1,74 т/га) и 4-м (боронование + культивация + прикатывание по посевам) (1,73 т/га).

Результаты расчетов за три года (2019–2021 гг.) показали, что лучшими по экономической эффективности среди изучаемых агроприемов по возделыванию сои являются вспашка на глубину 25–27 см и боронование + культивация + 2 междурядные обработки. В данном варианте получен чистый доход 29 700 руб/га при себестоимости 34 500 руб/га, уровень рентабельности — 86%.

Выводы/Conclusion

Таким образом, в результате исследований установлено, что наиболее эффективным способом основной обработки почвы при возделывании сои в условиях Западного Закамья на выщелоченном черноземе Чистопольского района Республики Татарстан является вспашка с дальнейшим боронованием зяби, предпосевная культивацией и 2 междурядными обработками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Краснова Е.А., Рзаева В.В. Влияние способов основной обработки почвы на засоренность посевов сои в Западной Сибири. *Аграрный вестник Урала*. 2019; (5): 4–8. <https://www.elibrary.ru/tywrrm>
- Морозов А.Н., Дубовик Д.В., Ильин Б.С. Влияние способов основной обработки почвы на засоренность посевов, урожайность и качество зерна сои. *Таврический вестник аграрной науки*. 2022; (2): 74–85. <https://www.elibrary.ru/kyntzf>
- Нафиков М.М., Смирнов С.Г., Фомин В.Н. Урожайность сои в зависимости от приемов возделывания в лесостепи Поволжья. *Кормопроизводство*. 2013; (6): 18–19. <https://www.elibrary.ru/qbcmbm>
- Смирнов С.Г., Нафиков М.М., Фомин В.Н. Влияние способа основной обработки почвы и удобрений на агрофизические свойства почвы, урожайность и качество зерна сои. *Современные проблемы науки и образования*. 2014; (1): 384. <https://www.elibrary.ru/sbkxwp>
- Васин В.Г., Саниев Р.Н., Васин А.В., Бурунов А.Н., Просандеев Н.А., Трифонов Д.И. Применение микроудобрительных смесей и биопрепаратов при возделывании сои. *Агрохимический вестник*. 2019; (2): 47–52. <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10027>
- Васин А.В., Бурунов А.Н., Васин В.Г., Кузнецова Е.С. Влияние применения микроудобрительных смесей на структуру урожая и продуктивность сои в условиях лесостепи Среднего Поволжья. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021; (4): 32–38. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-4-32-38>
- Гладышева О.В., Свирина В.А., Черногаев В.Г. Длительное воздействие минеральных удобрений на питательный режим почвы и урожайность сои. *Плодородие*. 2022; (6): 70–72. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.129.18>
- Дубовик Д.В., Морозов А.Н., Дубовик Е.В., Шумаков А.В. Влияние минимизации основной обработки почвы на влагообеспеченность и засоренность посевов зернобобовых культур. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021; (3): 49–52. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-3-49-53>
- Дозоров А.В. Возделывание сои в Ульяновской области. *Зерновые культуры. Зерновое хозяйство*. 1999; (2): 30–31. <https://www.elibrary.ru/qjzazp>
- Тойгильдин А.Л., Подсевалов М.И., Тойгильдина И.А., Аюпов Д.Э., Мустафина Р.А. Бобовые предшественники, обработка почвы и защита растений в агротехнологиях яровой пшеницы Среднего Поволжья. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2021; (5): 77–88. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-5-77-88>
- Тойгильдин А.Л., Подсевалов М.И., Мустафина Р.А. Оценка эффективности обработки почвы и защиты растений на зерновых бобовых культурах в условиях лесостепной зоны Поволжья. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021; (1): 68–73. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-68-73>
- Храмов В.К., Сихарулидзе Т.Д., Рахимова О.В., Кириченко А.А. Влияние сроков посева на формирование урожая семян сои в условиях Центрального района Нечерноземной зоны. *Аграрная наука*. 2022; (6): 66–69. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-66-69>

REFERENCES

- Krasnova E.A., Rzaeva V.V. Influence of methods of basic soil tillage on the contamination of soybean crops in Western Siberia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; (5): 4–8 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tywrrm>
- Morozov A.N., Dubovik D.V., Ilyin B.S. Influence of primary tillage methods on soybean weed infestation, yield and grain quality. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2022; (2): 74–85 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kyntzf>
- Nafikov M.M., Smirnov S.G., Fomin V.N. Soybean productivity dependent on cultivation methods in the Volga region forest-steppe. *Fudder journal*. 2013; (6): 18–19 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qbcmbm>
- Smirnov S.G., Nafikov M.M., Fomin V.N. Influence of a way of the main processing of the soil and fertilizers on agrophysical properties of the soil, productivity and quality of grain of soy. *Modern problems of science and education*. 2014; (1): 384 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/sbkxwp>
- Vasin V.G., Saniev R.N., Vasin A.V., Burunov A.N., Prosandeev N.A., Trifonov D.I. Microfertilizers and biopreparations application for soya cultivation. *Agrochemical Herald*. 2019; (2): 47–52 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10027>
- Vasin A.V., Burunov A.N., Vasin V.G., Kuznetsova E.S. Influence of the use of micronutrient mixtures on the structure of the yield and productivity of soybeans in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region. *Legumes and great crops*. 2021; (4): 32–38 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-4-32-38>
- Gladysheva O.V., Svirina V.A., Chernogaev V.G. Long-term effect of mineral fertilizers on the nutrient regime of dark gray forest soil and soybean yield. *Plodorodie*. 2022; (6): 70–72 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.129.18>
- Dubovik D.V., Morozov A.N., Dubovik E.V., Shumakov A.V. Influence of minimized primary tillage on moisture availability and weed infestation of leguminous crops. *International Agricultural Journal*. 2021; (3): 49–52 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-3-49-53>
- Dozorov A.V. Cultivation of soybeans in the Ulyanovsk region. *Zernovye kul'tury. Zernovoe khozyaystvo*. 1999; (2): 30–31 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qjzazp>
- Toigildin A.L., Podsevalov M.I., Toigildina I.A., Ayupov D.E., Mustafina R.A. Legume precursors, tillage and plant protection in agrotechnologies of spring wheat of the Middle Volga region. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021; (5): 77–88 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-5-77-88>
- Toigildin A.L., Podsevalov M.I., Mustafina R.A. Efficiency evaluation of soil tillage and plant protection of grain legumes in the conditions of the forest-steppe zone of the Volga region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021; (1): 68–73 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-68-73>
- Khramov V.K., Sikharulidze T.D., Rakhimova O.V., Kirichenko A.A. The influence of sowing dates on the formation of the soybean seed yield in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone. *Agrarian science*. 2022; (6): 66–69 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-66-69>

ОБ АВТОРАХ

Макарим Махасимович Нафиков¹
доктор сельскохозяйственных наук
Nafikov_makarim@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-9820-3185>

Сергей Геннадьевич Смирнов²
кандидат сельскохозяйственных наук
SSG75@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-1986-1199>

Артур Валериевич Краснов²
аспирант
SSG75@mail.ru

Леонид Геннадьевич Шашкаров³
доктор сельскохозяйственных наук
leonid.shashckarow@yandex.ru

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет,
ул. Кремлевская, 18, Казань, 420008, Россия

² Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса,
Оренбургский тракт, 8, Казань, 420059, Россия

³ Чувашский государственный аграрный университет,
ул. им. Карла Маркса, 29, Чебоксары, 428003, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Makarim Mahasimovich Nafikov¹
Doctor of Agricultural Sciences
Nafikov_makarim@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-9820-3185>

Sergey Gennadievich Smirnov²
Candidate of Agricultural Sciences
SSG75@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-1986-1199>

Arthur Valerievich Krasnov²
Graduate Student
SSG75@mail.ru

Leonid Gennadievich Shashkarov³
Doctor of Agricultural Sciences
leonid.shashckarow@yandex.ru

¹ Kazan (Volga region) Federal University,
18 Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russia

² Tatar Institute for Agribusiness Personnel Retraining,
8 Orenburgsky tract, Kazan, 420059, Russia

³ Chuvash State Agrarian University,
29 Karl Marks Str., Cheboksary, 428003, Russia

25–26 апреля 2024 г. состоится XVIII Международная конференция «Комбикорма-2024»

Мероприятие пройдет в Москве в Международной промышленной академии в гибридном формате — офлайн и онлайн.

Организаторы — Международная промышленная академия, Союз комбикормщиков, Всероссийский НИИ комбикормовой промышленности.

К участию в конференции приглашаются руководители и специалисты комбикормовых предприятий, птицефабрик, свиноводческих и животноводческих комплексов, холдингов и компаний, федеральных и региональных органов управления АПК, ведущих отечественных и зарубежных фирм — производителей оборудования, ветеринарных препаратов и компонентов для производства комбикормов, ученые НИИ и вузов (университетов), представители отраслевых СМИ.

В программе конференции заявлены к обсуждению следующие темы:

- Приоритетные направления и перспективы развития отечественной комбикормовой промышленности. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 года. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2030 гг. Подпрограмма «Развитие производства кормов и кормовых добавок для животных». Новые меры государственной программы поддержки производителей кормов для животноводства, птицеводства, рыбоводства.
- Кормовая база как основа стабильного производства качественных комбикормов и ее обеспечение высокобелковыми и нетрадиционными компонентами, в том числе альтернативными.
- Современные технологии и оборудование для производства высокотехнологичных комбикормов для животных, птицы и объектов аквакультуры.
- Текущая ситуация на рынке кормовых добавок. Производство отечественных кормовых добавок и премиксов. Стратегия импортозамещения.
- Новые подходы в строительстве, модернизации и реконструкции комбикормовых предприятий. Современные требования промышленной безопасности в системе технического регулирования.
- Система биобезопасности в производстве комбикормов.
- Современные методы и приборы контроля качества и безопасности сырья и кормов. Ветеринарный и фитосанитарный контроль.

В рамках конференции пройдут выставка ведущих отечественных и зарубежных фирм — производителей оборудования, кормовых добавок, премиксов и ветпрепаратов, отраслевой научно-производственной и нормативно-технической литературы, деловые встречи и переговоры.

СПРАВКИ И ЗАЯВКИ

Международная
промышленная академия
<http://www.grainfood.ru>

Щербакова Ольга Евгеньевна
scherbakova@grainfood.ru
Тел. (факс) 8 (495) 959-71-06

Агеева Ксения Михайловна
a89057777955@yandex.ru
Тел. (факс) 8 (499) 235-48-27

Карцева Ольга Павловна
dekanat@grainfood.ru
Тел. (факс) 8 (499) 235-95-79

Реклама



УДК 633.16:631.52

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-75-79

О.В. Левакова¹ ✉О.В. Гладышева¹Л.М. Ерошенко²

¹ Институт семеноводства
и агротехнологий — Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ, Подвьязье,
Рязанская обл., Россия

² Федеральный исследовательский центр
«Немчиновка», Одинцово, Московская обл.,
Россия

✉ levakova.olga@bk.ru

Поступила в редакцию:
27.10.2023

Одобрена после рецензирования:
13.03.2024

Принята к публикации:
29.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-75-79

Olga V. Levakova¹ ✉Olga V. Gladysheva¹Lyubov M. Eroshenko²

¹ Institute of Seed Production and
Agrotechnologies — branch of the Federal
Scientific Agroengineering Center VIM,
Podvyazye village, Ryazan region, Russia

² Federal Research Center “Nemchinovka”,
Odintsovo, Moscow region, Russia

✉ levakova.olga@bk.ru

Received by the editorial office:
27.10.2023

Accepted in revised:
13.03.2024

Accepted for publication:
29.03.2024

Хозяйственно ценные показатели ячменя Любояр

РЕЗЮМЕ

Актуальность. За последние годы увеличение валовых сборов зерна по зерновым культурам произошло в основном благодаря повышению адаптивности и урожайности, в чем немалую роль сыграло внедрение в производство новых высокоурожайных сортов.

Методы. Объект исследований — внесенный в 2023 году в Государственный реестр селекционных достижений РФ по Северо-Западному, Центральному и Волго-Вятскому регионам новый сорт ярового ячменя Любояр. В качестве стандартов использовали сорта Яромир и Надежный, для сравнительного анализа — наиболее востребованные сорта Нур и Владимир. Исследования проводились полевыми и лабораторными методами с использованием соответствующих методик.

Результаты. Продуктивность нового сорта Любояр, составившаяся 7,63 т/га, стабильно превышает по годам (2021–2023 гг.) урожайность сортов-стандартов (на 5,8–6,7%) и популярных на рынке семян у российских товаропроизводителей сортов Нур и Владимир (на 15,4–32,0%). Внедрение в производство нового сорта позволит получить наибольший условно чистый доход (29 016 руб/га) при уровне рентабельности 81,0% (на 23,2–43,9% выше в сравнении с сортами Нур и Владимир).

Ключевые слова: яровой ячмень, новый генотип, урожайность, структура продуктивности, рентабельность

Для цитирования: Левакова О.В., Гладышева О.В., Ерошенко Л.М. Хозяйственно ценные показатели ячменя Любояр. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 75–79.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-75-79>

© Левакова О.В., Гладышева О.В., Ерошенко Л.М.

Economically valuable indicators of Lyuboyar barley

ABSTRACT

Relevance. In recent years, the increase in gross grain harvests of grain crops has occurred mainly due to increased adaptability and yield, in which a significant role was played by the introduction of new high-yielding varieties into production.

Methods. The object of the study is a new variety of spring barley Lyuboyar, entered in 2023 in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation in the Northwestern, Central and Volga-Vyatka regions. Yaromir and Reliable varieties were used as standards, and the most popular varieties Nur and Vladimir were used for comparative analysis. The studies were carried out by field and laboratory methods using appropriate techniques.

Results. The yield of the new Luboyar variety, which amounted to 7.63 t/ha, consistently exceeds the yield of standard varieties (by 5.8–6.7%) and popular seeds on the market among Russian producers of Nur and Vladimir varieties (by 15.4–32.0%) for many years (2021–2023). The introduction of a new variety into production will allow you to get the highest conditional net income (29 016 rubles/ha) with a profitability level of 81.0% (23.2–43.9% higher compared to Nur and Vladimir varieties).

Key words: spring barley, new genotype, yield, productivity structure, profitability

For citation: Levakova O.V., Gladysheva O.V., Eroshenko L.M. Economically valuable indicators of Lyuboyar barley. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 75–79 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-75-79>

© Levakova O.V., Gladysheva O.V., Eroshenko L.M.

Введение/Introduction

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является одной из приоритетных зерновых культур во всем мире, применяемой в разных отраслях производства, его зерно используют для приготовления продуктов питания (крупы), в кондитерской промышленности, животноводстве, пивоварении и медицине [1, 2]. В Центральном регионе России (РФ) ячмень возделывается в основном на фуражные цели. Получение высокого и стабильного урожая с высокой качественной зерновой продукцией позволит не только создать стратегические запасы, но и увеличить экспорт зерна и продуктов переработки из него на международный рынок [3].

Принципиальной задачей в настоящее время остается выведение высокоурожайных сортов ячменя с минимальной ответной реакцией на неблагоприятные факторы среды [4, 5]. В последние годы из-за часто ухудшающихся погодных условий потери урожая агрокультур значительно возросли. В таких условиях для константного роста зернового производства ячменя необходимо расширение посевов новых, более адаптированных к условиям регионов сортов [6, 7].

Несомненно, успешная реализация селекционных программ по созданию инновационных сортов ярового ячменя тесно связана с использованием нового исходного материала [8, 9].

В настоящее время растет спрос на использование отечественного зерна для кормовых и пивоваренных целей [10, 11].

Цель исследований — оценка нового сорта ярового ячменя Любаяр по хозяйственно ценным признакам и свойствам в условиях Центрального региона России.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объект исследований — новый сорт ячменя ярового Любаяр (авторы О.В. Гладышева, И.А. Дедушев, А.Н. Ерошенко, Л.М. Ерошенко, Н.А. Ерошенко, О.В. Левакова, М. М. Ромахин, В.В. Ромахина), внесенный в 2023 году в Государственный реестр селекционных достижений РФ по Северо-Западному, Центральному и Волго-Вятскому регионам. Заявка на селекционное достижение зарегистрирована 11.09.2020 под № 81441, патент № 12857. Разновидность *dificiens*. Новый генотип (селекционный № 48/3-12 h 1016) получен в результате внутривидовой гибридизации и последующего индивидуального отбора из гибридной популяции — Нур х 20/5-05 h 62 (Аннабель х Нур)¹.

Данный сорт изучался в экологическом сортоиспытании (2016–2020 гг.) в пунктах, расположенных в зоне Нечерноземья РФ — Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», где опытные поля размещены в Новомосковском районе г. Москвы (почва опытного участка — дерново-подзолистая среднесуглинистая окультуренная; агрохимические показатели: содержание гумуса — 1,8–2,0%; рН солевой вытяжки — 5,6–5,8; P_2O_5 — 260–280 мг/кг; K_2O — 100–120 мг/кг почвы;

предшественник — озимая пшеница) и Институте семеноводства и агротехнологий — филиале Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, расположенного на полях Рязанской области (почвенный покров представлен темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвой с содержанием органического вещества 5,60%, рН солевой вытяжки — 4,88 ед., P_2O_5 — 378 мг/кг почвы, K_2O — 275,0 мг/кг почвы, предшественник — чистый пар) в 2016–2023 гг. Норма высева — 5,0 млн всх. зерен на 1 га.

В качестве стандартов использовали сорта, принятые для сравнения хозяйственно ценных признаков на Госсортоучастках РФ по Центральному региону, Яромир (до 2021 г.) и Надежный (по настоящее время).

Для сравнительного анализа включили наиболее востребованные сорта [12] — Нур и Владимир, охватывающие большой ареал регионов возделывания: Центральный, Центрально-Черноземный, Волго-Вятский, Средневолжский, Северо-Западный, Северный².

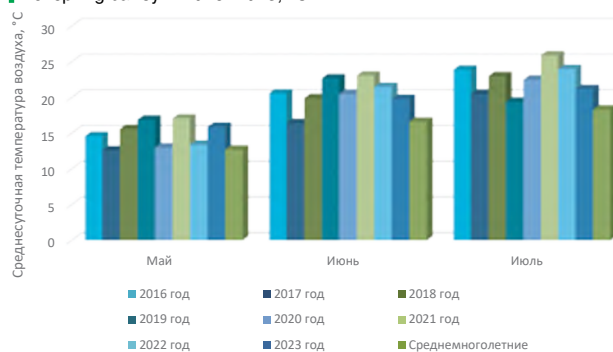
Учеты и наблюдения³, массу 1000 зерен⁴, экономическую эффективность⁵, статистическую обработку⁶ полученных данных проводили по соответствующим методикам с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel (США). Показатель уровня и стабильности сорта (ПУСС) — по Э.Д. Неттевичу⁷.

Контрастные погодные условия 2016–2023 гг.⁸ вегетационного периода ярового ячменя явились анализирующим фоном и способствовали выявлению специфических реакций изучаемых сортов на различные условия среды: почвенную и воздушную засуху, избыточное выпадение осадков, оптимальный гидротермический режим.

Засушливая погода в течение вегетации отмечалась в 2018–2022 гг. (ГТК 0,53–0,78), а более высокой влагообеспеченностью характеризовались 2016, 2017, 2020 и 2023 гг. (ГТК 0,89–1,36). При этом, по данным метеостанции ИСА — филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, колебания температур воздуха и количества выпавших осадков отличались крайней неравномерностью распределения не только по годам, но и по месяцам — с мая по июль (рис. 1, 2).

Рис. 1. Среднесуточные температурные показатели периода вегетации ярового ячменя в 2016–2023 гг., °С

Fig. 1. Average daily temperature indicators of the growing season of spring barley in 2016–2023, °C



¹ Сорт ярового ячменя Любаяр. Режим доступа: <https://gossortrf.ru/gosreestr/> (дата обращения: 09.10.2023).

² Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (2023 г.). Режим доступа: <https://gossortrf.ru/gosreestr/> (дата обращения: 10.10.2023).

³ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М.: ООО «Группа Компаний Море». 2019; 1: 384.

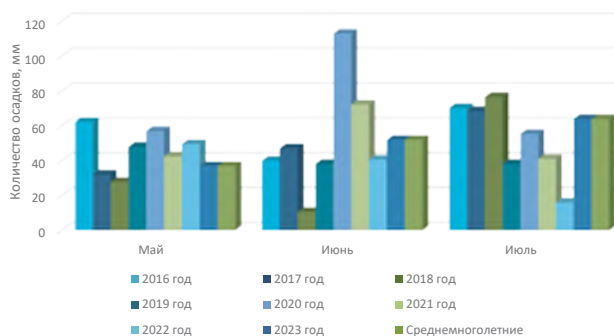
⁴ ГОСТ ISO 520-2014 Зерновые и бобовые. Определение массы 1000 зерен.

⁵ Приказ Минсельхоза РФ от 06.06.2003 № 792 «Об утверждении Методических рекомендаций по бухгалтерскому учету затрат на производство и калькулированию себестоимости продукции (работ, услуг) в сельскохозяйственных организациях». Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_59524/ (дата обращения: 08.11.2023).

⁶ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. (перераб. и доп., стереотип изд.). М.: Альянс. 2014; 351.

⁷ Неттевич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качества зерна. Вестник с.-х. науки. 1985; (1): 66–73.

⁸ Данные метеостанции ИСА — филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, с. Подвязье, Рязанский р-н.

Рис. 2. Количество выпавших осадков в 2016–2023 гг., мм**Fig. 2.** Amount of precipitation in 2016–2023, mm

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Отличительными внешними особенностями нового сорта являются ярко выраженная антоциановая окраска ушек флагового листа и кончиков остей, длинный колос (до 9,3 см) и крупное зерно (масса 1000 зерен до 61,0 г) (рис. 3).

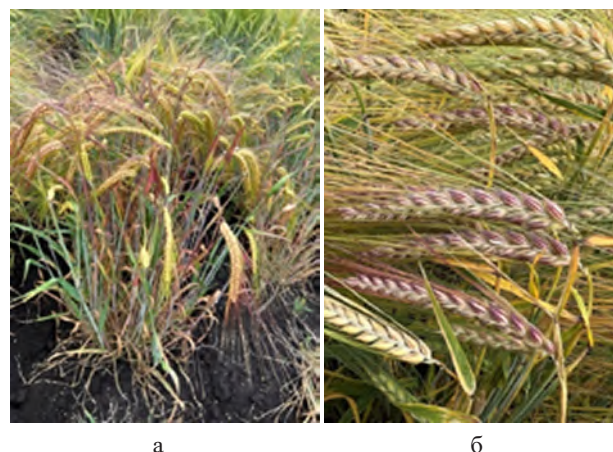
В различных агроклиматических и почвенных условиях на основании данных экологического испытания у сорта Любойр была установлена существенная прибавка урожайности относительно других районированных сортов (табл. 1).

Анализ полученной информации указывает на то, что средняя урожайность нового сорта в двух пунктах испытания при единой базовой технологии возделывания на 0,3–17,7% была выше других исследованных сортов. В экологическом конкурсном сортоиспытании ФИЦ «Немчиновка» сорт Любойр превысил среднесортное значение продуктивности на 0,33 т/га, или на 5,6%. Прибавка урожайности относительно стандарта Яромир составила 0,81 т/га (+14,9%), относительно исходной формы сорта Нур — 0,40 т/га (+6,9%). На полях ИСА — филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ новый сорт, превышая стандарт на 0,23 т/га, обеспечил среднюю урожайность на уровне 6,83 т/га. Превосходил среднесортное значение урожайности в двух пунктах испытания на 5,3–6,0%, а материнской формы — на 6,4–11,9%.

Коэффициент вариации (C_v , %), характеризующий изменчивость признака в соответствии с изменением внешних условий произрастания, установил, что вариабельность показателя урожайности сорта Любойр в условиях Московской области ниже среднесортного значения на 1,9%, а в Рязанской области — на 7,8%. Это указывает на наибольшую степень пластичности нового сорта. Мерой гомеостаза или способности генотипа к меньшему снижению средней урожайности при ухудшении условий возделывания послужил показатель уровня стабильности сорта (ПУСС), выраженный в процентах к стандарту. Относительный показатель, превысив значение стандарта на 39,9%, неоспоримо подтвердил высокую адаптивную способность инновационного сорта к условиям возделывания.

Важно отметить, что именно данные урожайности за 2018–2020 гг. при передаче созданного сорта на Государственное сортоиспытание определили значительное преимущество его в сравнении со стандартом Яромир (табл. 2).

В условиях Московской области урожайность составила 6,28 т/га (+0,89 т/га относительно стандарта), в условиях Рязанской области — 6,53 т/га (+0,89 т/га относительно стандарта). Сравнительная оценка выявила более высокую устойчивость к полеганию (на 0,6 балла) и более слабое поражение на естественном фоне

Рис. 3. Растение (а) и колос (б) ячменя ярового Любойр. Фото автора Леваковой О.В.**Fig. 3.** Plant (a) and ear (b) of spring barley Lyuboyar. Photo by the author Levakova O.V.**Таблица 1.** Средняя урожайность сортов в экологическом сортоиспытании в 2016–2020 гг.**Table 1.** Average yield of varieties in ecological variety testing in 2016–2020

Название сорта	ФИЦ «Немчиновка» (Московская обл.)		ИСА — филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Рязанская обл.)		$\bar{X}$, т/га	ПУСС, %
	урожайность, т/га	C_v , %	урожайность, т/га	C_v , %		
Яромир, ст.	5,42	27,9	6,60	17,1	6,01	100,0
Владимир	5,76	29,3	5,85	16,4	5,81	97,6
Ксанаду	5,03	37,6	5,67	21,8	5,35	64,1
Нур	5,83	29,0	6,02	25,8	5,93	87,4
Московский 86	6,18	23,0	6,07	26,3	6,12	104,1
Надежный	6,40	25,0	6,57	23,8	6,48	117,8
Златояр	6,16	32,5	6,44	19,8	6,30	101,5
Знатный	5,68	26,8	6,70	17,8	6,19	109,9
Рафаэль	6,35	25,5	6,50	16,2	6,42	132,8
Любойр	6,23	26,4	6,83	11,9	6,50	139,9
$\bar{X}$, т/га	5,90	28,3	6,33	19,7	6,11	105,5
σ	0,44	4,19	0,39	4,67	0,35	21,7
НСР ₀₅	2016	0,70	–	0,68	–	–
	2017	0,43	–	0,52	–	–
	2018	0,26	–	0,44	–	–
	2019	0,31	–	0,63	–	–
	2020	0,66	–	0,46	–	–

Таблица 2. Хозяйственно ценные характеристики нового сорта Любойр на момент передачи на Государственное сортоиспытание в 2018–2020 гг.**Table 2.** Economically valuable characteristics of the new variety Lyuboyar at the time of transfer to State variety testing in 2018–2020.

Признаки	Любойр	Яромир, стандарт	$\pm$ к стандарту
Урожайность зерна, т/га (ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка»)	6,28	5,39	+0,89
Урожайность зерна, т/га (ИСА — филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)	6,53	5,64	+0,89
Вегетационный период, дни	86	89	-3,0
Высота растения, см	69,7	73,6	-3,9
Устойчивость к полеганию, балл	9,0	8,4	+0,6
Продуктивная кустистость, шт.	3,1	2,7	+0,4
Поражаемость мучнистой росой, %	5,0	6,7	-1,7
Поражаемость темно-бурой пятнистостью, %	9,0	11,7	-2,7
Поражаемость пыльной головней, %	0,01	0,03	-0,02
Содержание белка, %	11,2	12,8	-1,6
Экстрактивность, %	81,2	80,2	+1,0
Масса 1000 зерен, г	50,5	49,8	+0,7
Способность прорасти за 120 ч., %	98,1	95,8	+2,3

наиболее агрессивными болезнями ячменя (на 0,02–2,7%).

За годы Государственного сортоиспытания (2021 и 2022 гг.) средняя урожайность по Северо-Западному

Таблица 3. Урожайность сорта Любояр в сравнении с сортами-стандартами и широко распространенными сортами в 2021–2023 гг.
Table 3. Productivity of the variety Lyuboyar in comparison with standard varieties and widespread varieties in 2021–2023

Название сорта	Год районирования ¹⁰	Регионы допуска ⁹	Урожайность, т/га				Прибавка к сортам, т/га	Прибавка к сортам, %
			2021 г.	2022 г.	2023 г.	$\bar{x}$		
Яромир, стандарт	2013	1,2,3,4	6,41	7,13	8,10	7,21	0,42	105,8
Надежный, стандарт	2017	2,3,4	6,31	7,20	7,95	7,15	0,48	106,7
Нур	2002	1,2,3,4,7	5,96	6,18	7,70	6,61	1,02	115,4
Владимир	2007	2,3,4,5	5,31	5,79	6,26	5,78	1,85	132,0
Любояр	2023	2,3,4	7,52	7,27	8,10	7,63	–	–
Среднее	–	–	6,30	6,71	7,62	6,88	0,94	115,0
НСР ₀₅	–	–	0,47	0,32	0,28	–	–	–

региону составила 3,20 т/га, по Центральному — 3,74 т/га, по Волго-Вятскому — 4,04 т/га. В Ярославской области прибавка к стандарту составила 0,27 т/га, во Владимирской — 0,52 т/га, в Свердловской — 0,28 т/га при урожайности 2,66 т/га, 2,88 т/га и 4,48 т/га соответственно. Максимальная урожайность (7,30 т/га) получена в Пермском крае в 2022 году. Рекомендован для возделывания в Вологодской, Ярославской, Брянской, Владимирской, Калужской, Рязанской, Свердловской областях и Пермском крае⁹.

Данные исследования 2021–2023 гг. выявили, что продуктивность нового сорта Любояр, стабильно превышающая по годам урожайность сортов-стандартов (на 5,8–6,7%) и популярных на рынке семян у российских товаропроизводителей сортов Нур и Владимир (на 15,4–32,0%), свидетельствуют о его высокой адаптации к условиям климата и другим стресс-факторам среды (табл. 3).

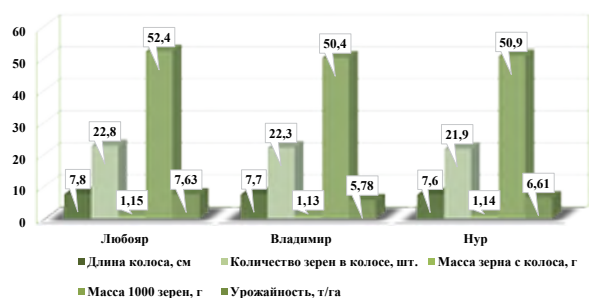
Увеличение урожайности вновь созданных сортов агрокультур тесно связано с увеличением структурных элементов [13, 14].

Установлено, что более высокая и стабильная урожайность, характеризующая хозяйственную ценность перспективного сорта, в свою очередь была тесно связана с величиной элементов структурного анализа, от которых зависела его продуктивность. Новый генотип имел преимущество по таким количественным признакам, как длина колоса (на 1,3–2,6%), количество зерен в колосе (на 2,2–4,1%), масса зерна с колоса (на 0,8–1,8%), масса 1000 зерен (на 2,9–4,0%) (рис. 4).

Данные элементы структуры урожая вносили существенный вклад в продуктивность изучаемых сортов: корреляционный анализ выявил среднюю связь урожайности с длиной колоса и числом зерен в колосе ($r = +0,550$ – $0,603$), сильную связь с массой зерна

Рис. 4. Сравнительная характеристика количественных признаков растений сорта Любояр с популярными сортами в 2021–2023 гг.

Fig. 4. Comparative characteristics of quantitative characteristics of the Lyuboyar variety with popular varieties in 2021–2023



⁹ Характеристики сортов растений, впервые включенных в 2023 году в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: Росинформагротех. 2023; 326.

¹⁰ Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (2023 г.). Режим доступа: <https://gossortrf.ru/gosreestr/> (дата обращения: 05.10.2023).

Таблица 4. Экономическая эффективность внедрения сорта Любояр в производство в 2021–2023 гг.

Table 4. Economic efficiency of introducing the Lyuboyar variety into production in 2021–2023

Показатель	Сорт		
	Владимир	Нур	Любояр
Урожайность, т/га	5,78	6,61	7,63
Прибавка урожайности, т/га	–	–	1,02*/1,85**
Средняя цена зерна, руб/т	8500	8500	8500
Стоимость продукции, руб/га	49 138	56 185	64 855
Производственные затраты, руб/га	35 839	35 839	35 839
Себестоимость зерна, руб/т	6200	5430	4697
Уровень снижения себестоимости, %	–	–	13,5*/24,2**
Условно чистый доход, руб/га	13 299	20 346	29 016
Уровень рентабельности, %	37,1	57,8	81,0

Примечание: * в сравнении с сортом Нур, ** в сравнении с сортом Владимир.

с колоса и массой 1000 зерен ($r = +0,881$ – $0,998$) при $p \geq 0,05$.

При обосновании экономической эффективности ввода в производство нового сорта использованы полученная урожайность и окупаемость затрат на его возделывание. Исходя из рыночной стоимости продукции (при продаже фуражного зерна ячменя по стоимости 8500 руб. за 1 т), производственных затрат и урожайности, расчет экономической эффективности показал, что при возделывании нового сорта получен наибольший условно чистый доход — 29 016 руб/га. Уровень рентабельности у нового сорта оказался на 23,2–43,9% выше в сравнении с сортами Нур и Владимир.

Выводы/Conclusion

По результатам Государственного сортоиспытания 2021 и 2022 гг. в 2023 году включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ новый сорт ярового ячменя Любояр. Таким образом, определена хозяйственно-биологическая характеристика сорта Любояр, включающая преимущество по урожайности перед стандартными сортами на 0,42–0,48 т/га, востребованными в производстве — на 1,02–1,85 т/га. Дополнительная урожайность нового сорта обусловлена большей длиной колоса (7,8 см), количеством зерен в колосе (22,8 шт.) и массой 1000 зерен (52,4 г). Выявлена высокая адаптивность сорта к условиям возделывания (ПУСС составил 139,9%).

Внедрение в производство данного сорта позволит обеспечить население регионов отечественной продукцией, существенно увеличить и стабилизировать валовые сборы зерна ячменя в Северо-Западном, Центральном и Волго-Вятском регионах России.

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. Тетянников Н.В., Боме Н.А. Анализ взаимодействия «генотип × среда» и оценка адаптивного потенциала ячменя в условиях Северного Завуралья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021; 182(3): 63–73. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-63-73>
2. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Брагин Р.Н. Новый раннеспелый сорт ярового ячменя Федос. *Зерновое хозяйство России*. 2021; (2): 11–16. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-74-2-11-16>
3. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Дорошенко Э.С., Брагин Р.Н., Засыпкина И.М. Сорт ярового ячменя Азимут. *Зерновое хозяйство России*. 2022; (5): 91–97. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-5-91-97>
4. Левакова О.В., Ерошенко Л.М. Новый сорт ярового ячменя Знатный. *Аграрная наука*. 2020; (9): 80–83. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-341-9-80-84>
5. Levakova O.V., Zharkova E.D. Analysis of winter wheat varieties suitable for cultivation in conditions of flooding. *BIO Web of Conferences*. 2022; 47: 02001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224702001>
6. Jouyban A., Give H.S., Noryan M. Relationship between agronomic and morphological traits in barley varieties under drought stress condition. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 2015; 9(9): 1507–1511.
7. Батакова О.Б., Корелина В.А. Оценка урожайности, пластичности и стабильности образцов ярового ячменя в условиях Европейского Севера РФ. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2021; 16(2): 118–128. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-2-118-128>
8. Жученко А.А., Рожмина Т.А. Генетические ресурсы и селекция растений — главные механизмы адаптации в сельском хозяйстве. *Вестник аграрной науки*. 2019; (6): 3–8. <https://doi.org/10.15217/ISSN2587-666X.2019.6.3>
9. Беспалова Л.А. и др. Современное состояние и пути повышения конкурентоспособности отечественной селекции и семеноводства. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2015; 54: 92–102. <https://www.elibrary.ru/uxkmz>
10. Абдуллаев Р.А., Яковлева О.В., Косарева И.А., Радченко Е.Е., Баташева Б.А. Скрининг резистентных к мучнистой росе образцов ячменя из Эфиопии по устойчивости к абиотическим стрессорам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019; 180(4): 152–158. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-4-152-158>
11. Jarošová J., Singh K., Chrpová J., Kundu J.K. Analysis of Small RNAs of Barley Genotypes Associated with Resistance to Barley Yellow Dwarf Virus. *Plants*. 2020; 9(1): 60. <https://doi.org/10.3390/plants9010060>
12. Ерошенко Л.М. и др. Ретроспективный анализ адаптивных свойств сортов ячменя селекции ФИЦ «Немчиновка». *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021; 22(4): 485–494. <https://www.elibrary.ru/snhuyf>
13. Айдиев А.Я., Новикова В.Т., Емельянова А.А., Логвинова Е.В., Дугина С.А. Новые сорта зерновых культур как результат научной кооперации. *Земледелие*. 2020; (8): 36–39. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10807>
14. Якушев В.П., Михайленко И.М., Драгавцев В.А. Агротехнологические и селекционные резервы повышения урожая зерновых культур в России. *Сельскохозяйственная биология*. 2015; 50(5): 550–560. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.5.550rus>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Викторовна Левакова¹

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства
levakova.olga@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5400-669X>

Ольга Викторовна Гладышева²

кандидат сельскохозяйственных наук, директор
<https://orcid.org/0000-0002-4453-0367>

Любовь Михайловна Ерошенко¹

кандидат сельскохозяйственных наук
<https://orcid.org/0000-0002-8513-6665>

¹ Институт семеноводства и агротехнологий — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая, 1, Подвьязь, Рязанская обл., 390502, Россия

² Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», ул. Агрохимиков, 6, п. п. Новоивановское, г. п. Одинцово, Московская обл., 143026, Россия

REFERENCES

1. Tetyannikov N.V., Bome N.A. Analysis of the genotype × environment interactions and assessment of the adaptability potential in barley under the conditions of the Northern Trans-Urals. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2021; 182(3): 63–73 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-63-73>
2. Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Bragin R.N. The new early maturing spring barley variety Fedos. *Grain Economy of Russia*. 2021; (2): 11–16 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-74-2-11-16>
3. Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Doroshenko E.S., Bragin R.N., Zasyapkina I.M. Spring barley variety Azimut. *Grain Economy of Russia*. 2022; (5): 91–97 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-5-91-97>
4. Levakova O.V., Eroshenko L.M. A new variety of spring barley is Znatny. *Agrarian science*. 2020; (9): 80–83 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-341-9-80-84>
5. Levakova O.V., Zharkova E.D. Analysis of winter wheat varieties suitable for cultivation in conditions of flooding. *BIO Web of Conferences*. 2022; 47: 02001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224702001>
6. Jouyban A., Give H.S., Noryan M. Relationship between agronomic and morphological traits in barley varieties under drought stress condition. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 2015; 9(9): 1507–1511.
7. Batakova O.B., Korelina V.A. Assessment of yield, plasticity and stability of spring barley cultivars grown in the European North of the Russian Federation. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(2): 118–128 (in Russian). <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-2-118-128>
8. Zhuchenko A.A., Rozhmina T.A. Genetic resources and plant breeding as the main mechanisms of adaptation in agriculture. *Bulletin of agrarian science*. 2019; (6): 3–8 (in Russian). <https://doi.org/10.15217/ISSN2587-666X.2019.6.3>
9. Bespalova L.A. et al. Modern state and ways of improving the competitiveness of domestic breeding and seed production. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2015; 54: 92–102 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/uxkmz>
10. Abdullaev R.A., Yakovleva O.V., Kosareva I.A., Radchenko E.E., Batasheva B.A. Screening of powdery mildew resistant barley accessions from Ethiopia for tolerance to abiotic stressors. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2019; 180(4): 152–158 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-4-152-158>
11. Jarošová J., Singh K., Chrpová J., Kundu J.K. Analysis of Small RNAs of Barley Genotypes Associated with Resistance to Barley Yellow Dwarf Virus. *Plants*. 2020; 9(1): 60. <https://doi.org/10.3390/plants9010060>
12. Eroshenko L.M. et al. Retrospective analysis of adaptive properties of barley varieties bred by FRC “Nemchinovka”. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22(4): 485–494 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/snhuyf>
13. Aidiev A.Ya., Novikova V.T., Emelyanova A.A., Logvinova E.V., Dugina S.A. New varieties of cereals as a result of scientific cooperation. *Zemledelie*. 2020; (8): 36–39 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10807>
14. Yakushev V.P., Mikhailenko I.M., Dragavtsev V.A. Reserves of agro-technologies and breeding for cereal yield increasing in the Russian Federation. *Agricultural Biology*. 2015; 50(5): 550–560. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.5.550eng>

ABOUT THE AUTHORS

Olga Viktorovna Levakova¹

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Department of Breeding and Primary Seed Production
levakova.olga@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5400-669X>

Olga Viktorovna Gladysheva²

Candidate of Agricultural Sciences, Director
<https://orcid.org/0000-0002-4453-0367>

Lyubov Mikhailovna Eroshenko¹

Candidate of Agricultural Sciences
<https://orcid.org/0000-0002-8513-6665>

¹ Institute of Seed Production and Agrotechnologies — branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1 Parkovaya Str., Podvyezze village, Ryazan region, 390502, Russia

² Federal Research Center “Nemchinovka”, 6 Agrochemikov Str., Novoivanovskoye settlement, Odintsovo, Moscow region, 143026, Russia

А.Л. Тойгильдин¹ ✉
Н.А. Хайртдинова²
И.А. Тойгильдина²
В.В. Сыромятников²
Д.Э. Аюпов²

¹ Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал ФГБУН «Самарский научный центр Российской академии наук», Ульяновск, Россия

² Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Ульяновск, Россия

✉ atoigildin@yandex.ru

Поступила в редакцию:
06.12.2023

Одобрена после рецензирования:
13.03.2024

Принята к публикации:
29.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-80-84

Alexandr L. Toigildin¹ ✉
Natalia A. Khairtdinova²
Irina A. Toigildina²
Valery V. Syromyatnikov²
Denis E. Ayupov²

¹ Ulyanovsk Research Institute of Agriculture — Branch of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk, Russia

² Ulyanovsk State Agricultural University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russia

✉ atoigildin@yandex.ru

Received by the editorial office:
06.12.2023

Accepted in revised:
13.03.2024

Accepted for publication:
29.03.2024

Прогноз вредоносности видов щетинника в агрофитоценозах с яровым ячменем

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Появление сорных растений на полях хозяйств не всегда предполагает их полное уничтожение, так как с экономической точки зрения это может быть неэффективно. Поэтому для прогноза борьбы с засоренностью посевов в конкретных почвенно-климатических условиях актуальными задачами являются разработка и обоснование моделей вредоносности сорняков и расчет экономических порогов их вредоносности.

Методы. Изучалась вредоносность щетинника сизого (*Setaria glauca* (L.) Beauv) и щетинника зеленого (*Setaria viridis* (L.) Beauv) в условиях предприятия ООО «Агро-Инвест Плюс» Карсунского района Ульяновской области в 2021–2022 гг. на урожайность ячменя сорта Деспина. Экономические пороги вредоносности рассчитывались на фоне применения гербицидов Овсюген Супер, КЭ — 0,5 л/га, Аксил 50, КЭ — 0,9 л/га, Пума Супер, ЭМВ — 0,9 л/га, Авантик Турбо, МД — 0,5 л/га. Схема опыта включала: 1-й вариант — без сорняков (контроль), 2–6-й варианты — с численностью сорняков, соответственно, 10 шт/м², 20 шт/м², 30 шт/м², 40 шт/м², 50 шт/м², 7-й вариант — с естественной засоренностью. Учетная площадь делянки — 1 м², расположение систематическое, со смещением, повторность 6-кратная.

Результаты. На основании полевых опытов разработаны прогностические модели для определения вредоносности сорняков, которые позволяют установить экономические пороги их вредоносности в условиях конкретного хозяйства. Вредоносность щетинника, согласно линейной функции, составила 0,106–0,147 ц/га в зависимости от количества (шт/м²) или 0,322–0,291 ц/га от массы (г/м²). Согласно прогностическим моделям доля (%) изменений урожайности зерна ячменя от засоренности составила от 79 до 85%. Исследования показали, что химическая прополка целесообразна при наличии щетинников в фитоценозах ячменя от 8 до 15 шт/м².

Ключевые слова: щетинник (мышей) сизый, щетинник зеленый, экономический порог вредоносности, ячмень, гербициды

Для цитирования: Тойгильдин А.Л., Хайртдинова Н.А., Тойгильдина И.А., Сыромятников В.В., Аюпов Д.Э. Прогноз вредоносности видов щетинника в агрофитоценозах с яровым ячменем. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 80–84.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-80-84>

© Тойгильдин А.Л., Хайртдинова Н.А., Тойгильдина И.А., Сыромятников В.В., Аюпов Д.Э.

Prediction of the harmfulness of bristle species in agrophytocenoses with spring barley

ABSTRACT

Relevance. The appearance of weeds in the fields of farms does not always imply their complete destruction, since from an economic point of view this may be ineffective. Therefore, in order to predict the effectiveness of crop contamination control in specific soil and climatic conditions, an urgent task is to develop and substantiate models of weed harmfulness and calculate economic thresholds for their harmfulness.

Methods. The harmfulness of gray bristle (*Setaria glauca* (L.) Beauv) and green bristle (*Setaria viridis* (L.) Beauv) in the conditions of the Agro-Invest Plus LLC enterprise in the Karsunsky district of the Ulyanovsk region in 2021–2022 on the yield of Despina barley was studied. The economic harmfulness thresholds were calculated against the background of the use of herbicides Ovsyugen Super, CE — 0.5 l/ha; Axial 50, CE — 0.9 l/ha; Puma Super, EMV — 0.9 l/ha; Avantik Turbo, MD — 0.5 l/ha. The scheme of the experience included: Option 1 — without weeds (control), 2–6 options — with the number of weeds, respectively, 10 pcs/m², 20 pcs/m², 30 pcs/m², 40 pcs/m², 50 pcs/m², option 7 — with natural blockage. The accounting area of the plot is 1 m², the location is systematic with an offset, the repetition is 6 times.

Results. Based on field experiments, predictive models have been developed to determine the harmfulness of weeds, which make it possible to establish economic thresholds for their harmfulness in the conditions of a particular farm. The harmfulness of the bristle according to the linear function was 0.106–0.147 c/ha, depending on the amount (pcs/m²) or 0.322–0.291 c/ha by weight (g/m²). According to prognostic models, the proportion (%) of changes in barley grain yield from contamination ranged from 79 to 85%. Studies have shown that chemical weeding is advisable in the presence of bristles in barley phytocenoses from 8 to 15 pcs/m².

Key words: bristles (mice) glaucous, green bristle, economic threshold of harmfulness, barley, herbicides

For citation: Toigildin A.L., Khairtdinova N.A., Toigildina I.A., Syromyatnikov V.V., Ayupov D.E. Prediction of the harmfulness of bristle species in agrophytocenoses with spring barley. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 80–84 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-80-84>

© Toigildin A.L., Khairtdinova N.A., Toigildina I.A., Syromyatnikov V.V., Ayupov D.E.

Введение/Introduction

Одной из проблем современного земледелия является разработка эффективных (в том числе с экономической точки зрения) агротехнологий по регулированию численности сорняков в посевах сельскохозяйственных культур. Потери от сорняков оцениваются учеными по-разному. Исследования показали, что в среднем по России снижение урожайности сельскохозяйственных культур от засоренности посевов составляет от 15%. Существует мнение, что при увеличении численности сорняков в посевах ячменя снижение урожая может составлять 43,6% [1–3].

В частности, по данным исследований Ю.Я. Спиридонова и др. (2020 г.), в посевах ячменя в отдельные годы распространение сорняков приводило к снижению урожайности культуры на 3,2–6,7 кг/га, или на 0,59–1,24%, в пересчете на одно сорное растение [4].

Появление сорных растений на полях еще не свидетельствует о необходимости их полного уничтожения. Это объясняется тем, что полностью уничтожить сорняки на полях практически невозможно даже в течение нескольких лет. Кроме того, понесенные при этом затраты на борьбу с сорной растительностью могут оказаться экономически неоправданными. Поэтому, несмотря на то что степень отрицательного воздействия сорняков на культурные растения определяется многими факторами (в частности, погодными условиями, агротехническими мероприятиями и т. д.), в первую очередь необходимо определить тип засоренности, численность сорняков, конкурентоспособность по отношению к ним сельскохозяйственных растений [5].

Изучение вредоносности сорняков и определение экономических порогов вредоносности (ЭПВ) являются важнейшими этапами в защите растений. Определение вредоносности сорного компонента агроценоза необходимо для оценки конкурентоспособности культур при определенной численности сорняков и исключения необоснованных затрат на защитные мероприятия [6–8].

Щетинники относятся к группе массовых сорняков. Существует мнение, что при уборке яровых зерновых культур созревание и плодоношение наблюдаются у 48% злаковых сорняков, в том числе такое развитие характерно и для щетинников, что увеличивает их вредоносность по отношению к сельскохозяйственным культурам. При этом несоблюдение технологии возделывания, в частности запаздывание со сроками сева яровых ранних культур, приводит к увеличению засоренности посевов до 57%. Исследования показали, что фитомасса одного растения щетинника в посевах яровых зерновых в таких условиях увеличивалась в 6,5 раз [9].

Поскольку определение вредоносности щетинников в посевах ячменя в условиях Ульяновской области не проводилось, то борьба с ними ведется без определения эффективности гербицидных обработок в пересчете на сохраненный урожай, что зачастую приводит к необоснованным расходам средств защиты растений.

Цель исследований — разработка прогностических моделей вредоносности видов щетинника в агрофитоценозах с ячменем для построения экономически обоснованной стратегии борьбы с конкретным видом засоренности.

Материалы и методы исследований / Materials and methods

В данных исследованиях была изучена вредоносность щетинника (мышей) сизого (*Setaria glauca* (L.) Beauv) и щетинника зеленого (*Setaria viridis* (L.) Beauv) в агрофитоценозах ячменя сорта Деспина в производственных условиях на полях ООО «Агро-Инвест Плюс» Карсунского района Ульяновской области России в 2021–2022 гг.

Схема опыта разрабатывалась согласно методическим указаниям по изучению экономических порогов и критических периодов вредоносности сорняков в посевах сельскохозяйственных культур под редакцией Г.С. Груздева (1986 г.)¹. На опытных делянках формировалась определенная численность сорных растений путем удаления лишней растительности, которая подерживалась на одном и том же уровне в течение всей вегетации культуры.

В исследовании был проведен расчет экономических порогов вредоносности (ЭПВ) для щетинника сизого и щетинника зеленого на фоне применения следующих гербицидов: Овсюген Супер, КЭ — 0,5 л/га, Аксиал 50, КЭ — 0,9 л/га, Пума Супер, ЭМВ — 0,9 л/га, Авантик Турбо, МД — 0,5 л/га.

Подбор гербицидов проводился на основе оценки их хозяйственной и биологической эффективности при возделывании ячменя пивоваренного сорта Деспина.

Характеристика объектов исследований: Овсюген Супер, КЭ — селективный противозлаковый гербицид системного действия для обработки посевов ярового и озимого ячменя, в том числе пивоваренного. Высокоэффективен против щетинников. Действующее вещество — 140 г/л феноксапроп-П-этила + 47 г/л антидота. Препарат отечественный (производитель «Щёлково Агрохим», Россия); Аксиал 50, КЭ — послевсходовый системный противозлаковый гербицид для весеннего применения на ячмене, тритикале и пшенице. Действующее вещество — 50 г/л пиноксаден + 12,5 г/л антидот клоквинтосет-мексил (11,25 г/л) (производитель ООО «Сингента», Швейцария, Россия); Пума Супер 7,5, ЭМВ — высокоселективный гербицид для послевсходовой обработки ячменя и пшеницы против широкого спектра однолетних злаковых сорняков. Действующее вещество — феноксапроп-П-этил + антидот мефенпир-диэтил (производитель «Байер Кроп Сайенс АГ», Германия); Авантик Турбо, МД — высокоселективный гербицид для послевсходовой обработки посевов против широкого спектра злаковых сорняков. Действующее вещество — 100 г/л феноксапроп-П-этила + 17,5 г/л флукарбазона + 34 г/л антидота клоквинтосет-мексила (производитель «Землякофф», Россия).

Для расчета экономических порогов вредоносности определялась величина дополнительной урожайности ячменя, окупающая затраты на применение гербицидов по формуле:

$$Ду = \frac{Зп}{Ц},$$

где Ду — дополнительный урожай, Зп — затраты на применение гербицида + стоимость гербицида, Ц — цена единицы урожая.

¹ Груздев Г.С. Методические указания по изучению экономических порогов и критических периодов вредоносности сорняков в посевах сельскохозяйственных культур / Г.С. Груздев, В.А. Захаренко В.А. Колесников и др. Москва. 1985; 23.

Экономический порог вредоносности рассчитывался по формуле:

$$\text{ЭПВ} = \frac{Ду}{В},$$

где Ду — дополнительный урожай, ц/га; В — вредоносность фитоценотической популяции, шт/м².

Схема опыта включала 7 вариантов (табл. 1).

Таблица 1. Схема опыта по изучению вредоносности щетинника в посевах ячменя сорта Деспина

Table 1. Scheme of experience in studying the harmfulness of bristles in Despina barley crops

Вариант	Количество сорняков, шт/м ²
1	без сорняков (контроль)
2	10
3	20
4	30
5	40
6	50
7	с естественной засоренностью: в 2021 г. — 52, в 2022 г. — 67

Учетная площадь делянки — 1 м², расположение систематическое, со смещением, повторность опыта — 6-кратная. Как отмечалось выше, в опыте изучалась вредоносность сорняков по отношению к сорту ячменя Деспина. Сорт включен в Госреестр по седьмому Средневолжскому региону. В хозяйстве возделывают ячмень на пивоваренные цели. Преимуществом сорта является то, что из-за раннего появления всходов и стабильного зернообразования сорт Деспина сравнительно устойчив к засухе и позднему севу. Норма высева составила 4,0 млн всхожих семян, посев проводили в I декаде мая.

Для расчета вредоносности изучаемого вида сорных растений применяли корреляционно-регрессионный анализ с использованием электронной таблицы Excel (США) с помощью прямой, экспоненциальной и полиномиальной функций.

Статистическая обработка урожайных данных проводилась методом дисперсионного анализа, изложенного Б.А. Доспеховым².

Результаты и обсуждение / Results and discussion

А.М. Шпанев (2011 г.) в своей работе «Подходы к оценке вредоносности сорных растений в агрофитоценозах» отмечает, что исследования по изучению модели взаимовлияния между сорными и культурными растениями и оценке вредоносности сорного компонента проводятся с 1970-х годов. Авторы использовали различные подходы, но основные — линейная ($Y = a + bx$), показательная ($Y = Y_0 a^x$), квадратическая ($Y = Y_0 - ax + a_1 x^2$), степенная ($Y = ax^b$) функции [10].

В данных исследованиях, как отмечалось выше, был рассчитан коэффициент вредоносности с помощью прямой, экспоненциальной и полиномиальной функций. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Математический анализ урожайности зерна ячменя, количества и массы щетинников в посевах показал, что между ними существует тесная обратная зависимость при значениях коэффициентов корреляции от -0,89 до -0,92. Таким образом, при увеличении засоренности посевов ячменя наблюдается почти прямая зависимость снижения урожайности зерна.

Таблица 2. Вредоносность щетинника сизого и щетинника зеленого в посевах ячменя

Table 2. The harmfulness of gray bristle and green bristle in barley crops

Год	Уравнение	Коэффициент корреляции r	Коэффициент детерминации R ²	Коэффициент вредоносности В, ц/га
Зависимость урожайности от численности сорняков, шт/м²				
<i>Прямая линейная функция</i>				
2021 г.	$Y = -0,1059x + 36,394$	-0,90	0,82	0,106
2022 г.	$Y = -0,1469x + 65,739$	-0,89	0,79	0,147
<i>Экспоненциальная функция</i>				
2021 г.	$Y = 36,428e^{-0,003x}$	-0,91	0,83	0,003
2022 г.	$Y = 64,781e^{-0,002x}$	-0,89	0,80	0,002
<i>Полиномиальная функция</i>				
2021 г.	$Y = 0,001x^2 - 0,1613x + 36,796$	-0,92	0,84	0,161
2022 г.	$Y = 0,0014x^2 - 0,2384x + 66,605$	-0,91	0,82	0,248
Зависимость урожайности от массы сорняков, г/м²				
<i>Прямая линейная функция</i>				
2021 г.	$Y = -0,3218x + 36,336$	-0,92	0,85	0,322
2022 г.	$Y = -0,2907x + 66,021$	-0,89	0,80	0,291
<i>Экспоненциальная функция</i>				
2021 г.	$Y = 36,368e^{-0,01x}$	-0,92	0,85	0,01
2022 г.	$Y = 66,063e^{-0,005x}$	-0,90	0,81	0,005
<i>Полиномиальная функция</i>				
2021 г.	$Y = 0,0088x^2 - 0,4758x + 36,676$	-0,93	0,86	0,476
2022 г.	$Y = 0,0047x^2 - 0,4363x + 66,595$	-0,91	0,82	0,436

Настоящие исследования и экспериментальные данные других авторов указывают на то, что наиболее удачной из-за простоты вычисления и логической интерпретации полученных результатов при расчете вредоносности сорняков является линейная функция. В частности, по мнению Н.В. Кабзарь и др. (2019 г.), зависимость между урожайностью проса и засоренностью достаточно точно описывается с помощью уравнения линейной регрессии следующего вида:

$$Y = A - BX,$$

где: Y — урожайность, ц/га; A — урожайность при полном отсутствии сорных растений в посевах, ц/га; B — коэффициент вредоносности сорных растений, показывающий изменение урожайности культуры при изменении засоренности на единицу; X — показатель засоренности на единицу площади, шт/м² (г/м²) [11].

Такого же мнения придерживается Р.В. Корпанов (2019 г.), который подчеркивает, что прямая, экспоненциальная и полиномиальная функции могут служить математическими моделями для описания зависимости между урожайностью и засоренностью посевов. Однако в прямых, экспоненциальных и полиномиальных функциях коэффициент вредоносности указывает на недобор урожая из-за единицы засоренности, в то время как в экспоненциальной функции этот коэффициент позволяет судить о темпе снижения урожайности [12].

Согласно рассчитанным прогностическим моделям доля (%) изменений урожайности зерна ячменя от засоренности его посевов щетинниками составила от 79 до 85%.

Коэффициент вредоносности различался по годам. В 2021 году его величина составила 0,106. Это говорит о том, что одно сорное растение на 1 м² посева снижало урожайность зерна на 0,106 ц/га, а в 2022 году (согласно коэффициенту вредоносности) — 0,147 ц/га на одно

² Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. М.: Колос. 1985; 351.

Таблица 3. Изменение урожайности ячменя от степени засоренности посева щетинником сизым и щетинником зеленым

Table 3. Change in barley yield from the degree of contamination of sowing with blue bristle and green bristle

Степень засоренности, шт/м ²	2021 г.		2022 г.		В среднем за 2021–2022 гг.	
	Масса сорняков, г/м ²	Урожайность, ц/га	Масса сорняков, г/м ²	Урожайность, ц/га	Масса сорняков, г/м ²	Урожайность, ц/га
0	0,0	36,7	0,0	66,7	0,0	51,7
10	3,0	35,4	5,4	64,4	4,2	49,9
20	5,7	34,2	10,2	62,4	8,1	48,3
30	10,4	32,4	18,6	60,0	14,5	46,2
40	13,5	32,1	24,1	59,6	18,8	45,9
50	16,1	31,7	28,8	58,6	22,5	45,2
Естественная засоренность, 52/67*	16,5	30,8	29,4	56,6	23,0	43,7
НСР ₀₅	1,33	1,05	2,39	1,81		

Примечание: * в числителе — 2021 г., в знаменателе — 2022 г.

сорное растение. Согласно математическим моделям линейной функции в расчете на 1 г воздушно-сухой массы сорного растения на 1 м² потери составили по годам исследований соответственно 0,322 и 0,291 ц/га.

В зависимости от вариантов опыта наблюдались изменения урожайности ячменя. При повышении численности и массы щетинников в посевах ячменя урожайность снижалась пропорционально увеличению засоренности. В частности, в 2021 году на варианте без сорняков этот показатель находился на уровне 36,7 ц/га, а на варианте с естественной засоренностью — 30,8 ц/га, в 2022 году — соответственно 66,7 и 56,6 ц/га. В среднем за годы исследований урожайность ячменя уменьшалась от 51,7 ц/га (без сорняков) до 43,7 ц/га (с естественной засоренностью) (табл. 3).

Таким образом, снижение урожайности ячменя сорта Деспина в зависимости от уровня засоренности его посевов на 7-м варианте опыта при естественной засоренности 60 шт/м² составило 16%.

Для покрытия дополнительных затрат, связанных с использованием гербицидов, в конкретных условиях хозяйства необходимо получить прибавку зерна ячменя при применении гербицида: Овсюген Супер, КЭ — 10,5, Аксилал 50, КЭ — 18,1, Пума Супер, ЭМВ — 18,0, Авантик Турбо, МД — 9,3 ц/га.

В результате анализа экономической эффективности применения гербицидов установлено, что различия в дополнительной урожайности ячменя обусловлены в первую очередь ценой гербицидов, что сказалось на затратах на их применение. Согласно рассчитанным технологическим картам (цены актуальны на 2023 г.), затраты изменялись от 1308 руб/га при использовании гербицида Авантик Турбо, МД до 2527 руб/га при использовании гербицида Аксилал 50, КЭ (табл. 4).

Таким образом, экономический порог вредоносности различался по годам исследований и составил: в 2021 г. для Овсюген Супер, КЭ — 10 шт/м² или 3,3 г/м²; Аксилал 50, КЭ и Пума Супер, ЭМВ — 17 шт/м², или 6 г/м²; Авантик Турбо, МД — 9 шт/м², или 2,89 г/м², а в 2022 году, соответственно, 7 шт/м², или 3,61 г/м², 12 шт/м², или 6,22 г/м², 6 шт/м², или 3,21 г/м².

Таблица 4. Экономическая эффективность применения гербицидов на ячмене сорта Деспина в конкретных условиях хозяйства (за 2021–2022 гг.)

Table 4. Economic efficiency of the use of herbicides on Despin barley in specific farming conditions

Гербицид	Общие затраты на 1 га, руб.	Затраты на применение гербицидов на 1 га, руб.	Чистый доход, руб/га
Овсюген Супер, КЭ	38 359	1470	68 881
Аксилал 50, КЭ	39 234	2527	65 346
Пума Супер 7,5, ЭМВ	38 908	2520	62 732
Авантик Турбо, МД	37 847	1308	66 313

Выводы/Conclusion

1. Модельные опыты по изучению вредоносности щетинника (мышей) сизого (*Setaria lauca*(L.) Beauv) и щетинника зеленого (*Setaria viridis* (L.) Beauv) в фитоценозах ячменя показали, что количество и масса сорняков оказывали существенное отрицательное влияние на формирование урожая пивоваренного ячменя сорта Деспина. Выявлена обратная сильная связь между его урожайностью и засоренностью посевов. Рассчитанные коэффициенты корреляции (r) при аппроксимации линейной функцией составили 0,89 (2021 г.) и 0,90 (2022 г.).

2. На основании проведенных исследований рассчитаны математические модели, характеризующие вредоносность щетинников в посевах ячменя в конкретных почвенно-экологических условиях. С точки зрения авторов, наиболее удачной из-за простоты вычисления и логической интерпретации полученных результатов является линейная функция, которая описывается следующими уравнениями регрессии:

$$Y = -0,1059x + 36,394 \text{ (2021 г.)}, R^2 = 0,82$$

$$Y = -0,1469x + 65,739 \text{ (2022 г.)}, R^2 = 0,79$$

Согласно математическим моделям линейной функции в расчете на одно сорное растение вредоносность щетинника составила от 0,106 ц/га в 2021 году до 0,147 ц/га в 2022-м, а в расчете на 1 г сорного растения потери, соответственно, 0,322 и 0,291 кг/га.

3. Экономические пороги вредоносности щетинника (мышей) сизого (*Setaria glauca* (L.) Beauv) и щетинника зеленого (*Setaria viridis* (L.) Beauv) в фитоценозах ячменя составили от 8 до 15 шт/м².

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. Оказова З.П., Ханиева И.М., Адаев Н.Л., Накаев С.-М.А., Коков Т.А., Забаков А.Б. Вредоносность сорных растений в посевах озимого ячменя как показатель уровня культуры земледелия. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023; (3): 297–300. <https://www.elibrary.ru/enrebj>

REFERENCES

1. Okazova Z.P., Khanieva I.M., Adaev N.L., Nakaev S.-M.A., Kokov T.A., Zabakov A.B. Harmful plants in winter barley crops as an indicator of the level of agricultural culture. *International Agricultural Journal*. 2023; (3): 297–300 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/enrebj>

2. Дворянкин Е.А. Распространенность и вредоносность сорняков в посевах сахарной свеклы в условиях ЦЧР. *Сахар*. 2019; (6): 46–50. <https://www.elibrary.ru/ztnfln>

3. Кафтан Ю.В. Влияние предшественников и минеральных удобрений на засоренность посевов яровой мягкой пшеницы в Оренбургском Предуралье. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020; (3): 34–38. <https://www.elibrary.ru/iwyjii>

4. Спиридонов Ю.Я., Будынов Н.И., Дудкин И.В., Стрижков Н.И., Суминова Н.Б. Влияние различных мер борьбы с сорняками в севообороте на засоренность заключительного поля. *Агрохимия*. 2020; (12): 38–44. <https://doi.org/10.31857/S0002188120120108>

5. Das T.K., Ahlawat I.P.S., Yaduraju N.T. Littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) resistance to clodinafop-propargyl in wheat fields in north-western India: Appraisal and management. *Weed Biology and Management*. 2014; 14(1): 11–20. <https://doi.org/10.1111/wbm.12028>

6. Письман Т.И., Ботвич И.Ю. Конкуренция культурных и сорных растений в агроценозах на основе спутниковой информации и математической модели. *Журнал СФУ. Техника и технологии*. 2018; 11(1): 95–101 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.17516/1999-494X-0013>

7. Спиридонов Ю.Я. Методические основы изучения вредоносности сорных растений. *Агрохимия*. 2007; (3): 68–77. <https://www.elibrary.ru/iaaprg>

8. Das T.K., Sen S., Raj R., Ghosh S., Behera B., Roy A. Economic threshold concept for weed management in crops: Usefulness and limitation. *Indian Journal of Weed Science*. 2021; 53(1): 1–13. <https://doi.org/10.5958/0974-8164.2021.00001.0>

9. Шпанев А.М., Байбакова Н.Я. Однолетние злаковые сорные растения в агроценозах Воронежской области. *Земледелие*. 2014; (8): 41–43. <https://www.elibrary.ru/taaltut>

10. Шпанев А.М. Подходы к оценке вредоносности сорных растений в агроценозах. *Вестник защиты растений*. 2011; (4): 57–70. <https://www.elibrary.ru/okrijl>

11. Кабзарь Н.В., Сорока С.В., Сорока Л.И. Пороги вредоносности однолетних двудольных зимующих сорных растений в посевах озимого тритикале. *Защита растений*. 2019; 43: 18–25. <https://www.elibrary.ru/bgccao>

12. Корпанов Р.В. Пороги вредоносности однолетних двудольных сорняков как основа рационального применения гербицидов в посевах люпина узколистного. *Защита растений*. 2019; 43: 40–49. <https://www.elibrary.ru/hgqavn>

2. Dvoryankin E.A. Frequency of occurrence and harmfulness of weeds in sugar beet fields under the Central Blackearth Region conditions. *Sahar*. 2019; (6): 46–50 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ztnfln>

3. Caftan Yu.V. The influence of predecessors and mineral fertilizers on weed infestation of soft wheat crops in Orenburg Priuralye. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; (3): 34–38 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/iwyjii>

4. Spiridonov Yu.Ya., Budynkov N.I., Dudkin I.V., Strizhkov N.I., Suminova N.B. Influence of various weed control measures in crop rotation on the final field's clogging. *Agrokhimiya*. 2020; (12): 38–44 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188120120108>

5. Das T.K., Ahlawat I.P.S., Yaduraju N.T. Littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) resistance to clodinafop-propargyl in wheat fields in north-western India: Appraisal and management. *Weed Biology and Management*. 2014; 14(1): 11–20. <https://doi.org/10.1111/wbm.12028>

6. Pisman T.I., Botvich I.Yu. Competition Between Crop and Weeds in Agroecosystems Studied Using Satellite Data and a Mathematical Model. *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies*. 2018; 11(1): 95–101. <https://doi.org/10.17516/1999-494X-0013>

7. Spiridonov Yu.Ya. Methodological Bases of Studying the Harmfulness of Weed Plants. *Agrokhimiya*. 2007; (3): 68–77 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/iaaprg>

8. Das T.K., Sen S., Raj R., Ghosh S., Behera B., Roy A. Economic threshold concept for weed management in crops: Usefulness and limitation. *Indian Journal of Weed Science*. 2021; 53(1): 1–13. <https://doi.org/10.5958/0974-8164.2021.00001.0>

9. Shpanev A.M., Baibakova N.Ya. Annual cereal weeds in agroecosystems Voronezh region. *Zemledelie*. 2014; (8): 41–43 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/taaltut>

10. Shpanev A.M. Approaches to the estimation of harmfulness of weed plants in agroecosystems. *Plant protection news*. 2011; (4): 57–70 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/okrijl>

11. Kabzar N.V., Soroka S.V., Soroka L.I. Thresholds of harmfulness of annual dicotyledonous winter weed plants in winter triticale crops. *Plant Protection*. 2019; 43: 18–25 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/bgccao>

12. Korpanov R.V. Thresholds of annual dicotyledonous weeds harmfulness as a basis for the rational use of herbicides in blue lupine. *Plant Protection*. 2019; 43: 40–49 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/hgqavn>

ОБ АВТОРАХ

Александр Леонидович Тойгильдин¹

доктор сельскохозяйственных наук, директор
atoigildin@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7713-5283>

Наталья Александровна Хайртдинова²

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры
земледелия, растениеводства и селекции
hairtdinova.natalia@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7203-2923>

Ирина Александровна Тойгильдина²

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры
земледелия, растениеводства и селекции
irina1082@list.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8620-2671>

Валерий Вадимович Сыромятников²

аспирант
syrom14@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0008-8132-5064>

Денис Энисович Аюпов²

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры
земледелия, растениеводства и селекции
ayupov1989@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2329-0181>

¹ Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал ФГБУН «Самарский научный центр Российской академии наук», ул. Институтская, 19, пос. Тимирязевский, Ульяновск, 433315, Россия

² Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, бульвар Новый Венец, 1, Ульяновск, 432017, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Alexander Leonidovich Toigildin¹

Doctor of Agricultural Sciences, Director
atoigildin@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7713-5283>

Natalia Alexandrovna Khairtdinova²

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the
Department of Agriculture, Crop Production and Breeding
hairtdinova.natalia@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7203-2923>

Irina Alexandrovna Toigildina²

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the
Department of Agriculture, Crop Production and Breeding
irina1082@list.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8620-2671>

Valery Vadimovich Syromyatnikov²

Graduate Student
syrom14@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0008-8132-5064>

Denis Enisovich Ayupov²

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the
Department of Agriculture, Crop Production and Breeding
ayupov1989@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2329-0181>

¹ Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture — Branch of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 19 Institutskaya Str., village Timiryazevsky, Ulyanovsk, 433315, Russia

² Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 1 Novy Venets Boulevard, Ulyanovsk, 432017, Russia

УДК 632.51:633.2(470.2)

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-85-88

А.М. Шпанев^{1, 2}¹ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия² Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

✉ ashpanev@mail.ru

Поступила в редакцию:
12.12.2023Одобрена после рецензирования:
13.03.2024Принята к публикации:
29.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-85-88

Alexander M. Shpanev^{1, 2}¹ All-Russian Institute of Plant Protection,
St. Petersburg, Russia² Agrophysical Research Institute,
St. Petersburg, Russia

✉ ashpanev@mail.ru

Received by the editorial office:
12.12.2023Accepted in revised:
13.03.2024Accepted for publication:
29.03.2024

Вредоносность сорной растительности в травостое многолетних трав на северо-западе РФ

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В структуре посевных площадей Северо-Западного региона Российской Федерации большой удельный вес занимают многолетние травы, травостой которых потенциально может иметь сильную засоренность, а вредоносность сорных растений — высокая. Несмотря на складывающуюся ситуацию, влияние сорных растений на формирование надземной массы трав остается малоизученным.

Методы. Цель исследования — оценка вредоносности сорной растительности в травостое многолетних трав 1-го и 2-го годов использования на северо-западе РФ. Исследования проводились в 2010–2018 гг. на полях зернотравяно-пропашного севооборота Менковского филиала Агрофизического НИИ, расположенного в Ленинградской области, в структуре длительного опыта с внесением минеральных удобрений и средств защиты растений.

Результаты. Проведенные исследования показали, что сорные растения причиняют значительно больший вред (в 6,3 раза) многолетним травам 1-го года пользования, чем травам 2-го года. Потери урожая от общей величины сырой фитомассы сорняков составили 15,75 ц/га (5,3%) и 2,51 ц/га (1%), в том числе от 1 г/м² на момент скашивания 0,150 ц/га (0,05%) и 0,07 ц/га (0,03%). Внесение высоких доз минеральных удобрений и применение гербицидов в интегрированной системе защиты культур зернотравяно-пропашного севооборота приводили к снижению вредоносности сорных растений. В многолетних травах 2-го года пользования выявленные эффекты оказались значительно более выражены, чем в травах 1-го года. Под влиянием минеральных удобрений коэффициенты вредоспособности снижались в 2,6 и 5,7 раза, системы защитных мероприятий — в 1,4 и 4,2 раза, а потери урожая зеленой массы — в 2,6 и 10,7 раза, 1,9 и 8,9 раза, соответственно, на травах 1-го и 2-го годов использования.

Ключевые слова: многолетние травы, сорные растения, вредоносность, коэффициент вредоспособности, потери урожая, минеральные удобрения, интегрированная система защиты растений

Для цитирования: Шпанев А.М. Вредоносность сорной растительности в травостое многолетних трав на северо-западе РФ. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 85–88.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-85-88>

© Шпанев А.М.

The harmfulness of weeds in the herbage of perennial grasses in the north-west of the Russian Federation

ABSTRACT

Relevance. In the structure of the acreage of the Northwestern region of the Russian Federation, a large proportion is occupied by perennial grasses, the herbage of which can potentially have severe weeds, and the harmfulness of weeds is high. Despite the current situation, the influence of weeds on the formation of an aboveground mass of grasses remains poorly understood.

Methods. The purpose of the study is to assess the harmfulness of weed vegetation in the herbage of perennial grasses of the 1st and 2nd years of use in the north-west of the Russian Federation. The research was carried out in 2010–2018 in the fields of grain-grass-row crop rotation of the Menkovsky branch of the Agrophysical Research Institute located in the Leningrad region, in the structure of long-term experience with the application of mineral fertilizers and plant protection products.

Results. Studies have shown that weeds cause significantly more harm (6.3 times) to perennial grasses of the 1st year of use than grasses of the 2nd year. Yield losses from the total value of the raw phytomass of weeds amounted to 15.75 c/ha (5.3%) and 2.51 c/ha (1%), including from 1 g/m² at the time of mowing 0.150 c/ha (0.05%) and 0.07 c/ha (0.03%). The introduction of high doses of mineral fertilizers and the use of herbicides in the integrated crop protection system of grain-grass-row crop rotation led to a decrease in the harmfulness of weeds. In the perennial herbs of the 2nd year of use, the identified effects were significantly more pronounced than in the herbs of the 1st year. Under the influence of mineral fertilizers, the hazard coefficients decreased by 2.6 and 5.7 times, the protective measures systems — by 1.4 and 4.2 times, and the yield losses of green mass — by 2.6 and 10.7 times, 1.9 and 8.9 times, respectively, on grasses of the 1st and 2nd years of use.

Key words: perennial grasses, weeds, harmfulness, harmfulness coefficient, crop losses, mineral fertilizers, integrated plant protection system

For citation: Shpanev A.M. The harmfulness of weeds in the herbage of perennial grasses in the north-west of the Russian Federation. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 85–88 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-85-88>

© Shpanev A.M.

Введение/Introduction

На фоне многочисленных публикаций, посвященных оценке вредоносности сорных растений в посевах зерновых, бобовых, масличных и других культур в самых разных регионах их возделывания, складывается устойчивое понимание того, что многолетние травы в данном аспекте изучения интересовали исследователей в меньшей степени.

В отечественной научной литературе превалирует мнение о высокой конкурентоспособности многолетних трав в отношении сорной растительности при формировании плотного травостоя и дернины, за счет чего достигается значительное снижение засоренности посевов последующих культур в севообороте [1–5]. Например, под влиянием костреца безостого, люцерны синей, лядвенца рогатого, эспарцета песчаного засоренность посевов яровой пшеницы снижалась в 8,4, 2,1, 1,7, 1,5 раза, соответственно, по сравнению с использованием в качестве предшественника — вико-овсяной смеси [6]. С другой стороны, отмечается, что в травостое многолетних трав, особенно при длительном их использовании, увеличивается присутствие многолетних видов сорных растений, как следствие, возрастает вероятность применения гербицидов при возделывании последующих культур [7–9]. Так, при возделывании картофеля по пласту многолетних трав формируется сложный тип засоренности с большим разнообразием многолетних видов и высокой численностью пырея ползучего, вследствие чего проведения одних только механических способов борьбы с сорной растительностью оказывается недостаточно [10].

Влияние сорных растений на формирование надземной массы трав по-прежнему остается мало изученным. Эти сведения актуальны прежде всего для регионов с большими площадями многолетних трав. К таковым относится Северо-Западный регион, традиционно специализирующийся на получении животноводческой продукции.

Цель настоящего исследования — оценка вредоносности сорной растительности в травостое многолетних трав 1-го и 2-го годов использования зернотравяно-пропашного севооборота на северо-западе РФ.

Материалы и методы исследования /

Materials and methods

Изучение вредоносности сорных растений в травостое многолетних трав проводилось на полях зернотравяно-пропашного севооборота Менковского филиала Агрофизического НИИ (Ленинградская обл., Гатчинский р-н) в 2010–2018 гг. Многолетние травы состояли из смеси клевера красного (сорт Орфей) и тимopheевки луговой (сорт Ленинградская 204), высеваемых в равной пропорции под покров ячменя ярового. Они использовались для получения сена на протяжении двух лет, а на следующий год высаживался картофель. Площадь одного поля — 0,6 га, севооборота — 4,2 га.

На полях зернотравяно-пропашного севооборота (начиная с момента его освоения в 1982 г.) осуществлялось внесение двух доз минеральных удобрений из расчета планируемой урожайности сельскохозяйственных культур. Удобрения вносились под все культуры, за исключением трав 1-го года пользования, перед посевом механическим способом поперек полей севооборота в виде смеси из азофоски и аммиачной селитры из расчета $\text{NPK } 100, 75, 75 \text{ кг д. в. / га } (\text{N}_{100}\text{P}_{75}\text{K}_{75})$

и 65, 50, 50 кг д. в. / га ($\text{N}_{65}\text{P}_{50}\text{K}_{50}$). В контрольном варианте удобрения не вносились на протяжении всего периода эксплуатации севооборота. С 2012 года схема опыта была расширена за счет включения еще одного изучаемого фактора — интегрированной системы защиты растений, которая не распространялась на многолетние травы. Согласно системе защиты ячменя ярового в посевах этой культуры, куда всевались травы, осуществлялась ежегодная обработка гербицидами («Агритокс», ВК Nufarm Australia Ltd, Австралия; «Базагран», ВР BASF, Германия) одной половины поля, тогда как вторая его часть являлась контролем, где не применялись средства защиты растений. Таким образом, схема опыта имела следующий вид: фактор А — уровень удобренности (без удобрений, $\text{N}_{65}\text{P}_{50}\text{K}_{50}$, $\text{N}_{100}\text{P}_{75}\text{K}_{75}$), фактор Б — интегрированная система защиты растений (без ИСЗР, с применением ИСЗР). Площадь делянки — 300 м^2 ($20 \times 15 \text{ м}$), повторность — трехкратная.

При оценке вредоносности использовались данные по засоренности травостоя и урожайности сырой массы многолетних трав после первого укоса с учетных площадок $0,1 \text{ м}^2$. Ежегодное их количество составляло 24, размещались они на поле таким образом, чтобы охватить все варианты опыта. В расчетах использовался такой показатель, как сырая фитомасса сорных растений, определяемая перед скашиванием трав¹. Согласно имеющимся представлениям именно этот показатель имеет наиболее тесную статистическую связь с урожайностью возделываемой культуры², а потому предпочтителен в сравнении с численностью или проективным покрытием [11]. Для оценки вредоносности сорных растений в травах 1-го и 2-го годов пользования рассчитывались однотипные уравнения парной регрессии, в которых зависимой переменной являлась масса культуры, а аргументами — надземная масса сорняков³.

Уравнения парной регрессии имели следующий вид:

$$Y = a + b \times x,$$

где: Y — фактическая урожайность надземной массы многолетних трав на учетных площадках; a — потенциальная урожайность трав при отсутствии влияния со стороны сорных растений; b — натуральный частный коэффициент парной регрессии, характеризующий влияние на урожайность трав сорных растений в пересчете на 1 г/м^2 ; x — общая фитомасса сорных растений на учетных площадках.

Расчеты велись в программе Statistica 6.0 (Tibco, США). По результатам расчетов уравнений получали значения натурального частного коэффициента парной регрессии (он же натуральный коэффициент вредоносности сорных растений), которые затем умножали на величину общей фитомассы сорняков, тем самым определяли потери урожая надземной массы многолетних трав (ц/га). Суммированием фактической урожайности трав и величиной потерь урожая определяли потенциальную урожайность, которая использовалась в расчетах относительного коэффициента вредоносности и потерь урожая (%).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В травостое многолетних трав зернотравяно-пропашного севооборота было выявлено произрастание 52 видов сорных растений, в том числе 29 видов 1-го года пользования, 41 вид — 2-го года.

¹ Зубков А.Ф. Методические указания по сбору полевой биоценологической информации.

² Фетюхин И.В., Авдеенко А.П., Авдеенко С.С., Рябцева Н.А., Черненко В.В. (сост.). Методы учета структуры сорного компонента в агрофитоценозах. Персиановский: Донской государственный аграрный университет. 2018; 76. <https://www.elibrary.ru/xmngqy>

³ Зубков А.Ф. Методические указания по оценке вредоносности комплекса вредных организмов при помощи путевого регрессионного анализа. Ленинград: ВИЗР. 1981; 32.

Повышенное разнообразие сорной растительности на полях многолетних трав 2-го года пользования было связано с присутствием таких видов, как кипрей узколистный (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub), полынь обыкновенная (*Atrémisia vulgaris* L.), зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.), борщевик Сосновского (*Heracleum Sosnowsky Mander*), щавель конский (*Rumex confertus* Willd.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), которые годом ранее на этом же поле отсутствовали.

Видовое обилие изменялось по годам в пределах 2–4 и 1–5 видов/м², а густота — 43–180 и 27–288 экз/м² в период весеннего отрастания многолетних трав. В травостое трав 1-го года пользования в большей численности встречались марь белая (*Chenopodium album* L.), торица полевая (*Spergula arvensis* L.), пикульники (*Galeopsis* spp.), щавель малый (*Rumex acetosella* L.), торичник красный (*Spergularia rubra* (L.) J. et C. Presl), фиалка полевая (*Viola arvensis* Murr.), ромашка непахучая (*Matricaria inodora* L.), тогда как 2-го года — марь белая, торица полевая, пикульники, щавель малый (*Rumex acetosella* L.).

Основные различия в засоренности трав 1-го и 2-го годов пользования обозначились в величине сформированной сорными растениями фитомассы за период их совместного произрастания, который прерывался одновременно со скашиванием травостоя. В травах 2-го года пользования надземная масса сорняков и их доля в общей массе агрофитоценоза оказались в 2,6 и 2,7 раза меньше, чем 1-го года (табл. 1).

Травостой многолетних трав 1-го года пользования в основной своей массе состоит из клевера красного, формирующего значительно большую надземную массу, чем тимopheевка луговая. Согласно произведенным расчетам уравнений парной регрессии, усредненные потери урожая многолетних трав 1-го года пользования от сорной растительности составили 15,75 ц/га (5,3%) при коэффициенте вредоспособности, характеризующем снижение фитомассы трав от 1 г/м² сорняков, равном 0,150 ц/га (0,05%).

На варианте с регулярным внесением высоких доз минеральных удобрений в поля севооборота сорные растения проигрывали конкурентную борьбу травам, что нашло отражение в сниженных коэффициентах вредоспособности и меньших потерях урожая по сравнению с неудобренным вариантом (табл. 2).

Проведение гербицидной обработки, предусмотренной в варианте с интегрированной системой защиты растений (ИСЗР), приводило к снижению численности и массы сорных растений в травостое многолетних трав 1-го года пользования, а также их вредоносности. Так, снижение коэффициента вредоспособности было 1,4 раза, общей величины недобора урожая сырой массы трав — 1,9 раза.

Вредоносность сорных растений в многолетних травах 2-го года пользования, характерной особенностью которых является преобладание в травостое тимopheевки луговой над клевером красным, выражалась меньшими значениями коэффициента вредоспособности (0,07 ц/га, 0,03% от 1 г/м²) и потерь урожая (2,51 ц/га, 1%). Влияние удобрений, усиливающее конкурентоспособность трав, проявлялось в большей степени, чем годом ранее. Различия в коэффициентах вредоспособности сорных растений на высокоудобренном и неудобренном вариантах достигли 5,7 раза, а в потерях урожая, притом что действие удобрений распространялось и на количественные параметры засоренности, — 10,7 раза (табл. 3).

Таблица 1. Засоренность травостоя многолетних трав в зерноотравно-пропашном севообороте (Ленинградская обл., 2010–2018 гг.)

Table 1. Weed station of perennial grasses in grain-grass-row crop rotation (Leningrad region, 2010–2018)

Показатели засоренности	Многолетние травы					
	1-го года пользования			2-го года пользования		
	среднее	min	max	среднее	min	max
Видовой состав, вид	17	14	21	15	10	26
Видовое обилие в период весеннего отрастания, вид/м ²	3	2	4	2	1	5
Густота в период весеннего отрастания, экз/м ²	104	43	180	111	27	288
Фитомасса в период укоса, г/м ²	104,5	7,8	236,3	39,8	12,6	92,9
Доля сорных растений в общей фитомассе, %	4,6	0,2	14,5	1,7	0,4	5,8

Таблица 2. Вредоносность сорных растений в травостое многолетних трав 1-го года пользования

Table 2. The harmfulness of weeds in the herbage of perennial grasses 1st year of use

Варианты опыта	Сырая фитомасса сорных растений перед укосом, г/м ²	Потери урожая от 1 г/м ² сырой фитомассы сорных растений		Потери урожая от общей величины сырой фитомассы сорных растений	
		ц/га	%	ц/га	%
N ₀ P ₀ K ₀	104,4	0,235	0,09	24,53	9,40
N ₁₀₀ P ₇₅ K ₇₅	105,1	0,089	0,03	9,35	3,15
Без ИСЗР*	118,6	0,140	0,05	16,60	5,93
ИСЗР	90,6	0,098	0,03	8,88	2,72

Примечание: * интегрированная система защиты растений.

Таблица 3. Вредоносность сорных растений в травостое многолетних трав 2-го года пользования

Table 3. The harmfulness of weeds in the herbage of perennial grasses 2nd year of use

Варианты опыта	Сырая фитомасса сорных растений перед укосом, г/м ²	Потери урожая от 1 г/м ² сырой фитомассы сорных растений		Потери урожая от общей величины сырой фитомассы сорных растений	
		ц/га	%	ц/га	%
N ₀ P ₀ K ₀	49,6	0,086	0,05	4,27	2,48
N ₁₀₀ P ₇₅ K ₇₅	26,9	0,015	0,01	0,40	0,27
Без ИСЗР*	51,5	0,139	0,06	7,16	3,09
ИСЗР	24,1	0,033	0,01	0,80	0,24

Примечание: * интегрированная система защиты растений.

Снижение вредоносности сорных растений на варианте с интегрированной системой защиты растений в травах 2-го года пользования оказалось сильнее выражено, чем в травах 1-го года. Различия в коэффициентах вредоспособности и потерях урожая надземной массы трав от сорняков составили 4,2 и 8,9 раза соответственно.

Выводы/Conclusion

Проведенные исследования показали, что сорные растения причиняют значительно больший вред (в 6,3 раза) многолетним травам 1-го года пользования, чем травам 2-го года. Потери урожая от общей величины сырой фитомассы сорняков составили 15,75 ц/га (5,3%) и 2,51 ц/га (1%), в том числе от 1 г/м² на момент скашивания — 0,150 ц/га (0,05%) и 0,07 ц/га (0,03%).

Внесение высоких доз минеральных удобрений и применение гербицидов в интегрированной системе защиты культур зерноотравно-пропашного севооборота приводили к снижению вредоносности сорных растений. В многолетних травах 2-го года пользования выявленные эффекты оказались значительно более выражены, чем в травах 1-го года. Под влиянием минеральных удобрений коэффициенты вредоспособности снижались в 2,6 и 5,7 раза, системы защитных мероприятий — в 1,4 и 4,2 раза, потери урожая зеленой массы — в 2,6 и 10,7 раза и в 1,9 и 8,9 раза, соответственно, на травах 1-го и 2-го годов использования.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
The author is responsible for the work and the submitted data.
Автор несет ответственность за плагиат.
The author is responsible for plagiarism.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.
The author declared no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тойгильдин А.Л., Морозов В.И., Подсевалов М.И. Средообразующие функции многолетних фитоценозов в севооборотах лесостепи Поволжья. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014; (4): 35–43. <https://www.elibrary.ru/thqfcd>
2. Морозов В.И., Тойгильдин А.Л., Подсевалов М.И. Флористический состав и динамика численности сорных растений агрофитоценозов в севооборотах лесостепной зоны Поволжья. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018; (4): 102–109. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-102-109>
3. Несмеянова М.А., Дедов А.В. Влияние межвидового агрофитоценоза на засоренность посевов культур севооборота. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2018; (1): 35–42. <https://www.elibrary.ru/yupdwk>
4. Каипов Я.З., Чукбар Н.А. Влияние биологизированных севооборотов на засоренность посевов в условиях засушливой степи Зауралья Башкортостана. *Аграрная наука*. 2022; (5): 67–72. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-359-5-67-72>
5. Моисеев А.Н., Моисеев Е.А. Засоренность травопольного севооборота в условиях северной лесостепи Тюменской области. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2022; (4): 121–124. <https://www.elibrary.ru/ldxjni>
6. Денисов Е.П., Солодовников А.П., Летучий А.В., Степанов Д.С. Фитомелиоративная роль многолетних трав в снижении засоренности посевов яровой пшеницы. *Аграрный научный журнал*. 2015; (2): 3–5. <https://www.elibrary.ru/tjoizj>
7. Борисова Е.Е. Значение севооборота и предшественников в снижении засоренности сельскохозяйственных культур. *Вестник НГИЭИ*. 2014; (6): 13–21. <https://www.elibrary.ru/sudqcp>
8. Моисеев А.Н., Моисеева К.В. Засоренность зернотравяного севооборота в северной лесостепи Тюменской области. *Аграрный вестник Урала*. 2017; (12): 44–47. <https://www.elibrary.ru/yndgbj>
9. Булавин Л.А., Булавина Т.М., Гвоздов А.П., Скируха А.Ч., Власов А.Г., Сорока С.В. Агротехнические приемы защиты посевов от сорняков в Беларуси. *Защита и карантин растений*. 2020; (9): 13–18. <https://www.elibrary.ru/kdiznu>
10. Смух В.В., Шпанев А.М. Борьба с сорняками на посадках картофеля, размещенных по пласту многолетних трав. *Защита и карантин растений*. 2017; (1): 18–21. <https://www.elibrary.ru/xwpxkl>
11. Кабзарь Н.В., Сорока С.В., Сорока Л.И. Пороги вредоносности однолетних двудольных зимующих сорных растений в посевах озимого тритикале. *Защита растений*. 2019; (3): 18–25. <https://www.elibrary.ru/bgccao>

ОБ АВТОРАХ

Александр Михайлович Шпанев^{1, 2}

доктор биологических наук:

¹ ведущий научный сотрудник лаборатории интегрированной защиты растений;

² главный научный сотрудник лаборатории опытного дела

ashpanev@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4346-318X>

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, шоссе им. Подбельского, 3, Пушкин, Санкт-Петербург, 196608, Россия

² Агрофизический научно-исследовательский институт, Гражданский пр-т, 14, Санкт-Петербург, 195220, Россия

REFERENCES

1. Toygildin A.L., Morozov V.I., Podsevalov M.I. Environment-forming functions of perennial plant communities in rotation of forest-steppe of Volga region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2014; (4): 35–43 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/thqfcd>
2. Morozov V.I., Toygildin A.L., Podsevalov M.I. Floristic composition and weed number dynamics of agrophytocenosis in crop rotation of the forest-steppe zone of the Volga region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018; (4): 102–109 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-102-109>
3. Nesmeyanova M.A., Dedov A.V. The influence of interspecific agrophytocenosis on weediness of crop rotation. *Vestnik of Omsk SAU*. 2018; (1): 35–42 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yupdwk>
4. Kaipov Ya.Z., Chukbar N.A. Impact of biologized crop rotations on infestation of crops in arid steppe conditions of Trans-Ural region of Bashkortostan. *Agrarian science*. 2022; (5): 67–72 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-359-5-67-72>
5. Moiseev A.N., Moiseev E.A. Pollution of the grass field cropland under the conditions of the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2022; (4): 121–124 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ldxjni>
6. Denisov E.P., Solodovnikov A.P., Letuchy A.V., Stepanov D.S. Phytomeliorative role of perennial grasses in decrease in a contamination of spring wheat crops. *Agrarian Scientific Journal*. 2015; (2): 3–5 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tjoizj>
7. Borisova E.E. Value precursors in crop rotation and reduce pollution agricultural crops. *Bulletin NGIEI*. 2014; (6): 13–21 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/sudqcp>
8. Moiseev A.N., Moiseeva K.V. Contamination of grain and grass crop rotation of northern forest-steppe of the Tyumen region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2017; (12): 44–47 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yndgbj>
9. Bulavin L.A., Bulavina T.M., Gvozdev A.P., Skirukha A.Ch., Vlasov A.G., Soroka S.V. Agrotechnical methods of the crops protection from the weeds in Belarus. *Plant protection and quarantine*. 2020; (9): 13–18 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kdiznu>
10. Smuk V.V., Shpanev A.M. Weed control in potato plantings located along a layer of perennial grasses. *Plant protection and quarantine*. 2017; (1): 18–21 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xwpxkl>
11. Kabzar N.V., Soroka S.V., Soroka L.I. Thresholds of harmfulness of annual dicotyledonous winter weed plants in winter triticale crops. *Plant Protection*. 2019; (3): 18–25 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/bgccao>

ABOUT THE AUTHORS

Alexander Mikhailovich Shpanev^{1, 2}

Doctor of Biological Sciences:

¹ Leading Researcher of the Laboratory of Integrated Plant Protection;

² Chief Researcher of the Experimental Laboratory

ashpanev@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4346-318X>

¹ All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo highway, Pushkin, St. Petersburg, 196608, Россия

² Agrophysical Research Institute, Agrophysical Research Institute, 14 Grazhdansky Prospekt, St. Petersburg, 195220, Russia

УДК 635.647; 635.071; 635.017.3

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-89-93

Л.В. Галактионова
А.Н. Сизенцов ✉
Н.А. Терехова
Д.Г. Федорова

Оренбургский государственный
университет, Оренбург, Россия

✉ asizen@mail.ru

Поступила в редакцию:
19.10.2023

Одобрена после рецензирования:
13.03.2024

Принята к публикации:
29.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-89-93

Lyudmila V. Galaktionova
Alexey N. Sizentsov ✉
Nadezhda A. Terekhova
Darya G. Fedorova

Orenburg state university, Orenburg,
Russia

✉ asizen@mail.ru

Received by the editorial office:
19.10.2023

Accepted in revised:
13.03.2024

Accepted for publication:
29.03.2024

Оценка влияния органических удобрений на ростовые и биохимические параметры *Lepidium sativum* и *Raphanus sativus*

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В статье представлены результаты изучения влияния органических удобрений различного происхождения на овощные культуры редиса и кресс-салата. Актуальность исследования связана с необходимостью поиска наиболее эффективных препаратов на основе гуминовых кислот из широкого перечня, предлагаемых к использованию в растениеводстве.

Методы. Исследования проведены в условиях модельного эксперимента в 2022–2023 гг. с гуминовыми удобрениями геологического («Гумат К») и биологического (AgroVerm и «Самород») происхождения. Изучение влияния мелиорантов проводили на овощных культурах — редисе сорта Жара и кресс-салате сорта Московский парниковый. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что внесение органических удобрений достоверно повышает всхожесть, стимулируют рост и развитие культур. Влияние гуминовых препаратов достоверно повышало ростовые показатели и содержание фотосинтетических пигментов в зеленой массе растений. Для культуры кресс-салата наибольшие значения урожайности (1,46 кг/м²) отмечены на фоне внесении препарата «Гумат К», а для редиса максимальная величина урожая (2,8 кг/м²) наблюдалась в варианте использования эфлюента «Самород».

Результаты. Результаты исследования подтвердили высокую эффективность использования гуминовых удобрений в условиях низкого почвенного плодородия и позволили выявить избирательную чувствительность овощных культур к гуминовым препаратам различного происхождения.

Ключевые слова: органические удобрения, гуминовые кислоты, овощные культуры, всхожесть, пигментный комплекс, урожайность

Для цитирования: Галактионова Л.В., Сизенцов А.Н., Терехова Н.А., Федорова Д.Г. Оценка влияния органических удобрений на ростовые и биохимические параметры *Lepidium sativum* и *Raphanus sativus*. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 89–93.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-89-93>

© Галактионова Л.В., Сизенцов А.Н., Терехова Н.А., Федорова Д.Г.

Assessment of the effect of organic fertilizers on growth and biochemical parameters of *Lepidium sativum* and *Raphanus sativus*

ABSTRACT

Relevance. The article presents the results of studying the effect of organic fertilizers of various origins on vegetable crops of radish and watercress. The relevance of the study is related to the need to find the most effective preparations based on humic acids from a wide list offered for use in crop production.

Methods. The research was carried out in a model experiment in 2022–2023 with humic fertilizers of geological (“Humate K”) and biological (“AgroVerm” and “Humate K”) origin. The study of the effect of meliorants was carried out on vegetable crops: radish of the Heat variety and watercress of the Moscow Greenhouse variety. The data obtained allow us to conclude that the application of organic fertilizers significantly increases germination, stimulates the growth and development of crops. The effect of humic preparations significantly increased growth indicators and the content of photosynthetic pigments in the green mass of plants with control. For the watercress culture, the highest yield values (1.46 kg /m²) were noted against the background of the introduction of the drug “Humate K”, and for radish, the maximum yield value (2.8 kg/ m²) was observed in the variant of using the effluent Samorod.

Results. The results of the study confirmed the high efficiency of using humic fertilizers in conditions of low soil fertility and revealed the selective sensitivity of vegetable crops to humic preparations of various origins.

Key words: organic fertilizers, humic acids, vegetable crops, germination, pigment complex, productivity

For citation: Galaktionova L.V., Sizentsov A.N., Terekhova N.A., Fedorova D.G. Assessment of the effect of organic fertilizers on growth and biochemical parameters of *Lepidium sativum* and *Raphanus sativus*. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 89–93 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-89-93>

© Galaktionova L.V., Sizentsov A.N., Terekhova N.A., Fedorova D.G.

Введение/Introduction

Повышение урожайности культурных растений — одна из приоритетных задач современного растениеводства. В районах с неблагоприятными агроклиматическими и почвенными условиями активно развиваются тепличное хозяйство, выращивание растений в искусственных грунтах и гидропоника. Поэтому интенсификация производства тесно связана с использованием минеральных и органических удобрений [1, 2]. Использование органических удобрений как полифункциональных препаратов является одним из важнейших факторов повышения почвенного плодородия [3–5].

Среди широкого перечня органических удобрений важное место отведено группе веществ естественного происхождения — гуминовых. Такие удобрения получают путем экстракции гумусовых кислот из торфа, бурого угля, сапропеля и некоторых видов глин. Еще одним способом их получения является компостирование органических отходов с использованием дождевых червей или микроорганизмов. Жидкие удобрения, полученные таким образом, называют биогумусом. Применение биогумуса (совместно с активным воздействием гуминовых кислот на почвенные свойства и растения) способствует повышению урожайности, улучшает плодородие почвы, уменьшает затраты на их возделывание, а также позволяет получать экологически чистую продукцию [6, 7].

В отличие от минеральных удобрений, они являются катализаторами ряда биохимических процессов, что связано с увеличением численности почвенных микроорганизмов, активным продуцированием ими экзоферментов и процессами трансформации растительных туков [8, 9].

Эффективность использования органических удобрений описана на примере полевых и модельных опытов при выращивании широкого диапазона культурных растений [10]. Повышенный интерес к применению гуминовых удобрений связан с их экологичностью, высокой эффективностью и пролонгированным действием.

Цель исследования — изучение влияния гуминовых удобрений различного происхождения на витальные, морфометрические и биохимические параметры *Lepidium sativum* L. и *Raphanus sativus* L. в условиях модельного эксперимента.

Материалы и методы исследований / Materials and methods

Исследования проведены в 2022–2023 гг. Для эксперимента были выбраны три вида гуминовых удобрений: гумат калия «Гумат К» (выделенный из бурых углей Тюльганского месторождения (Тюльганский р-н, Оренбургская обл., Россия) путем щелочной экстракции¹ на базе Инжинирингового центра ФГБОУ ВО ОГУ²), коммерческий препарат биогумуса AgroVerm (полученный в результате вермикомпостирования навоза КРС (производитель ООО «Биоэра»³) и препарат «Самород» (представляющий собой эффлюент, полученный после микробиологической трансформации отходов животноводства производства компании ООО «Комплексные системы утилизации»⁴).

Содержание гуминовых кислот в препарате «Гумат К» составило 52,5%, что обусловлено его происхождением и формой (порошок). Данный гумат был получен окислением бурого угля, а жидкие варианты удобрений AgroVerm и «Самород» содержат в своем составе до 82% воды, поэтому показатель выхода гуминовых кислот в их составе составил 5,6% и 0,9% соответственно. В связи с различиями в агрегатном состоянии удобрений для проведения их сравнительной оценки была рассчитана доза препаратов, которая обеспечивала внесение равнозначного количества органической формы углерода в вегетационные сосуды.

В качестве объектов исследования выступили растения кресс-салата Московский парниковый и редиса (редьки посевной) сорта Жара, выбор которых обусловлен тем, что они относятся к дающим устойчивые урожаи скороспелым (*Raphanus sativus*) и раннеспелым (*Lepidium sativum*) сортам, рекомендуемым для выращивания в условиях открытого и закрытого грунта, что определяет возможность получения хорошо воспроизводимых результатов при проведении экспериментальных исследований. Посевной материал приобретен в ООО «Группа компаний «Гавриш»⁵.

Схема опыта: 1 — контроль (без внесения гуминовых препаратов); 2 — препарат «Гумат К»; 3 — препарат «Самород»; 4 — препарат AgroVerm.

В качестве грунта использовали промытый 0,1 н. раствором H_2SO_4 и деионизированной водой, а затем прокаленный при температуре 140 °C более 6 часов кварцевый песок. Его закладывали в вегетационные сосуды, и вносили в соответствии с инструкцией препараты гуминовых удобрений, затем тщательно перемешивали, и в каждый сосуд высаживали семена согласно норме высева⁶ для каждой культуры. Проращивание проводили в фитокамере Pol-eko KK 1200 TOP+ (Pol-Eko-Aparatura, Польша) с учетом рекомендуемой для культур температуры (20–25 °C) продолжительностью светового дня 10 ч., влажности (55–65% ПВ), освещенности 15000 лм/м² в течение 35 дней, что было достаточно для формирования зеленой массы культур.

Опыт повторяли пять раз подряд. Схема представляла четыре варианта опыта по шесть повторностей в каждом.

Эксперимент включал предварительную обработку песка гуминовыми препаратами с последующей посадкой культурных растений и определением в течение эксперимента энергии прорастания и всхожести (в соответствии с ГОСТ 12038-84⁷), длину и массу надземных и подземных органов проводили (на 14-й день после появления всходов), а содержание фотосинтетических пигментов — согласно методике Н.Д. Смашевского⁸. Для этого точную навеску зеленой массы растений тщательно растирали, а пигменты экстрагировали 100%-ным раствором ацетона, оптическую плотность растворов определяли на спектрофотометре КФК-3-01-«ЗОМЗ» (АО «Загорский оптико-механический завод», Россия), содержание хлорофиллов *a* (Chl *a*) и *b* (Chl *b*) и каротиноидов (Car) пересчитывали в мг/г сырого веса.

Урожайность растений оценивали в кг/м² после окончания срока экспозиции эксперимента.

¹ ГОСТ 9517-94 Топливо твердое. Методы определения выхода гуминовых кислот.

² <http://www.osu.ru/doc/2477> Оренбург, Россия.

³ <https://begagro.com/> Москва, Россия.

⁴ <http://kompleksu.ru/> Оренбург, Россия.

⁵ <https://semenagavrish.ru/> Москва, Россия.

⁶ Норма высева — 18 г/м² для обеих культур.

⁷ ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.

⁸ Смашевский Н.Д. Практикум по физиологии растений: учебное пособие. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет». 2011; 77.

Статистический анализ данных выполняли с использованием метода дисперсионного анализа (ANOVA) при помощи программного пакета Microsoft Excel (США), для сравнения достоверности различий между показателями использовали показатель наименьшей существенной разницы при 5%-ном уровне значимости (HCP_{05}).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Всхожесть является показателем, который оценивает способность семян прорасти и развиваться на начальных этапах онтогенеза растений. Результаты определения энергии прорастания и всхожести культурных растений (рис. 1) свидетельствуют о том, что внесение гуминовых удобрений увеличивает показатели энергии прорастания и всхожести.

Максимальные значения всхожести редиса посевного (92,7%) отмечены в варианте внесения препарата «Гумат К», а кресс-салата (87,3%) — при внесении удобрения микробиологического происхождения «Самород».

Препарат AgroVerm стимулировал процесс прорастания, но значения витальных показателей редиса и кресс-салата при его использовании были ниже максимальных значений.

Оценка морфометрических показателей используется для изучения влияния различных удобрений и стимуляторов роста на организм растений. Результаты этих исследований для культуры кресс-салата (табл. 1) показали максимальное развитие корневых систем растений (36,74 мм) и надземных органов (332,67 мм) при использовании удобрения «Гумат К».

Использование всей линейки удобрений вызвало достоверное увеличение морфометрических показателей *Lepidium sativum* (за исключением массы корней в варианте внесения препарата «Гумат К»).

Данные по *Raphanus sativus* продемонстрировали наиболее выраженное стимулирующее воздействие на рост и развитие растения агропрепарата «Самород», внесение которого обеспечивало увеличение показателей длины проростков до 242,7 мм, длины и массы корней, соответственно, до 20,4 мм и 1,36 г по сравнению с контролем и другими вариантами опыта (табл. 2).

Препараты «Гумат К» и AgroVerm достоверно с контролем стимулировали рост и развитие надземных и подземных органов редиса посевного, но уступали максимальным значениям в длине проростков на 12,4%, длине и массе корней на 32,4–35,3% и 2,9–13,9% соответственно.

Несмотря на то что содержание фотосинтетических пигментов может варьировать в зависимости от комплекса факторов внешней среды, включая стадию развития, условий увлажнения, освещения и фона питания, состав пигментного аппарата остается информативным источником для оценки эффективности различных мелиоративных приемов. Так, концентрация фотосинтетических пигментов в листьях кресс-салата соответствовала классическим представлениям с преобладанием хлорофилла *a*, и использование удобрений вызвало его достоверное с контролем увеличение в вариантах внесения препаратов «Гумат К» и «Самород» (рис. 2).

Использование препарата «Самород» увеличивало до максимальных значений концентрацию Chl *b* (2,48 мг/г) и каротиноидов (3,5 мг/г). Из литературных данных известно, что повышение доли хлорофилла *b* в фотосинтезирующих тканях свидетельствует о повышении их светособирающей способности в той области

Рис. 1. Энергия прорастания и всхожесть культурных растений (* различия с контролем по НСР достоверны при уровне значимости 5%)

Fig. 1. Germination energy and germination of cultivated plants (* differences with control according to MSD are significant at a significance level of 5%)

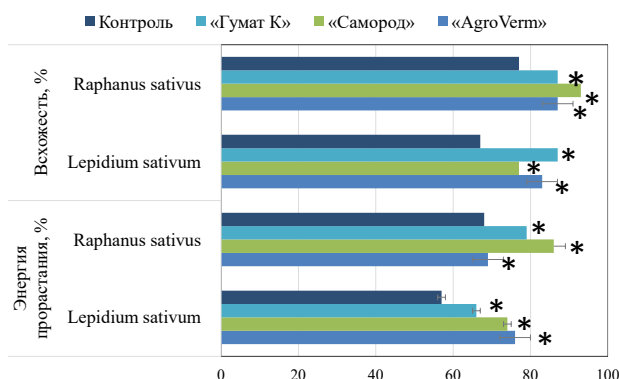


Таблица 1. Морфометрические параметры растений *Lepidium sativum*

Table 1. Morphometric parameters of plants *Lepidium sativum*

Варианты опыта	Длина проростков, мм	Длина корней, мм	Масса проростков, г	Масса 10 корней, г
Препарат AgroVerm	270,18 ± 0,9*	16,88 ± 0,3*	1,24 ± 0,7*	0,141 ± 0,02
Препарат «Самород»	304,21 ± 1,2*	27,42 ± 0,5*	1,65 ± 0,9*	0,145 ± 0,01*
Препарат «Гумат К»	332,67 ± 1,4*	36,74 ± 0,6*	2,64 ± 0,7*	0,197 ± 0,2*
Контроль	207,67 ± 1,1	11,41 ± 0,4	1,05 ± 0,04*	0,116 ± 0,3
НСР _{0,5}	6,6	0,75	0,088	0,03

Примечание: * различия с контролем по НСР достоверны при уровне значимости 5%.

Таблица 2. Морфометрические параметры растений *Raphanus sativus*

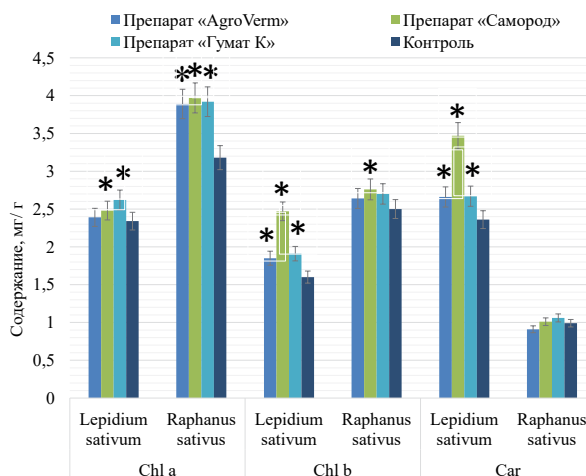
Table 2. Morphometric parameters of plants *Raphanus sativus*

Варианты опыта	Длина проростков, мм	Длина корней, мм	Масса проростков, г	Масса 10 корней, г
Препарат AgroVerm	212,6 ± 0,04*	13,20 ± 0,02*	1,32 ± 0,04*	0,27 ± 0,01
Препарат «Самород»	242,7 ± 0,60*	20,40 ± 0,10*	1,36 ± 0,12*	0,32 ± 0,02*
Препарат «Гумат К»	212,58 ± 0,70*	13,80 ± 0,06*	1,17 ± 0,04	0,24 ± 0,03
Контроль	142,4 ± 0,3*	7,10 ± 0,07	1,11 ± 0,03	0,21 ± 0,01
НСР _{0,5}	5,31	0,9	0,16	0,06

Примечание: * различия с контролем по НСР достоверны при уровне значимости 5%.

Рис. 2. Содержание фотосинтетических пигментов в растениях *Raphanus sativus* (* различия с контролем по НСР достоверны при уровне значимости 5%)

Fig. 2. Content of photosynthetic pigments in plants *Raphanus sativus* (* differences with the NSR control are significant at a significance level of 5%)



диапазона волн (около 450 нм), которая недоступна для хлорофилла *a*, а увеличение доли каротиноидов — о повышении стрессоустойчивости растений [11].

Особенности пигментного комплекса кресс-салата проявились в преобладании в составе пигментного комплекса Chl *a* и каротиноидов, а редиса — хлорофилла *a* и *b*. Перестройка в составе фотосинтетического аппарата влечет за собой изменение активности фотосинтетических пигментов, скорости накопления ассимилятов, что сказывается на росте и продуктивности растений, а высокая доля каротиноидов в листьях определяет его высокую пищевую ценность как источника ряда биологически активных веществ [12, 13].

По результатам анализа *Raphanus sativus* на содержание фотосинтетических пигментов можно отметить, что при использовании гуминовых удобрений происходит повышение концентрации Chl *a* (более чем в 5 раз). Ряд исследований указывают на то, что Chl *a* является основным пигментом, участвующим в фотосинтезе, тогда как Chl *b* является вспомогательным, поэтому увеличение концентрации первого свидетельствует о повышении фотосинтетической активности и интенсификации продукционного процесса [11, 13]. При этом показатели содержания Chl *b* достоверно различались с контролем только при внесении эфлюента «Самород», а в остальных вариантах опыта и по концентрации каротиноидов не отреагировали на использование препаратов.

Урожайность для культуры редиса на фоне внесения препаратов достоверно увеличивалась (при

$HCP_{0,5} = 0,15$) по сравнению с контролем (2,1 кг/м²) во всех вариантах опыта. Внесение препаратов AgroVerm и «Самород» характеризовалось увеличением показателя до максимальных значений показателя, которые составили 2,5 кг/м² и 2,8 кг/м² соответственно. Культура кресс-салата характеризовалась достоверным ростом урожая зеленой массы ($HCP_{0,5} = 0,06$) с 0,72 до 1,21 кг/м² и 1,31 кг/м² соответственно в вариантах внесения удобрений AgroVerm и «Самород», а максимальное увеличение урожайности до 1,46 кг/м² наблюдалось на фоне использования препарата «Гумат К».

Вывод/Conclusion

Использование гуминовых удобрений стимулировало всхожесть овощных культур, повышало содержание фотосинтетических пигментов и урожайность овощных культур.

Для кресс-салата наибольшая всхожесть, морфометрические показатели и биомасса урожая (1,46 кг/м²) наблюдались в варианте внесения коммерческого препарата «Гумат К», а для культуры редиса посевного лучшие показатели отмечены при внесении гуминового препарата «Самород» с максимальной величиной урожая 2,8 кг/м².

Исследование продемонстрировало высокую эффективность гуминовых удобрений и позволило выявить избирательную чувствительность овощных культур к гуминовым препаратам различного 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

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-10079 (<https://rscf.ru/project/23-26-10079/>). Финансирование получено в рамках участия в конкурсе грантов 2023 года на «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» (региональный конкурс).

FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-26-10079 (<https://rscf.ru/project/23-26-10079/>). Funding was received as part of participation in the 2023 grant competition for «Conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research by small individual scientific groups» (regional competition).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Timilsena Y.P., Adhikari R., Casey P., Muster T., Gill H., Adhikari B. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(6): 1131–1142. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6812>
- Gilland B. Nitrogen, Phosphorus, Carbon and Population. *Science Progress*. 2015; 98(4): 379–390. <https://doi.org/10.3184/003685015X14437845647018>
- Jiang Y. et al. Rotation cropping and organic fertilizer jointly promote soil health and crop production. *Journal of Environmental Management*. 2022; 315: 115190. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115190>
- Guo X.-x., Liu H.-t., Wu S.-b. Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment*. 2019; 662: 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>
- Darch T. et al. Fertilizer produced from abattoir waste can contribute to phosphorus sustainability, and biofortify crops with minerals. *PLoS ONE*. 2019; 14(9): e0221647. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221647>
- Martinez-Balmori D., Spaccini R., Aguiar N.O., Novotny E.H., Olivares F.L., Canellas L.P. Molecular Characteristics of Humic Acids Isolated from Vermicomposts and their Relationship to Bioactivity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014; 62(47): 11412–11419. <https://doi.org/10.1021/jf504629c>
- Shang L., Wan L., Zhou X., Li S., Li X. Effects of organic fertilizer on soil nutrient status, enzyme activity, and bacterial community diversity in *Leymus chinensis* steppe in Inner Mongolia, China. *PLoS ONE*. 2020; 15(10): e0240559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240559>
- Павлов А.А. Оценка влияния гуминового удобрения при комплексном внесении с органическими и минеральными удобрениями на урожайность и качество вико-овсяной смеси. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023; 15(2): 38–44. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.20.83.006>

REFERENCES

- Timilsena Y.P., Adhikari R., Casey P., Muster T., Gill H., Adhikari B. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(6): 1131–1142. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6812>
- Gilland B. Nitrogen, Phosphorus, Carbon and Population. *Science Progress*. 2015; 98(4): 379–390. <https://doi.org/10.3184/003685015X14437845647018>
- Jiang Y. et al. Rotation cropping and organic fertilizer jointly promote soil health and crop production. *Journal of Environmental Management*. 2022; 315: 115190. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115190>
- Guo X.-x., Liu H.-t., Wu S.-b. Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment*. 2019; 662: 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>
- Darch T. et al. Fertilizer produced from abattoir waste can contribute to phosphorus sustainability, and biofortify crops with minerals. *PLoS ONE*. 2019; 14(9): e0221647. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221647>
- Martinez-Balmori D., Spaccini R., Aguiar N.O., Novotny E.H., Olivares F.L., Canellas L.P. Molecular Characteristics of Humic Acids Isolated from Vermicomposts and their Relationship to Bioactivity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014; 62(47): 11412–11419. <https://doi.org/10.1021/jf504629c>
- Shang L., Wan L., Zhou X., Li S., Li X. Effects of organic fertilizer on soil nutrient status, enzyme activity, and bacterial community diversity in *Leymus chinensis* steppe in Inner Mongolia, China. *PLoS ONE*. 2020; 15(10): e0240559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240559>
- Pavlov A.A. Assessment of the effect of humic fertilizer in complex application with organic and mineral fertilizers on the yield and quality of vetch-oats. *Herald of Ryzan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2023; 15(2): 38–44 (in Russian). <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.20.83.006>

9. De Corato U. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. *Science of the Total Environment*. 2020; 738: 139840. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139840>

10. da Silva M.S.R.A. *et al.* Humic Substances in Combination With Plant Growth-Promoting Bacteria as an Alternative for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Microbiology*. 2021; 12: 719653. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.719653>

11. Khan I., Zada A., Jia T., Hu X. Effect of the Enhanced Production of Chlorophyll *b* on the Light Acclimation of Tomato. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(4): 3377. <https://doi.org/10.3390/ijms24043377>

12. Sathasivam R., Bong S.J., Park C.H., Kim J.H., Kim J.K., Park S.U. Identification, Characterization, and Expression Analysis of Carotenoid Biosynthesis Genes and Carotenoid Accumulation in Watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *ACS Omega*. 2021; 7(1): 430–442. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04802>

13. Giallourou N., Oruna-Concha M.J., Harbourne N. Effects of domestic processing methods on the phytochemical content of watercress (*Nasturtium officinale*). *Food Chemistry*. 2016; 212: 411–419. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.190>

9. De Corato U. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. *Science of the Total Environment*. 2020; 738: 139840. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139840>

10. da Silva M.S.R.A. *et al.* Humic Substances in Combination With Plant Growth-Promoting Bacteria as an Alternative for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Microbiology*. 2021; 12: 719653. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.719653>

11. Khan I., Zada A., Jia T., Hu X. Effect of the Enhanced Production of Chlorophyll *b* on the Light Acclimation of Tomato. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(4): 3377. <https://doi.org/10.3390/ijms24043377>

12. Sathasivam R., Bong S.J., Park C.H., Kim J.H., Kim J.K., Park S.U. Identification, Characterization, and Expression Analysis of Carotenoid Biosynthesis Genes and Carotenoid Accumulation in Watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *ACS Omega*. 2021; 7(1): 430–442. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04802>

13. Giallourou N., Oruna-Concha M.J., Harbourne N. Effects of domestic processing methods on the phytochemical content of watercress (*Nasturtium officinale*). *Food Chemistry*. 2016; 212: 411–419. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.190>

ОБ АВТОРАХ

Людмила Вячеславовна Галактионова

кандидат биологических наук, доцент
anilova.osu@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0781-3752>

Алексей Николаевич Сизентов

кандидат биологических наук, доцент
asizen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1099-3117>

Надежда Алексеевна Терехова

ассистент
terehova_n99@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0766-2600>

Дарья Геннадьевна Федорова

кандидат биологических наук
daryaorlova24@ramble.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5323-4965>

Оренбургский государственный университет,
пр. Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Lyudmila Vyacheslavovna Galaktionova

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
anilova.osu@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0781-3752>

Alexey Nikolaevich Sizentsov

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
asizen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1099-3117>

Nadezhda Alekseevna Terekhova

Assistant
terehova_n99@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0766-2600>

Darya Gennadievna Fedorova

Candidate of Biological Sciences
daryaorlova24@ramble.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5323-4965>

Orenburg State University,
13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia

А.П. Кожемяков¹
В.Б. Минин² ✉
Ю.В. Лактионов¹
С.П. Мельников³
А.М. Захаров²

¹ Всероссийский НИИ
сельскохозяйственной микробиологии,
Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

² Институт агроинженерных
и экологических проблем
сельскохозяйственного производства —
филиал ФГБНУ «Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ», Тярлево,
Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский
государственный аграрный
университет, Пушкин, Санкт-Петербург,
Россия

✉ minin.iamfe@mail.ru

Поступила в редакцию:
16.12.2023

Одобрена после рецензирования:
13.03.2024

Принята к публикации:
29.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-94-100

Andrey P. Kozhemyakov¹
Vladislav B. Minin² ✉
Yuri V. Laktionov¹
Sergey P. Melnikov³
Anton M. Zakharov²

¹ All-Russian Research Institute of
Agricultural Microbiology, Pushkin,
St. Petersburg, Russia

² Institute of Agroengineering and
Environmental Problems of Agricultural
Production — Branch of the Federal State
Budgetary Institution “Federal
Scientific Agroengineering Center VIM”,
Tyarlevo, St. Petersburg, Russia

³ Saint Petersburg State Agrarian
University, Pushkin, Saint Petersburg,
Russia

✉ minin.iamfe@mail.ru

Received by the editorial office:
16.12.2023

Accepted in revised:
13.03.2024

Accepted for publication:
29.03.2024

Особенности воздействия микробиологического препарата «Флавобактерин» на урожайность и качество клубней картофеля сорта Удача

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Производство органической продукции ориентировано на максимальное использование природных ресурсов. Особое значение придается природной азотфиксации, которая обеспечивает агроценозы азотом, фиксированным из атмосферы и переведенным в формы, доступные растениям, а также повышает урожайность благодаря выделению бактериями питательных элементов, гормонов роста и осуществления биоконтрольной функции. Во Всероссийском институте сельскохозяйственной микробиологии был создан микробиологический препарат «Флавобактерин», который проявляет азотфиксирующую активность, а также подавляет широкий спектр фитопатогенных грибов и бактерий, вызывающих заболевания растений.

Методы. Полевые исследования воздействия «Флавобактерина» на картофель проводились с 2018 по 2022 год в органическом севооборотном опыте, расположенном на экспериментальной площадке Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая на остаточном карбонатном моренном суглинке, характеризующаяся слабокислой реакцией и высоким содержанием органического вещества. Возделывался картофель сорта Удача. Исследования проводились с органическим удобрением — компостом «БИАГУМ», приготовленным из куриного помета индустриальным способом. Клубни картофеля обрабатывались биопрепаратом «Флавобактерин» при посадке, а затем по листьям.

Результаты. Погодные условия в летний период в годы исследований существенно отличались друг от друга. Во все годы исследования, за исключением засушливого 2021-го, внесение «Флавобактерина» достоверно повышало продуктивность картофеля в среднем на 4,6 т/га (даже без компоста). В эти же годы использование компоста совместно с «Флавобактерином» повышало продуктивность картофеля в среднем на 2,6 т/га по сравнению с вариантами, где компост использовался без биопрепарата.

Ключевые слова: азотфиксация, биопрепарат, компост, картофель, крахмал, погодные условия, органическое производство

Для цитирования: Кожемяков А.П., Минин В.Б., Лактионов Ю.В., Мельников С.П., Захаров А.М. Особенности воздействия микробиологического препарата «Флавобактерин» на урожайность и качество клубней картофеля сорта Удача. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 94–100.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-94-100>

© Кожемяков А.П., Минин В.Б., Лактионов Ю.В., Мельников С.П., Захаров А.М.

Features of the microbial biological “Flavobacterin” impact on the yield and quality of potato tubers of the Udacha variety

ABSTRACT

Relevance. Organic production is focused on maximizing the use of natural resources. Particular importance is attached to natural nitrogen fixation. Nitrogen fixation provides agricultural systems with nitrogen fixed from the atmosphere and converted into forms accessible to plants. The microbial biological “Flavobacterin”, which exhibits nitrogen-fixing activity and also suppresses a wide range of phytopathogenic fungi and bacteria, was created at the All-Russian Institute of Agricultural Microbiology.

Methods. Field studies of the “Flavobacterin” effects on potatoes were carried out from 2018 to 2022 in an organic crop rotation located at the Experimental Station of the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production Branch of FSAC VIM.

Results. The soil of the experimental plot is soddy-podzolic, light loamy gleyic on residual carbonate moraine loam, characterized by a slightly acidic reaction and a high content of organic matter. Udacha variety potatoes were cultivated. The studies were carried out with organic fertilizer — BIAGUM compost, prepared from chicken manure by industrial method. Potato tubers were treated with a “Flavobacterin” when planting, and then on the leaves. Weather conditions in summer during the years of research differed significantly from each other. In all years of the study, with the exception of the dry year 2021, the application of “Flavobacterin” significantly increased potato productivity by an average of 4.4 t/ha, without compost. In the same years, the use of compost together with “Flavobacterin” increased potato productivity by an average of 2.6 t/ha compared to options where compost was used without biological.

Key words: nitrogen fixation, biological product, compost, potatoes, starch, weather conditions, organic production

For citation: Kozhemyakov A.P., Minin V.B., Laktionov Yu.V., Melnikov S.P., Zakharov A.M. Features of the microbial biological Flavobacterin impact on the yield and quality of potato tubers of the Udacha variety. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 94–100 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-94-100>

© Kozhemyakov A.P., Minin V.B., Laktionov Yu.V., Melnikov S.P., Zakharov A.M.

Введение/Introduction

Производство органической продукции ориентировано на максимальное использование природных ресурсов, включая те, что предоставляет почва. При этом необходимо обеспечить бережное и восстанавливающее отношение к почве, организацию эффективной переработки органических отходов рециклинга во всей сельскохозяйственной деятельности, подбор и возделывание устойчивых сортов и применение эффективных биопрепаратов для борьбы с болезнями и вредителями [1]. Особое значение придается природной азотфиксации, которая обеспечивает агроценозы азотом, фиксированным из атмосферы и переведенным в формы, доступные растениям.

Существует несколько экологических групп азотфиксаторов: свободноживущие (ассоциативные) и симбиотические. Первая группа преимущественно обитает в ризосфере растений и выполняет ряд полезных для растений функций, таких как стимуляция роста и развития растений, защита от фитопатогенов, уменьшение воздействия стрессовых факторов на растения. Симбиотические микроорганизмы (клубеньковые бактерии) более тесно взаимодействуют с бобовыми растениями, образуя специализированный симбиотический аппарат — клубеньки, благодаря которым растение приобретает способность фиксировать атмосферный азот воздуха и переводить его в доступную для растений форму [1–3].

За последние годы интерес к микробиологическим препаратам на основе ассоциативных ризобактерий стремительно растет. Прежде всего это обусловлено способностью микробиологических препаратов значительно повышать урожайность благодаря выделению бактериями питательных элементов, гормонов роста, фиксации азота и увеличению фосфорного питания за счет подкисления труднорастворимых форм данного элемента в почве, а также осуществлять биоконтрольную функцию, то есть защиту сельскохозяйственной продукции от патогенов. В сравнении с минеральными удобрениями и химическими средствами защиты растений микробиологические препараты имеют более низкую стоимость, благодаря чему увеличивается рентабельность производства растениеводческой продукции [4–7]. Большая часть микробиологических препаратов имеют сертификаты, позволяющие их использование в производстве органической продукции. Обзор по использованию биологических препаратов в России и за рубежом представил Р.Р. Азизбеян. Он отметил, что в России общий объем потребления средств биологического контроля составляет лишь 1% от объема применения синтетических пестицидов, при этом примерно 90% используемых в России биопрепаратов являются импортными [8].

На протяжении многих лет вопросами изучения микроорганизмов, обладающих хозяйственно ценными свойствами, занимаются ученые Всероссийского НИИ сельскохозяйственной микробиологии. Там создана коллекция культур полезных микроорганизмов, которая является основой для разработки биопрепаратов [9–11]. Свободноживущие (ассоциативные) азотфиксаторы — это микроорганизмы, образующие ассоциации на корнях и в ризосфере небобовых растений. Основной зоной обитания ассоциативных азотфиксаторов является объем почвы, непосредственно окружающий корень растения. Здесь количество диазотрофов у некоторых видов растений от 400 до 10 тыс. раз

превышает их концентрацию в других пространствах почвы, в филлосфере растений и т. д. [12]. Наибольшая численность ассоциативных бактерий в базальной части корня, где происходит интенсивное выделение органических веществ. У молодых растений бактериальное покрытие в этой корневой части составляет 2–9% корневой поверхности [13]. Микробиологический препарат «Флавобактерин» создан на основе штамма *Flavobacterium* sp. L-30, депонированного во Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ). Штамм обладает высокой азотфиксирующей активностью, а также способностью подавлять широкий спектр фитопатогенных грибов и бактерий, вызывающих заболевания растений. В исследованиях с яровой пшеницей использование «Флавобактерина» способствовало повышению продуктивности зерновой культуры и развитию микробиологического сообщества в прикорневой зоне [14].

Цель исследований — установить эффективность воздействия «Флавобактерина» на продуктивность картофеля и его взаимодействия с компостом при меняющихся погодных условиях.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевые исследования воздействия «Флавобактерина» на картофель (*Solanum Tuberosum*) проводились с 2018 по 2022 год в органическом севооборотном опыте [15]. Поле входит в состав экспериментальной площадки Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИАЭП), расположенной на юге г. Павловска, входящего в Санкт-Петербург.

Севооборот включает в себя перечень культур, широко используемых для возделывания в Северо-Западном регионе, имеющий следующее чередование: картофель, свекла столовая, ячмень с подсевом клевера и тимофеевки, многолетние травы 1-го года, 2-го года и 3-го года, распахка и подсев озимой ржи на зеленое удобрение. Весной озимая рожь скашивается, заделывается в почву, а затем почва готовится для посадки картофеля.

Почва опытного участка — дерново-подзолистая, легкосуглинистая, глееватая, на остаточном карбонатном моренном суглинке. Характеризуется слабокислой реакцией среды и высоким содержанием органического вещества (табл. 3). Содержание подвижных соединений фосфора и калия отличается достаточно высокой вариабельностью. Анализы были выполнены в химико-аналитических лабораториях ИАЭП и Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.

В опыте в ходе реализации разработанной в институте опытной органической технологии возделывания картофеля изучались две группы факторов: а) уровень минерального питания, обеспеченный действием компоста «БИАГУМ» на основе куриного помета; б) действие микробиологического препарата «Флавобактерин», имеющего азотфиксирующую функцию.

В опыте возделывался картофель сорта Удача, районированный в Ленинградской области. Это раннеспелый сорт столового назначения, умеренно восприимчив к фитофторозу по ботве и умеренно устойчив по клубням, выведенный в Федеральном исследовательском центре картофеля им. А.Г. Лорха (патент на сорт

№ 86)¹. Клубни картофеля обрабатывались биопрепаратом при посадке, а затем по листьям, перед бутонизацией и через 10 дней, при норме расхода препарата 3 л на 2 га⁻¹.

Исследования проводили с одним видом органических удобрений — компостом «БИАГУМ», приготовленным на основе куриного помета индустриальным способом в экспериментальном биоферментаторе ИАЭП². Данный биоферментатор, обеспечивающий аэробное интенсивное компостирование, был разработан в институте ИАЭП и там же используется. В компост входят N_{общ.} 4970 мг/кг, P_{общ.} 2690 мг/кг и K_{общ.} 2890 мг/кг. Он характеризуется 62,2% влажности и имеет слабощелочную реакцию.

С задачей установить наиболее эффективную дозу компоста под картофель в опыте в 2018–2020 годах использовалась 1-я доза компоста. В 2021 году использовались 1-я и 3-я дозы, а в 2022-м — 2-я доза компоста (табл. 1).

Компост вносился в почву вручную за день до посадки картофеля и заделывался в почву культиватором.

В опыте с картофелем вносился микробиологический препарат с азотфиксирующей функцией «Флавобактерин», разработанный ВНИИСХМ³. Клубни картофеля обрабатывались биопрепаратом при посадке, а затем по листьям два раза, перед бутонизацией и через 10 дней, при норме расхода биопрепарата 3 л га⁻¹. Посадка картофеля осуществлялась МТЗ-82 (Минский тракторный завод, Беларусь) с КСМ-4 (ООО «Агропромаш», Россия) со специально разработанным в ИАЭП опрыскивателем клубней.

Варианты опыта, в которых использовался «Флавобактерин», сравнивались с вариантами без него. Схема опыта представлена в таблице 2.

Площадь делянки в опыте — 61,6 м² (5,6 м × 11 м). Повторность четырехкратная, расположение делянок рендомизированное. Ширина междурядья — 0,7 м, учетную площадь делянки составляют четыре срединных гребня, на которых проводится отбор образцов в динамике, и четыре гребня (по два с обеих сторон) выполняли защитную функцию. Учет урожая проводился на четырех срединных гребнях делянки.

Отобранные со всех делянок образцы клубней картофеля размещались в сетчатых мешках и отправлялись в химико-аналитическую лабораторию института на анализ, часть образцов были отправлены в хранилище. В образцах картофеля определялись: содержание сухого вещества — согласно ГОСТ 28561-90⁴, крахмал — по ГОСТ 7194-81⁵, нитраты — согласно ГОСТ 29270-95⁶, аскорбиновая кислота — согласно ГОСТ 24556-89⁷. Товарность клубней картофеля, а также выделение заболелших клубней определялись согласно ГОСТ 7176-2017⁸.

Погодные условия определялись в динамике автоматической метеостанцией Davis Vantage pro 2 (Австралия), установленной на здании Опытной станции.

Результаты опыта были обработаны биометрически в программах Windows Excel и Statistic 10 (США).

Таблица 1. Дозы компоста в опыте

Table 1. Doses of compost in the experiment

№ дозы компоста	Физическая масса дозы компоста	Содержание азота в данной дозе компоста
	т/га	кг N/га
1-я	4,30	80
2-я	6,45	110
3-я	8,60	160

Таблица 2. Схема опыта с «Флавобактерином», которым клубни обрабатывались при посадке, а затем листья

Table 2. Scheme of the experiment with Flavobacterin, with which the tubers were treated during planting, and then the leaves

Доза компоста	«Флавобактерин»	Годы исследования				
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
0	0	х	х	х	х	х
1	0	х	х	х	х	—
2	0	—	—	—	—	х
3	0	—	—	—	х	—
0	х	х	х	х	х	х
1	х	х	х	х	х	—
2	х	—	—	—	—	х
3	х	—	—	—	х	—

Примечание: х — в этот год данный вариант опыта был реализован, — в этот год данный вариант не был реализован.

Таблица 3. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой почвы, выбранной для органического земледелия

Table 3. Agrochemical characteristics of sod-podzolic soil selected for organic farming

Агрохимический показатель	Размерность	Размах вариаций значений	Среднее
pH _{KCl}	—	5,65–6,99	6,73
Органическое вещество	%	7,4–10,0	8,4
Обменный K ₂ O	мг/кг	91–194	151,1
Подвижный P ₂ O ₅	мг/кг	77–184	107,2
Ca + Mg	мг-экв/кг	256–305	27,4

Таблица 4. Погодные условия в вегетационный период в годы исследований

Table 4. Weather conditions during the growing season during the years of research

Месяц	Показатель погодных условий	Годы исследований					Средне-многолетние значения
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Май	Температура, °C	15,1	12,1	10,0	11,6	8,5	11,3
	Осадки, мм	14,0	79,3	53,0	172,0	15,0	46,0
	ГТК Селянинова	0,6	2,1	0,6	0,3	0,32	—
Июнь	Температура, °C	16,2	18,7	19,2	20,9	17,4	15,7
	Осадки, мм	35,2	79,3	129,4	16,6	47,6	71,0
	ГТК Селянинова	1,0	1,4	2,3	0,3	0,91	—
Июль	Температура, °C	20,8	16,5	17,6	22,0	18,7	18,8
	Осадки, мм	152,0	179,8	186,2	16,8	85,2	79,0
	ГТК Селянинова	2,9	3,5	3,4	0,3	1,47	—
Август	Температура, °C	15,7	17,0	17,2	15,8	20,0	16,9
	Осадки, мм	60,1	94,6	195,9	109,2	149,6	83,0
	ГТК Селянинова	2,0	1,8	3,8	2,2	1,66	—

Примечание: ГТК — гидротермический коэффициент увлажнения, предложенный Г.Т. Селяниновым [16].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

1.1. Погодные условия

Погодные условия в летний период в годы исследований существенно отличались друг от друга (табл. 4). Май самым теплым оказался в 2018 году, а наибольшее количество осадков в мае выпало в 2021 году. Погодные

¹ Номер регистрации — 361395, дата внесения записи в Государственный реестр — 18.05.2018.

² Briukhanov A., Subbotin I., Uvarov R., Vasilev E. Method of designing of manure utilization technology. 2017.

³ Номер регистрации — 361395, дата внесения записи в Государственный реестр — 18.05.2018.

⁴ ГОСТ 28561-90 Продукты переработки сухих веществ и влаги.

⁵ ГОСТ 7194-81 Картофель свежий. Правила приемки и методы определения качества.

⁶ ГОСТ 29270-95 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения нитратов.

⁷ ГОСТ 24556-89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С.

⁸ ГОСТ 7176-2017. Картофель продовольственный. Технические условия.

условия в 2019, 2020 и 2022 годах характеризовались достаточно комфортными температурами и обильным количеством осадков в период активного развития картофеля (июнь — август). Максимальное количество осадков за весь вегетационный период выпало в 2020 году.

Самые засушливые условия наблюдались в период активного развития картофеля — в июне и июле 2021 года. За эти два месяца выпало всего 33,4 мм осадков. Температура почвы в зоне клубнеобразования в конце июня — июле поднялась выше 20°, а влажность почвы понижалась до 15%, что привело к некоторой задержке развития клубней картофеля.

В таблицах 5, 6 представлены данные об общей биологической урожайности клубней и урожайности стандартных клубней за 5 лет. Обращает на себя внимание, что действие «Флавобактерина» на продуктивность картофеля различалось по годам и зависело от совместного использования с компостом.

Во все годы исследования, за исключением засушливого 2021 года, внесение «Флавобактерина» достоверно повышало продуктивность картофеля даже без компоста. Превышение за эти годы в среднем составило около 4,4 т/га, в то же время использование компоста совместно с «Флавобактерином» в среднем на 2,6 т/га

Таблица 5. Биологическая продуктивность картофеля в годы исследования, т/га

Table 5. Biological productivity of potatoes during the years of study, t/ha

Доза компоста, кг N/га	Биопрепарат	Годы исследований				
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
0	0	19,50	23,33	20,81	14,03	22,07
80	0	25,15	30,92	25,04	15,98	—
110	0	—	—	—	—	29,72
160	0	—	—	—	22,37	—
0	«Флавобактерин»	24,25	32,03	22,54	12,96	24,55
80	«Флавобактерин»	28,72	44,47	27,66	17,88	—
110	«Флавобактерин»	—	—	—	—	31,28
160	«Флавобактерин»	—	—	—	20,91	—
HCP _{0,95}				0,61	3,61	2,46
		За все годы HCP _{0,95} = 3,43				

Таблица 6. Урожайность стандартного картофеля сорта Удача в годы исследования, т/га

Table 6. Productivity of standard potatoes of the Udacha variety during the years of research, t/ha

Доза компоста, кг N/га	Биопрепарат	Годы исследований				
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
0	0	17,07	21,21	20,25	13,37	20,38
80	0	21,31	24,86	25,44	16,46	—
110	0	—	—	—	—	27,58
160	0	—	—	—	23,07	—
0	«Флавобактерин»	22,50	25,63	22,87	11,18	22,73
80	«Флавобактерин»	26,37	31,72	27,33	17,10	—
110	«Флавобактерин»	—	—	—	—	28,95
160	«Флавобактерин»	—	—	—	20,16	—
HCP _{0,95}				0,86	3,63	3,08
		За все годы HCP _{0,95} = 1,76				

Таблица 7. Доля мелкого картофеля в составе биологического урожая, %

Table 7. Share of small potatoes in the biological yield, %

Доза компоста, кг N/га	Биопрепарат	Годы				
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
0	0	7,69	1,20	1,92	3,64	7,07
80	0	8,37	1,03	1,53	4,76	—
110	0	—	—	—	—	4,25
160	0	—	—	—	3,07	—
0	«Флавобактерин»	4,96	0,67	1,92	5,01	7,49
80	«Флавобактерин»	5,23	0,97	2,15	3,05	—
110	«Флавобактерин»	—	—	—	—	3,24
160	«Флавобактерин»	—	—	—	2,20	—

повышало продуктивность картофеля по сравнению с вариантами, где компост использовался без биопрепарата. Близкие результаты получены при анализе действия «Флавобактерина» и компоста на урожай стандартных клубней картофеля.

Наилучшие условия для развития картофеля сложились в 2019 году, в то же время было самое малое количество мелкого картофеля (табл. 7) и отсутствие клубней, пораженных болезнями (рис. 1). В остальные годы на вариантах с «Флавобактерином» отмечалось меньшее количество клубней, пораженных болезнями. Болезни клубней были представлены в основном ризоктониозом, в значительно меньшей степени — серебристой паршой. Единичные клубни были поражены антракнозом.

Статистическая обработка суммарных данных о продуктивности картофеля за все годы исследований позволила установить характер воздействия погодных условий на этот показатель.

Уравнение, которое лучше всего описывает формирование продуктивности картофеля при использовании препарата «Флавобактерин», следующее:

$$Y = 5,9599 + 0,077973 A + 0,535332 B + 1,705106 C^2 + 2,060035 B \times C, [1]$$

$$R = 0,8931$$

где: Y — общая продуктивность картофеля, т/га; A — доза компоста, N, кг/га; B — ГТК в июле; C — ГТК в мае.

Рис. 1. Доля клубней картофеля пораженных болезнями в биологическом урожае, %

Fig. 1. The proportion of potato tubers affected by diseases in the biological harvest, %

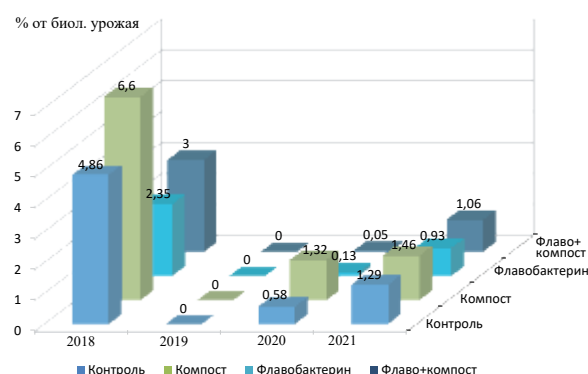


Рис. 2. Зависимость общей продуктивности картофеля (Var 6), т/га от дозы компоста (Var 11) и ГТК в июле (Var 13). Варианты опыта, где вносился «Флавобактерин»

Fig. 2. Dependence of the total potato productivity (Var 6), t/ha on the dose of compost (Var 11) and GTC in July (Var 13). Variants of the experiment where "Flavobacterin" was introduced

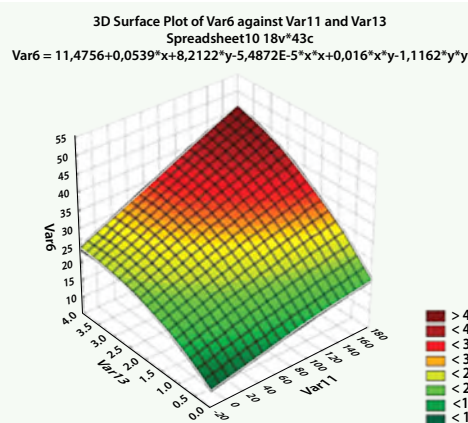


Таблица 8. Влияние погодных условий и агроприемов на содержание крахмала от массы клубней картофеля и сбор крахмала
Table 8. The influence of weather conditions and agricultural practices on the starch content in potato tubers and starch collection

Доза компоста, кг N/га	Биопрепарат	Годы исследований									
		2018 г.		2019 г.		2020 г.		2021 г.		2022 г.	
		кр., %	сбор, т/га	кр., %	сбор, т/га	кр., %	сбор, т/га	кр., %	сбор, т/га	кр., %	сбор, т/га
0	0	15,7	2,7	14,8	3,5	13,5	2,8	14,8	1,9	16,1	4,1
80	0	17,1	3,6	13,4	4,1	16,2	4,1	14,5	2,6	–	–
110	0	–	–	–	–	–	–	–	–	11,4	3,1
0	«Флавобактерин»	17,4	3,9	14,7	4,7	13,9	3,1	15,8	1,9	12,3	2,9
80	«Флавобактерин»	16,2	4,3	15,6	6,9	15,5	4,3	13,0	2,5	–	–
110	«Флавобактерин»	–	–	–	–	–	–	–	–	10,3	3,0

Примечание: кр. — содержание крахмала в клубнях картофеля, %.

Таблица 9. Влияние компоста и «Флавобактерина» на биохимический состав клубней картофеля в зависимости от погодных условий
Table 9. The influence of compost and «Flavobacterin» on the biochemical composition of potato tubers depending on weather conditions

Доза компоста, кг N/га	Биопрепарат	Годы исследования											
		2018 г.			2019 г.			2020 г.			2021 г.		
		аск. кисл., мг/100 г	NO ₃ мг/кг	СВ, %	аск. кисл., мг/100 г	NO ₃ мг/кг	СВ, %	аск. кисл., мг/100 г	NO ₃ мг/кг	СВ, %	аск. кисл., мг/100 г	NO ₃ мг/кг	СВ, %
0	0	9,9	30,4	21,96	–	22,0	19,77	1,4	159,5	19,51	–	93,3	23,18
80	0	9,2	69,2	20,79	–	52,2	19,18	2,3	138,9	20,44	–	110,2	–
110	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	19,79	5,5
160	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	144,8	348,5
0	«Флавобактерин»	10,0	73,4	22,47	–	85,5	20,49	3,0	145,5	20,21	–	83,8	21,91
80	«Флавобактерин»	13,2	96,6	21,16	–	94,0	21,22	2,3	115,3	18,63	–	92,6	–
110	«Флавобактерин»	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	19,98	6,8
160	«Флавобактерин»	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	178,8	–

Примечание: СВ — сухое вещество, аск. кисл. — аскорбиновая кислота.

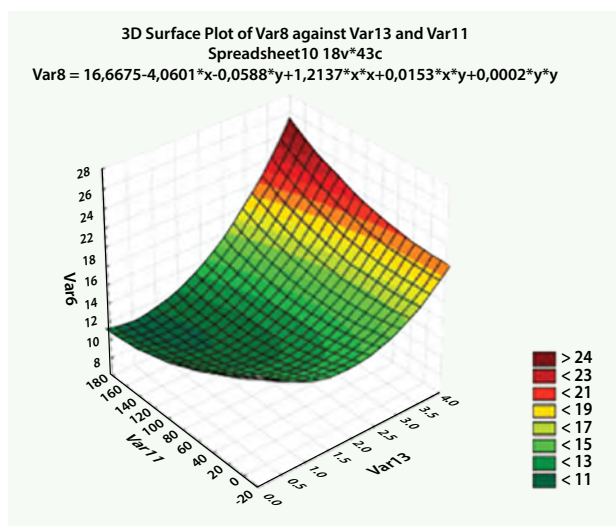
Таким образом, данная зависимость подтверждает, что максимальное воздействие на продуктивность картофеля оказывали компост и погодные условия в мае и июле.

Упрощенная зависимость общей продуктивности картофеля на вариантах с использованием «Флавобактерина» от дозы компоста и ГТК в июле представлена на рисунке 1.

Одной из основных задач при производстве столового картофеля и картофеля для пищевой промышленности является хорошее качество клубней. При этом основные показатели качественного состава клубней картофеля — содержание сухого вещества, крахмала и нитратов.

Рис. 3. Зависимость содержания крахмала в клубнях картофеля (Var 8) от дозы компоста (Var 11) и ГТК в июле (Var 13)

Fig. 3. Dependence of starch content in potato tubers (Var 8) on the dose of compost (Var 11) and GTC in July (Var 13)



На биохимический состав клубней в значительной степени влияют обеспеченность питательными веществами в процессе развития растений и складывающиеся погодные условия в конкретной местности [17].

В опыте клубни картофеля на контрольном варианте содержали максимальное количество сухих веществ в 2019 и 2022 годах (табл. 9). Однако использование компоста и повышение урожайности несколько снижали содержание сухого вещества в эти годы.

Минимальное количество нитратов в клубнях картофеля было отмечено в 2019 году, что связано с максимальной продуктивностью картофеля в этот период. Кроме того, с урожаем картофеля было собрано большее количество крахмала в 2018–2020 годах на вариантах с «Флавобактерином» по сравнению с вариантами без биопрепарата (табл. 8).

В 2022 году продуктивность картофеля была несколько ниже. При этом на вариантах с компостом в клубнях картофеля было максимальное количество нитратов, а содержание крахмала снижалось. По всей видимости, в этот год растениям не хватило достаточного количества энергии для восстановления всего количества нитратов, поступившего в клубни, и дальнейшей переработки их в белковые и другие, более сложные соединения. По этой же причине накопилось недостаточное количество крахмала на вариантах с компостом.

Статистическая обработка данных о содержании крахмала в клубнях картофеля за все годы позволила рассчитать следующее уравнение зависимости данного показателя от дозы компоста и погодных условий:

$$Y = -1,1837 - 0,0165 A - 3,2658 B + 67,9856 C + 32,3871 C^2 - 19,1723 B \times C$$

$$R = 0,69055281$$

где: Y — содержание крахмала в клубнях картофеля, %; A — доза компоста, кг/га; B — ГТК в июле; C — ГТК в мае.

Более наглядная версия представлена на рисунке 3.

Опыт, который проходил с 2018 по 2022 год, позволил собрать достаточный объем экспериментальных данных для формирования определенных заключений.

Во-первых, урожайность картофеля в условиях региона в значительной степени определялась погодными условиями. В опыте картофель был посажен в самом конце мая с целью ухода от возможных заморозков и провокации развития сорной растительности, которую удаляли до посадки картофеля. Тем не менее на продуктивность картофеля существенно влияли погодные условия мая. По всей видимости, это связано с накоплением влаги в почве в мае, которое потом используется растущими растениями картофеля в июне. Следующий месяц, оказавший существенное воздействие на

развитие картофеля, — июль. Именно в этом месяце (с учетом прекращения белых ночей и приходом темных со 2 июля) активно развиваются клубни картофеля, для чего необходимы достаточное количество влаги и соответствующий температурный режим. Следует отметить, что такие же условия, по всей видимости, более подходят для развития микроорганизмов, входящих в состав «Флавобактерина», который обеспечивал положительное влияние на развитие растений картофеля. В свою очередь, компост, предоставляя элементы питания, достоверно способствовал развитию клубней картофеля и формированию урожая при всех рассмотренных погодных условиях.

Во-вторых, погодные условия и агротехнические мероприятия оказывали достаточно сложное, разнонаправленное влияние на формирование и накопление крахмала в клубнях картофеля. Известно, что для накопления крахмала в клубнях картофеля необходимы активный фотосинтез и интенсивный переход сахарозы из листьев в клубни, которая там превращается в крахмал⁹.

При использовании компоста не всегда хватает энергии для поддержания такой же концентрации крахмала в клубнях картофеля, как и на контрольных вариантах, но при более высокой продуктивности. Свою роль оказывают и погодные условия, которые могут сформировать более или менее благоприятные условия для фотосинтеза. Наиболее благоприятные погодные условия отмечены в 2019 году, при которых даже на вариантах

с компостом при достижении продуктивности в 44 т/га было зафиксировано повышенное содержание крахмала по сравнению с контролем.

Вывод/Conclusion

1. Исследованиями, проведенными в 2018–2022 годах, установлено, что в условиях органического севооборота биологический урожай картофеля сорта Удача на вариантах с «Флавобактерином» (без компоста) варьировал от 12,96 до 32,63 т/га.

2. Использование микробиологического препарата «Флавобактерин» на картофеле сорта Удача (без участия других удобрений) достоверно повышало урожайность картофеля (в среднем на 4,6 т/га), снижало заболеваемость клубней и в благоприятные по погодным условиям годы способствовало большему выходу крахмала с урожаем (на 1,2 т/га).

3. На вариантах, где совместно использовались компост «БИАГУМ» на основе куриного помета и микробиологический препарат «Флавобактерин» продуктивность картофеля сорта Удача повышалась за годы исследований в среднем на 2,6 т/га по сравнению с вариантом с компостом. При этом же сочетании агротехнических действий при благоприятных погодных условиях, имевших место в 2019 году, отмечались повышенное содержание крахмала и его сбор с урожаем (6,9 т/га), а также содержание сухих веществ (21%). В другие годы эта тенденция сохранялась, но не столь определенно.

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. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Экология азотфиксации. М.: РАН. 2019; 252. ISBN 978-5-907036-03-1 <https://www.elibrary.ru/nffwsg>
2. Peoples M.B., Herridge D.F., Ladha J.K. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil*. 1995; 174(1–2): 3–28. <https://doi.org/10.1007/BF00032239>
3. Добровольская Т.Г. и др. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв. *Почвоведение*. 2015; (9): 1087–1096. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15090038>
4. Хамова О.Ф., Шулико Н.Н., Дороненко В.Д. Роль биологического азота в формировании качества зерна ячменя при длительном применении удобрений и инокуляции семян в южной лесостепи Западной Сибири. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2017; (4): 82–86. <https://www.elibrary.ru/zxgtqt>
5. Семейкин В.А., Пигорев И.Я., Тарасов А.А., Глинущкин А.П., Плыгун С.А., Сычева И.И. Микробные препараты и регуляторы роста как средства биологизации земледелия. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 2016; (11): 3–9. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2016-11.01>
6. Холод Н.А. Оценка биологических фунгицидов для контроля доминирующих микозов земляники садовой. *Научные труды СКФНЦБВ*. 2017; 13: 84–87. <https://www.elibrary.ru/zmwfol>
7. Лапа В.В., Михайловская Н.А., Касьянчик С.А., Цыбулько Н.Н., Барашенко Т.Б. Эффективность бактериальных удобрений (азобактерина и калипланта) при возделывании зерновых культур на эродированных дерново-подзолистых почвах. *Агрохимия*. 2020; (2): 28–36. <https://doi.org/10.31857/S0002188120020088>
8. Азизбекян Р.Р. Биологические препараты для защиты сельскохозяйственных растений (обзор). *Биотехнология*. 2018; 34(5): 37–47. <https://www.elibrary.ru/vkivvy>
9. Петров В.Б., Чеботарь В.К. Микробиологические препараты — базовый элемент современных интенсивных агротехнологий растениеводства. *Достижения науки и техники АПК*. 2011; (8): 11–15. <https://www.elibrary.ru/obgjrj>
10. Железняков С.В., Калинина Т.В., Деева В.К., Лактионов Ю.В., Якоби Л.М. Изучение фосфатомобилизующей способности штаммов *Agrobacterium radiobacter* 10 и *Pseudomonas chlororaphis* ПГ7 in vitro. *Сельскохозяйственная биология*. 2022; 57(1): 158–170. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.1.158rus>

REFERENCES

1. Zavalin A.A., Sokolov O.A., Shmyreva N.Ya. Ecology nitrogen fixation. Moscow: Russian Academy of Sciences. 2019; 252 (in Russian). ISBN 978-5-907036-03-1 <https://www.elibrary.ru/nffwsg>
2. Peoples M.B., Herridge D.F., Ladha J.K. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil*. 1995; 174(1–2): 3–28. <https://doi.org/10.1007/BF00032239>
3. Dobrovolskaya T.G. et al. The role of microorganisms in the ecological functions of soils. *Eurasian Soil Science*. 2015; 48(9): 959–967. <https://doi.org/10.1134/S1064229315090033>
4. Khamova O.F., Shuliko N.N., Doronenko V.D. The role of biological nitrogen in the barley grain quality under the conditions of long-term use of fertilizers and inoculation of seeds in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Vestnik of Omsk SAU*. 2017; (4): 82–86 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zxgtqt>
5. Semykin V.A., Pigorev I.Ya., Tarasov A.A., Glinushkin A.P., Plygun S.A., Sycheva I.I. Microbial preparations and growth regulators as means of biologization of agriculture. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 2016; (11): 3–9 (in Russian). <https://doi.org/10.18551/rjoas.2016-11.01>
6. Holod N.A. Evaluation of biological fungicides for control of dominant mycoses of garden strawberry. *Nauchnye trudy SKFNTsSVV*. 2017; 13: 84–87 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zmwfol>
7. Lapa V.V., Mikhailouskaya N.A., Kasyanchuk S.A., Tsybulko N.N., Barashenko T.B. Efficiency of biofertilizers (azobacterin and kalipant) for grain crops growing on eroded sod-podzolic soils. *Agrokhimiya*. 2020; (2): 28–36 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188120020088>
8. Azizbekyan R.R. Biological preparations for the protection of agricultural plants (review). *Biotechnology*. 2018; 34(5): 37–47. <https://www.elibrary.ru/vkivvy>
9. Petrov V.B., Chebotar V.K. Microbiological preparations are a basic element of modern intensive agricultural technologies of crop production. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2011; (8): 11–15 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/obgjrj>
10. Zheleznyakov S.V., Kalinina T.V., Deeva V.K., Laktionov Yu.V., Jacobi L.M. The study of *Agrobacterium radiobacter* 10 and *Pseudomonas fluorescens* PG7 phosphate-mobilizing abilities in vitro. *Agricultural Biology*. 2022; 57(1): 158–170. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.1.158eng>

11. Кожемяков А.П. и др. Агротехнологические основы создания усовершенствованных форм микробных биопрепаратов для земледелия. *Сельскохозяйственная биология*. 2015; 50(3): 369–376. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.3.369rus>
12. van Elsas J.D., Nijnen C.E. Methods for the introduction of bacteria into soil (a review). *Biology and Fertility of Soils*. 1990; 10(2): 127–133. <https://doi.org/10.1007/BF00336248>
13. Кравченко Л.В. Ризосфера — область взаимодействия микроорганизмов и растений. *Сельскохозяйственная микробиология в XIX–XXI вв.* Санкт-Петербург: 2001; 59.
14. Хуаз С.Х., Рапетсоа М.К., Лебедев В.Н. Влияние микроудобрения «Флавобактерин» на ростовые процессы и микрофлору почвы прикорневой зоны яровой пшеницы в различные фазы роста. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2022; (3): 41–49. <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-3-41-49>
15. Минин В.Б., Захаров А.М., Мельников С.П., Васильев М.А. Продуктивность и качество картофеля, возделываемого по биологизированной технологии в условиях Ленинградской области. *АгроЭкоИнженерия*. 2021; (3): 51–66. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-51-65>
16. Селянинов Г.Т. Климатическое районирование СССР для сельскохозяйственных целей. Мурзаев Э.М. (ред.). Памяти академика Л.С. Берга. Сборник работ по географии и биологии. М.; Л.: АН СССР. 1955; 187–225.
17. Naumann M., Koch M., Thiel H., Gransee A. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part II: Plant Nutrition and Tuber Quality. *Potato Research*. 2020; 63(1): 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>

ОБ АВТОРАХ

Андрей Петрович Кожемяков¹

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий
kojemayakov@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9657-2454>

Владислав Борисович Минин²

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
minin.iamfe@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5207-8921>

Юрий Владимирович Лактионов¹

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий
Laktionov@arriam.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6241-0273>

Сергей Петрович Мельников³

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой
fraspm@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0948-9511>

Антон Михайлович Захаров²

кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе
bauermw@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3501-0543>

11. Kozhemyakov A.P. et al. The scientific basis for the creation of new forms of microbial biochemicals. *Agricultural Biology*. 2015; 50(3): 369–376. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.3.369eng>

12. van Elsas J.D., Nijnen C.E. Methods for the introduction of bacteria into soil (a review). *Biology and Fertility of Soils*. 1990; 10(2): 127–133. <https://doi.org/10.1007/BF00336248>

13. Kravchenko L.V. The rhizosphere is an area of interaction between microorganisms and plants. *Agricultural Microbiology in XIX–XXI centuries*. St. Petersburg. 2021; 59 (in Russian).

14. Khuaz S.H., Rapetsoa M.C., Lebedev V.N. Influence of Flavobacterin microbiofertilizer on growth processes and soil microflora of spring wheat root zone in different growth phases. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2022; (3): 41–49 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-3-41-49>

15. Minin V.B., Zakharov A.M., Melnikov S.P., Vasilev M.A. Yielding capacity and quality of potato cultivated by biology-based technology in the conditions of the Leningrad region. *AgroEcoEngineering*. 2021; (3): 51–66 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-51-65>

16. Selyaninov G.T. Climatic zoning of the USSR for agricultural purposes. Murzaev E.M. (ed.). In memory Academician L.S. Berg. Collection of works on geography and biology. Moscow; Leningrad: *Academy of Sciences of the USSR*. 1955; 187–225 (in Russian).

17. Naumann M., Koch M., Thiel H., Gransee A. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part II: Plant Nutrition and Tuber Quality. *Potato Research*. 2020; 63(1): 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>

ABOUT THE AUTHORS

Andrey Petrovich Kozhemyakov¹

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Ecology of Symbiotic and Associative Rhizobacteria
kojemayakov@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9657-2454>

Vladislav Borisovich Minin²

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher
minin.iamfe@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5207-8921>

Yuri Vladimirovich Laktionov¹

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Ecology of Symbiotic and Associative Rhizobacteria
Laktionov@arriam.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6241-0273>

Sergei Petrovich Melnikov³

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Soil Science and Agrochemistry Named after L.N. Alexandrova
fraspm@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0948-9511>

Anton Mikhailovich Zakharov²

Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Scientific Work
bauermw@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3501-0543>

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, шоссе Подбельского, 3, Пушкин, Санкт-Петербург, 196608, Россия

² Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филитовское шоссе, 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196607, Россия

¹ All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology, 3 Podblskogo highway, Pushkin, St. Petersburg, 196608, Russia

² Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production — Branch of the Federal Scientific AgroEngineering Centre VIM. 3 Filitrovskoe highway, Tyarlevo, St. Petersburg, 196625, Russia

³ St. Petersburg State Agrarian University, 2 Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196607, Russia

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107

Я.В. Пухальский¹ ✉
 С.И. Лоскутов¹
 В.Р. Сидорова²
 А.И. Якубовская³
 Д.Д. Мещеряков⁴
 И.А. Каменева³

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

² ООО «ПрофПриоритет», Санкт-Петербург, Россия

³ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

⁴ ИП LedForPlant, Красноярск, Россия

✉ puhalskyan@gmail.com

Поступила в редакцию:
28.11.2023

Одобрена после рецензирования:
13.03.2024

Принята к публикации:
29.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107

Jan V. Puhalsky¹ ✉
 Svyatoslav I. Loskutov¹
 Valeria R. Sidorova²
 Alla I. Yakubovskaya³
 Denis D. Meshcheryakov⁴
 Irina A. Kameneva³

¹ All-Russian Research Institute of Food Additives — branch of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food System, St. Petersburg, Russia

² ProfPrioritet LLC, St. Petersburg, Russia

³ Scientific Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

⁴ Individual entrepreneur LedForPlant, Krasnoyarsk, Russia

✉ puhalskyan@gmail.com

Received by the editorial office:
28.11.2023

Accepted in revised:
13.03.2024

Accepted for publication:
29.03.2024

Использование гермикомпоста *Hermetia illucens* в технологии выращивания микрозелени бобовых культур

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Работа описывает перспективу использования зоогумуса черной львинки (*Hermetia illucens*) как органического удобрения для активации роста микрозелени нетрадиционных видов бобовых культур, включая мелкосемянные, и перспективы уменьшения дозы внесения минеральных удобрений.

Методы. Проведен опыт со сравнительным изучением изменения морфометрических и химических параметров роста растений на полной рекомендуемой дозе применения минеральных удобрений и при 25%-ном их использовании, но с 1%-ной добавкой жидкого экстракта зоогумуса, также обогащенного эссенциальными элементами. Длительность опыта составила 21 день. Растения выращивали в закрытом грунте при интенсивной светокультуре и контроле внутреннего микроклимата рабочей зоны.

Результаты. Среди шести изученных нетрадиционных видов бобовых, выращенных на микрозелень, наиболее отзывчивым на комбинированную обработку органоминеральным комплексом оказался эспарцет виколистный. Худший результат по биомассе показал красный клевер. Анализ изменений в профиле распределения эссенциальных элементов в полученной зеленой биомассе, проведенный с помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES), позволил выявить ионы железа и цинка как потенциальные мишени, связанные с недобором урожая у ювенильных побегов. Поскольку в глобальных продовольственных системах данные микроэлементы являются наиболее распространенными нутриентами, отвечающими за проявление «скрытого голода», особенно среди детей в возрасте до 5 лет и женщин детородного возраста, при создании питательной биокомпозиции на основе зоогумуса черной львинки для выращивания нетрадиционных видов бобовых культур, дальнейший акцент следует делать на них. Значимых отличий из числа макроэлементов обнаружено не было.

Ключевые слова: микрозелень, зоокомпост, гермикомпост, черная львинка, *Hermetia illucens*, бобовые растения, *Fabacea*

Для цитирования: Пухальский Я.В., Лоскутов С.И., Сидорова В.Р., Якубовская А.И., Мещеряков Д.Д., Каменева И.А. Использование гермикомпоста *Hermetia illucens* в технологии выращивания микрозелени бобовых культур. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 101–107.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107>

© Пухальский Я.В., Лоскутов С.И., Сидорова В.Р., Якубовская А.И., Мещеряков Д.Д., Каменева И.А.

Use of *Hermetia Illucens* hermicompost in the technology of growing legume microgreens

ABSTRACT

Relevance. The work describes the prospect of using black soldier fly zoohumus as an organic fertilizer to activate the growth of microgreens of non-traditional legume species, including small-seeded ones, and the prospects of reducing the dose of mineral fertilizers.

Methods. An experiment was carried out with a comparative study of changes in the morphometric and chemical parameters of plant growth at the full recommended dose of mineral fertilizers, and at 25% of their use, but with the addition of 1% liquid extract of zoohumus, also enriched with essential elements. The duration of the experiment was 21 days. The plants were grown in a closed grow tent, with intensive light culture and control of the internal microclimate of the working area.

Results. Among the six studied non-traditional legume species grown for microgreens, the most responsive to combined treatment with an organomineral complex was *Onobrychis viciifolia*. *Trifolium rubens* showed the worst result in terms of biomass. Analysis of changes in the profile distribution of essential elements in the resulting green biomass, carried out using inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES), revealed iron and zinc ions as potential targets associated with yield shortfalls in juvenile shoots. Since in global food systems these microelements are the most common nutrients noted for the manifestation of “hidden hunger”, especially among children under 5 years of age and women of childbearing age, when creating a nutritional biocomposition based on black soldier fly zoohumus for growing non-traditional types of legumes, further the emphasis should be on them. No significant differences were found in the number of macroelements.

Results. The results of the study confirmed the high efficiency of using humic fertilizers in conditions of low soil fertility and revealed the selective sensitivity of vegetable crops to humic preparations of various origins.

Key words: microgreens, zoocompost, hermicompost, black soldier fly, *Hermetia illucens*, legumes, *Fabacea*

For citation: Puhalsky J.V., Loskutov S.I., Sidorova V.R., Yakubovskaya A.I., Meshcheryakov D.D., Kameneva I.A. The use of *Hermetia illucens* hermicompost in the technology of growing legume microgreens. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 101–107 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107>

© Puhalsky J.V., Loskutov S.I., Sidorova V.R., Yakubovskaya A.I., Meshcheryakov D.D., Kameneva I.A.

Введение/Introduction

На сегодняшний день человеку необходимо не только обеспечивать себя пищей для выживания, но и непрерывно следить за ее качеством и безопасностью. Увеличение численности населения Земли приводит к поиску новых функциональных добавок, способных к внедрению в ежедневный рацион, для решения глобальной проблемы диверсификации продовольственного кризиса в мире и укрепления здоровья людей. На общем фоне можно выделить развитие бизнес-направления по выращиванию молодых проростков или микрозелени.

Микрозелень обладает рядом преимуществ с точки зрения технологии производства и удобства потребления. Обычно микрозелень употребляется в сыром виде, что минимизирует потери и деградацию микроэлементов, чувствительных к температурному режиму [1]. Ее можно есть как в виде самостоятельного продукта, так и добавлять в готовые блюда для улучшения их вкусовых и качественных свойств.

Благодаря относительной простоте ее выращивания и минимизация затрат прослеживается четкая тенденция к созданию внутри городских агломераций хозяйств защищенного грунта (теплиц и вертикальных фитотерм). Данное направление уже быстро набрало популярность в странах Запада и Азии.

В 2019 году основным поставщиком на рынки микрозелени являлись США, за ними следовали Канада и Мексика. При этом рынок в Соединенных Штатах сильно фрагментирован, и такие крупные игроки, как Fambox Green LLC, Metro Microgreens, Fresh Origins, Florida microgreens, The Chefs Garden Inc. и Aerofarms LLC, намерены и дальше инвестировать в данный функциональный продукт.

Сейчас крупнейшую в мире вертикальную гидроферму имеет компания AeroFarm, расположенная в штате Нью-Джерси. Ее площадь составляет 6500 кв. м¹. Среди прочих мегаигроков на рынке вертикальных ферм США также можно выделить компанию FarmedHere, что имеет свои фитотермы в штатах Чикаго². Среди европейских стран больше всего микрозелени продается в Германии, Франции и Великобритании. Стали расти рынки в Италии и Испании. Если рассматривать Азиатско-Тихоокеанский рынок, то микрозеленые растения больше всего востребованы в Китае, Японии и Сингапуре. Обратили на себя внимание такие страны, как Индия, Индонезия. Анализ потребительской способности на Ближнем Востоке и в африканских странах показал, что выращивать и потреблять зелень в ОАЭ стали больше. Вторую позицию разделяют Саудовская Аравия, Катар и Ирак³. Одна из самых больших аэроферм ЕСО1 на Ближнем Востоке расположена недалеко от аэропорта Дубая. Ее площадь превышает 30,5 тыс. кв. м и в год способна давать свыше 900 т листовой зелени⁴.

В России распространение сити-фермерства по выращиванию микрозелени началось (относительно недавно) с Дальнего Востока⁵ и продвигается по стране пока с большим трудом в связи с малой долей инвестиционной поддержки от государства.

Установлено, что микрозелень превосходит зрелые растения у аналогичных культур по содержанию в них

биогенных микроэлементов, особенно *Zn*, *Fe*, *Cu*, и *Mn*, *Mg* и *P*, что позволяет применять ее в спортивном и диетическом питании. Употребление микрозелени является профилактикой развития таких серьезных заболеваний, как рак, диабет, ожирение, сердечно-сосудистые, гипертония и пр.

Для успешной интеграции микрозелени в глобальный производственный цикл необходимо оптимизировать систему ее выращивания в условиях закрытого грунта. Решающую роль здесь играет сокращение сроков получения зеленой биомассы без ущерба в объемах и питательной ценности. Для повышения конкурентоспособности необходимо искать методы по снижению ее себестоимости и увеличению экологичности за счет минимизации использования минеральных удобрений в пользу органических. Органический продукт, создаваемый без минеральных удобрений и пестицидов или при минимальном и безопасном их использовании, отличается особой полезностью. Его потребление способствует улучшению здоровья и качества жизни населения.

Среди органических удобрений можно выделить инновационные питательные вещества — зоогумус, полученные из отходов (экскрементов) насекомых, или гермикомпост личинок черной львинки (*Hermetia illucens*) [2, 3]. Как и в случае с вермикомпостом, данное органическое сырье способно служить в качестве почвенного кондиционера, улучшая водный режим и микробиом почвы [4]. При этом оно является продуктом естественного происхождения с минимальной себестоимостью.

Данная тема является малоизученной на данный момент в технологии ее практического использования при выращивании микрозелени на нейтральных питательных субстратах.

Среди растений, которые активно исследуются на предмет употребления человеком в виде микрозелени, являются бобовые (*Fabaceae*). Это семейство одно из крупнейших среди цветковых растений, в котором классифицированы около 18 тыс. видов, подразделенных на 650 родов, являющихся значительной частью практически всех сухопутных биомов на всех континентах (кроме Антарктиды) [5]. Бобовые культуры стали ценными компонентами основных и функциональных продуктов питания за счет своей высокой питательной ценности, богатого компонентного состава, содержания минералов и вторичных метаболитов.

В зависимости от вида представители семейства *Fabaceae* содержат пищевые волокна, витамины (A, C, E и пр.), органические компоненты (белки, олигосахариды, углеводы, жиры, оксалаты и фитиновую кислоту) и минеральные компоненты (кальций, магний, калий, железо, цинк, азот). Фитохимические исследования обнаружили наличие изофлавонов, пренилированных флавоноидов, флаванолов, флаванолов, сапонинов, глюкозидов, ротеноидов, халконов, алкалоидов и ингибиторов трипсина. В традиционной медицине некоторые виды применимы для лечения различных недугов. У этих растений обнаружены эстрогенные, антибактериальные, антиоксидантные, антигрибковые, антипаразитарные и инсектицидные свойства [6].

¹ Вертикальные фермы AeroFarms дают урожай в два раза быстрее обычных [Электронный ресурс]. — URL: <https://hightech.plus/2019/02/21/vertikalnie-fermi-aerofarms-proizvodyat-urozhai-v-dva-raza-bistree-obichnih> (дата обращения: 30.11.2023).

² This Vertical Farm in Chicago Is Cool, But Can It Really Be the Future? [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.vice.com/en/article/mggnz4/this-vertical-farm-in-chicago-is-cool-but-can-it-really-be-the-future> (дата обращения: 30.11.2023).

³ Отчет по исследованию рынка микрозеленых растений в разбивке по размеру, доле, росту и прогнозу на 2021–2026 гг. [Электронный ресурс]. — URL: <https://dfermer.ru/novosti/otchet-po-issledovaniyu-rynka-mikrozelennyh-rastenij-v-razbivke-po-razmeru-dole-rostu-i-prognozu-na-2021-2026-gody.html> (дата обращения: 30.11.2023).

⁴ В Дубае заработала крупнейшая в мире вертикальная ферма [Электронный ресурс]. — URL: <https://rb.ru/story/dubai-vertical/> (дата обращения: 30.11.2023).

⁵ Сити-фермы наращивают объемы производства и завоевывают любовь потребителей [Электронный ресурс]. — URL: <https://agriexpert.ru/articles/416/siti-fermy-narashivayut-obyomy-proizvodstva-i-zavoyovuyut-lyubov-potrebiteliei> (дата обращения: 30.11.2023).

В настоящее время минеральная недостаточность считается одной из наиболее серьезных глобальных проблем для человечества. Помимо основных видов зернобобовых культур, включая нут, чечевицу, зеленый горошек, фасоль, маш и сою [7–9], традиционно выращиваемых в РФ [10–12], в том числе и на микрозелень, существует потенциальная возможность включения в рацион питания человека и многолетних представителей, использующихся в качестве кормовой базы для скота. Кроме того, обнаружение в пророщенных семенах и микрозелени многолетних бобовых повышенной концентрации различных биологически активных соединений в виде гетероциклических органических веществ возродило интерес к данному аспекту с позиции фитомедицины.

Проведенные исследования показали, что, как правило, дикие виды бобовых культур богаче по минеральному профилю, чем культурные виды [13]. Поэтому эти пищевые добавки могут быть одним из способов оптимизации режима питания веганов. Однако имеющиеся к настоящему времени данные о распределении минеральных веществ (как в семенах, так и в микрозелени разных видов бобовых) часто противоречивы.

Для личинок *H. illucens*, которые рассматриваются в работе, можно выделить такие преимущества, как их широкая распространенность, стабильная колонизация и приспособленность к изменчивым условиям окружающей среды, их всеядность и антипатогенные (антипаразитарные) свойства полученных экскрементов против видов сальмонелл [14, 15]. На примере разных видов микрозелени бобовых может быть показана тенденция применения зоогуруса как в целом при выращивании всей микрозелени, так и специфично для малоизученных родов, включая мелкосемянные, потенциальных источников пищевых ингредиентов с добавленной стоимостью, обогащенных различными вторичными метаболитами.

Цель работы — сравнительный анализ результативности использования жидкого экстракта зоогуруса *H. illucens* в процессе выращивания микрозелени при минимизации использования химии для сопоставления полученных результатов от применения полной дозы минерального комплекса удобрений.

В задачи исследования входило изучение изменений в морфометрических показателях полученной биомассы и химическом профиле накопления эссенциальных элементов.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объектами для исследования послужили растительные организмы из семейства бобовых, а именно клевер красный (*Trifolium rubens*), люцерна посевная (*Medicago sativa*), эспарцет виколистный (*Onobrychis viciifolia*), пажитник сенной (*Trigonella foenum-graecum*), козлятник лекарственный (*Galega officinalis*), донник лекарственный (*Melilotus officinalis*). Выбор конкретных видов обусловлен малым количеством сведений о биологических особенностях этих культур, включая мелкосемянные виды в их практическом применении, и возможных аспектах использования [13].

Эксперимент проводился осенью 2023 года на базе НОЦ «Зимний сад» Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина (Санкт-Петербург, г. Пушкин) в стационарном вегетационном опыте в закрытом

групповом. В качестве подложки для проращивания был использован нейтральный субстрат, представляющий собой кокосовое волокно («Солнце Сад», Шри-Ланка). Выбор субстрата объясняется практически полным отсутствием микро- и макроэлементов, что позволяет оценить эффективность вносимых добавок независимо от изначального содержания в нем минеральных веществ.

Опыт включал в себя 12 вариантов — по 2 на каждый вид исследуемой культуры. Семена (14 г) высаживали в пластиковые лотки. Для каждого варианта делали подкормки комплексным водорастворимым минеральным удобрением «Fertica люкс» (Yara Suomi Oy, Финляндия). Количественный состав удобрения представлен в таблице 1.

В качестве контроля служили варианты с полным (100%) разведением минерального удобрения согласно рекомендациям производителя (2 г/л).

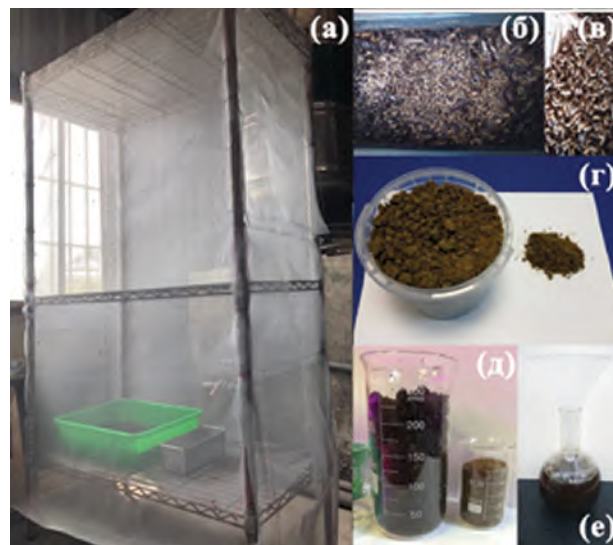
Для варианта с использованием зоогуруса (экскременты насекомых) использовалось то же комплексное удобрение, но в 25%-ной концентрации его разведения от рекомендуемой дозы (0,5 г/л) и с добавлением 1%-ного экстракта гермикомпоста *H. illucens*. Личинки *H. illucens* разводили на базе лабораторного инсектария ВНИИ пищевых добавок (г. Санкт-Петербург) (рис. 1).

Жидкую фракцию зоогуруса получали путем щелочной экстракции высушенных и просеянных экскрементов личинок *H. illucens* 0,1 н NaOH с поведением кислотности суспензии до нейтральной реакции потенциометрическим методом^{6, 7} на приборе ИПЛ 103-1 («Семика», Россия).

Таблица 1. Количественный состав минерального удобрения «Fertica люкс» по данным производителя
Table 1. Quantitative composition of «Fertica Lux» mineral fertilizer according to the manufacturer

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
Азот общ.	16,0	Железо	0,1	Марганец	0,1
Фосфор	20,6	Бор	0,02	Молибден	0,002
Калий	27,1	Медь	0,01	Цинк	0,01

Рис. 1. Процесс подготовки жидкой фракции гермикомпоста *H. illucens* для исследования: а — виварий для разведения насекомых; б–в — личинки мухи; г–д — высушенный зоогурус (экскременты насекомых); е — жидкий экстракт зоогуруса. Фото авторов
Fig. 1. The process of preparing the liquid fraction of *H. illucens* germicompost for research: a — vivarium for breeding insects; b–c — fly larvae; d–e — dried zoohumus (insect excrement); f — liquid extract of zoohumus. Photo by the authors



⁶ Комиссаренков А.А., Пругло Г.Ф., Фёдоров В.А. Потенциометрия: учебно-методическое пособие. СПб ГТУРП. Санкт-Петербург. 2013; 64.

⁷ Потенциометрическое титрование: методические указания к лабораторным работам «Определение pH и щелочности природной воды методом потенциометрического титрования», «Определение фосфатов методом потенциометрического титрования». Министерство образования и науки Российской Федерации, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет; сост. О.А. Кузнециков. Волгоград: ВолГАСУ. 2015; 24.

Состав жидкого экстракта зоогумуса измеряли в лаборатории ВНИИ пищевых добавок Университета Арканзаса с помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) на приборе на ICPЕ-9000 (Shimadzu, Япония) согласно ГОСТ Р 57165-2016⁸. Минеральный состав жидкой фракции представлен в таблице 2.

Срок вегетации для получения микрозелени во всех вариантах составил 20 суток. По окончании опыта сырую биомассу срезали, взвешивали на аналитических весах РА 214С (Ohaus, США), затем сушили до воздушно-сухого состояния и измельчали на лабораторной мельнице ЛЗМ-1 («Олис», Россия) до состояния порошка для проведения элементного анализа. Согласно списку приоритетных компонентов пищевых добавок [16] Са, К, Mg, Zn и Fe классифицируются как эссенциальные элементы с наивысшим приоритетом. Данные о количественном определении минералов (как в семенах, так и в микрозелени многолетних бобовых) ограничены [13], поэтому акцент в работе делали на них.

Подготовку высушенного и размолотого образца к элементному анализу проводили традиционным способом для атомно-абсорбционной спектрометрии (AAS). Отбирали навеску биоматериала массой 0,05–0,10 г и помещали ее во фторопластовый сосуд, закрытый снаружи толстостенной металлической оболочкой. В сосуды добавляли 5,0 мл смеси концентрированной азотной кислоты (HNO₃) и перекиси водорода и помещали в печь (190 °С) на 1 час. После термического разложения (влажного озоления) жидкую фазу образца сливали в мерную колбу вместимостью 100 мл и доводили до метки 2,0%-ным раствором HNO₃. В полученном супернатанте анализ содержания биофильных элементов проводили с использованием модельной системы AAnalyst 200 (Perkin Elmer, США) в соответствии с инструкциями производителя.

Общее содержание фосфора (P) определяли после обработки образцов серной кислотой (H₂SO₄) и реакции с ванадат молибденом (MoO₄V⁻³). Поглощение измеряли с помощью УФ-спектрофотометра (Cary 50, Varian, США) при длине волны 430 нм. Содержание макроэлементов выражали в г/кг, микроэлементов — в мг/кг сухого вещества.

Математическую обработку полученных данных проводили с помощью прикладных систем Excel 2016 (Microsoft Corp., США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На рисунке 2 визуальна представлена полученная микрозелень различных видов бобовых.

Как можно видеть, габитус и количественные характеристики растительных организмов в параллельных образцах практически не имеют отличий. Относительную разницу в разбросе значений наблюдали у отдельных побегов в виде более развитых листьев или более длинных стеблей. По внешним характеристикам растений можно сказать, что привнесение органического компонента к минеральным удобрениям способно несколько усреднять общие параметры роста и развития растений, в результате морфометрические параметры становятся более выравненными.

Результаты полученной растительной биомассы представлены на рисунке 3.

Таблица 2. Минеральный состав жидкой фракции экстракта личинок черной львинки (*Hermetia illucens*)

Table 2. Mineral composition of the liquid fraction of the black soldier fly larvae extract (*Hermetia illucens*)

Макронутриенты	мг/мл	Микронутриенты	мг/мл
Фосфор	46,97	Марганец	0,001
Калий	46,29	Цинк	0,11
Кальций	2,03	Медь	н/о
Магний	2,43	Бор	н/о

Примечание: н/о — не обнаружено.

Рис. 2. Полученные результаты по всходам растений: (а) — клевер красный; (б) — козлятник лекарственный; (в) — эспарцет виколистный; (г) — люцерна посевная; (д) — донник лекарственный; (е) — пажитник сенной

Fig. 2. The results obtained for plant seedlings: (a) — *T. Rubens*; (b) — *G. officinalis*; (c) — *O. viciifolia*; (d) — *M. sativa*; (e) — *M. officinalis*; (f) — *T. foenum-graecum*

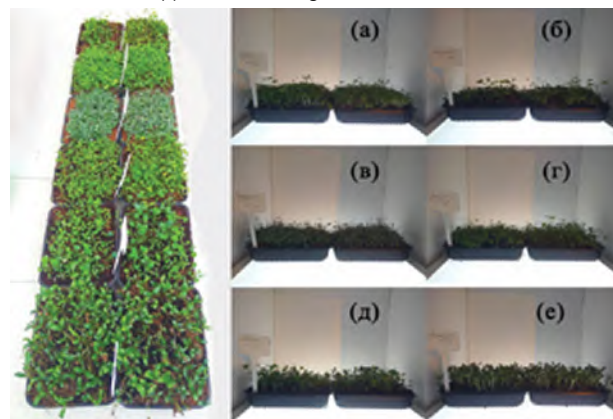
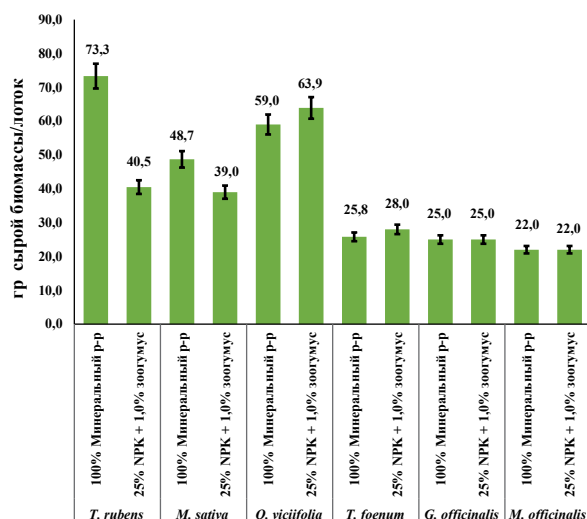


Рис. 3. Результаты измерений биомассы растительных организмов, выращенных при добавлении минеральных удобрений или гермикомпоста

Fig. 3. Results of measurements of the biomass of plant organisms grown with the addition of mineral fertilizers or hermicompost



Применение добавок гермикомпоста не уступало в результативности обычным минеральным удобрениям практически во всех опытных испытаниях. Сопоставимые результаты наблюдались для пажитника греческого, козлятника лекарственного и донника лекарственного. Внесение зоогумуса при 25%-ной дозе внесения химии для данных растений показывает сопоставимые значения выхода биомассы. Менее однозначные результаты наблюдались для люцерны посевной и клевера красного. Последний показал двукратное снижение значений в накопленной биомассе. Клевер красный

⁸ Вода. Определение содержания элементов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. (ISO 11885:2007. Water quality — Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), MOD). М.: Стандартинформ. 2016; 35.

Таблица 3. Фитохимический профиль накопления питательных элементов в микрозелени бобовых, $M \pm SE$ Table 3. Phytochemical profile of nutrient accumulation in legume microgreens, $M \pm SE$

Вид (вариант)		г/кг				мг/кг	
		K	Ca	Mg	P	Fe	Zn
T. rubens	100% Минеральный р-р	13,40±0,35	2,38±0,07	3,58±0,09	8,19±0,01	165,10±2,59	299,00±8,66
	25% NPK + 1,0% зоогумус	12,27±0,12	4,12±0,29	3,23±0,15	8,14±0,06	158,73±0,88	250,37±11,94
M. sativa	100% Минеральный р-р	14,90±0,23	6,11±0,11	3,73±0,39	8,78±0,01	178,00±5,21	273,00±9,76
	25% NPK + 1,0% зоогумус	14,95±0,14	5,26±0,06	2,81±0,08	8,59±0,10	168,71±1,86	263,06±0,56
O. viciifolia	100% Минеральный р-р	19,77±0,09	5,85±0,22	2,96±0,04	10,01±0,01	198,00±2,95	133,00±7,16
	25% NPK + 1,0% зоогумус	18,34±0,75	6,70±0,22	3,77±0,07	9,13±0,13	189,37±1,67	187,32±0,32
T. foenum	100% Минеральный р-р	10,31±0,94	3,11±0,23	3,62±0,32	9,00±0,60	144,84±9,41	132,62±3,96
	25% NPK + 1,0% зоогумус	14,00±0,17	4,61±0,67	6,79±0,23	10,40±0,01	220,06±17,19	183,91±23,07
G. officinalis	100% Минеральный р-р	21,83±3,14	3,92±0,59	3,33±0,22	11,82±0,82	229,50±20,03	230,37±9,57
	25% NPK + 1,0% зоогумус	30,43±0,64	4,48±0,03	4,55±0,10	12,62±0,78	269,30±10,53	275,56±8,97
M. officinalis	100% Минеральный р-р	23,35±2,50	2,29±0,11	4,98±0,28	11,55±0,73	189,25±4,43	125,16±4,34
	25% NPK + 1,0% зоогумус	31,64±0,75	3,21±0,15	7,21±0,69	13,02±0,12	257,50±2,08	141,53±14,03

характеризуется высокой требовательностью к химическому составу почв, в особенности к содержанию подвижных форм питательных элементов [17]. Так, недостаточное содержание азота, фосфора и калия может привести к уменьшению его биомассы. Использование добавок зоогумуса в данном случае не смогло компенсировать дефицит необходимых для развития растения химических элементов, получаемых из полной дозы минеральных удобрений. Разница между результатами у растений люцерны оказалась не столь ярко выраженной, чем внесение полной дозы минеральных удобрений, здесь тоже лучшую эффективность показали минеральные удобрения относительно комбинированных добавок с зоогумусом. Несколько лучшие результаты прироста биомассы за счет комбинированного внесения органоминеральных добавок отмечены у эспарцета виколистного. Прирост относительно контроля составил 8,3%.

Элементный анализ полученной микрозелени приведен в таблице 3. Были отмечены значительные различия ($p < 0,05$) в минеральном составе между видами бобовых в образцах на ювинильной стадии онтогенеза. Во всех образцах в контроле (независимо от вида микрозелени) среди макроэлементов превалировала доля калия. Самым высоким суммарным содержанием кальция и магния среди всех видов характеризовались *M. sativa* и *O. viciifolia*, в то время как у *T. rubens* они были самыми низкими. По фосфору высокие значения отмечены у *G. officinalis* и *M. officinalis*.

Исследуемые виды бобовых значительно различались по концентрации микроэлемента железа. Среди тестируемых культур самые низкие значения были зафиксированы на контроле для *T. foenum*, самые высокие — для *G. officinalis*. Добавление зоогумуса привело в среднем к увеличению доли накопления калия (37%) и магния (56%) в микрозелени *T. foenum*, *G. officinalis* и *M. officinalis*. Поскольку поглощение данных элементов в растениях происходит с помощью одних и тех же

транспортных белков, следовательно, между ними есть синергетическая взаимосвязь.

Для данных культур отмечено увеличение концентрации железа и цинка в среднем на 35,0% и 24,0% соответственно. При этом у *T. foenum* увеличение концентрации данных двух элементов было максимальным. Эти результаты подтверждают работы, где было показано, что пажитник является растением-аккумулятором Fe и Zn с допустимыми концентрациями их накопления [18, 19]. Известно, что цинк наравне с железом является наиболее распространенным дефицитным микроэлементом в глобальных продовольственных системах, отмечающим за проявление «скрытого голода», особенно среди детей в возрасте до 5 лет и женщин детородного возраста [20, 21]. Они входят в состав нуклеиновых кислот и белков, отвечают за фотосинтетическую ассимиляцию CO₂ и метаболизм фитогормонов. В настоящее время их содержание в питательных добавках вызывает наибольшую озабоченность при создании спортивных и вегетарианских диет [22].

Выводы/Conclusion

1) Использование зоогумуса на основе экскрементов личинок черной мухи на бедном субстрате является эффективным приемом повышения биодоступности для отдельных элементов в пророщенные семена *O. viciifolia*, *T. foenum*, *G. officinalis* и *M. officinalis*, что в дальнейшем цикле их роста может проявляться в увеличении биомассы растений при выращивании в открытом грунте.

2) Наиболее отзывчивым видом на комбинированную обработку органоминеральным комплексом при 25%-ной дозе химии оказался *O. viciifolia*, притом что суммарно концентрация накопления в нем всех элементов, кроме цинка, практически не изменилась.

3) Уменьшение биомассы *T. rubens* и *M. sativa* можно связать со снижением концентрации накопления цинка (в среднем на 10,0%) и железа (в среднем на 5,0%).

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

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (темы FGUS 2024-0010 и FGUS 2022-0018).

FUNDING

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (FGUS 2024-0010 and FGUS 2022-0018 topics).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чайковский А. Основные тренды обеспечения населения овощной продукцией. *Наука и инновации*. 2021; (3): 51–56. <https://www.elibrary.ru/cxhgec>
2. Пендюрин Е.А., Рыбина С.Ю., Смоленская Л.М. Использование зоокомпоста черной львинки в качестве органического удобрения. *Аграрная наука*. 2020; (7–8): 106–110. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110>
3. Пендюрин Е.А., Смоленская Л.М., Василенко М.И. Использование зоокомпоста личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) при выращивании томата сорта Сливка медовая. *Аграрная наука*. 2021; (1): 147–150. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-147-150>
4. Fuhrmann A. *et al.* Residues from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae rearing influence the plant-associated soil microbiome in the short term. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13: 994091. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.994091>
5. Koenen E.J.M. *et al.* The Origin of the Legumes is a Complex Paleopolyploid Phylogenomic Tangle Closely Associated with the Cretaceous–Paleogene (K–Pg) Mass Extinction Event. *Systematic Biology*. 2021; 70(3): 508–526. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syaa041>
6. Jadhvar P., Deshpande S. Recent Updates on Medicinal Potentiality of Fabaceae Family: Critical Review. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 2022; 13(3): 32–41. <https://doi.org/10.22376/ijpbs.2022.13.3.b32-41>
7. Ebert A.W., Chang C.-H., Yan M.-R., Yang R.-Y. Nutritional composition of mungbean and soybean sprouts compared to their adult growth stage. *Food Chemistry*. 2017; 237: 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.073>
8. Iqbal A., Khalil I.A., Ateeq N., Khan M.S. Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry*. 2006; 97(2): 331–335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.011>
9. Sangronis E., Machado C.J. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT – Food Science and Technology*. 2007; 40(1): 116–120. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.08.003>
10. Дебелый Г.А. Зернобобовые культуры в мире и Российской Федерации. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2012; (2): 31–35. <https://www.elibrary.ru/qcrlct>
11. Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Грядуннова Н.В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018; (2): 4–10. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008>
12. Зотиков В.И., Наумкина Т.С., Сидоренко В.С. Зернобобовые культуры в экономике России. *Земледелие*. 2014; (4): 6–8. <https://www.elibrary.ru/sgoeqv>
13. Butkutė B., Taujenis L., Norkevičienė E. Small-Seeded Legumes as a Novel Food Source. Variation of Nutritional, Mineral and Phytochemical Profiles in the Chain: Raw Seeds–Sprouted Seeds–Microgreens. *Molecules*. 2019; 24(1): 133. <https://doi.org/10.3390/molecules24010133>
14. Lee K.-S., Yun E.-Y., Goo T.-W. Antimicrobial Activity of an Extract of *Hermetia illucens* Larvae Immunized with *Lactobacillus casei* against *Salmonella* Species. *Insects*. 2020; 11(10): 704. <https://doi.org/10.3390/insects11100704>
15. Choi W.-H., Yun J.-H., Chu J.-P., Chu K.-B. Antibacterial effect of extracts of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae against Gram-negative bacteria. *Entomological Research*. 2012; 42(5): 219–226. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2012.00465.x>
16. Dwyer J.T. *et al.* Progress in development of an integrated dietary supplement ingredient database at the NIH Office of Dietary Supplements. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006; 19(S): S108–S114. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.09.001>
17. Ступаков А.Г., Чернышова А.П., Куликова М.А., Болдин А.А. Особенности минерального питания клевера красного (*Trifolium pratense* L.). *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2012; (9): 69–71. <https://www.elibrary.ru/pcwdbv>
18. Mabood A., Ahmad I.Z. Effects of iron, lead and zinc on growth and metal accumulation in *Trigonella foenum-graecum* L. seedlings. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2017; 18(7–8): 500–508.
19. Mnafigui W. *et al.* *Trigonella foenum-graecum* morphophysiological and phytochemical processes controlling iron uptake and translocation. *Crop & Pasture Science*. 2022; 73(8): 957–968. <https://doi.org/10.1071/CP21419>
20. Gregory P.J. *et al.* Approaches to reduce zinc and iron deficits in food systems. *Global Food Security*. 2017; 15: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.03.003>
21. La Frano M.R., de Moura F.F., Boy E., Lönnerdal B., Burri B.J. Bioavailability of iron, zinc, and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. *Nutrition Reviews*. 2014; 72(5): 289–307. <https://doi.org/10.1111/nure.12108>
22. Hunt J.R. Bioavailability of iron, zinc, and other trace minerals from vegetarian diets. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2003; 78(3): 633S–639S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.633S>

REFERENCES

1. Tchaikovsky A. Main trends in providing the population with vegetable products. *Science and Innovations*. 2021; (3): 51–56 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/cxhgec>
2. Pendyurin E.A., Rybina S.Yu., Smolenskaya L.M. Using the zoo compost of the Black Lioness as an organic fertilizer. *Agrarian science*. 2020; (7–8): 106–110 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110>
3. Pendyurin E.A., Smolenskaya L.M., Vasilenko M.I. Use of zoo compost *Hermetia illucens* larvae when growing a tomato of the Honey Cream variety. *Agrarian science*. 2021; (1): 147–150 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-147-150>
4. Fuhrmann A. *et al.* Residues from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae rearing influence the plant-associated soil microbiome in the short term. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13: 994091. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.994091>
5. Koenen E.J.M. *et al.* The Origin of the Legumes is a Complex Paleopolyploid Phylogenomic Tangle Closely Associated with the Cretaceous–Paleogene (K–Pg) Mass Extinction Event. *Systematic Biology*. 2021; 70(3): 508–526. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syaa041>
6. Jadhvar P., Deshpande S. Recent Updates on Medicinal Potentiality of Fabaceae Family: Critical Review. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 2022; 13(3): 32–41. <https://doi.org/10.22376/ijpbs.2022.13.3.b32-41>
7. Ebert A.W., Chang C.-H., Yan M.-R., Yang R.-Y. Nutritional composition of mungbean and soybean sprouts compared to their adult growth stage. *Food Chemistry*. 2017; 237: 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.073>
8. Iqbal A., Khalil I.A., Ateeq N., Khan M.S. Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry*. 2006; 97(2): 331–335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.011>
9. Sangronis E., Machado C.J. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT – Food Science and Technology*. 2007; 40(1): 116–120. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.08.003>
10. Debely G.A. Leguminous crops in the world and in the Russian Federation. *Legumes and groat crops*. 2012; (2): 31–35 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qcrlct>
11. Zotikov V.I., Sidorenko V.S., Gryadunova N.V. Development of production of leguminous crops in the Russian Federation. *Legumes and groat crops*. 2018; (2): 4–10 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008>
12. Zotikov V.I., Naumkina T.S., Sidorenko V.S. Role of leguminous crops in economy of Russia. *Zemledelie*. 2014; (4): 6–8 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/sgoeqv>
13. Butkutė B., Taujenis L., Norkevičienė E. Small-Seeded Legumes as a Novel Food Source. Variation of Nutritional, Mineral and Phytochemical Profiles in the Chain: Raw Seeds–Sprouted Seeds–Microgreens. *Molecules*. 2019; 24(1): 133. <https://doi.org/10.3390/molecules24010133>
14. Lee K.-S., Yun E.-Y., Goo T.-W. Antimicrobial Activity of an Extract of *Hermetia illucens* Larvae Immunized with *Lactobacillus casei* against *Salmonella* Species. *Insects*. 2020; 11(10): 704. <https://doi.org/10.3390/insects11100704>
15. Choi W.-H., Yun J.-H., Chu J.-P., Chu K.-B. Antibacterial effect of extracts of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae against Gram-negative bacteria. *Entomological Research*. 2012; 42(5): 219–226. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2012.00465.x>
16. Dwyer J.T. *et al.* Progress in development of an integrated dietary supplement ingredient database at the NIH Office of Dietary Supplements. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006; 19(S): S108–S114. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.09.001>
17. Stupakov A.G., Chernyshova A.P., Kulikova M.A., Boldin A.A. Features of a mineral food of a clover red (*Trifolium pratense* L.). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences*. 2012; (9): 69–71 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pcwdbv>
18. Mabood A., Ahmad I.Z. Effects of iron, lead and zinc on growth and metal accumulation in *Trigonella foenum-graecum* L. seedlings. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2017; 18(7–8): 500–508.
19. Mnafigui W. *et al.* *Trigonella foenum-graecum* morphophysiological and phytochemical processes controlling iron uptake and translocation. *Crop & Pasture Science*. 2022; 73(8): 957–968. <https://doi.org/10.1071/CP21419>
20. Gregory P.J. *et al.* Approaches to reduce zinc and iron deficits in food systems. *Global Food Security*. 2017; 15: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.03.003>
21. La Frano M.R., de Moura F.F., Boy E., Lönnerdal B., Burri B.J. Bioavailability of iron, zinc, and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. *Nutrition Reviews*. 2014; 72(5): 289–307. <https://doi.org/10.1111/nure.12108>
22. Hunt J.R. Bioavailability of iron, zinc, and other trace minerals from vegetarian diets. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2003; 78(3): 633S–639S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.633S>

ОБ АВТОРАХ

Ян Викторович Пухальский¹

инженер-исследователь
puhalskyan@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5233-3497>

Святослав Игоревич Лоскутов¹

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный
сотрудник
lislosk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

Валерия Романовна Сидорова²

инженер по технике безопасности
liatolani@mail.ru

Алла Ивановна Якубовская³

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
yakubovskaya_alla@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-8434-2689>

Денис Дмитриевич Мещеряков⁴

info@ledforplant.ru
<https://orcid.org/0009-0005-0382-8457>

Ирина Алексеевна Каменева³

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный
сотрудник
irina.kameneva.7@mail.ru

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Литейный пр-т, 55, Санкт-Петербург, 191014, Россия

² ООО «ПрофПриоритет», Крапивный пер., 5, Санкт-Петербург, 195277, Россия

³ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, ул. Киевская, 150, Симферополь, 295453, Россия

⁴ ИП LedForPlant, пр-т им. газеты «Красноярский рабочий», 80, Красноярск, 660068, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Jan Viktorovich Puhalsky¹

Research Engineer
puhalskyan@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5233-3497>

Svyatoslav Igorevich Loskutov¹

Candidate Agricultural Sciences, Senior Researcher
lislosk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

Valeria Romanovna Sidorova²

Safety Engineer
liatolani@mail.ru

Alla Ivanovna Yakubovskaya³

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
yakubovskaya_alla@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-8434-2689>

Denis Dmitrievich Meshcheryakov⁴

info@ledforplant.ru
<https://orcid.org/0009-0005-0382-8457>

Irina Alekseevna Kameneva³

Candidate Agricultural Sciences, Leading Researcher
irina.kameneva.7@mail.ru

¹ All-Russian Research Institute of Food Additives — branch of the V. M. Gorbato Federal Research Center for Food System, 55 Liteiny prospect, St. Petersburg, 191014, Russia

² LLC «ProfPrioritet», 5 Krapivnyj lane, St. Petersburg, 195277, Russia

³ Research Institute of Agriculture of the Crimea, 150 Kievskaya Str., Simferopol, 295453, Russia

⁴ Individual entrepreneur LedForPlant, 80 Prospect imeni gazety "Krasnoyarskij rabochij", Krasnoyarsk, 660068, Russia

Перспективные декоративные злаки и осоки в интродукционной коллекции Ставропольского ботанического сада

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В последнее время для достижения максимальной природности и естественности композиций в городском озеленении, все чаще стали использовать декоративные злаки и осоки. Они способны вписываться в любой декоративный ландшафт, в котором могут выступать как структурообразующие компоненты или как дополнение.

Цель исследования — разработать новый ассортимент орнаментальных злаков и осок, обладающих высокой устойчивостью, декоративностью и перспективностью для использования в декоративном садоводстве края.

Методы. В интродукционном опыте изучались морфобиологические характеристики исследуемых растений. Оценивались степень их адаптации к новым природно-климатическим условиям и устойчивость к комплексу экологических факторов — зимостойкости, морозоустойчивости, засухоустойчивости и степени поражения болезнями и вредителями. Учитывались время и продолжительность декоративного состояния. По результатам анализа интродукционных исследований дана оценка перспективности.

Результаты. Исследованы семь культиваров теплосезонных декоративных злаков, относящихся к родам *Tripsidium* H. Scholz, *Arundo* L., *Miscanthus* Andersson, *Pennisetum* Rich. *Spartina* Schreb., *Nassella* (Trin.) E. Desv., злак холодного сезона из рода *Phragmites* Adans. и девять культиваров осок рода *Carex* L. Изученные растения показали высокую степень адаптации к новым природно-климатическим условиям, сохранили полезные хозяйственно-биологические свойства и признаки. Отличаются зимо-, морозо- и засухоустойчивостью, не повреждаются болезнями и вредителями, по шкале интродукционной устойчивости отнесены к группе устойчивых растений. Сохранили природные ритмы онтогенеза, природный габитус и жизненную форму, способность к прохождению полного цикла развития побегов, хорошо размножаются вегетативным путем. Декоративны от 82 до 125 дней и отнесены к группе перспективных растений.

Изученные культивары злаков и осок разнообразны по способам использования в озеленении и могут выполнять различные ролевые задачи в ландшафтных композициях. По итогам изучения рекомендованы для использования в озеленении края.

Ключевые слова: орнаментальные злаки и осоки, ассортимент, интродукция, озеленение, декоративное состояние, интродукционная устойчивость, перспективность

Для цитирования: Гречушкина-Сухорукова Л.А. Перспективные декоративные злаки и осоки в интродукционной коллекции Ставропольского ботанического сада. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 108–113.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-108-113>

© Гречушкина-Сухорукова Л.А.

Promising ornamental grasses and sedges in the introduction collection of the Stavropol Botanical Garden

ABSTRACT

Relevance. Recently, to achieve maximum naturalness and naturalness of compositions in urban landscaping, ornamental grasses and sedges are increasingly used. They fit into any decorative landscape, in which they can act as a structure-forming component or as an addition.

The purpose of the research is to develop a new range of ornamental grasses and sedges that are highly stable, decorative and promising for use in ornamental gardening of the region.

Methods. In the introduction experiment, we studied the morph-biological characteristics of the plants under study. The degree of their adaptation to new natural and climatic conditions and resistance to a complex of environmental factors — winter hardiness, frost resistance, drought resistance and the degree of disease and pest damage were assessed. The time and duration of the decorative condition were taken into account. Based on the results of the analysis of the results of introduction studies, an assessment of the prospects was given.

Results. Seven cultivars of warm seasonal ornamental cereals belonging to the genera *Tripsidium* H. Scholz, *Arundo* L., *Miscanthus* Andersson, *Pennisetum* Rich. were studied. *Spartina* Schreb., *Nassella* (Trin.) E. Desc., a cold season cereal from the genus *Phragmites* Adans. and nine cultivars of sedges of the genus *Carex* L. The studied plants showed a high degree of adaptation to new natural and climatic conditions and retained useful economic and biological properties and characteristics. Plants are distinguished by winter, frost and drought resistance, are not damaged by diseases and pests, according to the scale of introduction resistance, they are classified as resistant plants. They have preserved the natural rhythms of ontogenesis, natural habit and life form, the ability to go through the full cycle of shoot development, and reproduce well by vegetative means. Decorative from 82 to 125 days and classified as a promising plant. The studied cultivars of cereals and sedges are diverse in their methods of use in landscaping and can perform various role tasks in landscape compositions. We can recommend for use in landscaping areas.

Key words: ornamental grasses and sedges, assortment, introduction, landscaping, decorative state, introduction resistance, prospects

For citation: Grechushkina-Sukhorukova L.A. Promising ornamental grasses and sedges in the introduction collection of the Stavropol Botanical Garden. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 108–113 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-108-113>

© Grechushkina-Sukhorukova L.A.

Ведение/Introduction

Согласно современным трендам в ландшафтном дизайне для достижения максимальной природности и естественности композиций в городском озеленении всё чаще стали использовать декоративные злаки и осоки [1–3].

В настоящее время в декоративном озеленении задействованы до 300 видов злаков и осок. Они хорошо вписываются в любой декоративный ландшафт, в котором выступают как структурообразующий компонент или дополнение. Их высаживают на клумбах, в групповых посадках с цветами и кустарниками, в рокариях и альпинариях, используют для оформления берегов водоемов. Они хороши в цветниках, выполненных в пейзажном стиле. Крупные злаки великолепны в качестве солитеров.

Злаки и осоки вносят в ландшафтные композиции широкую гамму цветовых оттенков, обладают большим разнообразием форм и текстур, могут выступать в качестве фона или акцента. Орнаментальные злаки и осоки неприхотливы, способны адаптироваться в различных климатических зонах. Их эколого-биологическая пластичность позволяет использовать в тенистых и солнечных участках, на разных типах почв, с различным уровнем влажности [4–6].

Для создания высокохудожественных и экологически устойчивых насаждений в садово-парковых объектах на научной основе нужно использовать виды, сорта и формы растений, которые прошли первичное интродукционное испытание. Большая исследовательская интродукционная работа в ботанических садах вносит значительный вклад в расширение регионального ассортимента орнаментальных злаков и осок, устойчивых, декоративных, адаптированных к конкретным климатическим условиям. Коллекция декоративных злаков и осок Ставропольского ботанического сада содержит большое разнообразие перспективных таксонов для использования в декоративном садоводстве региона и имеет большой демонстрационный потенциал для посетителей сада [7–9].

Цель исследования — разработать новый ассортимент орнаментальных злаков и осок, обладающих высокой устойчивостью, декоративностью и перспективностью для использования в декоративном садоводстве края.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводились на интродукционной генетической коллекции декоративных злаков и осок ЦКП Ставропольского ботанического сада, которая насчитывает 92 образца, включающих 49 видов и 57 сортов, в 2021–2023 гг. Коллекция размещена на опытном участке сада — 640–660 м над уровнем моря, III зона неустойчивого увлажнения, ГТК = 1,00–1,09, среднегодовая температура — 9,7–11,0 °С; самый холодный месяц — январь (–4,9 °С), самый теплый — июль (19,6 °С), абсолютный температурный минимум — –31 °С, абсолютный максимум температуры отмечен в августе — +39,7 °С. Среднегодовое количество осадков — 633–720 мм. Сумма температур выше 10 °С — 3300–3650 °С.

В результате интродукционных испытаний в 2021–2023 гг. были исследованы декоративные злаки теплового сезона: шерстоцвет равенский *Tripsidium ravennae* (L.) H. Scholz; арундо тростниковый *Arundo donax* L., cv. Variegata; мискантус сахароцветковый *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. & Hook.f. ex Franch; *Miscanthus sinensis* Andersson, cv. Gold Bar; перисто-щетинник лисохвостовый *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng., cv. Little Bunny; спартина гребенчатая *Spartina pectinata* Bosc ex Link, cv. Aureomarginata; нассела тонколистная (ковыль тончайший) *Nassella tenuissima* (Trimm.) Barkworth; злак холодного сезона — тростник южный *Phragmites australis* (Cav.) Steud., cv. Variegatus.

Изучались девять видов осок: осока белая *Carex albula* Allan; осока голубая *Carex flacca* Schreb., cv. Blue Zinger; осока Бьюкенена *Carex buechananii* Berggr.; осока власовидная *Carex comans* Berggr., cv. Milk Chocolate; осока расставленная *Carex remota*; осока жилкоплодная *Carex neurocarpa* Maxim.; осока Грэя *Carex grayi* J. Carey; осока заячья *Carex leporina* L.; осока пальмолистная *Carex muskingumensis* Schwein.

Исследуемые образцы культивировались в рядковых посадках с междурядьями 120 см, повторность — 7–10 экземпляров. Работы по уходу: междурядная культивация, капельный полив, подкормки минеральными удобрениями.

Проводились фенологические исследования¹ и измерения морфологических параметров. Степень поражения болезнями и повреждения вредителями учитывалась по 5-балльной шкале (отсутствие поражения — 0); учет зимостойкости проводили в период массового весеннего отрастания по 5-балльной шкале (отсутствие поражения — 5 баллов); оценка засухоустойчивости — по 5-балльной шкале (отсутствие поражения — 5 баллов)². Зоны морозостойкости приводятся по USDA-шкале³, по литературным данным [10]. Определение или уточнение видового состава изучаемых таксонов проводилось по определителям^{4, 5}.

Обработка результатов фенологических наблюдений проводилась в соответствии с методикой Г.Н. Зайцева [11]. Итоги интродукционного эксперимента подводили по методике В.Н. Былова, Р.А. Карпионовой [12]. Оценка перспективности — по методике Р.А. Карпионовой, А.С. Демидова [13]. Математическая обработка данных проводилась с помощью офисного программного комплекса Microsoft Office с применением программы Excel (Microsoft США, 2010).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Изучаемые злаки и осоки отличаются разнообразием географического происхождения. На Дальнем Востоке, в Китае, Корее и Японии обитают мискантусы китайский и сахароцветный, перисто-щетинник лисохвостовый и осока жилкоплодная. Осока белая, осока власовидная, осока Бьюкенена произрастают в Новой Зеландии. Из Северной Америки происходят осока Грэя и осока пальмолистная, спартина гребенчатая, нассела тонколистная (США — Мексика). Естественный ареал арундо тростникового — Центральная и Восточная Азия. В Европе, Европейской России, Западной Азии произрастают осока

¹ Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М.: Патент. 1975; 27.

² Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос. 1968; 6: 223.

³ Зоны морозостойкости, USDA-зоны, температурные значения. Режим доступа: <http://www.prorasteniya.ru/glossariy/zoni-morozostoykosti-usda-zoni-temperaturnie-znacheniya> (дата обращения: 5.10.2023).

⁴ Коновалова Т.Ю., Шевырева Н.А. Декоративные травы: Атлас-определитель. М.: Фитон XXI. 2018; 176. ISBN: 978-5-906811-40-0

⁵ Флора СССР. Л.: Издательство АН СССР. 1935; III: 636.

повислая и осока расставленная. Западная Европа, Европейская Россия, Западная и Восточная Сибирь — ареал распространения осоки заячьей. В Азии, на юге Европы и в Северной Америке распространены шерстоцвет равенский и другие осоки (рис. 1–6).

Рис. 1. *Tripidium ravennae* (L.) H. Scholz. Фото автора

Fig. 1. *Tripidium ravennae* (L.) H. Scholz. Photo of the author



Рис. 2. *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. Фото автора

Fig. 2. *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. Photo of the author



Рис. 3. *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng., cv. Little Bunny. Фото автора

Fig. 3. *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng., cv. Little Bunny. Photo of the author



Рис. 4. *Carex grayi* J. Carey. Фото автора

Fig. 4. *Carex grayi* J. Carey. Photo of the author



Рис. 5. *Carex comans* Berggr., cv. Milk Chocolate. Фото автора

Fig. 5. *Carex comans* Berggr., cv. Milk Chocolate. Photo of the author



Рис. 6. *Carex muskingumensis* Schwein. Фото автора

Fig. 6. *Carex muskingumensis* Schwein. Photo of the author



Морфометрические характеристики, показатели устойчивости — зимо-, морозо- и засухоустойчивость, устойчивость к болезням и вредителям, время

и периоды декоративного состояния растений, полученные в результате исследований, указаны в таблицах 1–3.

Таблица 1. Морфобиологические показатели декоративных злаков в условиях интродукции в 2021–2023 гг., $n = 20$

Table 1. Morphobiological indicators of ornamental grasses under conditions of introduction in 2021–2023, $n = 20$

Название вида, сорта	Начало		Генеративный побег					Вегетативный побег			
	вегетации	генера- тивной фазы	длина, см		листья			длина, см	кол-во листьев, шт.	листья, см	
			генерат. побега	метелки, колоса	кол-во	длина, см	ширина, см			длина	ширина
<i>Tripidium ravennae</i>	17.04 ± 4	27.08 ± 5	398,5 ± 44,4	59,4 ± 8,2	14,6 ± 0,9	161,2 ± 36,1	1,5 ± 0,01	218,7 ± 32,3	12,8 ± 1,5	189,4 ± 13,9	1,5 ± 0,03
<i>Arundo donax</i> cv. Variegata	16.04 ± 4	–	–	–	–	–	–	330,2 ± 49,6	36,3 ± 5,2	52,6 ± 8,2	7,3 ± 1,6
<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	15.04 ± 3	23.07 ± 6	209,7 ± 33,1	30,9 ± 2,7	12,5 ± 1,0	50,4 ± 4,2	1,6 ± 0,4	101,2 ± 21,1	8,4 ± 1,0	37,1 ± 14,2	1,2 ± 0,01
<i>Miscanthus sinensis</i> cv. Gold Bar	15.04 ± 3	–	–	–	–	–	–	55,1 ± 12,3	20,3 ± 3,1	30,5 ± 4,5	1,2 ± 0,1
<i>Pennisetum alopecuroides</i> cv. Little Bunny	21.04 ± 3	24.07 ± 6	32,7 ± 1,3	3,7 ± 0,2	1,9 ± 0,2	8,5 ± 1,1	0,2 ± 0,01	17,7 ± 0,8	4,3 ± 0,3	12,7 ± 0,4	0,2 ± 0,01
<i>Spartina pectinata</i>	15.04 ± 4	20.07 ± 4	198,1 ± 48,2	34,2 ± 4,2	10,5 ± 1,1	98,8 ± 7,1	1,8 ± 0,01	133,2 ± 42,5	6,5 ± 1,1	88,6 ± 12,1	1,3 ± 0,04
<i>Phragmites australis</i> cv. Variegatus	2.04 ± 4	11.07 ± 5	190,5 ± 44,5	26,8 ± 11,1	14,5 ± 2,5	40,1 ± 9,8	2,5 ± 0,1	95,1 ± 20,5	16,5 ± 4,8	29,1 ± 10,1	1,4 ± 0,2
<i>Nassella tenuissima</i>	14.04 ± 3	8.07 ± 6	77,2 ± 26,0	33,9 ± 19,1	1,8 ± 0,1	24,4 ± 1,3	0,1 ± 0,01	55,8 ± 21,0	3,1 ± 0,8	45,8 ± 9,8	0,08 ± 0,001

Таблица 2. Морфобиологические показатели декоративных осок в условиях интродукции в 2021–2023 гг., $n = 20$
Table 2. Morphobiological indicators of ornamental sedges under conditions of introduction in 2021–2023, $n = 20$

Название вида, сорта	Начало		Генеративный побег, см				Вегетативный побег, см		
	вегетации	генеративной фазы	длина		листья		длина	длина	ширина
			побега	колосков	длина	ширина			
<i>Carex albul</i>	15.04 ± 3	4.06 ± 5	63,4 ± 20,4	$2,3 \pm 0,1^*$ 2,0 ± 0,2	23,5 ± 2,3	0,16 ± 0,01	34,2 ± 6,6	30,4 ± 7,5	0,02 ± 0,01
<i>C. flacca</i> cv. Blue Zinger	13.04 ± 4	17.04 ± 7	37,1 ± 12,0	$2,6 \pm 0,2$ 1,7 ± 0,3	–	–	28,1 ± 1,3	23,5 ± 6,3	0,5 ± 0,01
<i>C. buechananii</i>	14.4 ± 3	10.06 ± 4	59,2 ± 14,8	$2,3 \pm 0,1$ 2,0 ± 0,1	–	–	38,9 ± 3,0	35,6 ± 16,2	0,4 ± 0,02
<i>C. recomans</i> cv. Milk Chocolate	12.04 ± 3	3.06 ± 5	67,3 ± 25,1	$3,5 \pm 0,2$ 2,8 ± 0,3	22,1 ± 1,9	0,2 ± 0,01	54,4 ± 10,8	48,4 ± 14,8	0,2 ± 0,01
<i>C. remota</i>	26.03 ± 4	10.6 ± 7	60,8 ± 16,8	0,8 ± 0,02**	22,4 ± 1,6	0,23 ± 0,01	37,7 ± 4,9	32,6 ± 9,2	0,2 ± 0,01
<i>C. neurocarpa</i>	28.03 ± 3	14.06 ± 6	40,1 ± 10,1	4,8 ± 0,4	35,6 ± 2,7	0,4 ± 0,02	62,4 ± 21,0	49,5 ± 12,5	0,3 ± 0,01
<i>C. grayi</i>	24.03 ± 4	6.06 ± 4	80,0 ± 29,2	$3,8 \pm 0,1$ 3,5 ± 0,1	31,5 ± 12,4	0,8 ± 0,02	57,1 ± 18,3	46,5 ± 18,3	0,8 ± 0,02
<i>C. leporina</i>	28.03 ± 4	10.05 ± 6	58,4 ± 18,0	0,9 ± 0,02	–	–	35,2 ± 11,8	25,8 ± 11,8	0,4 ± 0,01
<i>C. muskingumensis</i>	29.03 ± 4	8.06 ± 5	79,2 ± 16,9	2,2 ± 0,1	25,1 ± 1,8	0,6 ± 0,01	81,9 ± 28,8	22,8 ± 6,9	0,6 ± 0,02

Примечание: * числитель дроби — мужской колосок, знаменатель — женский; ** смешанный колосок.

Большинство исследуемых видов злаков и осок являются гелиофитами и предпочитают солнце или частичную полутень, требуют влажных или умеренно увлажненных, хорошо аэрируемых плодородных почв (мезофиты, мезоксерофиты). Засухоустойчив. Может расти на сухих почвах лишь один вид — населя тонколистная (ксеромезофит, ксерофит). Культивар тростника южного хотя и является гигрофитом, обладает высокой засухоустойчивостью за счет мощной системы многометровых корневищ и большой вегетативной подвигностью, нуждается в ограничении.

Вегетация злаков теплого сезона в исследуемый период начиналась 14–21.04, а генеративная фаза — с 8.07 до 27.08. У злака холодного сезона тростника южного эти фазы происходили в более ранние сроки: 2.04 и 11.07. Осоки холодного сезона начинали вегетацию 24–28.03, теплого — 12–15.04, начало генеративной фазы у обеих групп было более растянутым — с 17.04 до 16.06.

Исследуемые злаки относятся к различным жизненным формам: плотнодерновинно-кустовыми видами являются шерстоцвет равенский, перистошестинник лисохвостовый, мискантус китайский; к длиннокорневищным — спартина гребенчатая, тростник южный, арундо тростниковый, мискантус сахароцветковый. Ряд имеющихся в коллекции осок (осока белая, осока власовидная, осока Бьюкенена, осока жилкоплодная, осока заячья, осока пальмолистная, осока Грэй) образуют дерновины: У других видов (осока расставленная (дернистое корневище), осока голубая) формируются группы побегов, соединенных горизонтальными подземными корневищами.

По способам ветвления и характеру подземных органов злаки принадлежат к группам розеточных или безрозеточных растений, которые отличаются по габитусу. У розеточных видов (шерстоцвет равенский, мискантус китайский, перистошестинник лисохвостовый, населя тонколистная) формируется кочка, их генеративные побеги без листьев, у безрозеточных (мискантус сахароцветковый, спартина гребенчатая, тростник южный, арундо тростниковый) генеративные побеги облиственные [14]. Эти морфологические различия придают растениям большое разнообразие габитусов и форм.

Исследуемые растения обеих групп не поражались болезнями и не повреждались вредителями, зимо- и морозоустойчивы, засухоустойчивы. Сохраняли стабильное декоративное состояние от 82 до 125 дней. Хорошо размножаются вегетативно. По итогам исследования все изученные виды и культивары отнесены к группе перспективных растений и могут быть рекомендованы для использования в объектах озеленения края.

Таблица 3. Показатели устойчивости и период декоративного состояния орнаментальных злаков и осок

Table 3. Indicators of stability and period of decorative state of ornamental grasses and sedges

Название вида, сорта	Устойчивость			Продолжительность декоративного состояния	
	к болезням и вредителям	зимо- и морозоустойчивость*	к засухе	период	дней
<i>Tripidium ravennae</i>	0	5(6)	4	16–21.07 — 1–15.10	82,4 ± 19,2
<i>Arundo donax</i> cv. Variegata	0	4(7)**	3	7–10.07 — 1–15.10	92,7 ± 14,1
<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	0	5(4)	4	21–28.07 — 1–15.10	76,4 ± 21,1
<i>Miscanthus sinensis</i> cv. Gold Bar	0	5(6)	3	16–21.07 — 1–15.10	82,2 ± 24,6
<i>Pennisetum alopecuroides</i> cv. Little Bunny	0	5(6)	4	10–15.07 — 1–15.10	88,8 ± 17,5
<i>Spartina pectinata</i>	0	5(4)	4	18–20.07 — 1–15.10	82,5 ± 14,2
<i>Phragmites australis</i> cv. Variegatus	0	5(4)	4	5–10.07 — 1–15.10	92,5 ± 22,7
<i>Nassella tenuissima</i>	0	5(6)	4–5	6–10.07 — 1–15.09	93,1 ± 20,1
<i>Carex albul</i>	0	5(6)	4	15–20.06 — 1–15.10	83,4 ± 12,9
<i>C. flacca</i> cv. Blue Zinger	0	5(6)	4	20–25.05 — 1–15.10	109,4 ± 31,1
<i>C. buechananii</i>	0	5(6)	4	15–20.06 — 1–15.10	113,7 ± 30,2
<i>C. comans</i> cv. Milk Chocolate	0	5(6)	4	15–20.06 — 1–15.10	113,5 ± 32,1
<i>C. remota</i>	0	5(4)	4	1–10.06 — 1–15.09	125,7 ± 21,1
<i>C. neurocarpa</i>	0	5(4)	4	1–10.06 — 1–15.10	125,3 ± 18,1
<i>C. grayi</i>	0	5(4)	4	1–10.06 — 15–30.09	125,4 ± 28,2
<i>C. leporina</i>	0	5(4)	4	1–10.06 — 1–15.09	125,3 ± 16,5
<i>C. muskingumensis</i>	0	5(4)	4	15–20.06 — 1–15.09	113,5 ± 26,1

Примечание: * в скобках приведены показатели зоны морозостойкости, ** *Arundo donax* — на зиму укрывался опилками, высокими стеблями и листьями злаков.

По уходу за растениями использовались следующие агротехнические мероприятия: прополки, рыхление, междурядная культивация, внесение минеральных подкормок, капельный полив. В периоды засух применялся ежедневный полив.

По способам использования в озеленении исследуемые злаки и осоки можно отнести к разным группам: низкорослым, среднерослым и высокорослым. Высота низкорослых растений не превышает 20–50 см. В рокариях и альпинариях осока голубая cv. Blue Zinger формирует группы побегов, соединенных горизонтальными подземными корневищами, и активно разрастается в ширину. Может использоваться как почвопокровное растение и для укрепления склонов. Здесь можно высаживать растения, имеющие плотную дернину: осоку заячью, осоку жилкоплодную, осоку расставленную, перистошестинник лисохвостовый. Для невысоких

бордюров рекомендуются осока расставленная и осока жилкоплодная, для высоких — осока Грэй, осока пальмолистная. У среднерослых растений высота варьируется в диапазоне 50–100 см. Для оформления миксбордеров и многоярусных цветников можно использовать ковыль тончайший, осоку пальмолистную, осоку Грэй. В качестве высокорослых растений, имеющих высоту от 1 м и выше, во многоуровневых растительных композициях и в качестве экранов и ширм можно рекомендовать мискантус сахароцветковый и спартину гребенчатую. Для декорирования прибрежных зон водоемов хороши тростник южный, осока волосовидная, осока Бьюкенена, осока пальмолистная, осока Грэй. В качестве цветочных акцентов можно использовать осоку голубую, осоку косматую, св. Milk Chocolate, осоку Бьюкенена, осоку белую, мискантус китайский, св. Gold Bar. Для миксбордеров хороши осока повислая, осока волосовидная, особенно выгодно смотрятся высаженные большими группами осока пальмолистная и осока Грэй. В цветниках в природном стиле выигрышно смотрится осока белая. Для солитеров эффектны мощные высокорослые злаки шерстоцвет равенский и арундо тростниковый. Арундо культивировался в условиях зимнего укрытия (опилки, стебли и листья злаков). Если в Никитском ботаническом саду (откуда поступило это растение) его длина достигает 4 м и более, в данных условиях его максимальная высота 3,30 м.

Выводы/Conclusion

1. В условиях интродукции изучены семь декоративных злаков теплого сезона (*Tripidium ravennae*, *Arundo donax*, св. Variegata, *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.), *Miscanthus sinensis*, св. Gold Bar, *Pennisetum alopecuroides*, св. Little Bunny, *Spartina pectinata* св. Aureomarginata, *Nassella tenuissima*), один злак холодного сезона (*Phragmites australis*, св. Variegatus), а также девять видов осок (*Carex flacca*, св. Blue Zinger, *C. buechananii*, *C. comans*, св. Milk Chocolate, *C. remota*, *C. neurocarpa*, *C. grayi*, *C. leporina*, *C. muskingumensis*).

Растения показали высокую степень адаптации к новым природно-климатическим условиям, сохранили полезные хозяйственно-биологические свойства и признаки (близкие природным ритмы онтогенеза,

способность к прохождению полного цикла развития побегов, жизненную форму и природный габитус). Хорошо размножаются вегетативным путем. В соответствии со шкалой интродукционной устойчивости — интегрального показателя биологической приспособленности к новым условиям существования — они отнесены к группе устойчивых растений. Не повреждаются болезнями и вредителями, отличаются зимо-, морозо- и засухоустойчивостью. Изученные злаки и осоки характеризуются стабильностью декоративного состояния, которое сохраняется от 82 до 125 дней, отличаются относительной малоухудшенностью. По итогам хозяйственно-биологической оценки отнесены к группе перспективных растений и могут быть рекомендованы к использованию в объектах озеленения края.

2. Исследованные злаки и осоки высокодекоративны и отличаются разнообразием габитусов, цветочных оттенков и способам использования в ландшафтных композициях. В рокариях и альпинариях осока голубая св. Blue Zinger может применяться как почвопокровное растение и для укрепления склонов. Хороши также имеющие плотные дерновины осока заячья, осока жилкоплодная, осока расставленная, перистоцетинник лисохвостовый. Для невысоких бордюров могут быть рекомендованы осока расставленная и осока жилкоплодная, для высоких — осока Грэй и осока пальмолистная. Среднерослые ковыль тончайший, осока пальмолистная, осока Грэй, осока повислая, осока волосовидная подходят для оформления миксбордеров и многоярусных цветников. Высокорослые злаки мискантус сахароцветковый и спартину гребенчатую можно использовать для создания фона в многоуровневых растительных композициях, в качестве экранов и ширм. Для декорирования прибрежных зон водоемов хороши тростник южный, осока волосовидная, осока Бьюкенена, осока пальмолистная, осока Грэй. В качестве цветочных акцентов можно использовать осоку голубую, осоку косматую св. Milk Chocolate, осоку Бьюкенена, осоку белую, мискантус китайский св. Gold Bar. Для солитеров эффектны мощные высокорослые злаки шерстоцвет равенский и арундо тростниковый.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные. Автор несет ответственность за плагиат. Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

The author is responsible for the work and the submitted data. The author is responsible for plagiarism. The author declared no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Материалы подготовлены в рамках выполнения государственного задания НИР «Пополнить генетические коллекции растений, изучить и создать новые генотипы, сорта и гибриды плодовых, декоративных культур и шелковицы с комплексом хозяйственно ценных и декоративных признаков, сочетающих высокую адаптивность, технологичность и продуктивность, пригодных для разработки интенсивных, ресурсо- и энергосберегающих технологий» (FNMU-2022-0014).

FUNDING

The materials were prepared within the framework of the state task of research and development "To replenish the genetic collections of plants, to study and create new genotypes, varieties and hybrids of fruit, ornamental crops and mulberries with a complex of economically valuable and decorative features combining high adaptability, manufacturability and productivity, suitable for the development of intensive, resource- and energy-saving technologies" (FNMU-2022-0014).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трушева Н.А., Абдурахманова С.А. Применение декоративных злаковых трав в ландшафтной архитектуре южных городов России. *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2021; 59: 233–237. <https://www.elibrary.ru/lh2jxb>
2. Имамбекова Г.А., Калашников Д.В. Сравнительная оценка декоративных злаков для городского озеленения в климатических условиях столицы Казахстана. *Вестник ландшафтной архитектуры*. 2022; 32: 41–47. <https://www.elibrary.ru/mmiuiv>
3. Сафонова О.М., Тазина С.В. Использование декоративных злаковых трав при благоустройстве городских территорий в условиях Московской области. *Вестник ландшафтной архитектуры*. 2020; 22: 49–52. <https://www.elibrary.ru/xolokd>
4. Oudolf P., Gerritsen H. Planting the Natural Garden. Portland: Timber Press. 2019; 288. ISBN 978-1604699739
5. Бахарев В.В. Декоративные злаки в ландшафтном дизайне. Белгород: Издательство БГТУ. 2022; 216. ISBN 978-5-361-01037-0 <https://www.elibrary.ru/ittftq>

REFERENCES

1. Trusheva N.A., Abdurakhmanova S.A. Application of ornamental cereals in the landscape architecture of the Southern cities of Russia. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa*. 2021; 59: 233–237 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/lh2jxb>
2. Imambekova G.A., Kalashnikov D.V. Comparative assessment of ornamental cereals for urban landscaping in the climatic conditions of the capital of Kazakhstan. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury*. 2022; 32: 41–47 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mmiuiv>
3. Safonova O.M., Tazina S.V. The use of ornamental cereal grasses in the improvement of urban areas in the Moscow region. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury*. 2020; 22: 49–52 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xolokd>
4. Oudolf P., Gerritsen H. Planting the Natural Garden. Portland: Timber Press. 2019; 288. ISBN 978-1604699739
5. Bakharev V.V. Ornamental grasses in landscape design. Belgorod: Belgorod State Technological University. 2022; 216 (in Russian). ISBN 978-5-361-01037-0 <https://www.elibrary.ru/ittftq>

6. Аристова Т.В. Цветники новой волны Пита Удольфа в озеленении городских кварталов г. Екатеринбурга. *Агрофорсайт*. 2021; (3): 91–101. <https://www.elibrary.ru/kajfhe>

7. Иванова А.Ю. *Pennisetum* Rich. в коллекции Амурского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2023; 73: 55–71. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-73-55-71>

8. Гречушкина-Сухорукова Л.А., Тазина С.В. Коллекция декоративных злаков и осок в Ставропольском ботаническом саду. *Новости науки в АПК*. 2019; (1–2): 53–58. <https://doi.org/10.25930/etbw-rd25>

9. Шумик Н.И. Научные принципы создания биологически устойчивых зеленых насаждений в современном урбандизмландшафте. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2008; 41: 360–366. <https://www.elibrary.ru/owhcop>

10. Желтовская Т.Т. Декоративные травы в вашем саду. М.: *Фитон XXI*. 2014; 175. ISBN 978-5-906-171-56-6

11. Зайцев Г.Н. Фенология травянистых многолетних. М.: *Наука*. 1978; 150.

12. Былов В.Н., Карпионов Р.А. Принципы создания и изучения коллекции декоративных многолетних. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1978; 107: 77–82. <https://www.elibrary.ru/wghbsf>

13. Карпионов Р.А., Демидов А.С. Принципы создания и изучения коллекций декоративных растений Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина. *Совет ботанических садов России. Информационный бюллетень*. М.: ГБС РАН. 2001; 7: 7–9.

14. Серебрякова Т.И. Морфогенез побегов и эволюция жизненных форм злаков. М.: *Наука*. 1971; 360.

ОБ АВТОРАХ

Людмила Андреевна Гречушкина-Сухорукова

кандидат биологических наук

grechushkina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0665-5548>

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, ул. им. Никонova, 49, Михайловск, Ставропольский край, 356241, Россия

6. Aristova T.V. Flower beds of the new wave of Piet Oudolf in the landscaping of city blocks in Yekaterinburg. *Agroforst*. 2021; (3): 91–101 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kajfhe>

7. Ivanova A.Yu. *Pennisetum* rich. in the plant collection of the Amur branch of the Botanical Garden-institute. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2023; 73: 55–71 (in Russian). <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-73-55-71>

8. Grechushkina-Sukhorukova L.A., Tazina S.V. Collection of ornamental grasses and sedges in the Stavropol Botanical Garden. *Novosti nauki v APK*. 2019; (1–2): 53–58 (in Russian). <https://doi.org/10.25930/etbw-rd25>

9. Shumik I.I. Scientific principles for creating biologically sustainable green spaces in the modern urban landscape. *Subtropicheskoye i dekorativnoye sadovodstvo*. 2008; 41: 360–366 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/owhcop>

10. Zheltovskaya T.T. Ornamental grasses in your garden. Moscow: *Fiton XXI*. 2014; 175 (in Russian). ISBN 978-5-906-171-56-6

11. Zaitsev G.N. Phenology of herbaceous perennials. Moscow: *Nauka*. 1978; 150 (in Russian).

12. Bylov V.N., Karpisonova R.A. Principles of creating and studying a collection of decorative perennials. *Bulletin Main botanical garden*. 1978; 107: 77–82 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wghbsf>

13. Karpisonova R.A., Demidov A.S. Principles of creation and study of collections of ornamental plants of the Tsitsin Main Botanical Garden. *Council of Botanical Gardens of Russia. Newsletter*. Moscow: Main Botanical Garden of Academy of Sciences. 2001; 7: 7–9 (in Russian).

14. Serebryakova T.I. Morphogenesis of shoots and evolution of life forms of cereals. Moscow: *Nauka*. 1971; 360 (in Russian).

ABOUT THE AUTHORS

Lyudmila Andreevna Grechushkina-Sukhorukova

Candidate of Biological Sciences

grechushkina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0665-5548>

North Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, 49 Nikonov Str., Mikhailovsk, Stavropol Territory, 356241, Russia

УДК 631.171

Научный обзор

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-114-122

С.С. Юрочка
А.Р. Хакимов ✉
Д.Ю. Павкин
С.О. Базаев
И.В. Комков

Федеральный научный агроинженерный
центр ВИМ, Москва, Россия

✉ artv.hv@gmail.com

Поступила в редакцию:

19.02.2024

Одобрена после рецензирования:

11.03.2024

Принята к публикации:

27.03.2024

Review

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-114-122

Sergey S. Yurochka
Artyom R. Khakimov ✉
Dmitry Yu. Pavkin
Savr O. Bazaev
Ilya V. Komkov

Federal Scientific Agroengineering Center
VIM, Moscow, Russia

✉ artv.hv@gmail.com

Received by the editorial office:

19.02.2024

Accepted in revised:

11.03.2024

Accepted for publication:

27.03.2024

Обзор исследований и технологий, применимых для цифровизации процесса оценки экстерьера животных в мясном и молочном животноводстве

РЕЗЮМЕ

Для повышения эффективности животноводства ученые разрабатывают информационные и коммуникационные технологии, направленные на цифровизацию процесса оценки экстерьера животных. Этот обзор должен улучшить понимание этапов разработки систем, применимых в цифровизации процесса оценки экстерьера животных и использующих машинное зрение и нейросети глубокого обучения. Поиск был сосредоточен на нескольких вопросах: системы машинного зрения; обучающие наборы данных; системы сбора изображений; модели глубокого обучения; нейросети для обучения; параметры производительности и оценки систем. Машинное зрение является инновационным решением благодаря сочетанию датчиков и нейросетей, реализуя бесконтактный способ оценки условий содержания скота, поскольку камеры могут заменить наблюдения человеком. Используются два подхода к получению трехмерных изображений для задач цифровизации в животноводстве: съемка животных с помощью одной 3D-камеры, закрепленной в одном месте, и съемка с разных точек с использованием нескольких 3D-камер, которые фиксируют изображения животных и отдельные части их тел, таких как вымя. Особенности, извлекаемые из изображений, называемые дорсальными чертами, используются в качестве входных данных для моделей. В изученных публикациях использовались различные модели глубокого обучения, включая CNN, DNN, R-CNN и SSD в зависимости от задачи. Аналогично и нейросети, такие как EfficientNet, ShapeNet, DeepLabCut и RefineDet, были использованы для мониторинга здоровья животных, тогда как GoogleNet, AlexNet, NasNet, CapsNet, LeNet и ERFNet в основном используются для целей идентификации.

Ключевые слова: молочное и мясное животноводство, цифровизация, селекция, бонитировочные работы, нейросети, трехмерные изображения

Для цитирования: Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Павкин Д.Ю., Базаев С.О., Комков И.В. Обзор исследований и технологий, применимых для цифровизации процесса оценки экстерьера животных в мясном и молочном животноводстве. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 114–122.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-114-122>

© Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Павкин Д.Ю., Базаев С.О., Комков И.В.

Review of researches and technologies applicable to digitalization of the process of assessing the exterior of meat and dairy animals

ABSTRACT

To increase the efficiency of livestock farming, scientists are developing information and communication technologies aimed at digitalizing the process of assessing the exterior of animals. This review should improve understanding of the development steps of systems applicable to the digitalization of animal conformation assessment using computer vision and deep learning neural networks. The search focused on several topics: computer vision systems; training datasets; image acquisition systems; deep learning models; neural networks for training; performance parameters and system evaluation. Machine vision is an innovative solution by combining sensors and neural networks, providing a non-contact way to assess livestock conditions as cameras can replace human observation. Two approaches are used to obtain three-dimensional images for digitalization tasks in animal husbandry: shooting animals using one 3D camera fixed in one place, and shooting from different points using several 3D cameras that record images of animals and individual parts of their bodies, such like an udder. The features extracted from the images, called dorsal features, are used as input to the models. The reviewed publications used a variety of deep learning models, including CNN, DNN, R-CNN, and SSD, depending on the task. Similarly, neural networks such as EfficientNet, ShapeNet, DeepLabCut and RefineDet have been mainly used for animal health monitoring, while GoogleNet, AlexNet, NasNet, CapsNet, LeNet and ERFNet are mainly used for identification purposes.

Key words: dairy and meat farming, digitalization, selection, valuation work, neural networks, three-dimensional images

For citation: Yurochka S.S., Khakimov A.R., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O., Komkov I.V. Review of researches and technologies applicable to digitalization of the process of assessing the exterior of meat and dairy animals. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 114–122 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-114-122>

© Yurochka S.S., Khakimov A.R., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O., Komkov I.V.

Введение/Introduction

В Российской Федерации в области АПК существует значительный потенциал развития сельского хозяйства. Раскрытие потенциала возможно произвести, используя инструменты повышения эффективности аграрного производства путем создания и внедрения средств автоматизации, цифровых технологий и искусственного интеллекта [1]. По данным работы Ю.С. Ценч, развитие АПК в настоящее время имеет тренд в направлении использования цифровых и интеллектуальных технологий [2]. В России ведутся научные исследования в тематике создания систем цифровизации молочного и мясного животноводства [3].

На молочных и племенных фермах решения о том, чем кормить, когда осеменять, как и когда лечить животное и так далее, часто зависят от человеческого фактора. Однако постоянно наблюдать за каждым животным на ферме нецелесообразно. Фермеры обычно сосредотачиваются на производственных аспектах содержания животных, но по мере увеличения размеров фермы внимание специалистов для каждого животного уменьшается [4]. Для улучшения процесса содержания животных современное животноводство использует информационные и коммуникационные технологии, направленные на мониторинг и управление в реальном времени [5]. Использование новых технологий позволило снизить инвестиционные затраты и улучшить как производительность, так и здоровье животных [6].

Большинство племенных и молочных ферм используют ручные методы мониторинга состояния здоровья животных, а цифровизация замедлена сложностью создания алгоритмов автоматической бесконтактной оценки состояния здоровья животных. Одной из проблем перевода ручных операций с животными к автоматическим является то, что опытные специалисты хоть и принимают решения с результатами высокого качества, но их наблюдения сложно поддаются количественной оценке [7–9].

Для проведения комплексной оценки экстерьера измерения проводятся вручную специалистом с использованием различных инструментов [10–13]. Эти измерения требуют, чтобы животное оставалось практически неподвижным в загоне или в специальных боксах, что является источником дополнительного стресса. Специалисты должны быть знакомы со структурой скелета, чтобы иметь возможность визуально оценить форму тела коровы и прощупать определенные анатомические области [9, 14]. Процедура оценки хромоты объединяет несколько характеристик походки и осанки, таких как свод спины, асимметрия походки и нагрузка на ноги, в одну общую оценку [15, 16]. Можно сказать, что традиционные ручные методы трудоемки, ограничены в трудозатратах, отнимают много времени и зачастую субъективны [7].

В существующих системах цифровизации животноводства для сбора данных о состоянии животных используются различные сенсорные технологии, которые затем анализируются с помощью передовых алгоритмов. Информационная система управления фермой использует данные, чтобы помочь фермерам принимать правильные решения. Эта информация позволяет определить потребности животного, оказывая индивидуальное внимание для повышения эффективности [17]. Однако для полного и эффективного использования данных с камер и датчиков можно использовать различные алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения [6].

Один из примеров — глубокое обучение, которое решает сложные проблемы с использованием алгоритмов.

Алгоритмы используют высокоуровневые функции на основе больших массивов данных, что делает глубокое обучение лучше, чем традиционное машинное обучение, позволяя автоматически извлекать функции путем обучения алгоритмов и снижая нагрузку на пользователей [18]. На первом этапе нейросеть с алгоритмом глубокого обучения учится с использованием набора заранее подготовленных данных, а на втором этапе выполняется проверка алгоритма с использованием другого набора данных. Алгоритм и обученные параметры создают модель прогнозирования, которая затем используется для поиска результата и принятия решений.

В секторе мясного и молочного животноводства глубокое обучение уже внедряется для решения различных задач, например для обнаружения мух на теле крупного рогатого скота, определения промеров отдельных частей тела, определения породы, выявления хромоты и мастита с использованием изображений, а также определения массы тела [19–24].

Системы, оценивающие состояние здоровья животных без участия человека, могут сами по себе снижать стресс животных. Например, присутствие людей часто влияет на поведение коровы, поскольку крупный рогатый скот может страдать от стресса и проблем с благополучием из-за беспокойства, а также во время ручных операций сами люди сталкиваются с риском травм [25, 26].

Существуют обзоры, охватывающие некоторые области цифровизации животноводства: приложения машинного обучения для управления молочными фермами, для животноводства с упором на устойчивость — экологические, экономические и социальные аспекты и машинное обучение для управления животноводством [27–29]. Однако не представлены обзоры о полном цикле создания систем цифровизации мясного и молочного животноводства, использующих технологии машинного зрения, методы глубокого обучения и изображения с камер для проведения ветеринарных и бонитировочных работ.

Цель данного обзора — представить исследования и технологии, применимые в цифровизации процесса оценки экстерьера животных и использующие машинное зрение и подходы глубокого обучения в нейросетевых технологиях.

Полученные результаты исследований будут использоваться в дальнейшей разработке методов и математических моделей бесконтактного определения экстерьера животных.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Процесс создания обзора подразделяется на три этапа: планирование задач, проведение обзора и формирование результирующего отчета. На этапе планирования были определены вопросы исследования, соответствующие ключевые слова и базы данных публикаций. Далее были установлены параметры поиска, в том числе определены поисковые запросы по ключевым словам по eLibrary, Google Scholar, Scopus, Web of Science и MDPI.

Исследования, выбранные по ключевым словам, были тщательно изучены с различных аспектов. Сформулированы следующие пять исследовательских вопросов, ответы на которые искали в изучаемых публикациях:

1. Какие проблемы животноводства решаются с помощью цифровизации?

2. Какие технологии используются для создания наборов обучающих данных в животноводстве?

3. Какие модели и сети глубокого обучения используются в животноводстве?

4. Какие модели и сети глубокого обучения лучше всего справились с конкретной проблемой?

5. Какие возникают проблемы, связанные с применением оценки состояния крупного рогатого скота системами цифрового мониторинга здоровья животных?

Если исследование включало ответ хотя бы на один из этих вопросов, оно использовалось в обзоре.

Для обобщения полученных результатов поиска использовалось приложение для работы с электронными таблицами Microsoft Excel (США). Получение результатов поиска из всех выбранных исследований было сосредоточено в ответах на исследовательские вопросы (модели глубокого обучения, нейросети для обучения, наборы данных, системы сбора изображений, параметры производительности и оценки), а также возникающие при эксплуатации проблемы.

Ввиду того что многие исследовательские группы опубликовывали результаты экспериментов в нескольких научных работах, в обзоре зачастую будет использована форма «Исследовательская группа...».

Результаты обзора были сформированы в виде четырех последовательных тематик: описание существующих систем машинного зрения; технологии сбора изображений обучающих наборов данных; выделение признаков и подготовка выборок; модели и нейросети, используемые в цифровизации мясного и молочного животноводства.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Автоматический мониторинг здоровья крупного рогатого скота точно определяет физиологическое состояние, продуктивность и адекватность кормления коров. Проблемы со здоровьем крупного рогатого скота выявляются посредством автоматического мониторинга поведения, активности, строения тела, оценки упитанности, массы тела, частоты дыхания, а также выявления хромоты, мастита и т. д. Решения, связанные с идентификацией животных, включают обнаружение и распознавание морд, классификацию пород, обнаружение и отслеживание нахождения в кадре крупного рогатого скота, в некоторых случаях разрабатываются системы для распознавания КРС по кончику морды и т. д. Все эти системы используют бесконтактные технологии.

Для того чтобы создать систему машинного зрения для бесконтактного мониторинга состояния здоровья животных на ферме, основанную на оценке изображений нейросетью, необходима камера для создания обучающей выборки, содержащей большое количество изображений, подготовленных к обучению нейросети, а также подходящая модель для обучения нейросети.

Машинное зрение в животноводстве

Использование машинного зрения в животноводстве вносит значительный вклад в развитие и модернизацию традиционных методов. Это относится к непрерывному мониторингу состояния здоровья животных в режиме реального времени, обеспечивая фермеров необходимой информацией [30–32]. Информация касается данных, в основном получаемых с датчиков-камер и проанализированных нейросетями. Машинное зрение является инновационным решением в сочетании датчиков и нейросетей, формируя бесконтактный способ минимизации вмешательства человека при содержании скота,

поскольку камеры могут заменить наблюдения человеческими глазами [33, 15, 11]. Машинное зрение включает в себя двух- и трехмерные системы зрения [34].

Двухмерное машинное зрение уже способствовало совершенствованию практики управления скотом в животноводстве. Однако двухмерное машинное зрение унаследовало ограничения на идентификацию анатомических ориентиров крупного рогатого скота. Анатомические ориентиры разбросаны по поверхности тела коровы и определяют морфологические признаки, имеющие решающее значение для определения промеров тела крупного рогатого скота.

Некоторые ориентиры трудно идентифицировать с помощью двухмерного машинного зрения, поскольку они распределяются по телам в трехмерном виде, а изменения перспективы и расстояния могут влиять на захват ориентиров. Как правило, подходы двухмерного машинного зрения требуют сегментации данных отдельного крупного рогатого скота перед идентификацией ориентиров, но сегментации препятствуют различные условия освещения, фон и другие факторы [35].

За последнее десятилетие трехмерное машинное зрение всё больше внедрялось в управление животными в мясном и молочном животноводстве. Например, исследовательская группа Cominotte использовала систему трехмерного машинного зрения для определения массы тела мясного скота [36]. Недорогие трехмерные камеры являются улучшенными альтернативными инструментами для машинного зрения, поскольку обеспечивают особенно ценное третье измерение, «глубину», которая является расстоянием между датчиками и целями и представляется в основном в виде облаков точек.

Исследовательская группа Nasirahmadi рассмотрела методы обработки изображений на основе двух- и трехмерного машинного зрения для автоматического мониторинга характеристик и поведения крупного рогатого скота и свиней в конкретных классифицированных приложениях [37]. Исследовательская группа Wang сравнила приложения машинного зрения для определения массы скота [38]. Результат показывает возможность полной автоматизации определения массы тела животных на основе цифровых изображений при внедрении машинного и глубокого обучения. Исследовательская группа Salau реализовала сложную внешнюю калибровку с помощью дополнительного объекта 3D-калибровки для шестикамерных устройств Microsoft Kinect v1 [39]. Этот основной этап получения необработанных данных фундаментально повлиял на последующие исследования по сбору данных. Они идентифицировали части тела коров, включая голову, круп, спину, ноги и вымя, распознавали вымя и заднюю ногу коров и рассчитали морфологические характеристики, выполнили предварительную обработку массива данных для распознавания трехмерных объектов посредством краткого и изобретательного задания пороговых значений и вычитания фона, упрощая извлечение целевых облаков точек [40, 41].

Однако в этих исследованиях выбран только один конкретный вопрос сбора данных и предварительной обработки для исследования. Не было предпринято никаких попыток систематического изложения общих процедур сбора и предварительной обработки массива данных для использования трехмерного машинного зрения.

Сбор обучающих наборов данных

Сбор трехмерных изображений для обучающей выборки в изученных статьях можно производить двумя типами 3D-камер.

Первая группа — это трехмерные ИК-камеры, использующие инфракрасный излучатель для проецирования узора из лазерных точек, деформация которых обнаруживается инфракрасным датчиком и используется для расчета значений глубины на изображении [42]. Microsoft Kinect v1 является самой распространенной камерой данного типа. Поскольку камеры такого типа чувствительны к солнечному свету, в большинстве исследований эксперименты проводились преимущественно в помещении. Однако исследовательские группы Van Hertem и Viazzi разместили свои датчики вне помещения и проводили эксперименты при внешнем искусственном освещении в ночное время [43, 33].

Второй тип камер — это времяпролетные 3D-камеры для расчета глубины. В основном исследователи использовали Microsoft Kinect v2.

Используются два популярных подхода к получению трехмерных изображений для задач цифровизации в животноводстве.

Один подход — съемка спин крупного рогатого скота с помощью одной 3D-камеры, закрепленной в надири (надир — положение непосредственно над платформой на относительно высоком месте). Для этого типа сбора данных 3D-камера обычно прикреплялась к фиксированной платформе, которая обычно представляла собой раму на высоте 1,95–3,45 м над землей. 3D-камера собирает данные с частотой от 15 до 30 кадров в секунду.

Другой подход заключался в съемке с разных точек с использованием нескольких 3D-камер, которые фиксировали животных и отдельные части тела, такие как вымя [12]. Данные с нескольких камер реконструировали облака точек крупного рогатого скота, что было обобщением триангуляции в фотограмметрии, а методы реконструкции различались в зависимости от типов камер. Камеры обычно состояли либо из идентичных 3D-камер, либо из идентичных 2D-камер. Они одновременно захватывали 3D- и 2D-данные, соответственно, с разных точек обзора с калибровкой перед съемкой.

В исследовательской группе Le Cozler в качестве устройств сбора данных использовали пять пар 2D-камер и лазерных проекторов [44]. Лазерные проекторы Morpho 3D в своих исследованиях излучали свет в виде полос, каждый раз генерировали вертикальную плоскость из пересечения света и изображений животных и таким образом объединяли облака точек плоскостей с облаком точек крупного рогатого скота. Кроме того, съемка проводилась с нескольких точек обзора путем перемещения только одной камеры.

В исследовательских группах Pezzuolo и Martins перемещали одну 3D-камеру вокруг стоящего животного для сбора полного облака точек тела коровы [45, 12].

3D-камеры часто запускались в автоматическом режиме по сигналам других устройств или датчиков. Наиболее часто используемым был датчик-считыватель радиочастотной идентификации, который использовался для идентификации каждой коровы путем считывания электронной идентификационной метки коровы. Успешная идентификация животного давала сигнал к остановке предыдущей записи, а также к началу нового цикла записи данных.

Другими простыми триггерами записи были датчик приближения, активируемый при приближении животного, в работе исследовательской группы Shigeta, пассивный инфракрасный детектор движения, который размещался перед камерами в исследовательской группе Spoliansky, или одиночные сигналы с камеры об

открытии проходных ворот в исследовательской группе Fischer [46–48].

Усовершенствованный триггер начала записи был предложен в работе учеными исследовательской группы Okura [49]. Они воспользовались преимуществами датчика глубины и использовали изменение изображения на переднем плане в реальном времени, чтобы обнаружить приближающийся скот и запустить запись 3D-камерой изображений для обучающей выборки.

Для получения несмазанных, высококачественных 3D-изображений животные должны были быть практически неподвижны либо двигаться в заранее известном направлении. Их удерживали на месте разными методами: кормлением, успокоением или приучением двигаться по одному маршруту вперед [50, 44, 51–53].

В исследовательских группах Van Hertem и Viazzi организовывали проход скота через спроектированные ими коридоры [43, 33]. В данных исследованиях использовались специальные сортировочные ворота для животных после дойки, за которыми следовал коридор с поворотом на 90°, который обеспечивал необходимую временную задержку между коровами для обеспечения беспрепятственного движения. Ворота были единственным местом на ферме, куда проходили все коровы после дойки в доильном зале, расположенном рядом.

Исследовательская группа Van Hertem построила проходную систему на выходе из карусельного доильного зала, куда каждый раз выпускали одну корову [54].

В подходе к получению 3D-изображений для прямых 3D-измерений можно выделить широкий спектр процедур сбора данных. Во многих исследованиях их измеряли со спин крупного рогатого скота, фиксируя датчик в надири, это напоминало то, к чему пришли в разделе сбора данных. Например, исследовательские группы Kamchen и Nir применили одну 3D-камеру в помещении на высоте 2,5 м и 2,8 м над землей соответственно [13, 55]. Исследовательская группа Huang использовала датчик LiDAR [51, 52].

В одной из статей исследовательская группа Ruchay собрала данные из нескольких изображений в одно, разместив три камеры RGB-D слева, справа и вверху прохода, и синхронизировала процесс получения изображений [11]. Исследовательские группы Pezzuolo и Martins получили изображения для обучающей выборки, перемещая одну камеру вокруг животного [45, 12]. Исследовательские группы Gaudioso и Lomillos собирали изображения животных в их естественной среде обитания на расстоянии от 10 до 15 м с помощью портативного прибора, включающего две синхронизированные 2D-камеры [10, 56].

Выявление признаков в выборке

Системы трехмерного машинного зрения обычно оценивают состояние животного посредством анализа 3D-изображений спин, полученных из надир. Особенности, извлеченные из этих изображений, называемые дорсальными чертами, обычно использовались в качестве входных данных для моделей. В некоторых исследованиях были извлечены непосредственно первичные признаки спины животных, такие как длина спины, и напрямую рассчитаны вторичные признаки, такие как площадь спины и объем выпуклой части тела, для оценки индекса массы тела [47, 12, 14]. В других исследованиях были выявлены косвенные черты спины после определения анатомических ориентиров на спине.

Исследовательская группа Song автоматически идентифицировала позвоночник, крестцовую связку,

крючковатую кость и булавочную кость [34]. Вокруг этих физических ориентиров группа измеряла выступы костей или углубления поверхности тела и определяла их как особенности модели. Исследовательская группа Fischer вручную определила четыре анатомических ориентира: верхнюю часть левой крючковой кости, верхнюю часть правой крючковой кости и две точки у основания крестца, чтобы определить пространство с центром в задней части коровы перед стандартизацией трехмерных поверхностей коров [48]. В одном исследовании из спин крупного рогатого скота была получена косвенная оценка угловатости.

Исследовательская группа Song применила несколько 3D-камер, расположенных сверху, сзади и сбоку, чтобы имитировать людей, оценивающих различные области тела коровы с разных точек зрения, тем самым улучшая классификацию индекса массы тела [48].

Для оценки индекса массы тела использовали два типа моделей. Первый тип — модели линейной регрессии, включающие пошаговую, LASSO и простую линейную регрессию.

Прежде чем обучать пошаговую модель, исследовательская группа Spoliansky нормализовала все функции, извлеченные посредством сбора и предварительной обработки 3D-данных, до значений от 0 до 1, чтобы получить тот же масштаб [47].

Используя пошаговую модель, исследовательская группа Fischer смогла достичь высокой производительности, в которой нейросеть оценивала упитанность с $R^2 = 1$ в обучающем наборе данных, однако точность в тестовом наборе данных была ниже ($r = 0,89$) [48].

Используя LASSO, исследовательская группа Martins пришла к выводу, что модель, использующая латеральные признаки в качестве входных данных, работает лучше, чем использование дорсальных признаков при прогнозировании индекса массы тела [12].

Простая модель линейной регрессии выражала связь между чертой спины, оценкой косвенной угловатости и оценкой индекса массы тела, предложенной исследовательской группой Hansen относительно высоким показателем точности среди всех исследований [8].

Второй подход — модели классификации машинного обучения — применялся в двух исследованиях.

Исследовательская группа Song использовала алгоритм ближайших соседей для обучения модели на 88 выборках, и модель достигла общей чувствительности 0,72 для всех классов индекса массы тела [34]. Исследовательская группа Shigeta представила сверточную нейронную сеть с F-оценкой 0,777 на огромном наборе данных из 8650 образцов во всех исследованиях, но входными данными были двухмерные изображения в оттенках серого размером 460×310 пикселей, которые были преобразованы из облаков точек [46].

При использовании 3D-камер необходимо рассмотреть и возможность использования нескольких датчиков, так как они могут лучше имитировать людей, оценивающих различные участки тела крупного рогатого скота с разных точек зрения, чем одна камера [34]. Поскольку одна камера просматривает меньше участков тела, чем система из нескольких синхронизированных, объединение информации с камер, расположенных в разных точках обзора, обеспечивает более надежные результаты [11]. Перед записью необходима калибровка камер, которая, например, может исключить влияние изменения окружающего освещения на 3D-камерах на основе видимого света [26].

Наиболее часто применявшейся платформой для съемки была фиксированная рама вокруг прохода, которую было легко встроить в существующие сооружения и которая пригодна для различных исследовательских целей, включая оценку индекса массы тела, обнаружение хромоты и даже определение массы тела [14, 57]. Штатив был наиболее адаптивной платформой, поскольку исследователи могли его легко перемещать и размещать рядом со скотом, а также подносить ближе для измерений тела. Тем не менее использование штатива в будущих исследованиях не рекомендуется, поскольку он требует серьезного вмешательства в жизнь животных и повышает риск повреждения прикрепленных камер, в случае когда скот может касаться штатива.

Исследовательская группа Ruchay разместила два штатива — справа и слева перед проходом для животных, ведущим в зал с системой кормления [11]. Штативы находились в зале на расстоянии примерно 2,0 м от скота, когда он выходил из прохода, поэтому между штативами и животным не существовало препятствий, если они приближались к штативам.

Модели и нейросети

В изученных публикациях использовались различные модели глубокого обучения, включая CNN, DNN, R-CNN и SSD.

В системах мониторинга здоровья в основном использовались RGB-изображения и видео для формирования экспериментального набора данных для обучения и тестирования.

В большинстве экспериментов по идентификации крупного рогатого скота для создания набора данных использовались и цветные изображения RGB. Для обучения моделей использовались различные нейросети, однако ResNet является широко используемой для мониторинга и идентификации здоровья крупного рогатого скота. Среди различных моделей глубокого обучения, применимых для задач идентификации крупного рогатого скота и мониторинга здоровья, распространена модель CNN. Она состоит из трех типов слоев: сверточных, пулингвых и полносвязных. Сверточные состоят из фильтров и карт объектов.

Фильтры — это нейроны слоя, они имеют взвешенные входные данные и создают выходное значение. Карты объектов считаются выходными данными фильтра (одна карта объектов = один фильтр) [58]. Слои объединения используются для уменьшения выборки карты объектов предыдущего слоя, обобщения представлений объектов и уменьшения переобучения. Для прогнозов в основном используются полносвязные уровни в конце сети.

Ряд исследований используют одну модель, она называется как лучшая модель для своих конкретных целей. В немногих исследованиях сравнивались две или более модели глубокого обучения для конкретной цели, чтобы сравнить их производительность. Например, исследовательская группа Wu сравнила YOLOv3 и LSTM для выявления хромоты у дойных коров [59]. Исследование пришло к выводу, что LSTM работает лучше, чем YOLOv3, и обеспечивает точность 98,57%.

Исследовательская группа Huang определила, что модель DL на основе SSD достигает точности 98,46% (mAP) по сравнению с 88,84% при использовании YOLOv3 для оценки упитанности коров [52].

Исследовательская группа Qiao сравнила три модели глубокого обучения: Inceptionv3, BiLSTM и LSTM для идентификации крупного рогатого скота [60]. Группа

обнаружила, что BiLSTM лучше всего подходит для применения, и добилась высокой точности идентификации — 91%.

Исследовательская группа Jiang использовала три модели глубокого обучения (FLYOLOv3, Faster R-CNN и YOLOv3) для обнаружения тела коровы [20]. В исследовании была заявлена высокая производительность при использовании FLYOLOv3 со средней точностью 93,73%.

Такие модели, как SSD, RNN, CRFasRNN и LSTM, в основном используются для мониторинга здоровья крупного рогатого скота. Модели глубокого обучения, такие как RCNN, SDAE, DBN и Inceptionv3, в основном использовались для экспериментов по идентификации крупного рогатого скота. В результате поиска было обнаружено, что такие нейросети, как EfficientNet, ShapeNet, DeepLabCut и RefineDet, в основном использовали для мониторинга здоровья крупного рогатого скота, тогда как GoogleNet, AlexNet, NasNet, CapsNet, LeNet и ERFNet в основном используются для целей идентификации крупного рогатого скота.

В большинстве исследований модели CNN использовались с ResNet, на втором месте была DenseNet. Модели YOLO чаще использовались с нейросетью DarkNet. Как и модели CNN, модели RCNN также использовались в сети ResNet.

В исследовании выявили 12 параметров оценки, которые использовались в статьях: точность, прецизионность (повторяемость результатов), средняя точность, специфичность (способность не давать положительных результатов об обнаружении объекта при его отсутствии), чувствительность (способность выявлять объекты на изображении при их наличии), средняя абсолютная ошибка, среднеквадратическая ошибка,

корневая среднеквадратическая ошибка, R-квадрат (мера того, насколько хорошо модель линейной регрессии соответствует набору данных), ложноположительный показатель и показатель F1 (насколько точно показывает результаты, которые имеют для нас значение).

Все эти показатели работоспособности нейросетей использовались для оценки эффективности автоматического мониторинга и идентификации здоровья крупного рогатого скота. Поскольку данные параметры оценки учитывают истинно положительные, истинно отрицательные, ложноположительные и ложноотрицательные результаты расчета, точность для каждого конкретного исследования будет рассчитываться просто по отношению правильно предсказанного наблюдения к общему количеству наблюдений.

Полученные результаты обзора были обобщены в виде одной схемы. На рисунке 1 представлена структура создания цифровой системы оценки экстерьеров животных в мясном и молочном животноводстве.

Выводы/Conclusions

В данном научном обзоре были рассмотрены 60 научных работ, связанных с развитием цифровизации мясного и молочного животноводства. Был сделан упор на поиск систем машинного зрения, обеспечивающих цифровизацию бонитировочных и селекционных работ. В результате можно консолидировать несколько выводов:

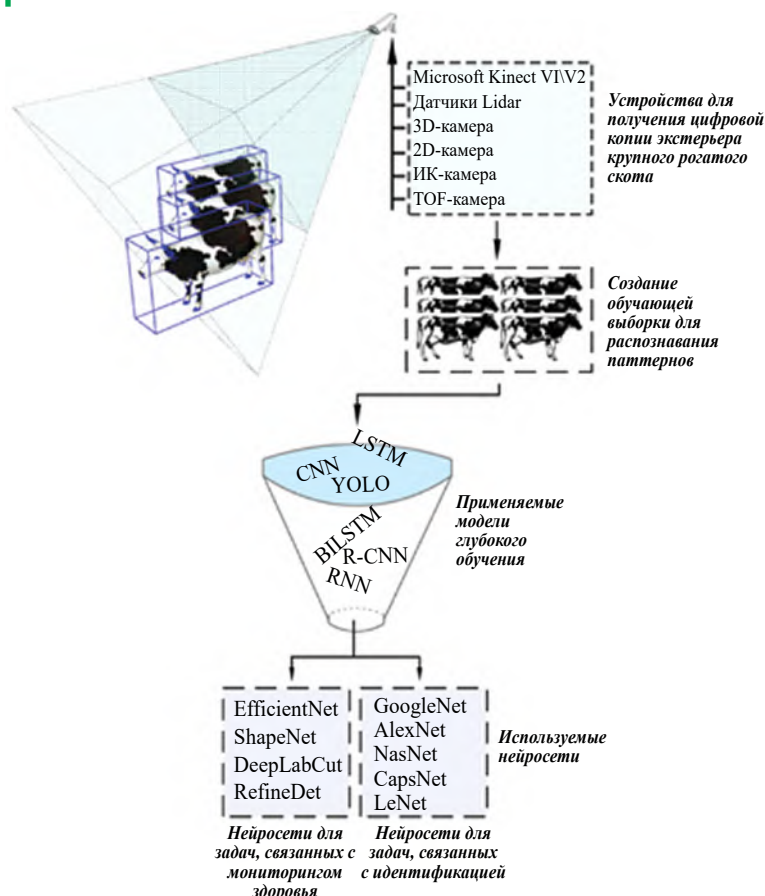
1. Современные системы машинного зрения включают в себя двух- и трехмерные системы зрения, однако приоритет (как наиболее перспективным) ученые отдают трехмерным системам, поскольку они обеспечивают особенно ценное третье измерение, «глубину» зрения.

2. Методы сбора изображений для обучения систем машинного зрения включают два популярных подхода — съемку животных с помощью одной 3D-камеры на фиксированной платформе, которая обычно представляла собой раму на высоте 1,95–3,45 м над землей с максимальным охватом изображения, и съемку с разных точек с использованием нескольких 3D-камер, которые фиксировали отдельные части тела, такие как вымя.

3. Извлечение из изображений дорсальных черт необходимо для использования в качестве набора входных данных для моделей. В некоторых исследованиях были извлечены непосредственно первичные признаки животных, такие как длина спины, и напрямую рассчитаны вторичные признаки, такие как площадь спины и объем выпуклой части тела, для оценки индекса массы тела. В других исследованиях выявлялись косвенные черты после определения анатомических ориентиров. Выбор способа зависит от поставленной задачи.

4. При выборе используемой модели большинство исследований указывают одну модель как лучшую для своих конкретных целей. Например, YOLOv3 и LSTM используются для выявления хромоты у дойных коров. Модель DL на основе SSD и YOLOv3 используют для оценки упитанности коров. Inceptionv3, BiLSTM и LSTM эффективны для идентификации крупного рогатого скота. FLYOLOv3, Faster

Рис. 1. Структура создания системы цифровой оценки экстерьеров животных
Fig. 1. The structure of creating a system for digital assessment of animal exteriors



R-CNN и YOLOv3 применимы для обнаружения промеров тела коровы. Рассматриваемые нейросети, такие как EfficientNet, ShapeNet, DeepLabCut и RefineDet, были в основном использованы для мониторинга здоровья животных, тогда как GoogleNet, AlexNet, NasNet,

CapsNet, LeNet и ERFNet в основном используются для целей идентификации.

В исследовании перечислены 12 параметров оценки эффективности работы нейросетей, которые использовались в научных работах.

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 № 23-76-10041.
<https://rscf.ru/project/23-76-10041/>

FUNDING

The research was carried out with funds from the Russian Science Foundation grant No. 23-76-10041.
<https://rscf.ru/project/23-76-10041/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021; 15(4): 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(2): 4–13. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Довлатов И.М. Разработка модульной системы цифровизации бонитировочных работ. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(4): 54–59. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-54-59>
4. Meen G.H., Schellekens M.A., Slegers M.H.M., Leenders N.L.G., van Erp-van der Kooij E., Noldus L.P.J.J. Sound analysis in dairy cattle vocalisation as a potential welfare monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015; 118: 111–115. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.028>
5. Halachmi I., Guarino M. Editorial: Precision livestock farming: a “per animal” approach using advanced monitoring technologies. *animal*. 2016; 10(9): 1482–1483. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001142>
6. Banhazi T.M. et al. Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2012; 5(3): 1. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20120503.001>
7. Wilkins J.F., McKiernan W.A., Walmsley B.J., McPhee M.J. Automated data capture using laser technology to enhance live cattle assessment and description. *Australian Farm Business Management Journal*. 2015; 12: 70–77. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.284945>
8. Hansen M.F., Smith M.L., Smith L.N., Jabbar K.A., Forbes D. Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight using a single 3D video capture device. *Computers in Industry*. 2018; 98: 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.011>
9. O’Leary N., Leso L., Buckley F., Kenneally J., McSweeney D., Shalloo L. Validation of an Automated Body Condition Scoring System Using 3D Imaging. *Agriculture*. 2020; 10(6): 246. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060246>
10. Gaudioso V., Sanz-Ablanedo E., Lomillos J.M., Alonso M.E., Javares-Morillo L., Rodriguez P. “Photozoomer”: A new photogrammetric system for obtaining morphometric measurements of elusive animals. *Livestock Science*. 2014; 165: 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.03.028>
11. Ruchay A., Kober V., Dorofeev K., Kolpakov V., Miroshnikov S. Accurate body measurement of live cattle using three depth cameras and non-rigid 3D shape recovery. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 179: 105821. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105821>
12. Martins B.M. et al. Estimating body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three dimensional cameras and manual body measurements. *Livestock Science*. 2020; 236: 104054. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104054>
13. Kamchen S.G., dos Santos E.F., Lopes L.B., Vendrusculo L.G., Condotta I.C.F.S. Application of depth sensor to estimate body mass and morphometric assessment in Nellore heifers. *Livestock Science*. 2021; 245: 104442. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104442>
14. Zin T.T., Seint P.T., Tin P., Horii Y., Kobayashi I. Body Condition Score Estimation Based on Regression Analysis Using a 3D Camera. *Sensors*. 2020; 20(13): 3705. <https://doi.org/10.3390/s20133705>
15. Van Hertem T. et al. Lameness detection in dairy cattle: single predictor v. multivariate analysis of image-based posture processing and behavior and performance sensing. *animal*. 2016; 10(9): 1525–1532. <https://doi.org/10.1017/s1751731115001457>
16. Schlageter-Tello A., Van Hertem T., Bokkers E.A.M., Viazzi S., Bahr C., Lokhorst K. Performance of human observers and an automatic 3-dimensional computer-vision-based locomotion scoring method to detect lameness and hoof lesions in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(7): 6322–6335. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13768>
17. Banhazi T.M., Black J.L. Precision Livestock Farming: A Suite of Electronic Systems to Ensure the Application of Best Practice Management on Livestock Farms. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*. 2009; 7(1): 1–14. <https://doi.org/10.1080/14488388.2009.11464794>
18. Tan C., Sun F., Kong T., Zhang W., Yang C., Liu C. A Survey on Deep Transfer Learning. *The 27th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2018)*. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.01974>

REFERENCES

1. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021; 15(4): 6–10 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Tsench Yu.S. Scientific and Technological Potential as the Main Factor for Agricultural Mechanization Development. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(2): 4–13 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Khakimov A.R., Dovlatov I.M. Development of a Modular System for Digitalization of Appraisal Process. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(4): 54–59 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-54-59>
4. Meen G.H., Schellekens M.A., Slegers M.H.M., Leenders N.L.G., van Erp-van der Kooij E., Noldus L.P.J.J. Sound analysis in dairy cattle vocalisation as a potential welfare monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015; 118: 111–115. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.028>
5. Halachmi I., Guarino M. Editorial: Precision livestock farming: a “per animal” approach using advanced monitoring technologies. *animal*. 2016; 10(9): 1482–1483. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001142>
6. Banhazi T.M. et al. Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2012; 5(3): 1. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20120503.001>
7. Wilkins J.F., McKiernan W.A., Walmsley B.J., McPhee M.J. Automated data capture using laser technology to enhance live cattle assessment and description. *Australian Farm Business Management Journal*. 2015; 12: 70–77. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.284945>
8. Hansen M.F., Smith M.L., Smith L.N., Jabbar K.A., Forbes D. Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight using a single 3D video capture device. *Computers in Industry*. 2018; 98: 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.011>
9. O’Leary N., Leso L., Buckley F., Kenneally J., McSweeney D., Shalloo L. Validation of an Automated Body Condition Scoring System Using 3D Imaging. *Agriculture*. 2020; 10(6): 246. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060246>
10. Gaudioso V., Sanz-Ablanedo E., Lomillos J.M., Alonso M.E., Javares-Morillo L., Rodriguez P. “Photozoomer”: A new photogrammetric system for obtaining morphometric measurements of elusive animals. *Livestock Science*. 2014; 165: 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.03.028>
11. Ruchay A., Kober V., Dorofeev K., Kolpakov V., Miroshnikov S. Accurate body measurement of live cattle using three depth cameras and non-rigid 3D shape recovery. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 179: 105821. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105821>
12. Martins B.M. et al. Estimating body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three dimensional cameras and manual body measurements. *Livestock Science*. 2020; 236: 104054. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104054>
13. Kamchen S.G., dos Santos E.F., Lopes L.B., Vendrusculo L.G., Condotta I.C.F.S. Application of depth sensor to estimate body mass and morphometric assessment in Nellore heifers. *Livestock Science*. 2021; 245: 104442. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104442>
14. Zin T.T., Seint P.T., Tin P., Horii Y., Kobayashi I. Body Condition Score Estimation Based on Regression Analysis Using a 3D Camera. *Sensors*. 2020; 20(13): 3705. <https://doi.org/10.3390/s20133705>
15. Van Hertem T. et al. Lameness detection in dairy cattle: single predictor v. multivariate analysis of image-based posture processing and behavior and performance sensing. *animal*. 2016; 10(9): 1525–1532. <https://doi.org/10.1017/s1751731115001457>
16. Schlageter-Tello A., Van Hertem T., Bokkers E.A.M., Viazzi S., Bahr C., Lokhorst K. Performance of human observers and an automatic 3-dimensional computer-vision-based locomotion scoring method to detect lameness and hoof lesions in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(7): 6322–6335. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13768>
17. Banhazi T.M., Black J.L. Precision Livestock Farming: A Suite of Electronic Systems to Ensure the Application of Best Practice Management on Livestock Farms. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*. 2009; 7(1): 1–14. <https://doi.org/10.1080/14488388.2009.11464794>
18. Tan C., Sun F., Kong T., Zhang W., Yang C., Liu C. A Survey on Deep Transfer Learning. *The 27th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2018)*. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.01974>

19. Psota E.T. *et al.* Development and validation of a neural network for the automated detection of horn flies on cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021; 180: 105927. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105927>
20. Jiang B., Wu Q., Yin X., Wu D., Song H., He D. FLYOLOv3 deep learning for key parts of dairy cow body detection. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019; 166: 104982. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104982>
21. Weber F.d.L. *et al.* Recognition of Pantaneira cattle breed using computer vision and convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 175: 105548. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105548>
22. Kang X., Zhang X.D., Liu G. Accurate detection of lameness in dairy cattle with computer vision: A new and individualized detection strategy based on the analysis of the supporting phase. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(11): 10628–10638. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18288>
23. Xudong Z., Xi K., Ningning F., Gang L. Automatic recognition of dairy cow mastitis from thermal images by a deep learning detector. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 178: 105754. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105754>
24. Gjergji M. *et al.* Deep Learning Techniques for Beef Cattle Body Weight Prediction. *2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. 2020; 1–8. <https://doi.org/10.1109/IJCNN48605.2020.9207624>
25. Jabbar K.A., Hansen M.F., Smith M.L., Smith L.N. Early and non-intrusive lameness detection in dairy cows using 3-dimensional video. *Biosystems Engineering*. 2017; 153: 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.09.017>
26. Guo H., Ma X., Ma Q., Wang K., Su W., Zhu D. LSSA CAU: An interactive 3d point clouds analysis software for body measurement of livestock with similar forms of cows or pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017; 138: 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.014>
27. Slob N., Catal C., Kassahun A., Application of machine learning to improve dairy farm management: A systematic literature review. *Preventive Veterinary Medicine*. 2021; 187: 105237. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105237>
28. Lovarelli D., Bacenetti J., Guarino M. A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production? *Journal of Cleaner Production*. 2020; 262: 121409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121409>
29. García R., Aguilar J., Toro M., Pinto A., Rodríguez P. A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 179: 105826. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105826>
30. Harrison S.M. *et al.* Three-dimensional growth of bovine hoof as recorded by carbon stable isotope ratios. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2007; 21(24): 3971–3976. <https://doi.org/10.1002/rcm.3309>
31. Berckmans D. General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*. 2017; 7(1): 6–11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
32. Neethirajan S. Recent advances in wearable sensors for animal health management. *Sensing and Bio-Sensing Research*. 2017; 12: 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2016.11.004>
33. Viazzi C. *et al.* Comparison of a three-dimensional and two-dimensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014; 100: 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.11.005>
34. Song X., Bokkers E.A.M., van Mourik S., Groot Koerkamp P.W.G., van der Tol P.P.J. Automated body condition scoring of dairy cows using 3-dimensional feature extraction from multiple body regions. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(5): 4294–4308. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15238>
35. Salau J., Bauer U., Haas J.H., Thaller G., Harms J., Junge W. Quantification of the effects of fur, fur color, and velocity on Time-Of-Flight technology in dairy production. *SpringerPlus*. 2015; 4: 144. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-0903-0>
36. Cominotte A. *et al.* Automated computer vision system to predict body weight and average daily gain in beef cattle during growing and finishing phases. *Livestock Science*. 2020; 232: 103904. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103904>
37. Nasirahmadi A., Edwards S.A., Sturm B. Implementation of machine vision for detecting behaviour of cattle and pigs. *Livestock Science*. 2017; 202: 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.014>
38. Wang Z., Shadpour S., Chan E., Rotondo V., Wood K.M., Tulpan D. ASAS-NANP SYMPOSIUM: Applications of machine learning for livestock body weight prediction from digital images. *Journal of Animal Science*. 2021; 99(2): skab022. <https://doi.org/10.1093/jas/skab022>
39. Salau J., Haas J.H., Junge W., Thaller G. Extrinsic calibration of a multi-Kinect camera scanning passage for measuring functional traits in dairy cows. *Biosystems Engineering*. 2016; 151: 409–424. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.008>
40. Salau J., Haas J.H., Junge W., Thaller G. Determination of Body Parts in Holstein Friesian Cows Comparing Neural Networks and k Nearest Neighbour Classification. *Animals*. 2020; 11(1): 50. <https://doi.org/10.3390/ani11010050>
41. Salau J., Haas J.H., Junge W., Thaller G. Automated calculation of udder depth and rear leg angle in Holstein-Friesian cows using a multi-Kinect cow scanning system. *Biosystems Engineering*. 2017; 160: 154–169. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.06.006>
42. Salau J., Haas J.H., Thaller G., Leisen M., Junge W. Developing a multi-Kinect-system for monitoring in dairy cows: object recognition and surface analysis using wavelets. *Animal*. 2016; 10(9): 1513–1524. <https://doi.org/10.1017/s1751731116000021>
19. Psota E.T. *et al.* Development and validation of a neural network for the automated detection of horn flies on cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021; 180: 105927. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105927>
20. Jiang B., Wu Q., Yin X., Wu D., Song H., He D. FLYOLOv3 deep learning for key parts of dairy cow body detection. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019; 166: 104982. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104982>
21. Weber F.d.L. *et al.* Recognition of Pantaneira cattle breed using computer vision and convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 175: 105548. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105548>
22. Kang X., Zhang X.D., Liu G. Accurate detection of lameness in dairy cattle with computer vision: A new and individualized detection strategy based on the analysis of the supporting phase. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(11): 10628–10638. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18288>
23. Xudong Z., Xi K., Ningning F., Gang L. Automatic recognition of dairy cow mastitis from thermal images by a deep learning detector. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 178: 105754. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105754>
24. Gjergji M. *et al.* Deep Learning Techniques for Beef Cattle Body Weight Prediction. *2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. 2020; 1–8. <https://doi.org/10.1109/IJCNN48605.2020.9207624>
25. Jabbar K.A., Hansen M.F., Smith M.L., Smith L.N. Early and non-intrusive lameness detection in dairy cows using 3-dimensional video. *Biosystems Engineering*. 2017; 153: 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.09.017>
26. Guo H., Ma X., Ma Q., Wang K., Su W., Zhu D. LSSA CAU: An interactive 3d point clouds analysis software for body measurement of livestock with similar forms of cows or pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017; 138: 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.014>
27. Slob N., Catal C., Kassahun A., Application of machine learning to improve dairy farm management: A systematic literature review. *Preventive Veterinary Medicine*. 2021; 187: 105237. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105237>
28. Lovarelli D., Bacenetti J., Guarino M. A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production? *Journal of Cleaner Production*. 2020; 262: 121409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121409>
29. García R., Aguilar J., Toro M., Pinto A., Rodríguez P. A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 179: 105826. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105826>
30. Harrison S.M. *et al.* Three-dimensional growth of bovine hoof as recorded by carbon stable isotope ratios. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2007; 21(24): 3971–3976. <https://doi.org/10.1002/rcm.3309>
31. Berckmans D. General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*. 2017; 7(1): 6–11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
32. Neethirajan S. Recent advances in wearable sensors for animal health management. *Sensing and Bio-Sensing Research*. 2017; 12: 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2016.11.004>
33. Viazzi C. *et al.* Comparison of a three-dimensional and two-dimensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014; 100: 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.11.005>
34. Song X., Bokkers E.A.M., van Mourik S., Groot Koerkamp P.W.G., van der Tol P.P.J. Automated body condition scoring of dairy cows using 3-dimensional feature extraction from multiple body regions. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(5): 4294–4308. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15238>
35. Salau J., Bauer U., Haas J.H., Thaller G., Harms J., Junge W. Quantification of the effects of fur, fur color, and velocity on Time-Of-Flight technology in dairy production. *SpringerPlus*. 2015; 4: 144. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-0903-0>
36. Cominotte A. *et al.* Automated computer vision system to predict body weight and average daily gain in beef cattle during growing and finishing phases. *Livestock Science*. 2020; 232: 103904. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103904>
37. Nasirahmadi A., Edwards S.A., Sturm B. Implementation of machine vision for detecting behaviour of cattle and pigs. *Livestock Science*. 2017; 202: 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.014>
38. Wang Z., Shadpour S., Chan E., Rotondo V., Wood K.M., Tulpan D. ASAS-NANP SYMPOSIUM: Applications of machine learning for livestock body weight prediction from digital images. *Journal of Animal Science*. 2021; 99(2): skab022. <https://doi.org/10.1093/jas/skab022>
39. Salau J., Haas J.H., Junge W., Thaller G. Extrinsic calibration of a multi-Kinect camera scanning passage for measuring functional traits in dairy cows. *Biosystems Engineering*. 2016; 151: 409–424. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.008>
40. Salau J., Haas J.H., Junge W., Thaller G. Determination of Body Parts in Holstein Friesian Cows Comparing Neural Networks and k Nearest Neighbour Classification. *Animals*. 2020; 11(1): 50. <https://doi.org/10.3390/ani11010050>
41. Salau J., Haas J.H., Junge W., Thaller G. Automated calculation of udder depth and rear leg angle in Holstein-Friesian cows using a multi-Kinect cow scanning system. *Biosystems Engineering*. 2017; 160: 154–169. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.06.006>
42. Salau J., Haas J.H., Thaller G., Leisen M., Junge W. Developing a multi-Kinect-system for monitoring in dairy cows: object recognition and surface analysis using wavelets. *Animal*. 2016; 10(9): 1513–1524. <https://doi.org/10.1017/s1751731116000021>

43. Van Hertem T. *et al.* Automatic lameness detection based on consecutive 3D-video recordings. *Biosystems Engineering*. 2014; 119: 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.01.009>
44. Le Cozler Y. *et al.* Volume and surface area of Holstein dairy cows calculated from complete 3D shapes acquired using a high-precision scanning system: Interest for body weight estimation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019; 165: 104977. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104977>
45. Pezzuolo A., Guarino M., Sartori L., Marinello F. A Feasibility Study on the Use of a Structured Light Depth-Camera for Three-Dimensional Body Measurements of Dairy Cows in Free-Stall Barns. *Sensors*. 2018; 18(2): 673. <https://doi.org/10.3390/s18020673>
46. Shigeta M., Ike R., Takemura H., Ohwada H. Automatic Measurement and Determination of Body Condition Score of Cows Based on 3D Images Using CNN. *Journal of Robotics and Mechatronics*. 2018; 30(2): 206–213. <https://doi.org/10.20965/jrm.2018.p0206>
47. Spoliarsky R., Edan Y., Parmet Y., Halachmi I. Development of automatic body condition scoring using a low-cost 3-dimensional Kinect camera. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(9): 7714–7725. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10607>
48. Fischer A., Luginbühl T., Delattre L., Delouard J.M., Faverdin P. Rear shape in 3 dimensions summarized by principal component analysis is a good predictor of body condition score in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2015; 98(7): 4465–4476. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8969>
49. Okura F., Ikuma S., Makihara Y., Muramatsu D., Nakada K., Yagi Y. RGB-D video-based individual identification of dairy cows using gait and texture analyses. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019; 165: 104944. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104944>
50. Le Cozler Y. *et al.* High-precision scanning system for complete 3D cow body shape imaging and analysis of morphological traits. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019; 157: 447–453. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.019>
51. Huang L.W., Li S., Zhu A., Fan X., Zhang C., Wang H. Non-Contact Body Measurement for Qinchuan Cattle with LiDAR Sensor. *Sensors*. 2018; 18(9): 3014. <https://doi.org/10.3390/s18093014>
52. Huang L. *et al.* Body Dimension Measurements of Qinchuan Cattle with Transfer Learning from LiDAR Sensing. *Sensors*. 2019; 19(22): 5046. <https://doi.org/10.3390/s19225046>
53. Guesgen M.J., Bench C.J. Using kinematics to detect micro-behavioural changes relative to ovulation in naturally cycling tie-stall dairy heifers. *Livestock Science*. 2018; 207: 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.11.019>
54. Van Hertem T. *et al.* Implementation of an automatic 3D vision monitor for dairy cow locomotion in a commercial farm. *Biosystems Engineering*. 2018; 173: 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.08.011>
55. Nir O., Parmet Y., Werner D., Adin G., Halachmi I. 3D Computer-vision system for automatically estimating heifer height and body mass. *Biosystems Engineering*. 2018; 173: 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.014>
56. Lomillos J.M., Alonso M.E. Morphometric Characterization of the Lidia Cattle Breed. *Animals*. 2020; 10(7): 1180. <https://doi.org/10.3390/ani10071180>
57. Song X., Bokkers E.A.M., van der Tol P.P.J., Groot Koerkamp P.W.G., van Mourik S. Automated body weight prediction of dairy cows using 3-dimensional vision. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(5): 4448–4459. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13094>
58. Brownlee J. Deep Learning for Computer Vision: Image Classification, Object Detection, and Face Recognition in Python. 2019; xviii, 544.
59. Wu D., Yin X., Jiang B., Jiang M., Li Z., Song H. Detection of the respiratory rate of standing cows by combining the Deeplab v3 + semantic segmentation model with the phase-based video magnification algorithm. *Biosystems Engineering*. 2020; 192: 72–89. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.01.012>
60. Qiao Y., Su D., Kong H., Sukkarieh S., Lomax S., Clark C. BiLSTM-based Individual Cattle Identification for Automated Precision Livestock Farming. 2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). 2020; 967–972. <https://doi.org/10.1109/CASE48305.2020.9217026>
43. Van Hertem T. *et al.* Automatic lameness detection based on consecutive 3D-video recordings. *Biosystems Engineering*. 2014; 119: 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.01.009>
44. Le Cozler Y. *et al.* Volume and surface area of Holstein dairy cows calculated from complete 3D shapes acquired using a high-precision scanning system: Interest for body weight estimation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019; 165: 104977. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104977>
45. Pezzuolo A., Guarino M., Sartori L., Marinello F. A Feasibility Study on the Use of a Structured Light Depth-Camera for Three-Dimensional Body Measurements of Dairy Cows in Free-Stall Barns. *Sensors*. 2018; 18(2): 673. <https://doi.org/10.3390/s18020673>
46. Shigeta M., Ike R., Takemura H., Ohwada H. Automatic Measurement and Determination of Body Condition Score of Cows Based on 3D Images Using CNN. *Journal of Robotics and Mechatronics*. 2018; 30(2): 206–213. <https://doi.org/10.20965/jrm.2018.p0206>
47. Spoliarsky R., Edan Y., Parmet Y., Halachmi I. Development of automatic body condition scoring using a low-cost 3-dimensional Kinect camera. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(9): 7714–7725. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10607>
48. Fischer A., Luginbühl T., Delattre L., Delouard J.M., Faverdin P. Rear shape in 3 dimensions summarized by principal component analysis is a good predictor of body condition score in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2015; 98(7): 4465–4476. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8969>
49. Okura F., Ikuma S., Makihara Y., Muramatsu D., Nakada K., Yagi Y. RGB-D video-based individual identification of dairy cows using gait and texture analyses. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019; 165: 104944. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104944>
50. Le Cozler Y. *et al.* High-precision scanning system for complete 3D cow body shape imaging and analysis of morphological traits. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019; 157: 447–453. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.019>
51. Huang L.W., Li S., Zhu A., Fan X., Zhang C., Wang H. Non-Contact Body Measurement for Qinchuan Cattle with LiDAR Sensor. *Sensors*. 2018; 18(9): 3014. <https://doi.org/10.3390/s18093014>
52. Huang L. *et al.* Body Dimension Measurements of Qinchuan Cattle with Transfer Learning from LiDAR Sensing. *Sensors*. 2019; 19(22): 5046. <https://doi.org/10.3390/s19225046>
53. Guesgen M.J., Bench C.J. Using kinematics to detect micro-behavioural changes relative to ovulation in naturally cycling tie-stall dairy heifers. *Livestock Science*. 2018; 207: 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.11.019>
54. Van Hertem T. *et al.* Implementation of an automatic 3D vision monitor for dairy cow locomotion in a commercial farm. *Biosystems Engineering*. 2018; 173: 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.08.011>
55. Nir O., Parmet Y., Werner D., Adin G., Halachmi I. 3D Computer-vision system for automatically estimating heifer height and body mass. *Biosystems Engineering*. 2018; 173: 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.014>
56. Lomillos J.M., Alonso M.E. Morphometric Characterization of the Lidia Cattle Breed. *Animals*. 2020; 10(7): 1180. <https://doi.org/10.3390/ani10071180>
57. Song X., Bokkers E.A.M., van der Tol P.P.J., Groot Koerkamp P.W.G., van Mourik S. Automated body weight prediction of dairy cows using 3-dimensional vision. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(5): 4448–4459. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13094>
58. Brownlee J. Deep Learning for Computer Vision: Image Classification, Object Detection, and Face Recognition in Python. 2019; xviii, 544.
59. Wu D., Yin X., Jiang B., Jiang M., Li Z., Song H. Detection of the respiratory rate of standing cows by combining the Deeplab v3 + semantic segmentation model with the phase-based video magnification algorithm. *Biosystems Engineering*. 2020; 192: 72–89. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.01.012>
60. Qiao Y., Su D., Kong H., Sukkarieh S., Lomax S., Clark C. BiLSTM-based Individual Cattle Identification for Automated Precision Livestock Farming. 2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). 2020; 967–972. <https://doi.org/10.1109/CASE48305.2020.9217026>

ОБ АВТОРАХ

Сергей Сергеевич Юрочка

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Артём Рустамович Хакимов

младший научный сотрудник
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Дмитрий Юрьевич Павкин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
dimqqa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Савр Олегович Базаяев

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Илья Владимирович Комков

магистрант, специалист
ilyakomkov10@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2407-4584>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Sergey Sergeevich Yurochka

Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Artem Rustamovich Khakimov

Junior Researcher
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Dmitry Yurievich Pavkin

Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher
dimqqa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Savr Olegovich Bazayev

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Ilya Vladimirovich Komkov

Graduate Student, Specialist
ilyakomkov10@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2407-4584>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institute Passage, Moscow, 109428, Russia

Е.В. Воронов¹
 Г.В. Новикова¹ ✉
 О.В. Михайлова¹
 П.В. Зайцев²
 М.В. Просвирякова³

¹ Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия

² Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия

³ Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

✉ NovikovaGalinaV@yandex.ru

Поступила в редакцию:
26.12.2023

Одобрена после рецензирования:
11.03.2024

Принята к публикации:
27.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-123-131

Evgeny V. Voronov¹
 Galina V. Novikova¹ ✉
 Olga V. Mikhailova¹
 Peter V. Zaitsev²
 Maryana V. Prosviryakova³

¹ Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russia

² Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia, 29 K. Marx Str., Cheboksary, Russia

³ Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

✉ NovikovaGalinaV@yandex.ru

Received by the editorial office:
26.12.2023

Accepted in revised:
11.03.2024

Accepted for publication:
27.03.2024

Сравнительный анализ установок для термообработки непищевого мясного сырья воздействием электрофизических факторов

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Цели работы — разработка радиогерметичных установок и обоснование эффективной конструкции рабочей камеры, обеспечивающей комплексное воздействие электрофизических факторов на непищевое мякотное сырье для сохранения кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах. Научные задачи: 1) разработать установки с разными конструктивными исполнениями резонаторов; 2) провести сравнительный анализ рабочих камер по основным параметрам; 3) оценить технико-экономические показатели эффективной установки по отношению к базовому варианту.

Методы. Воздействие электрофизических факторов на сырье реализовано в резонаторах с магнетронами и генераторами частоты импульсно-моделированных высокочастотных колебаний 110 кГц, где высокопотенциальным электродом служит лампа бактерицидного потока.

Результаты. Разработано несколько радиогерметичных установок непрерывно-поточного действия с сверхвысокочастотным (СВЧ) энергоподводом в нестандартные резонаторы, внутри которых реализовано комплексное воздействие электрического поля высокой напряженности, бактерицидного потока УФ-лучей и озона для снижения бактериальной обсемененности продукта и нейтрализации запаха при термообработке сырья, размеры которых согласованы с глубиной проникновения волны.

Особенности конического и биконического резонаторов обеспечивают радиогерметичность при непрерывном режиме работы за счет отсечения вершины на уровне критического сечения, зависящего от угла наклона образующей конуса, позволяют сохранить стоячую волну внутри резонатора. Совмещение магнетронного и цилиндрического резонаторов повышает эффективность взаимодействия электронного потока с полем СВЧ, а увеличение индуктивного объема, который является «резервуаром» энергии, повышает собственную добротность резонатора.

Квазиторoidalный резонатор, представленный как конический резонатор в тороидальном резонаторе, обладающий малыми габаритными размерами и металлоемкостью, обеспечивает в кольцевом пространстве бегущую волну, а в коническом — стоячую. Высокая напряженность электрического поля в конденсаторной части резонатора и коронный разряд в торе способствуют обеззараживанию сырья.

Ключевые слова: резонаторы, озонирование, бактерицидный поток, коронирующие иглы, электрогазоразрядные лампы, магнетроны, источники килогерцовой частоты

Для цитирования: Воронов Е.В., Новикова Г.В., Зайцев П.В., Михайлова О.В., Просвирякова М.В. Сравнительный анализ установок для термообработки непищевого мякотного сырья воздействием электрофизических факторов *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 123–131.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-123-131>

© Воронов Е.В., Новикова Г.В., Зайцев П.В., Михайлова О.В., Просвирякова М.В.

Comparative analysis of installations for heat treatment of non-food pulp raw materials by the influence of electrophysical factors

ABSTRACT

Relevance. The objectives of the work are to develop radio-hermetic installations and substantiate the effective design of the working chamber, which provides a comprehensive effect of electrophysical factors on non-food pulp raw materials to preserve feed value at reduced operating costs. Scientific tasks: 1) to develop installations with different designs of resonators; 2) to conduct a comparative analysis of the working chambers according to the main parameters; 3) to evaluate the technical and economic indicators of an effective installation in relation to the basic version.

Methods. The effect of electrophysical factors on raw materials is realized in resonators with magnetrons and frequency generators of pulse-modeled high-frequency oscillations of 110 kHz, where a bactericidal flux lamp serves as a high-potential electrode.

Results. Several continuous-flow radiohermetic installations with ultrahigh-frequency (microwave) power supply to non-standard resonators have been developed, inside which a complex effect of a high-intensity electric field, a bactericidal flow of UV rays and ozone is realized to reduce bacterial contamination of the product and neutralize odor during heat treatment of raw materials, the dimensions of which are consistent with the depth of penetration of the wave. Features of conical and biconic resonators – provide radio leakage in continuous operation by cutting off the tip at the level of the critical section, depending on the angle of inclination of the cone generator, and allow you to keep the standing wave inside the resonator. The combination of magnetron and cylindrical resonators increases the efficiency of the interaction of the electron flux with the microwave field, and an increase in the inductive volume, which is a “reservoir” of energy, increases the intrinsic quality of the resonator. A quasi-toroidal resonator, presented as a conical resonator in a toroidal resonator, having small overall dimensions and metal consumption, provides a traveling wave in the annular space, and a standing wave in the conical space. The high electric field strength in the capacitor part of the resonator and the corona discharge in the torus contribute to the disinfection of raw materials.

Key words: resonators, ozonation, bactericidal flow, corona needles, electric gas discharge lamps, magnetrons, kilohertz frequency sources

For citation: Voronov E.V., Novikova G.V., Zaitsev P.V., Mikhailova O.V., Prosviryakova M.V. Comparative analysis of installations for heat treatment of non-food pulp raw materials by the influence of electrophysical factors. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 123–131 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-123-131>

© Voronov E.V., Novikova G.V., Zaitsev P.V., Mikhailova O.V., Prosviryakova M.V.

Введение/Introduction

Высокая значимость переработки непищевого мякотного сырья для фермерских хозяйств [1] актуализирует важную задачу по разработке технологии и технических средств с источниками электромагнитных излучений. Существующие традиционные технологии с использованием конвективного нагрева сырья горячей водой или острым паром и установки для термообработки непищевого мякотного сырья с СВЧ-энергоподводом не позволяют в полном объеме обеззараживать и нейтрализовать неприятный запах сырья от жвачных животных [2–5]. В них предусмотрена термообработка воздействием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты, но не предусмотрены узлы для озонирования воздуха и обеспечения бактерицидного потока УФ-лучей [6]. Для обеззараживания и нейтрализации запаха концентрация озона в воздухе должна быть достаточно высокой, которую обеспечивают специальными озонаторами, в изолированных от персонала помещениях [7].

Анализ особенностей гибридной электротехнологической СВЧ-установки для обработки материалов в сельском хозяйстве [8] показывает возможность функционирования СВЧ-установки высокой эффективности. Но они предназначены для нетепловой модификации нитей в поле бегущей волны. Поэтому разработка инновационной технологии и технических средств переработки непищевого мякотного сырья с удалением неприятного запаха при термообработке и обеззараживании для сохранения кормовой ценности в условиях фермерских хозяйств актуальна [1–8].

Предлагаемая технология термообработки непищевого мякотного сырья предусматривает озонирование воздуха в объеме резонатора с источниками электромагнитного поля сверхвысокой частоты и бактерицидного потока УФ-лучей, при которых достигается эффект термообработки с обеззараживанием и нейтрализацией неприятного запаха непищевого мякотного сырья. Озонирование воздуха происходит путем коронирования бактерицидных ламп УФ-излучений, подключенных к источнику частоты импульсно-моделированных высокочастотных колебаний, которые являются высокопотенциальными электродами рабочего конденсатора между коронирующими неферромагнитными иглами.

Техническая проблема — низкая эффективность установок для термообработки вторичного мясного сырья с обеззараживанием и нейтрализацией неприятного запаха, решается путем разработки установок с СВЧ-энергоподводом в резонаторы нестандартных конструкций, обеспечивающие высокую напряженность электрического поля, озонирование и воздействие бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей при непрерывном режиме работы.

Цели работы — разработка радиогерметичных установок и обоснование эффективной конструкции рабочей камеры, обеспечивающей комплексное воздействие электрофизических факторов на непищевое мякотное сырье для сохранения кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах.

Научные задачи: 1) разработать установки с разными конструктивными исполнениями резонаторов; 2) провести сравнительный анализ рабочих камер установок по основным электродинамическим параметрам; 3) оценить технико-экономические показатели эффективной установки по отношению к базовому варианту.

Материалы и методы исследования/ Materials and methods

Объект исследования — нестандартные резонаторы, позволяющие реализовать комплексное воздействие электромагнитного поля сверхвысокой частоты, озона, бактерицидного потока УФ-лучей на сырье в непрерывном режиме при высокой напряженности электрического поля с обеспечением электромагнитной безопасности.

Исследуемое сырье — камеры желудка крупного рогатого скота, полученные после убоя в 2022–2024 гг. из фермерского хозяйства «КФХ Пирогова Р.А.» Нижегородской области. Трехмерное моделирование резонаторов нестандартных конструкций выполнено с помощью программы SolidWorks, Компас 3D V20 (ООО «АСКОН-Custmembl проектирования», Россия).

Исследования электродинамических параметров нестандартных резонаторов, а именно напряженности электрического поля, собственной добротности с резонатора с учетом диэлектрических свойств непищевого мякотного сырья на частоте 2450 МГц проводились в научно-исследовательской лаборатории «Электроэнергетика и электротехника» Нижегородского инженерно-экономического университета.

В СВЧ-установках № 5, 6 (рис. 5, 6) предусмотрен принцип комплексного воздействия электрофизических факторов для термообработки непищевого мякотного сырья. В резонаторе предусмотрены лампы бактерицидного потока УФ-лучей, запитанные от генераторов частоты импульсно-моделированных высокочастотных колебаний 110 кГц [9, 10], по аналогии аппарата «Дарсонваль АМД-Искра-4» (ООО «ПрофМТ», Россия). При подаче на электроды (лампа и иглы) высоковольтного синусоидального напряжения (0,5–5 кВ) килогерцовой частоты (110 кГц) в баллоне лампы газ ионизируется и приобретает свойства проводника. Излучение, испускаемое разрядом, имеет спектральную составляющую в УФ-диапазоне, область «С». Электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока УФ-излучений при расположении на расстоянии 0,5–1 см от неферромагнитной щетки начинают коронировать с сопровождением длинных искр. Коронный разряд возникает у щетки с тонкими неферромагнитными иглками. Зона вблизи щетки характеризуется более высокими значениями напряженности электрического поля (менее 15 кВ/см), вокруг электрогазоразрядных ламп возникает свечение в виде короны, происходят ионизационные процессы и озонирование воздуха. При этом основными действующими факторами являются бактерицидный поток, синусоидальный ток килогерцовой частоты, высоковольтный (3,5 кВ) коронный разряд, обеспечивающий озонирование воздуха и выделение тепла. Использование тока килогерцовой частоты дает высокую стабильность коронирующего разряда, что позволяет использовать лампы с большой поверхностью и получать коронный разряд в большом объеме, без перехода его в дуговой разряд [11].

Для выявления эффективного конструкционного исполнения резонаторов проведен сравнительный анализ отклонений от среднего значения интервалов варьирования критериев, характеризующих параметры резонаторов (напряженность электрического поля, собственную добротность резонатора, радиогерметичность, равномерность нагрева сырья, металлоемкость, энергетические затраты на технологический процесс).

В программе CST Microwave Studio (CST Computer Simulation Technology, США) [12–14] проведены

исследования электродинамических параметров каждого разработанного резонатора нестандартной конструкции.

Технико-экономическая оценка эффективности установки проведена по сравнению с волчком-варильником с паровой рубашкой (обогревом глухим паром). В нем совмещаются процессы измельчения и тепловой обработки сырья.

Теоретическую базу исследований формируют научные публикации отечественных и зарубежных авторов, раскрывающие основные аспекты возбуждения электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) в объемных резонаторах разной конструкции [15–18].

Проектирование установок с источниками электрофизических факторов проведено по авторской методике [19].

Технико-экономические показатели рассчитывали, опираясь на существующие методики¹.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В соответствии с поставленной целью разработаны несколько вариантов установки (табл. 1) для термообработки непищевого мякотного сырья комплексным воздействием электрофизических факторов в условиях фермерских хозяйств.

1. Установка с сверхвысокочастотным подводом энергии для высокотемпературного формирования вторичного биологического сырья (рис. 1) содержит резонатор 4 в виде усеченного конуса, на большом основании которого имеется загрузочная емкость 1 с электроприводной неферромагнитной задвижкой-измельчителем 2. Со стороны малого основания резонатора предусмотрен кольцевой зазор 10. Внутри резонатора соосно расположен фторопластовый электроприводной винтовой шнек 3 с шагом не более чем две глубины проникновения волны.

Таблица 1. Варианты установки для термообработки непищевого мякотного сырья комплексным воздействием электрофизических факторов

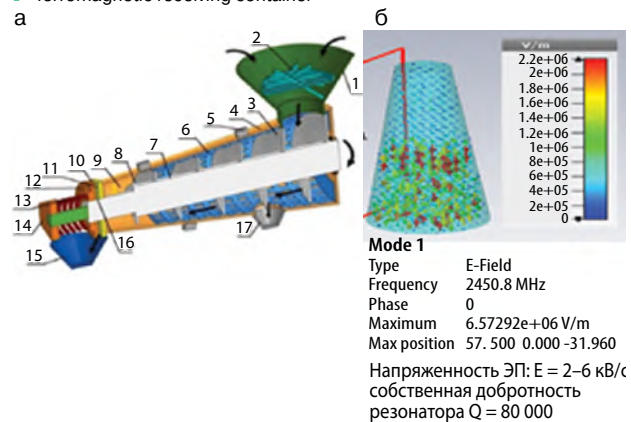
Table 1. Installation options for heat treatment of secondary meat raw materials under the complex influence of electrophysical factors

№ п/п	Наименование установки	Разработчики	Патент
1	Установка с сверхвысокочастотным подводом энергии для высокотемпературного формирования вторичного биологического сырья	Е.В. Воронов, А.А. Тихонов, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова	Патент № 2813916
2	Установка с СВЧ-энергоподводом в биконический резонатор для измельчения и термообработки вторичного сырья животного происхождения	Е.В. Воронов, А.А. Тихонов, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, В.Ф. Сторчевой	Патент № 2803127
3	СВЧ-установка с биконическим резонатором и пакетами тарелок для термообработки мясокостных конфискатов	Е.В. Воронов, А.А. Тихонов, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, Ю.А. Сергеев, В.Ф. Сторчевой	Патент № 2803127
4	СВЧ-установка с магнетронным резонатором для термообработки вторичного мясного сырья	Е.В. Воронов, А.А. Тихонов, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, В.Ф. Сторчевой, Ю.А. Сергеев	заявка на изобретение № 2023115065, решение о выдаче патента от 01.04.2024
5	СВЧ-установка для термообработки некондиционного вторичного мясного сырья воздействием электрофизических факторов	Е.В. Воронов, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, А.А. Тихонов, В.Ф. Сторчевой, Ю.А. Скворцов	Патент № 2813899
6	СВЧ-установка с квазиторондальным резонатором для термообработки и обеззараживания вторичного мясного сырья	Е.В. Воронов, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, А.А. Тихонов, В.Ф. Сторчевой	Заявка № 2023115728, решение о выдаче патента от 02.04.2024

¹ Морозов Н.М. Методические положения оценки экономической эффективности техники для механизации и автоматизации животноводства // Вестник «Экономика и организация инженерно-технических систем в АПК». 2017; 1: 52–59.

Рис. 1. Установка с СВЧ-энергоподводом: а) общий вид; б) электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторе, значения напряженности ЭП, кВ/см, собственная добротность резонатора); 1 — загрузочная емкость; 2 — задвижка-измельчитель; 3 — винтовой шнек; 4 — резонатор в виде усеченного конуса; 5 — магнетроны; 6 — диэлектрическое щелевое сито; 7 — диэлектрический вал шнека; 8 — диэлектрический винт; 9 — камера прессования; 10 — кольцевой зазор для извлечения термообработанного продукта; 11 — неферромагнитная стационарная кольцевая плита со стороны камеры прессования; 12 — вращающаяся неферромагнитная кольцевая плита; 13 — механизм прессования с амортизационной пружиной; 14 — гайка для регулирования кольцевого зазора; 15 — приемная емкость; 16 — неферромагнитная часть вала шнека; 17 — неферромагнитная приемная емкость

Fig. 1. Installation with microwave power supply: a) general view; b) electrodynamic parameters (the distribution of the EP intensity in the resonator, the values of the EP intensity, kV/cm, the intrinsic Q-factor of the resonator); 1 — loading tank; 2 — chopper valve; 3 — screw auger; 4 — resonator in the form of a truncated cone; 5 — magnetrons; 6 — dielectric slit sieve; 7 — dielectric screw shaft; 8 — dielectric screw; 9 — pressing chamber; 10 — annular gap for extracting heat-treated product; 11 — non-ferromagnetic stationary annular plate on the side of the pressing chamber; 12 — rotating non-ferromagnetic annular plate; 13 — pressing mechanism with shock-absorbing spring; 14 — nut for adjusting the annular gap; 15 — receiving container; 16 — non-ferromagnetic part of the screw shaft; 17 — non-ferromagnetic receiving container

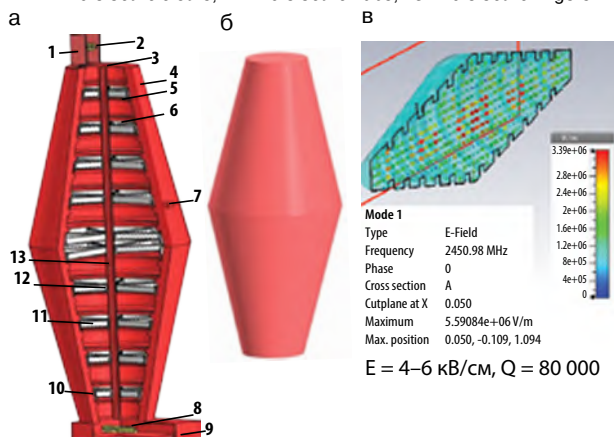


Конец диэлектрического вала 7 шнека находится в кольцевом зазоре, образованном между неферромагнитной кольцевой плитой 11, жестко прикрепленной к периметру открытого малого основания резонатора 4 и вращающейся неферромагнитной плитой 12 на неферромагнитном валу с механизмом прессования в виде амортизационных пружин 13, позволяющих регулировать кольцевой зазор. Последний винт 8 шнека расположен в начале камеры прессования 9. Причем соосно к внутренней обечайке резонатора жестко прикреплено щелевое диэлектрическое сито 6 в виде обечайки усеченного конуса длиной до камеры прессования. Магнетроны 5 с волноводами расположены по длине резонатора со сдвигом по периметру на 120°. Под кольцевым зазором имеется приемная емкость 15 для готовой продукции. Снизу, на наружной поверхности резонатора, имеется отверстие с сеткой для жидкой фракции, под которое установлена приемная емкость 17. Начиная с неферромагнитной стационарной кольцевой плиты 12, диэлектрический вал 7 шнека переходит в вал 16, на котором жестко закреплены неферромагнитные кольцевая плита 12 и механизм прессования 13, 14.

Основные преимущества: установка с СВЧ-энергоподводом в резонатор в виде усеченного конуса с соосно расположенным диэлектрическим щелевым ситом, фторопластовым винтовым шнеком позволяет провести термообработку вторичного мясного сырья при прессовании и фильтрации жидкой фракции. Недостаток: сложно регулировать кольцевой зазор.

Рис. 2. Установка с СВЧ-энергоподводом: а) общий вид; б) резонатор; в) электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторе, значения напряженности ЭП, кВ/см, собственная добротность резонатора); 1 — емкость; 2 — электроприводной неферромагнитный шнек; 3 — диэлектрический вал; 4 — биконический резонатор; 5 — неферромагнитные ножевые гребенки; 6 — диэлектрические колеса; 7 — магнетроны; 8 — электроприводной неферромагнитный шнек; 9 — приемная емкость; 10 — ободки из абразивного материала; 11 — диэлектрические полотна; 12 — диэлектрические ступицы; 13 — диэлектрические пальцы

Fig. 2. Installation with microwave power supply: a) general view; b) resonator; c) electrodynamic parameters (the distribution of the EP intensity in the resonator, the values of the EP intensity, kV/cm, the intrinsic Q-factor of the resonator); 1 — capacity; 2 — electrically driven non-ferromagnetic auger; 3 — dielectric shaft; 4 — biconic resonator; 5 — non-ferromagnetic knife combs; 6 — dielectric wheels; 7 — magnetrons; 8 — electrically driven non-ferromagnetic auger; 9 — receiving capacity; 10 — rims made of abrasive material; 11 — dielectric cloths; 12 — dielectric hubs; 13 — dielectric fingers



2. Установка с СВЧ-энергоподводом в биконический резонатор для измельчения и термообработки вторичного сырья животного происхождения (рис. 2). Содержит биконический резонатор 4 в виде усеченных конусов с общим основанием круглого сечения и с внутренней поверхностью, выполненной в виде неферромагнитных ножевых гребенок 5, высотой и шагом менее четверти длины волны. В пазах гребенок перемещаются абразивные ободки 10 колес 6 с диэлектрическими полотнами 11 с двухсторонней заточкой и ступицами 12. Колеса с помощью диэлектрических пальцев 13 попарно закреплены на диэлектрическом электроприводном валу 3. Они расположены соосно в биконическом резонаторе 4. На малых основаниях усеченных конусов расположены загрузочная 1 и приемная 9 емкости с неферромагнитными винтовыми шнеками 2 и 8. Отверстия для диэлектрических пальцев по высоте вала 3 сдвинуты так, что диэлектрические полотна в попарно расположенных колесах не перекрывают друг друга. Волноводы с магнетронами 7 расположены по периметру поверхности резонатора со сдвигом на 120° через равные промежутки по высоте.

Основные преимущества: инновационная идея состоит в том, что за счет гребенчатой внутренней поверхности биконического резонатора электрическое поле концентрируется на каждом ярусе колес и в конической части резонатора напряженность электрического поля увеличивается, то есть скорость нагрева сырья повышается. Установка с биконическим резонатором, внутренняя поверхность которого выполнена в виде чередующихся ножевых гребенок, между которыми расположены абразивные ободки колес с диэлектрическими полотнами, зазубренными с двух сторон, и колеса попарно закреплены, образуя ротор-измельчитель, обеспечивает ускорение процесса термообработки сырья. Можно измельчать и провести термообработку практически всех видов мясного сырья, реверсивный привод ротора-измельчителя

повысит ресурс изнашивания зубьев полотен и ножевых гребенок. Недостаток: сложность балансировки ободков колес между ножевыми гребенками.

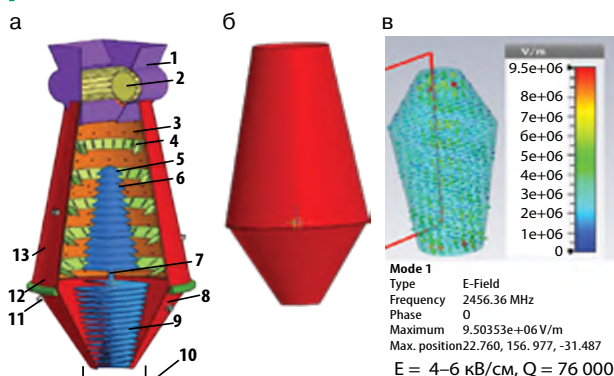
3. СВЧ-установка с биконическим резонатором и пакетами тарелок для термообработки мясокостных конфискатов (рис. 3).

Содержит в биконическом неферромагнитном резонаторе в виде конических обечайек 3, 8 соосно расположенные внешний 4 и внутренний 5, 6 пакеты фторопластовых тарелок в виде усеченных конусов. Внутренний пакет фторопластовых тарелок установлен на электроприводной диэлектрический вал 7 со спиральным диэлектрическим шнеком 9 в нижней конической обечайке 8 с уменьшающимся шагом и диаметром к выходу из резонатора. Верхняя обечайка 3 перфорирована и соосно расположена в экранирующем усеченном конусе 13, содержащем на верхнем основании неферромагнитную загрузочную емкость 1 с шестеренным нагнетателем 2, а по периметру нижнего основания — желоб 12. Шаг между фторопластовыми перфорированными тарелками в виде усеченных конусов внешнего пакета 4 менее, чем глубина проникновения волны в сырье. Под нижним основанием нижней неферромагнитной обечайки предусмотрена приемная емкость 10. Волноводы с магнетронами 11 расположены на поверхностях экранирующего корпуса 13 и нижней обечайки 8 со сдвигом на 120° по периметру и равномерно по высоте биконического резонатора.

Основные преимущества: установка с биконическим резонатором в экранирующей верхней обечайке, где соосно расположены наружные и внутренние пакеты фторопластовых тарелок в виде усеченных конусов, и электроприводной спиральный диэлектрический шнек в нижней обечайке обеспечивают термообработку и тонкое измельчение вторичного мясного сырья в

Рис. 3. СВЧ с биконическим резонатором: а) общий вид; б) резонатор; в) электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторе, значения напряженности ЭП, кВ/см, собственная добротность резонатора); 1 — емкость; 2 — шестеренный нагнетатель для измельчения и загрузки сырья; 3 — верхняя перфорированная неферромагнитная обечайка резонатора; 4 — внешний пакет фторопластовых перфорированных конических тарелок; 5 — верхняя сплошная фторопластовая коническая тарелка внутреннего пакета; 6 — внутренний пакет фторопластовых тарелочных конических тарелок; 7 — диэлектрический электроприводной вал; 8 — нижняя коническая неферромагнитная обечайка; 9 — диэлектрический спиральный шнек; 10 — приемная емкость; 11 — магнетроны; 12 — желоб для сбора жидкой фракции; 13 — экранирующий конический корпус

Fig. 3. Microwave with a biconic resonator: a — general view; b — resonator; c — electrodynamic parameters (the distribution of the EP intensity in the resonator, the values of the EP intensity, kV/cm, the intrinsic Q-factor of the resonator): 1 — container; 2 — gear supercharger for grinding and loading raw materials; 3 — upper perforated non-ferromagnetic shell of the resonator; 4 — outer package of fluoroplastic perforated conical plates; 5 — upper solid fluoroplastic conical plate of the inner package; 6 — inner package of fluoroplastic grating conical plates; 7 — dielectric electric drive shaft; 8 — lower cone-a non-ferromagnetic shell; 9 — a dielectric spiral screw; 10 — a receiving container; 11 — magnetrons; 12 — a trough for collecting liquid fraction; 13 — a shielding conical housing



непрерывном режиме в процессе тонкого измельчения. Электроприводной пакет терочных тарелок со спиральным шнеком в резонаторе позволяет управлять продолжительностью передвижения тонко измельченного и обезжириваемого сырья при воздействии ЭМП СВЧ. Недостаток: сложность согласования частоты вращения спирального диэлектрического шнека с частотой вращения электропривода терочных тарелок.

4. СВЧ-установка (рис. 4) с магнетронным резонатором для термообработки вторичного мясного сырья содержит в вертикально расположенном неферромагнитном цилиндрическом экранирующем корпусе 3 соосно расположенный ситовый неферромагнитный цилиндрический резонатор 4. Внутри ситового резонатора соосно установлен фторопластовый винтовой шнек 2 без корпуса с крайними неферромагнитными винтами с шагом винта не более одной глубины проникновения волны и диаметром винта меньше диаметра ситового резонатора. На верхнем основании ситового резонатора 4 размещена загрузочная емкость 1 с задвижкой, а над открытым сегментом 11 нижнего основания ситового резонатора установлена приемная емкость 12. В кольцевом пространстве между цилиндрическим экранирующим корпусом 3 и ситовым цилиндрическим резонатором 4 равномерно по периметру размещены

неферромагнитные перфорированные ячейки 5, 6 магнетронного резонатора с коронирующими ножевыми ребрами 7. Каждая ячейка магнетронного резонатора представлена в виде полуцилиндрического объема 6, соединенного с конденсаторными пластинами 5, перекрытыми увиолевым стеклом 9, являющимся сегментом обечайки ситового цилиндрического резонатора 4.

В каждую ячейку магнетронного резонатора направлен излучатель через волновод от магнетрона 10 воздушного охлаждения, размещенного со сдвигом на 60° по периметру поверхности неферромагнитного цилиндрического экранирующего корпуса 2 равномерно по высоте. В ячейках магнетронного резонатора соосно установлены электрогазоразрядные лампы 8.

Основные преимущества: совмещение магнетронного резонатора с цилиндрическим резонатором повышает эффективность взаимодействия электронного потока с полем СВЧ, а увеличение индуктивного объема, который является «резервуаром» энергии, повышает собственную добротность. Напряженность электрического поля достаточная для обеззараживания продукта ($2\text{--}5\text{ кВ/см}$). При мощности магнетронов 6 кВт и источников килогерцовой частоты 500 Вт производительность установки составляет 45 кг/ч при обработке измельченных комбинированных отходов. Удельная мощность генераторов — 0,5 кВт/кг, энергетические затраты составляют 0,144 кВт·ч/кг. Недостаток: в кольцевом пространстве между экранирующим корпусом и ситовым резонатором сложно разместить неферромагнитные перфорированные ячейки магнетронного резонатора с коронирующими ножевыми ребрами.

5. СВЧ-установка для термообработки некондиционного вторичного мясного сырья воздействием электрофизических факторов (рис. 5). Содержит в горизонтальной плоскости резонатор в виде сплюснутого сфероида 2. На его поверхности сверху по периметру со сдвигом на 60° размещены волноводы с магнетронами 3. На внутреннюю поверхность с большим диаметром сфероида 2, где имеются коронирующие иглы 5, по периметру равномерно со сдвигом 45° установлены через зазор кольцевые электрогазоразрядные лампы 4, запитанные от импульсно модулирующих высокочастотных генераторов. Над нижним основанием сплюснутого сфероида 2 жестко установлена перфорированная фторопластовая тарелка 6 с открытым сегментом и вращающимися от электропривода секторными фторопластовыми отсеками 7, размеры которых согласованы с глубиной проникновения волны в сырье. На верхнем основании сфероида 2 установлена

Рис. 4. СВЧ-установка: а — общий вид; б — резонатор; в — электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторе, значения напряженности ЭП, кВ/см, собственная добротность резонатора); 1 — загрузочная емкость; 2 — фторопластовый винтовой шнек; 3 — цилиндрический экранирующий корпус; 4 — цилиндрический ситовый резонатор; 5, 6 — перфорированные ячейки магнетронного резонатора с коронирующими ножевыми ребрами 7; 8 — трубчатые электрогазоразрядные лампы; 9 — увиолевые стекла; 10 — волноводы с магнетронами; 11, 12 — приемная емкость

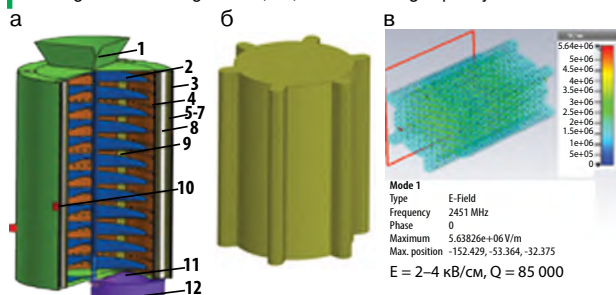
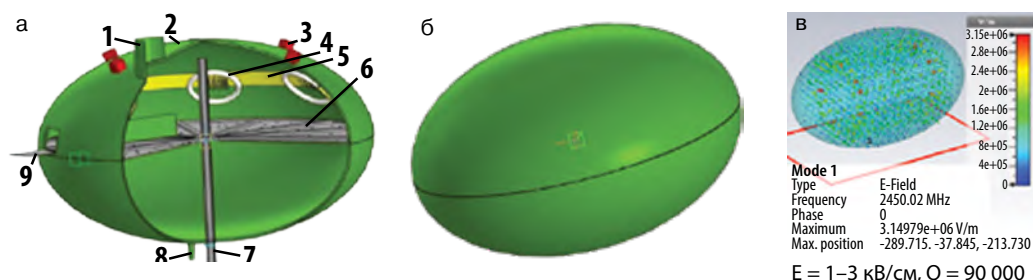


Рис. 5. СВЧ установка: а — общий вид; б — резонатор; в — электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторе, значения напряженности ЭП, кВ/см, собственная добротность резонатора); 1 — загрузочная емкость; 2 — резонатор; 3 — волноводы с магнетронами; 4 — кольцевые электрогазоразрядные лампы; 5 — поверхность с коронирующими иглами; 6 — перфорированный фторопластовый электроприводной диск; 7 — фторопластовый вал; 8 — заперделный волновод с шаровым краном; 9 — окно для выгрузки продукта; 10 — фторопластовый ограничитель передвижения сырья

Fig. 5. Microwave with a biconic resonator: а — general view; б — resonator; в — electrodynamic parameters (the distribution of the EP intensity in the resonator, the values of the EP intensity, kV/cm, the intrinsic Q-factor of the resonator); 1 — loading tank; 2 — resonator; 3 — waveguides with magnetrons; 4 — annular electric and gas discharge lamps; 5 — surface with corona needles; 6 — perforated fluoroplastic electric drive disc; 7 — fluoroplastic shaft; 8 — out-of-bounds waveguide with ball valve; 9 — window for unloading product; 10 — fluoroplastic movement limiter Raw materials



загрузочная емкость 1 с заслонкой. На нижнем основании, под открытым сегментом тарелки 6, имеется открытый сегмент для размещения неферромагнитной приемной емкости 9.

Основные преимущества: в объемном резонаторе в виде сплюснутого сфероида установлены электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей, запитанных от источников килогерцовой частоты. Они обеспечивают озонирование, так как расположены близко к иглам, в зоне которых происходит коронный разряд. Недостаток: трудность обоснования месторасположения излучателей.

6. СВЧ-установка с квазитороидальным резонатором для термообработки и обеззараживания вторичного мясного сырья (рис. 6). Содержит в вертикальной плоскости тороидальный резонатор 1. У него центральная часть закрыта неферромагнитным верхним основанием, содержащим неферромагнитную загрузочную емкость 2. Центральная часть образует дополнительный резонатор в виде усеченного конуса 4, где по периметру верхнего основания расположены магнетроны с волноводами 3, а на образующей содержится коронирующие неферромагнитные иглы 7. Усеченный конус окружен поярусно расположенными электрогазоразрядными кольцевыми лампами бактерицидного потока, запитанными от источника килогерцовой частоты. Внутри резонатора в виде усеченного конуса соосно расположен электроприводной фторопластовый винтовой шнек 5 с неферромагнитными крайними винтами. На конец шнека прикреплен фторопластовый ротор 10, представленный отсеками. Ротор расположен над нижним основанием 11 тороидального резонатора, содержащим открытый сегмент, под которым установлена приемная емкость 12.

На нижнем перфорированном основании усеченного конуса по центру имеется отверстие диаметром, равным диаметру неферромагнитного винта шнека 5. На поверхности тороидального резонатора со сдвигом

на 120° на уровне конденсаторной части 9 расположены волноводы с магнетронами воздушного охлаждения. Установка представлена как квазитороидальный резонатор с соосно расположенным резонатором 4 в виде усеченного конуса, внутри которого установлен фторопластовый винтовой шнек, а в конденсаторной части расположен фторопластовый ротор с отсеками. Транспортирующие механизмы в виде фторопластового винтового шнека и фторопластового ротора работают от одного электропривода.

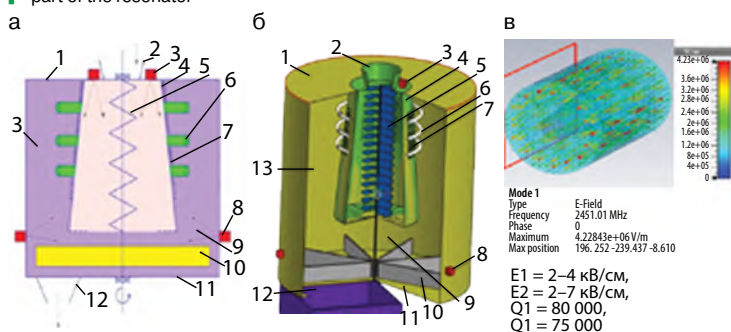
Технологический процесс обеззараживания и устранения неприятного запаха в процессе термообработки вторичного мясного сырья происходит следующим образом: загрузить измельченное вторичное мясное сырье в загрузочную емкость 2 при закрытой заслонке. Включить электропривод фторопластового винтового шнека 5 и генераторы килогерцовой частоты для запитывания кольцевых электрогазоразрядных ламп 6. После этого происходит коронный разряд между лампами и коронирующими иглами 7. При этом происходит выделение озона, образование бактерицидного потока УФ-лучей, «область С». Озон распространяется в торе 13 и конденсаторной части 9 тороидального резонатора. Далее включить электропривод фторопластового шнека 5 и ротора, открыть заслонку в загрузочной емкости 2. Сырье попадает в центральный резонатор в виде усеченного конуса 4, куда озон проникает через перфорации на его нижнем основании. Затем включить магнетроны 3, после попадания сырья в конденсаторную часть резонатора включить магнетроны 8. При передвижении сырья фторопластовым шнеком через центральный резонатор оно подвергается комплексному воздействию ЭМП СВЧ, озона. Сырье частично обеззараживается, равномерно нагревается в межвитковом пространстве, так как шаг винта не более одной глубины проникновения волны сантиметрового диапазона.

Далее сырье, попадая в отсеки ротора в конденсаторной части тороидального резонатора, варится, обеззараживается за счет электрического поля высокой напряженности и бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей, направленного от электрогазоразрядных ламп в тороидальной части 13 резонатора. Готовый продукт выгружается через открытый отсек на нижнем основании тороидального резонатора в приемную емкость 12. Размеры отсека согласованы с глубиной проникновения волны.

Существенное отличие установки: она представлена как резонатор в резонаторе, между их образующими имеется кольцевое пространство для бегущей волны и где расположены электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока, запитанные от генератора килогерцовой частоты. Выше приведены разработанные установки с разными конструктивными исполнениями резонаторов для термообработки и обеззараживания вторичного мясного сырья с визуализацией распределения электрического поля в них с указанием напряженности электрического поля (E , кВ/см) и величины собственной добротности резонатора (Q). Технологический процесс обеззараживания и устранения неприятного запаха в процессе термообработки вторичного мясного сырья в предыдущих конструкциях (1–5) происходит аналогично, но при других электродинамических параметрах

Рис. 6. СВЧ-установка: а — общий вид; б — резонатор; в — электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторах, значения напряженности ЭП в каждом резонаторе, кВ/см, собственная добротность обоих резонаторов); 1 — квазитороидальный резонатор; 2 — загрузочная емкость; 3 — магнетроны на малом основании резонатора; 4 — резонатор в виде усеченного конуса; 5 — фторопластовый винтовой шнек; 6 — электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока; 7 — коронирующие иглы; 8 — магнетроны на поверхности квазитороидального резонатора; 9 — конденсаторная часть квазитороидального резонатора; 10 — фторопластовый электроприводной ротор с отсеками; 11 — нижнее основание тороидального резонатора; 12 — приемная емкость; 13 — тороидальная часть резонатора

Fig. 6. Microwave with a biconic resonator: а — general view; б — resonator; в — electrodynamic parameters (the distribution of the EP intensity in the resonators, the values of the EP intensity in each resonator, kV/cm, the intrinsic quality of both resonators); 1 — quasi-toroidal resonator; 2 — loading capacity; 3 — magnetrons on a small base of the resonator; 4 — a resonator in the form of a truncated cone; 5 — fluoroplastic screw screw; 6 — electric gas discharge lamps of bactericidal flow; 7 — corona needles; 8 — magnetrons on the surface of a quasi-toroidal resonator; 9 — capacitor part of a quasi-toroidal resonator; 10 — fluoroplastic electric drive rotor with compartments; 11 — the lower base of the toroidal resonator; 12 — receiving capacity; 13 — the toroidal part of the resonator



и режимах работы (удельной мощности генератора, продолжительности воздействия электрофизических факторов). Недостаток: требуется защита электрогазоразрядных ламп от попадания сырья.

Проведена сравнительная оценка основных электродинамических и технологических параметров резонаторов: напряженности электрического поля; собственной добротности резонатора, мощности потока излучений; равномерности термообработки сырья; энергетических затрат; производительности установки. Результаты оценки показывают, что наилучшим по этим критериям является СВЧ-установка с биконическим резонатором и пакетами тарелок для термообработки мясокостных конфискатов (№ 3, патент № 2803127). Второе место занимает установка с магнетронными резонаторами (№ 4, заявка на изобретение № 2023115065). Технико-экономические показатели рассчитали, опираясь на существующую методику, предусматривающую оценку годового эффекта за счет разности приведенных затрат на технологический процесс (рис. 7).

За базовый вариант как более подходящий по производительности, рабочему объему (60 л) и мощности электродвигателя (2,1 кВт) принимали измельчитель-плаватель ИС-80. Он предназначен для измельчения, перемешивания и термообработки вязкого продукта, но при термообработке непищевого мякотного сырья при тонком измельчении производительность составит не более 50 кг/ч.

Экономический эффект от применения СВЧ-установки с магнетронным резонатором для термообработки непищевого мякотного сырья составляет 210 тыс. руб./месяц за счет снижения эксплуатационных расходов с 91 955 до 79 917 руб./месяц. СВЧ-установка с биконическим резонатором и пакетами тарелок находится на стадии изготовления.

Выводы/Conclusion

Разработаны радиогерметичные установки и обоснованы эффективные конструкции рабочих камер, обеспечивающих комплексное воздействие электрофизических факторов на вторичное мясное сырье. Собственная добротность резонаторов нестандартных конструкций в пределах 75–100, следовательно, термический коэффициент полезного действия достигает до 0,7–0,72. Напряженность электрического поля в резонаторах 4–7 кВ/см, достаточная для снижения бактериальной обсемененности мясного продукта до предельно допустимого уровня 500 тыс. КОЕ/г. Энергетические затраты на термообработку непищевого мякотного сырья комплексным воздействием электрофизических факторов в установках с резонаторами разных конструкций составляют 0,144–0,2 кВт·ч/кг.

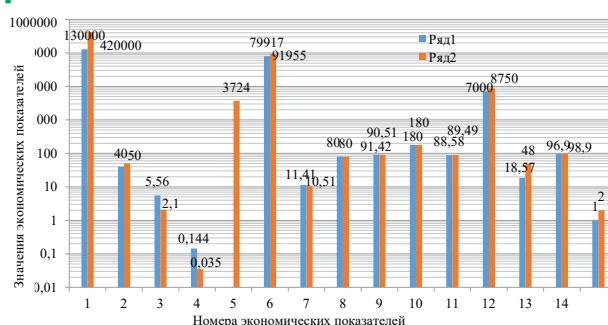
Особенности установок с нестандартными конструкциями:

1. Установка с СВЧ-энергоподводом в резонатор в виде усеченного конуса с соосно расположенным диэлектрическим щелевым сито, фторопластовым винтовым шнеком позволяет провести термообработку вторичного сырья животного происхождения в процессе прессования и фильтрации жидкой фракции.

2. За счет гребенчатой внутренней поверхности биконического резонатора электрическое поле концентрируется на каждом ярусе колес, а в конической части резонатора скорость нагрева сырья повышается. Ножевые гребенки, между которыми расположены абразивные ободки колес с диэлектрическими полотнами, зазубренными с двух сторон, обеспечивают ускорение

Рис. 7. Экономические показатели применения СВЧ-установки с магнетронными резонаторами: ряд 1-й — проектный вариант; ряд 2-й — базовый вариант; 1 — балансовая стоимость установки, руб; 2 — производительность установки, кг/ч; 3 — потребляемая мощность установки, кВт; 4 — потребляемая электроэнергия, кВт·ч/кг; 5 — расходы на потребление пара, руб./месяц; 6 — эксплуатационные расходы на термообработку сырья, руб./месяц; 7 — себестоимость расходов на термообработку сырья, руб./кг; 8 — цена непищевого мякотного сырья, руб./кг; 9 — себестоимость термообработанного продукта, руб./кг; 10 — цена реализации термообработанного мясного продукта, руб./кг; 11 — прибыль, руб./кг; 12 — объем термообработанного сырья, кг/месяц; 13 — капитальные затраты на технологический процесс, руб/(кг/месяц); 14 — рентабельность, %; 15 — срок окупаемости, месяц

Fig. 7. Economic indicators of the use of a microwave installation with magnetron resonators: row 1 — design option; row 2 — basic option; 1 — book value of the installation, RUB; 2 — installation capacity, kg/h; 3 — power consumption of the installation, kW; 4 — electricity consumption, kWh/kg; 5 — costs of steam consumption, RUB/month; 6 — operating costs for heat treatment of raw materials, RUB/month; 7 — cost of costs for heat treatment of raw materials, RUB/kg; 8 — price of non-food pulp raw materials, RUB/kg; 9 — cost of heat-treated product, RUB/kg; 10 — selling price of heat-treated meat product, RUB/kg; 11 — profit, RUB/kg; 12 — volume of heat-treated raw materials, kg/month; 13 — capital costs of the technological process, RUB/(kg/month); 14 — profitability, %; 15 — payback period, month



процесса термообработки сырья. Можно измельчать и провести термообработку практически всех видов мясного сырья.

3. Установка с биконическим резонатором в экранирующей верхней обечайке, где соосно расположены наружные и внутренние пакеты фторопластовых тарелок в виде усеченных конусов, и электроприводной спиральный диэлектрический шнек в нижней обечайке обеспечивают термообработку сырья в непрерывном режиме в процессе тонкого измельчения. Электроприводной пакет терочных тарелок со спиральным шнеком в резонаторе позволяет управлять продолжительностью передвижения тонкоизмельчаемого и обезвоживаемого сырья в процессе воздействия ЭМП СВЧ.

4. Совмещение магнетронного резонатора с цилиндрическим резонатором повышает эффективность взаимодействия электронного потока с полем СВЧ, а увеличение индуктивного объема, который является «резервуаром» энергии, повышает собственную добротность резонатора.

5. В объемном резонаторе в виде сплюснутого сфероида установленные электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей, запитанных от источников килогерцовой частоты, обеспечивают коронный разряд и озонирование.

6. Квазитороидальный резонатор, представленный как конический резонатор в тороидальном резонаторе, обеспечивает высокую напряженность электрического поля в конденсаторной части резонатора, а коронный разряд в торе способствует обеззараживанию мясного сырья.

7. Комплексное воздействие ЭМП СВЧ высокой напряженности электрического поля, бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей и озона обеспечивает снижение бактериальной обсемененности продукта и нейтрализацию запаха при термообработке непищевого мякотного сырья.

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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бельчихина А.В., Шибаев М.А., Клиновская И.М., Караулов А.К. Состояние системы утилизации и уничтожения биологических отходов животного происхождения в субъектах Российской Федерации. *Ветеринария сегодня*. 2019; (4): 54–60. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2019-4-31-54-60>
2. Крайнов Ю.Е., Михайлова О.В., Казаков А.В., Меженникова Е.И. Разработка и обоснование параметров установок для высокотемпературного формирования комбинированного сырья. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019; (2): 84–89. <https://www.elibrary.ru/xbmogv>
3. Жданкин Г.В., Новикова Г.В., Белова М.В., Гоева В.В. Разработка технологии и СВЧ-установки с коническими резонаторами для термообработки непищевых отходов животного происхождения. *Вестник НГИЭИ*. 2018; (10): 55–64. <https://www.elibrary.ru/vljrsj>
4. Ершова И.Г., Поручиков Д.В. Повышение эффективности функционирования мясомассажера с источниками сверхвысокочастотной энергии при термообработке сырья. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019; (1): 34–45. <https://www.elibrary.ru/zawqax>
5. Воронов Е.В., Михайлова О.В., Просвирыкова М.В., Семёнов Д.А., Зайцев П.В., Юнусов Г.С. Сравнительный анализ СВЧ-грануляторов, реализующих электрофизические методы при переработке вторичного сельскохозяйственного сырья. *Аграрная наука*. 2022; (11): 81–87. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-81-87>
6. Новикова Г.В., Просвирыкова М.В., Михайлова О.В., Тихонов А.А., Фёдоров М.Е., Романов П.Н. Разработка установки с СВЧ-энергоподводом для измельчения и плавления жирсырья в нестандартном резонаторе. *Вестник НГИЭИ*. 2023; (1): 34–43. <https://www.elibrary.ru/momwof>
7. Леванчук А.В. Гигиеническая характеристика воздушной среды в зоне влияния дорожно-автомобильного комплекса. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2015; (1): 5. <https://www.elibrary.ru/rmadud>
8. Тухватуллин М.И. Конструкции гибридной СВЧ-электроустановки для обработки материалов в сельском хозяйстве. *Российский электронный научный журнал*. 2023; (3): 20–33. <https://www.elibrary.ru/mvcias>
9. Раханская Е.М. Дарсонваль: современный метод с вековой историей. *Аппаратная косметология*. 2017; (3–4): 134–138. <https://www.elibrary.ru/ytkzod>
10. Пискарев И.М. Образование окислителей и восстановителей под действием поверхностных микроразрядов при местной дарсонвализации. *Химия высоких энергий*. 2017; 51(5): 423–424. <https://doi.org/10.7868/S0023119317050114>
11. Белогловский А.А. и др. Об уточнении критерия оптимизации систем электродов для регулирования электрических полей в газовой изоляции высокого напряжения. *Промышленная энергетика*. 2023; (6): 2–7. <https://doi.org/10.34831/EP.2023.28.45.001>
12. Рябенченко В.Ю., Пасльон В.В. Компьютерное моделирование объектов с помощью ПП CST Microwave Studio. *Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций*. 2018; (1): 139. <https://www.elibrary.ru/qikith>
13. Тригорный С.В., Калганова С.Г., Кадькова Ю.А., Кожевников В.Ю., Сивак А.С., Юдина В.О. Моделирование СВЧ-нагрева диэлектриков с поглощающими СВЧ-энергию наполнителями в камерах с бегущей волной. *Вопросы электротехнологии*. 2020; (4): 15–23. <https://www.elibrary.ru/qtlxmd>
14. Тригорный С.В., Захаров В.В., Алексеев В.С. Численное моделирование процессов плавления диэлектриков в СВЧ-установках лучевого типа. *Вопросы электротехнологии*. 2019; (2): 13–19. <https://www.elibrary.ru/whndk>
15. Колмейцев В.А., Кузьмин Ю.А., Никуйко Д.Н., Захаров А.А. Электродинамические и тепловые свойства СВЧ-печей при различных способах и системах возбуждения электромагнитного поля в рабочей камере. *Вопросы электротехнологии*. 2014; (2): 28–35. <https://www.elibrary.ru/ucnrqv>
16. Титов Е.В., Сошников А.А., Васильев В.Ю., Соловской А.С. Компьютерное моделирование наложенных электромагнитных волн от источников электромагнитного поля в широком диапазоне частот. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2022; (3): 102–108. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-102-108>
17. Титов Е.В., Крюков А.В., Середкин Д.А. Сравнительный анализ подходов к нормированию электромагнитного поля в производственных условиях в соответствии с российскими и европейскими нормативными документами. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2022; (10): 81–89. <https://www.elibrary.ru/xiraln>
18. Захаров В.В., Тригорный С.В. Численные и экспериментальные исследования процессов СВЧ-термообработки диэлектриков в СВЧ-камерах бегущей волны. *Вопросы электротехнологии*. 2020; (1): 14–22. <https://www.elibrary.ru/vkmmxc>
19. Воронов Е.В., Михайлова О.В., Новикова Г.В., Просвирыкова М.В., Сторчевый В.Ф. Термообработка слизистых субпродуктов под воздействием электрофизических факторов: разработка установки. *Агроинженерия*. 2023; 25(6): 76–82. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-76-82>

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.

REFERENCES

1. Belchikhina A.V., Shibaev M.A., Klinovskaya I.M., Karaulov A.K. The state of animal waste rendering and disposing system in the subjects of the Russian Federation. *Veterinary Science Today*. 2019; (4): 54–60. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2019-4-31-54-60>
2. Kraynov Yu.E., Mikhailova O.V., Kazakov A.V., Mezhenina E.I. Design and justification of plants for high-temperature forming of combined raw materials. *Electrical technology and equipment in the agro-industrial complex*. 2019; (2): 84–89 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xbmogv>
3. Zhdankin G.V., Novikova G.V., Belova M.V., Goeva V.V. Development of technology and microwave installation with conical resonators for the heat treatment of non-food waste of animal origin. *Bulletin of NGIEI*. 2018; (10): 55–64 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vljrsj>
4. Ershova I.G., Poruchikov D.V. Improving the efficiency of the functioning of the meat massager with sources of superhigh-frequency energy in the heat treatment of raw materials. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019; (1): 34–45 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zawqax>
5. Voronov E.V., Mikhailova O.V., Prosviryakova M.V., Semenov D.A., Zaitsev P.V., Yunusov G.S. Comparative analysis of microwave granulators implementing electrophysical methods for processing secondary agricultural raw materials. *Agrarian science*. 2022; (11): 81–87 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-81-87>
5. Novikova G.V., Prosviryakova M.V., Mikhailova O.V., Tikhonov A.A., Fedorov M.E., Romanov P.N. Development of an installation with a microwave power supply for grinding and melting of fat raw materials in a non-standard resonator. *Bulletin of NGIEI*. 2023; (1): 34–43 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/momwof>
7. Levanchuk A.V. Hygienic characteristic of air environment in the affected zone of road and automobile complex. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2015; (1): 5. <https://www.elibrary.ru/rmadud>
8. Tukhvatullin M.I. Designs of hybrid microwave electrical installation for processing materials in agriculture. *Russian electronic scientific journal*. 2023; (3): 20–33 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mvcias>
9. Rakhanskaya E.M. Darsonval: a modern method with a century-old history. *Apparatnaya kosmetologiya*. 2017; (3–4): 134–138 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ytkzod>
10. Piskarev I.M. Formation of oxidizing and reducing species by surface microdischarges during local darsonvalization. *High Energy Chemistry*. 2017; 51(5): 406–407. <https://doi.org/10.1134/S0018143917050113>
11. Beloglovskii A.A. et al. On refinement of the optimization criterion for electrode systems intended for regulation of electric fields in high voltage gas insulation. *Industrial Power Engineering*. 2023; (6): 2–7 (in Russian). <https://doi.org/10.34831/EP.2023.28.45.001>
12. Ryabchenko V.Yu., Paslyon V.V. Computer simulation of objects with CST Microwave Studio. *Sovremennyye problemy radioelektroniki i telekommunikatsiy*. 2018; (1): 139 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qikith>
13. Trigorry S.V., Kalganova S.G., Kadykova Yu.A., Kozhevnikov V.Yu., Sivak A.S., Yudina V.O. Simulation of microwave dielectric heating with microwave-energy absorbing fillers in travelling wave chambers. *Journal of electrotechnics*. 2020; (4): 15–23 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qtlxmd>
14. Trigorry S.V., Zakharov V.V., Alekseev V.S. Numerical simulation of melting dielectrics in microwaves based on electron beam mode. *Journal of electrotechnics*. 2019; (2): 13–19 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/whndk>
15. Kolomeytsev V.A., Kuzmin Yu.A., Nikuiko D.N., Zaharov A.A. Electrodynamics and thermal properties of microwaves under various methods and systems of electromagnetic field excitation in a working chamber. *Journal of electrotechnics*. 2014; (2): 28–35 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ucnrqv>
16. Titov E.V., Soshnikov A.A., Vasiliev V.Yu., Solovskoy A.S. Computer simulation of superimposed electromagnetic waves from electromagnetic field sources in a wide frequency range. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2022; (3): 102–108 (in Russian). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-102-108>
17. Titov E.V., Kryukov A.V., Seredkin D.A. Comparative analysis of approaches to norming of electromagnetic field under production conditions in accordance with the Russian and European regulatory documents. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2022; (10): 81–89 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xiraln>
18. Zakharov V.V., Trigorry S.V. Numerical and field research of microwave thermal processing of dielectrics in microwave travelling wave chambers. *Journal of electrotechnics*. 2020; (1): 14–22 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vkmmxc>
19. Voronov E.V., Mikhailova O.V., Novikova G.V., Prosviryakova M.V., Storchev V.F. Heat treatment of mucous by-products under the influence of electrophysical factors: development of the installation. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023; 25(6): 76–82 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-76-82>

ОБ АВТОРАХ

Евгений Викторович Воронов¹

кандидат экономических наук, доцент, директор
e_voronov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9867-5860>

Галина Владимировна Новикова¹

доктор технических наук, профессор
NovikovaGalinaV@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>

Ольга Валентиновна Михайлова¹

доктор технических наук, профессор
ds17823@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9231-4733>

Пётр Владимирович Зайцев²

доктор технических наук, профессор
<https://orcid.org/0009-0001-6497-3704>

Марьяна Валентиновна Просвирякова³

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры
prosviryakova.maryana@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3258-260x>

¹ Нижегородский инженерно-экономический университет,
ул. Октябрьская, 22А, Княгинино, Нижегородская обл., 606340,
Россия

² Чувашский государственный аграрный университет,
ул. им. К. Маркса, 29, Чебоксары, 428003, Россия

³ Российский государственный аграрный университет — МСХА
им. К.А. Тимирязева,
ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Evgeny Viktorovich Voronov¹

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Director
e_voronov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9867-5860>

Galina Vladimirovna Novikova¹

Doctor of Technical Sciences, Professor
NovikovaGalinaV@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>

Olga Valentinovna Mikhailova¹

Doctor of Technical Sciences, Professor
ds17823@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9231-4733>

Peter Vladimirovich Zaitsev²

Doctor of Technical Sciences, Professor
<https://orcid.org/0009-0001-6497-3704>

Maryana Valentinovna Prosviryakova³

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor of the Department
prosviryakova.maryana@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3258-260x>

¹ Nizhny Novgorod University of Engineering and Economics,
22A Oktyabrskaya Str., Knyaginino, Nizhny Novgorod region, 606340,
Russia

² Chuvash State Agrarian University,
29 K. Marx Str., Cheboksary, 428003, Russia

³ Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural
Academy,
49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia

Е.А. Улитина¹
Ш.С. Валиева¹
С.Л. Тихонов^{1, 2} ✉
Н.В. Тихонова¹

¹ Уральский государственный аграрный
исследовательский университет,
Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный
лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

✉ tihonov75@bk.ru

Поступила в редакцию:
04.01.2024

Одобрена после рецензирования:
11.03.2024

Принята к публикации:
27.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-132-137

Elizabeth A. Ulitina¹
Sholpan S. Valieva¹
Sergei L. Tikhonov^{1, 2} ✉
Natalya V. Tikhonova¹

¹ Ural State Agrarian University,
Yekaterinburg, Russia

² Ural State Forestry Engineering
University, Yekaterinburg, Russia

✉ tihonov75@bk.ru

Received by the editorial office:
04.01.2024

Accepted in revised:
11.03.2024

Accepted for publication:
27.03.2024

Новый антимикробный пищевой пептид: характеристика, свойства и оценка эффективности

РЕЗЮМЕ

Перспективными кандидатами в качестве противобактериальных препаратов являются антимикробные пептиды (АМП), присутствующие в молозиве коров.

Цели исследований — выделение, теоретическое обоснование и подтверждение биологической активности нового АМП из пепсинового гидролизата молозива коров с аминокислотной последовательностью EKLA⁺KNKLARGLK⁺RK. По базе данных Protein NCBI, выделенный АМП, идентифицируется как AW655195.1 105840 MARC 1BOV / *Bos taurus* (крупный рогатый скот). При идентификации АМП по базе данных антимикробных пептидов APD он не найден. При идентификации АМП по базе данных DRAMP исследуемый объект отсутствует, но по характеристикам относится к классу противомикробных. Общее гидрофобное соотношение пептида, определенное APD, составляет 33%. Общий чистый заряд равен +6, молекулярная масса составляет 1753,151 Да. Потенциал связывания с белками (индекс Бомана) на уровне 3,44 ккал/моль. Выделенный АМП по характеристикам близок к известным, включенным в базу данных APD. АМП относится к катионным гидрофобным α-спиральным, что предполагает его противомикробную активность. В результате экспериментов *in vitro* доказана противомикробная и противоопухолевая активность пептида.

Ключевые слова: пептид, состав и последовательность аминокислот, заряд, гидрофобность, противомикробная активность, противоопухолевая активность

Для цитирования: Улитина Е.А., Валиева Ш.С., Тихонов С.Л., Тихонова Н.В. Новый антимикробный пищевой пептид: характеристика, свойства и оценка эффективности. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 132–137.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-132-137>

© Улитина Е.А., Валиева Ш.С., Тихонов С.Л., Тихонова Н.В.

A new antimicrobial food peptide: characteristics, properties and effectiveness evaluation

ABSTRACT

Promising candidates as antibacterial drugs are antimicrobial peptides (AMP) present in cow colostrum. The aim of the research is to isolate, theoretically substantiate and confirm the biological activity of a new AMP from pepsin hydrolysate of cow colostrum with the amino acid sequence EKLA⁺KNKLARGLK⁺RK. According to the Protein NCBI database, the isolated AMP is identified as AW655195.1 105840 MARC 1BOV/ *Bos taurus* (cattle). When identifying AMP from the database of antimicrobial peptides APD, it was not found. When identifying AMP using the DRAMP database, the object under study is missing, but its characteristics belong to the antimicrobial class. The total hydrophobic ratio of the peptide determined by APD is 33%. The total net charge is +6, the molecular weight is 1753.151 Da. Protein binding potential (Boman index) at 3.44 kcal/mol. The selected AMP is close in characteristics to the known ones included in the APD database. AMP belongs to the cationic hydrophobic α-helical, which suggests its antimicrobial activity. As a result of *in vitro* experiments, the antimicrobial and antitumor activity of the peptide has been proven.

Key words: peptide, amino acid composition and sequence, charge, hydrophobicity, antimicrobial activity, antitumor activity

For citation: Ulitina E.A., Valieva S.S., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. A new antimicrobial food peptide: characteristics, properties and effectiveness assessment. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 132–137 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-132-137>

© Ulitina E.A., Valieva S.S., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V.

Введение/Introduction

Антибиотики произвели революцию в борьбе человека с бактериальной инфекцией, но вместе с тем быстрое развитие антибиотикорезистентности у бактерий и безрецептурное и неправильное применение антибиотиков привели к появлению и широкому распространению штаммов бактерий, устойчивых к лекарственным препаратам [1]. Следовательно, актуальными представляются поиск и исследование эффективности принципиально новых антибактериальных препаратов, по механизму действия существенно отличающихся от антибиотиков [2].

Перспективными в качестве противобактериальных средств считаются антимикробные пептиды (АМП) [3, 4].

АМП могут электростатически адсорбироваться на поверхности мембраны бактерий, благодаря высокой гидрофобности проникают через нее и разрушают структуру, что приводит к гибели бактериальной клетки. АМП играют важную роль во врожденной системе иммунной защиты организма. В отличие от традиционных антибиотиков, воздействующих только на одну мишень, АМП могут уничтожать патоген по нескольким мишеням, значительно уменьшая появление устойчивых к лекарствам бактерий. Они обладают широким спектром антибактериальных свойств и в настоящее время используются для лечения бактериальных и вирусных инфекций, рака и заживления ран [5]. В целом АМП станут одной из перспективных замен антибиотикам в будущем [6].

Помимо выраженного бактерицидного эффекта, АМП могут подавлять образование и индуцировать растворение существующих биопленок из микроорганизмов [7, 8]. Однако клиническое применение АМП столкнулось с проблемами. В частности, инфицированная ткань часто проявляет высокую протеолитическую активность и АМП теряют биологические свойства в этой среде. При пероральном применении они подвергаются протеолиту ферментами желудочно-кишечного тракта, и их биологическая активность существенно снижается. Некоторые пептиды обладают низкой физико-химической стабильностью с коротким периодом полураспада в циркулирующей плазме [9]. Следовательно, повышение биодоступности и стабильности пептидных препаратов является ключом к клиническому применению пептидов [10].

Для обеспечения биодоступности и стабильности пептидов их инкапсулируют в защитные покрытия, защищающие от протеолитического расщепления [11].

АМП могут синтезироваться в рибосомах клетки из относительно короткой последовательности пептидов-предшественников. После трансляции в рибосоме пептиды подвергаются пострибосомальному синтезу. Такие рибосомные пептиды остаются малоизученными антимикробными пептидами [12].

Помимо рибосомного синтеза, в природе существует другой способ образования амидной связи, который называется небрибосомальным синтезом [13]. Небрибосомные синтезированные пептиды образуются при участии небрибосомальной пептидсинтетазы без участия рибосом и информационной РНК [14]. Такие АМП часто используются в качестве системных и местных антибактериальных препаратов [15].

В настоящее время АМП могут быть получены в больших масштабах химическим синтезом, в частности твердофазным [16].

Одним из источников биологически активных нативных пептидов (БАП), в том числе АМП, является молозиво коров [17]. Нативные пептиды выделяют из ферментативного гидролизата белка животного, растительного и микробного происхождения [18].

Цели исследований — выделение, теоретическое обоснование и подтверждение биологической активности нового АМП *in vitro*.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования были проведены на кафедре пищевой инженерии аграрного производства Уральского государственного аграрного университета с июля по август 2023 года.

Материалы исследования: молозиво коров чернопестрой породы, собранное через 4 часа после отела (агрокомплекс «Авериное», Свердловская обл., Россия). Молозиво отбирали от 5 коров в возрасте 26–27 месяцев (первая лактация), сдаивали первые 2–3 струйки молозива для очищения сосковых каналов, сразу после отбора переливали молозиво в специальное 10-литровое ведро, доставляли в лабораторию в течение 2 часов и проводили гидролиз пепсином; пепсиновый гидролизат молозива коров (получен на кафедре пищевой инженерии аграрного производства УрГАУ по следующим технологическим режимам: продолжительность гидролиза — 4,5 часа, количество фермента — 3,6%, pH — 1,6, t — 39 °C; пептид с аминокислотной последовательностью EKLAQNKLAQGLKRRK; бактерии *E. coli* ATCC 25922 и *B. Subtilis* (Институт цитологии РАН, Россия); клеточные линии C6 (ATCC CCL-107™) (Институт цитологии РАН, Россия); антибиотик «Канамицин» (ОАО «Красфарма», Россия).

Содержание белка в молозиве определяли методом Кьельдаля¹ по ГОСТ 25179-2014, массовую долю жира — по ГОСТ 5867-90². Молекулярно-массовое распределение пептида определяли масс-спектрометрическим методом и идентифицировали с помощью масс-спектрометра MALDI TOF/TOF BRUKER Autoflex Speed (Bruker, Германия). Анализ масс-спектров осуществляли с помощью программы Mascot, опция Peptide Fingerprint³ (IBM, США) с использованием базы данных NCBI⁴ (США). Моделирование пространственной структуры пептида проводили с использованием программы молекулярного моделирования Schrodinger Maestro⁵ (Schrodinger, США).

Противомикробную активность пептида определяли дискодиффузионным методом⁶. Оценку жизнеспособности опухолевых клеток проводили на 96-луночном планшете в CO₂-инкубаторе MCO-18AC (Sanyo, Япония)⁷.

В качестве модельного объекта использовали клеточные линии C6 (ATCC CCL-107™), пассаж которых не превышал 15 на время проведения экспериментальных работ. Для культивирования использовали среду DMEM (Gibco, США) с добавлением (до конечного

¹ ГОСТ 25179-2014 Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка.

² ГОСТ 5867-90 Молоко и молочные продукты. Методы определения жира.

³ https://www.matrixscience.com/help/pmf_help.html

⁴ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

⁵ <https://newsite.schrodinger.com/platform/products/maestro/>

⁶ Определение чувствительности к антимикробным препаратам. Дискодиффузионный метод EUCAST. Версия 8.0 (январь 2020 г.). www.eucast.org

⁷ Прилепский А.Ю., Дроздов А.С., Богатырев В.А., Староверов С.А. Методы работы с клеточными культурами и определение токсичности наноматериалов. СПб.: Университет ИТМО. 2019; 43.

объема) 10% Fetal Bovine Serum (FBS) (Capricorn, США), 1% Sodium Pyruvate (Gibco, США), 1% GlutaMAX (Gibco, США), 1% Penicillin/Streptomycin (Gibco, США). При исследовании клетки хранили в CO₂-инкубаторе при 5% CO₂, 95% влажности. За две недели до начала проведения эксперимента клетки проверяли на наличие микоплазмы набором MycoReport («Евроген», Россия).

Анализ жизнеспособности клеток в присутствии пептида осуществляли на приборе ClarioStar (BMG Labtech, Россия).

Все исследования проводили в пятикратной повторности, статистический анализ полученных результатов — в программе GraphPad Prism 8.1⁸ и с помощью алгоритмов one-way ANOVA и two-way ANOVA (IBM, США). Достоверным считалось различие $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для получения гидролизата использовали свежее молоко коров, собранное через 4 часа после отела с содержанием белка и жира $19,2 \pm 1,6$ и $5,9 \pm 0,2\%$ соответственно. Гидролиз проводили через 2 часа после сбора молока.

Гидролизат разделяли методом препаративной хроматографии на силикагеле, элюэнт PBS и EtOH в изократическом соотношении 9:1 соответственно. С помощью хроматографического метода удалось выделить 9 пептидов в количестве 0,4–0,9 мг/мл гидролизата, которые исследовали далее на МАЛДИ-ТОФ масс-спектрометре.

Один из 9 пептидов, выделенных из гидролизата молока коров, — пептид, состоящий из 15 аминокислот со следующей последовательностью: EKLA¹KNKLARG²LKRK. Масс-спектр пептида представлен на рисунке 1.

Согласно базе данных Protein NCBI выделенный пептид идентифицируется как пептид AW655195.1 105840 MARC 1BOV / Bos taurus (крупный рогатый скот) со Score на 87-м уровне при оптимальном 87-м, биологическая активность которого не исследована.

При идентификации пептида по базе данных антимикробных пептидов APD⁹ (университет Небраски, США) выделенный пептид не найден.

При идентификации пептида по базе данных антимикробных пептидов DRAMP¹⁰ (Zheng group, Китай) данный пептид неизвестен, но относится к классу противомикробных, что подтверждает эффективность математического моделирования ферментации белка молока коров для получения антимикробных пептидов [19].

На следующем этапе проведен анализ аминокислотной последовательности пептида. В таблице 1 представлена аминокислотная последовательность исследуемого пептида.

Процентное содержание каждой аминокислоты следующее: Leu — 20, Ala — 13, Gly, Asn и Glu — 7, Lys — 33 и Arg — 13. Общее гидрофобное соотношение,

Рис. 1. Масс-спектр пептида EKLA¹KNKLARG²LKRK

Fig. 1. The mass spectrum of the peptide EKLA¹KNKLARG²LKRK

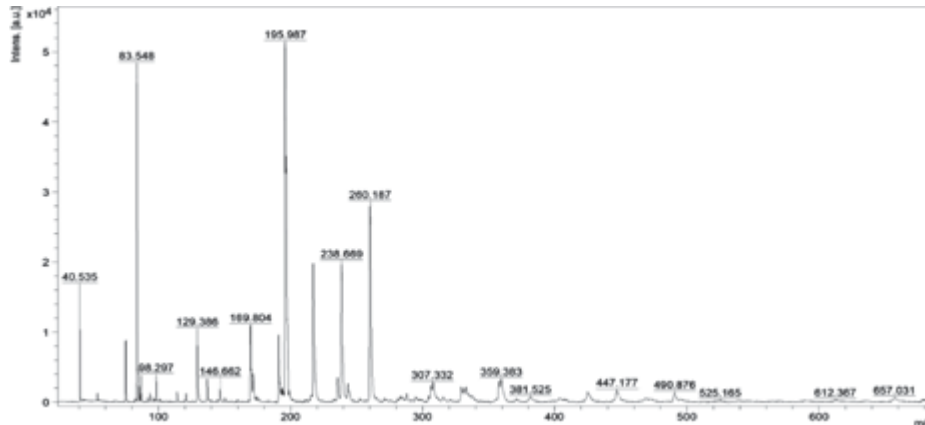


Таблица 1. Аминокислотная последовательность пептида EKLA¹KNKLARG²LKRK

Table 1. Amino acid sequence of the peptide EKLA¹KNKLARG²LKRK

Показатель	Характеристика
Гидрофобная аминокислота	I: 0 V: 0 L: 3 F: 0 C: 0 M: 0 A: 2 W: 0
Количество аминокислот G и P	G: 1 P: 0
Отрицательно заряженная аминокислота	E: 1 D: 0
Положительно заряженная аминокислота	K: 5 R: 2 H: 0
Другие аминокислоты	T: 0 S: 0 Y: 0 Q: 0 N: 1

Рис. 2. Известные АМП по базе данных APD

Fig. 2. Known AMPs from the AD database



определенное APD, составляет 33%. Общий чистый заряд равен +6, молекулярная масса пептида составляет 1753,151 Да. Пептид имеет молекулярную формулу C₇₇H₁₄₆N₂₆O₁₉S₀. Последовательность богата аминокислотой К. Потенциал связывания с белками (индекс Бомана)¹¹ составляет 3,44 ккал/моль. Выделенный пептид по характеристикам близок к известным антимикробным, включенным в базу данных APD (США) (рис. 2).

С помощью программы молекулярного моделирования Schrodinger Maestro¹² (Schrodinger, США) смоделирована структура полученного пептида (рис. 3).

Согласно рисунку 3 пептид относится к α-спиральным, что предполагает его противомикробную активность. Так, по данным [20], конформационные пептиды α-спирали представляют собой относительно разнообразную и хорошо изученную группу АМП с сотнями различных последовательностей, уже идентифицированных из природных источников. Обычно они состоят из 12–40 аминокислотных остатков, богатых остатками, стабилизирующими спираль, такими как аланин (А), лейцин (L) и лизин (K) [21]. В исследуемом пептиде 15 аминокислотных остатков, из них 2 остатка аланина, 3 — лейцина, 5 — лизина, что свидетельствует о его возможной противобактериальной активности.

Исследуемый пептид может проявлять антимикробные свойства, так как имеет положительный заряд +6 и гидрофобность 33%, что согласуется с данными [22],

⁸ <https://www.graphpad.com/>

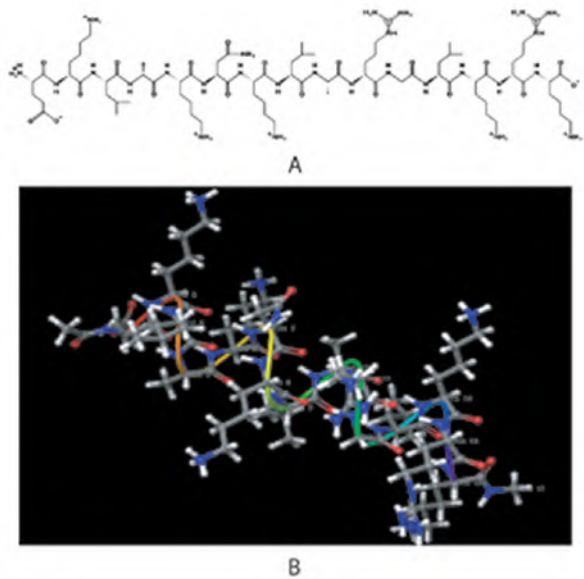
⁹ <http://aps.unmc.edu/AP/main.html>

¹⁰ <http://dramp.cpu-bioinfor.org/>

¹¹ Индекс Бомана — сумма значений растворимости для всех остатков в последовательности пептида.

Рис. 3. Двухмерная (А) и трехмерная (В) структуры пептида EKLAKNKLARGLKRK

Fig. 3. Two-dimensional (A) and three-dimensional (B) structures of the peptide EKLAKNKLARGLKRK



в которых установлено, что катионный заряд и гидрофобные остатки рассматриваются как две основные физические характеристики АМП. Наличие суммарного положительного заряда усиливает взаимодействие катионных АМП с отрицательно заряженными цитоплазматическими мембранами. Между тем другие бактериальные мишени с гидрофобными остатками способствуют взаимодействию с жирной ацильной цепью, которая обеспечивает внедрение АМП в мембрану. Проникновение биопленки происходит за счет трех движущих сил: суммарного положительного заряда, гидрофобной группы и селективной проницаемости мембраны (позволяющей пептидам проникать в клетку из раствора) [23].

Авторы [24] утверждают, что электростатические связи между катионными пептидами и отрицательно заряженными компонентами внешней бактериальной оболочки притягивают друг друга. В конечном итоге пептид достигает поверхности клеточной мембраны и проникает через мембрану с помощью нескольких гипотетических моделей, таких как модель бочкообразной пластины, модель ковра, модель годичных пор, модель канала агрегации и модель тонущего плота.

Потенциал связывания с белками (индекс Бомана) у исследуемого пептида высок (3,44 ккал/моль), что позволяет проникать ему в бактериальную клетку [25].

Для экспериментального подтверждения теоретического обоснования антимикробных свойств пептида проведено исследование его антибактериальной активности в сравнении с противобактериальным препаратом «Канамицин» широкого спектра действия из группы аминогликозидов и эффективным в отношении *E. Coli* и *B. Subtilis*. Чашки Петри инкубировали с бактериями при температуре, соответствующей оптимальной температуре роста каждого тест-штамма микроорганизма, в

Таблица 2. Антимикробная активность EKLAKNKLARGLKRK

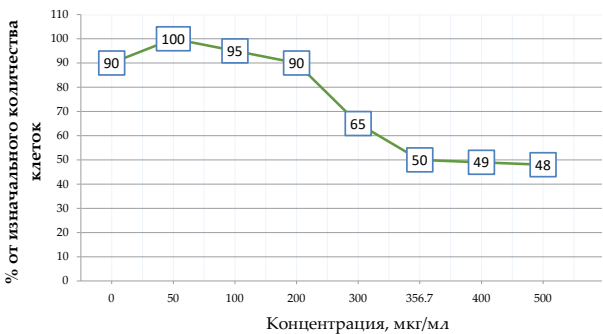
Table 2. Antimicrobial activity of EKLAKNKLARGLKRK

Наименование образца	Диаметр зоны лизиса, мм	
	<i>E. coli</i> ATCC 25922	<i>B. subtilis</i>
Исследуемый пептид EKLAKNKLARGLKRK	18,3 ± 0,2*	19,0 ± 0,2*
Контроль	0	0
Антибиотик «Канамицин»	21,4 ± 0,1	23,5 ± 0,2

Примечание: * $p < 0,05$.

Рис. 4. Кривая нелинейной регрессии, с помощью которой было определено значение ИД 50% для пептида EKLAKNKLARGLKRK. Достоверным считалось значение $R^2 > 0,65$

Fig. 4. The nonlinear regression curve, which was used to determine the ID value of 50% for the peptide EKLAKNKLARGLKRK. The value of $R^2 > 0.65$ was considered reliable



течение 24,0 ± 0,5 час. Результаты учитывались по наличию и размеру (в мм) прозрачной зоны отсутствия роста микроорганизмов вокруг диска (табл. 2).

Пептид EKLAKNKLARGLKRK обладает антимикробной активностью в отношении *E. coli* ATCC 25922 (зона лизиса 18 мм) и *B. Subtilis* (зона лизиса 19 мм), которая несколько ниже противомикробной активности антибиотика «Канамицин» (зона лизиса 21 мм) и *B. Subtilis* (зона лизиса 23 мм) соответственно.

Проведено исследование по изучению противоопухолевого действия пептида EKLAKNKLARGLKRK в отношении опухолевых клеток линии С6 (рис. 4).

Через 48 часов установлено снижение (на 50%) популяции опухолевых клеток С6. ИД 50% пептида составляет 356,7 мкг/мл. Следовательно, наряду с противомикробной активностью пептид EKLAKNKLARGLKRK обладает противоопухолевыми свойствами.

Выводы/Conclusions

На основании установленных в исследовании физико-химических характеристик (количество аминокислот, наименование аминокислот, структура, заряд, гидрофобность, индекс Бомана) пептида EKLAKNKLARGLKRK, выделенного из ферментативного гидролизата молозива коров, и экспериментального подтверждения *in vitro* его биологической активности можно утверждать, что был открыт АМП с противоопухолевыми свойствами. Установленные характеристики и биологическая активность пептида позволяют направить заявку на включение пептида в базы данных антимикробных пептидов.

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

- Lee J.-Y. *et al.* Structure-activity relationship-based screening of antibiotics against Gram-negative *Acinetobacter baumannii*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. 2017; 25 (1): 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2016.11.001>
- Wang B. *et al.* Functional and expression characteristics identification of Phormicins, novel AMPs from *Musca domestica* with anti-MRSA biofilm activity, in response to different stimuli. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022; 209: 299–314. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.204>
- Rajasekaran G. *et al.* Antimicrobial and anti-inflammatory activities of chemokine CXCL14-derived antimicrobial peptide and its analogs. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*. 2019; 1861(1): 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.bbame.2018.06.016>
- Domhan C. *et al.* A novel tool against multidrug-resistant bacterial pathogens: lipopeptide modification of the natural antimicrobial peptide ranalexin for enhanced antimicrobial activity and improved pharmacokinetics. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2018; 52(1): 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.03.023>
- Kim E.Y. *et al.* LL-37-derived short antimicrobial peptide KR-12-a5 and its d-amino acid substituted analogs with cell selectivity, anti-biofilm activity, synergistic effect with conventional antibiotics, and anti-inflammatory activity. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2017; 136: 428–441. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.05.028>
- Mallapragada S., Wadhwa A., Agrawal P. Antimicrobial peptides: The miraculous biological molecules. *Journal of Indian Society of Periodontology*. 2017; 21(6): 434–438.
- Faya M., Kalhapure R.S., Kumalo H.M., Waddad A.Y., Omolo C., Govender T. Conjugates and nano-delivery of antimicrobial peptides for enhancing therapeutic activity. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2028; 44: 153–171. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2017.12.010>
- Nordström R., Malmsten M. Delivery systems for antimicrobial peptides. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2017; 242: 17–34. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.01.005>
- Cummins C., Lundy R., Walsh J.J., Ponsinet V., Fleury G., Morris M.A. Enabling future nanomanufacturing through block copolymer self-assembly: A review. *Nano Today*. 2020; 35: 100936. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2020.100936>
- Zhang K. *et al.* Layered nanofiber sponge with an improved capacity for promoting blood coagulation and wound healing. *Biomaterials*. 2019; 204: 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2019.03.008>
- Wang C., Hong T., Cui P., Wang J., Xia J. Antimicrobial peptides towards clinical application: Delivery and formulation. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2020; 175: 113818. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.05.028>
- Yang X., van der Donk W.A. Ribosomally Synthesized and Post-Translationally Modified Peptide Natural Products: New Insights into the Role of Leader and Core Peptides during Biosynthesis. *Chemistry*. 2013; 19(24): 7662–7677. <https://doi.org/10.1002/chem.201300401>
- Lovering A.L., Safadi S.S., Strynadka N.C.J. Structural Perspective of Peptidoglycan Biosynthesis and Assembly. *Annual Review of Biochemistry*. 2012; 81: 451–478. <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-061809-112742>
- Gan B.H., Gaynord J., Rowe S.M., Deingruber T., Spring D.R. The multifaceted nature of antimicrobial peptides: current synthetic chemistry approaches and future directions. *Chemical Society Reviews*. 2021; 50(13): 7820–7880. <https://doi.org/10.1039/d0cs00729c>
- Mermer S. *et al.* Ceftaroline versus vancomycin in the treatment of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in an experimental MRSA meningitis model. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*. 2020; 22: 147–151. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2020.02.001>
- Ramesh S., de la Torre B.G., Albericio F., Kruger H.G., Govender T. Microwave-Assisted Synthesis of Antimicrobial Peptides. Hansen P.R. (ed.). *Antimicrobial Peptides. Methods and Protocols*. New York, NY: Humana Press. 2016; 51–59. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6737-7_4
- Sangild P.T., Vonderohe C., Melendez Hebib V., Burrin D.G. Potential Benefits of Bovine Colostrum in Pediatric Nutrition and Health. *Nutrients*. 2021; 13(8): 2551. <https://doi.org/10.3390/nu13082551>
- Duffuler P., Bhullar K.S., de Campos Zani S.C., Wu J. Bioactive Peptides: From Basic Research to Clinical Trials and Commercialization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; 70(12): 3585–3595. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06289>
- Мерзлякова Н.В., Тихонов С.Л., Тихонова Н.В., Шихалев С.В. Математическое моделирование ферментации белка молозива коров для получения антимикробных и противогрибковых пептидов. *АПК России*. 2023; 30(3): 433–439. <https://elibrary.ru/rabpxc>
- Porcelli F., Ramamoorthy A., Barany G., Veglia G. On the Role of NMR Spectroscopy for Characterization of Antimicrobial Peptides. Ghirlanda G., Senes A. (eds.). *Membrane Proteins. Folding, Association, and Design*. Totowa, NJ: Humana Press. 2013; 159–180. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-583-5_9
- Takahashi D., Shukla S.K., Prakash O., Zhang G. Structural determinants of host defense peptides for antimicrobial activity and target cell selectivity. *Biochimie*. 2010; 92(9): 1236–1241. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2010.02.023>

REFERENCES

- Lee J.-Y. *et al.* Structure-activity relationship-based screening of antibiotics against Gram-negative *Acinetobacter baumannii*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. 2017; 25 (1): 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2016.11.001>
- Wang B. *et al.* Functional and expression characteristics identification of Phormicins, novel AMPs from *Musca domestica* with anti-MRSA biofilm activity, in response to different stimuli. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022; 209: 299–314. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.204>
- Rajasekaran G. *et al.* Antimicrobial and anti-inflammatory activities of chemokine CXCL14-derived antimicrobial peptide and its analogs. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*. 2019; 1861(1): 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.bbame.2018.06.016>
- Domhan C. *et al.* A novel tool against multidrug-resistant bacterial pathogens: lipopeptide modification of the natural antimicrobial peptide ranalexin for enhanced antimicrobial activity and improved pharmacokinetics. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2018; 52(1): 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.03.023>
- Kim E.Y. *et al.* LL-37-derived short antimicrobial peptide KR-12-a5 and its d-amino acid substituted analogs with cell selectivity, anti-biofilm activity, synergistic effect with conventional antibiotics, and anti-inflammatory activity. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2017; 136: 428–441. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.05.028>
- Mallapragada S., Wadhwa A., Agrawal P. Antimicrobial peptides: The miraculous biological molecules. *Journal of Indian Society of Periodontology*. 2017; 21(6): 434–438.
- Faya M., Kalhapure R.S., Kumalo H.M., Waddad A.Y., Omolo C., Govender T. Conjugates and nano-delivery of antimicrobial peptides for enhancing therapeutic activity. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2028; 44: 153–171. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2017.12.010>
- Nordström R., Malmsten M. Delivery systems for antimicrobial peptides. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2017; 242: 17–34. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.01.005>
- Cummins C., Lundy R., Walsh J.J., Ponsinet V., Fleury G., Morris M.A. Enabling future nanomanufacturing through block copolymer self-assembly: A review. *Nano Today*. 2020; 35: 100936. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2020.100936>
- Zhang K. *et al.* Layered nanofiber sponge with an improved capacity for promoting blood coagulation and wound healing. *Biomaterials*. 2019; 204: 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2019.03.008>
- Wang C., Hong T., Cui P., Wang J., Xia J. Antimicrobial peptides towards clinical application: Delivery and formulation. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2020; 175: 113818. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.05.028>
- Yang X., van der Donk W.A. Ribosomally Synthesized and Post-Translationally Modified Peptide Natural Products: New Insights into the Role of Leader and Core Peptides during Biosynthesis. *Chemistry*. 2013; 19(24): 7662–7677. <https://doi.org/10.1002/chem.201300401>
- Lovering A.L., Safadi S.S., Strynadka N.C.J. Structural Perspective of Peptidoglycan Biosynthesis and Assembly. *Annual Review of Biochemistry*. 2012; 81: 451–478. <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-061809-112742>
- Gan B.H., Gaynord J., Rowe S.M., Deingruber T., Spring D.R. The multifaceted nature of antimicrobial peptides: current synthetic chemistry approaches and future directions. *Chemical Society Reviews*. 2021; 50(13): 7820–7880. <https://doi.org/10.1039/d0cs00729c>
- Mermer S. *et al.* Ceftaroline versus vancomycin in the treatment of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in an experimental MRSA meningitis model. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*. 2020; 22: 147–151. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2020.02.001>
- Ramesh S., de la Torre B.G., Albericio F., Kruger H.G., Govender T. Microwave-Assisted Synthesis of Antimicrobial Peptides. Hansen P.R. (ed.). *Antimicrobial Peptides. Methods and Protocols*. New York, NY: Humana Press. 2016; 51–59. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6737-7_4
- Sangild P.T., Vonderohe C., Melendez Hebib V., Burrin D.G. Potential Benefits of Bovine Colostrum in Pediatric Nutrition and Health. *Nutrients*. 2021; 13(8): 2551. <https://doi.org/10.3390/nu13082551>
- Duffuler P., Bhullar K.S., de Campos Zani S.C., Wu J. Bioactive Peptides: From Basic Research to Clinical Trials and Commercialization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; 70(12): 3585–3595. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06289>
- Merzlyakova N.V., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V., Shikhalev S.V. Mathematical modeling of fermentation of cow colostrum protein for the production of antimicrobial and antifungal peptides. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2023; 30(3): 433–439 (in Russian). <https://elibrary.ru/rabpxc>
- Porcelli F., Ramamoorthy A., Barany G., Veglia G. On the Role of NMR Spectroscopy for Characterization of Antimicrobial Peptides. Ghirlanda G., Senes A. (eds.). *Membrane Proteins. Folding, Association, and Design*. Totowa, NJ: Humana Press. 2013; 159–180. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-583-5_9
- Takahashi D., Shukla S.K., Prakash O., Zhang G. Structural determinants of host defense peptides for antimicrobial activity and target cell selectivity. *Biochimie*. 2010; 92(9): 1236–1241. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2010.02.023>

22. Nguyen L.T, Haney E.F., Vogel H.J. The expanding scope of antimicrobial peptide structures and their modes of action. *Trends in Biotechnology*. 2011; 29(9): 464–472.
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.05.001>
23. Jenssen H., Hamill P., Hancock R.E.W. Peptide Antimicrobial Agents. *Clinical Microbiology Reviews*. 2016; 19(3): 491–511.
<https://doi.org/10.1128/CMR.00056-05>
24. Yasir M., Willcox M.D.P., Dutta D. Action of Antimicrobial Peptides against Bacterial Biofilms. *Materials*. 2018; 11(12): 2468.
<https://doi.org/10.3390/ma11122468>
25. Xuan J. *et al.* Antimicrobial peptides for combating drug-resistant bacterial infections. *Drug Resistance Updates*. 2023; 68: 100954.
<https://doi.org/10.1016/j.drug.2023.100954>

ОБ АВТОРАХ

Елизавета Андреевна Улитина¹

аспирант
egorulitin@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0006-8660-4527>

Шолпан Сергеевна Валиева¹

аспирант
sholpan.v85@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-8660-3456>

Сергей Леонидович Тихонов^{1, 2}

доктор технических наук, профессор
tikhonov75@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

Наталья Валерьевна Тихонова¹

доктор технических наук, профессор
tikhonov75@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5841-1791>

¹ Уральский государственный аграрный университет,
ул. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

² Уральский государственный лесотехнический университет,
Сибирский тракт, 37, Екатеринбург, 620100, Россия

22. Nguyen L.T, Haney E.F., Vogel H.J. The expanding scope of antimicrobial peptide structures and their modes of action. *Trends in Biotechnology*. 2011; 29(9): 464–472.
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.05.001>

23. Jenssen H., Hamill P., Hancock R.E.W. Peptide Antimicrobial Agents. *Clinical Microbiology Reviews*. 2016; 19(3): 491–511.
<https://doi.org/10.1128/CMR.00056-05>

24. Yasir M., Willcox M.D.P., Dutta D. Action of Antimicrobial Peptides against Bacterial Biofilms. *Materials*. 2018; 11(12): 2468.
<https://doi.org/10.3390/ma11122468>

25. Xuan J. *et al.* Antimicrobial peptides for combating drug-resistant bacterial infections. *Drug Resistance Updates*. 2023; 68: 100954.
<https://doi.org/10.1016/j.drug.2023.100954>

ABOUT THE AUTHORS

Elizaveta Andreevna Ulitina¹

Postgraduate Student
egorulitin@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0006-8660-4527>

Sholpan Sergeevna Valieva¹

Postgraduate Student
sholpan.v85@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-8660-3456>

Sergey Leonidovich Tikhonov^{1, 2}

Doctor of Technical Sciences, Professor
tikhonov75@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

Natalia Valeryevna Tikhonova¹

Doctor of Technical Sciences, Professor
tikhonov75@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5841-1791>

¹ Ural State Agrarian University,
42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075, Russia

² Ural State Forestry Engineering University,
37 Siberian Tract, Yekaterinburg, 620100, Russia

Р.Х. Гелазов
Н.В. Яковченко ✉
К.Р. Баязитов
В.А. Ширяев

Университет ИТМО, Санкт-Петербург,
Россия

✉ nviakovchenko@itmo.ru

Поступила в редакцию:
04.12.2023

Одобрена после рецензирования:
11.03.2024

Принята к публикации:
27.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-138-145

Robert Kh. Gelazov
Natalia V. Iakovchenko ✉
Kamil R. Bayazitov
Valery A. Shiriaev

ITMO University, St. Petersburg, Russia

✉ nviakovchenko@itmo.ru

Received by the editorial office:
04.12.2023

Accepted in revised:
11.03.2024

Accepted for publication:
27.03.2024

Перспективы применения пробиотических
микроорганизмов при производстве
ферментированных продуктов на гречневой
основе

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Сегмент рынка продуктов на основе сырья растительного происхождения продолжает набирать обороты. Сохранение здоровья, снижение нагрузки на окружающую среду являются самым большим стимулом для потребителей покупать продукты растительного происхождения. Около 1% населения в мире страдают диагностированным заболеванием — целиакией. Кроме того, около 13% мирового населения проявляют симптомы нецелиакичной чувствительности к глютену. Таким образом, производство безглютеновых продуктов питания, в том числе ферментированных, становится всё более актуальной задачей.

Методы. Оработаны технологические параметры получения гречневой дисперсии и оценены ее показатели качества. В рамках исследования был проведен анализ процесса кислотонакопления в процессе ферментации микроорганизмами *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Propionibacterium* и *Streptococcus*. Получены данные о динамике накопления биомассы микроорганизмов в процессе ферментации, изучено влияние выбранных заквасочных культур на антиоксидантные свойства ферментированных дисперсий в процессе хранения. Определено влияние подобранных штаммов на органолептические показатели, а также изучена зависимость вязкости ферментированных образцов от скорости сдвига.

Результаты. Гречневая дисперсия является подходящей средой для производства ферментированных напитков. Продолжительность ферментации составила от 5 до 9 часов. Наиболее интенсивный процесс кислотонакопления отмечается при использовании *S. thermophilus* в течение 5 часов. Максимальный прирост биомассы отмечается при *L. bulgaricus*, *L. acidophilus* AT-41 и *B. bifidum*. Пробиотические микроорганизмы обеспечивают стабильные показатели антиоксидантной активности в процессе хранения. Наиболее вязким были образцы, ферментированные *S. thermophilus*, *B. bifidum*, *P. shermanii* KM-186 и *L. bulgaricus*. Наибольшее предпочтение было отдано образцам с *L. acidophilus* 57S, *S. thermophilus* и *L. bulgaricus*.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-26-00288.

Ключевые слова: гречневая дисперсия, химический состав, антиоксидантная активность, вязкость, пробиотические бактерии

Для цитирования: Гелазов Р.Х., Яковченко Н.В., Баязитов К.Р., Ширяев В.А. Перспективы применения пробиотических микроорганизмов при производстве ферментированных продуктов на гречневой основе. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 138–145.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-138-145>

© Гелазов Р.Х., Яковченко Н.В., Баязитов К.Р., Ширяев В.А.

Prospects for the use of probiotic microorganisms
in the production of fermented buckwheat-based
products

ABSTRACT

Relevance. The market segment for products based on plant-based ingredients continues to gain momentum. Protecting health and reducing the environmental burden are the most important driving forces for consumers to buy plant-based products. About 1% of the world's population suffers from diagnosed celiac disease. Around 13% of the population exhibits symptoms of non-celiac gluten sensitivity. Thus, the production of gluten-free food products, including fermented ones, is becoming increasingly important.

Methods. The technological parameters for producing buckwheat dispersion and its quality indicators were assessed. The analysis of the process of acid accumulation during fermentation by microorganisms *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Propionibacterium*, and *Streptococcus* was carried out. Data on the dynamics of microbial biomass accumulation during fermentation were obtained, and the influence of selected starter cultures on the antioxidant properties of fermented dispersions during storage was studied. The impact of chosen strains on organoleptic characteristics was determined, and the dependence of the viscosity of fermented samples on the shear rate was studied.

Results. Buckwheat dispersion is a suitable medium for the production of fermented drinks. The duration of fermentation ranged from 5 to 9 hours. The most intense acid accumulation process is observed when *S. thermophilus* is used for 5 hours. The maximum increase in biomass is achieved with *L. bulgaricus*, *L. acidophilus* AT-41, and *B. bifidum*. Probiotic microorganisms provide stable levels of antioxidant activity during storage. The samples fermented with *S. thermophilus*, *B. bifidum*, *P. shermanii* KM-186, and *L. bulgaricus* were the most viscous. The most outstanding organoleptic preference was given to samples with *L. acidophilus* 57S, *S. thermophilus*, and *L. bulgaricus*.

The research was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 22-26-00288.

Key words: buckwheat, chemical composition, antioxidant activity, viscosity, probiotic bacteria

For citation: Gelazov R.Kh., Iakovchenko N.V., Bayazitov K.R., Shiriaev V.A. Prospects for the use of probiotic microorganisms in the production of fermented buckwheat-based products. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 138–145 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-138-145>

© Gelazov R.Kh., Iakovchenko N.V., Bayazitov K.R., Shiriaev V.A.

Введение/Introduction

Общий рост рынка растительных альтернатив молока свидетельствует о заметном увеличении потребительского интереса к данным продуктам¹. Согласно полугодовому отчету некоммерческой организации Good Food Institute (GFI), опубликованному в марте 2022 года, доля растительного молока в общем объеме рынка молока в 2022 году составляет 16%. Прогноз компании Strategic Market Research предполагает, что к 2030 году мировое производство растительных альтернатив достигнет значения в 123,1 млрд долларов². В России также отмечается увеличение спроса на растительные альтернативы молоку.

В условиях увеличивающейся популярности функциональных продуктов питания [1–5] актуальной становится разработка продуктов, представляющих собой альтернативу молочным продуктам и обладающих пробиотическими свойствами.

Использование пробиотиков играет важную роль в концепции здорового питания и считается одним из наиболее эффективных методов профилактики заболеваний желудочно-кишечного тракта и лечения связанных с ними расстройств, которые могут воздействовать на пищеварительную, иммунную и эндокринную системы [6–8].

Создание новых растительных продуктов предполагает не только попытку придания им вкусовых характеристик, схожих с привычными продуктами из животного сырья, но и более важную задачу — разработку продукта, обладающего всеми вкусовыми преимуществами растительной основы [9–11].

Основной принцип заключается в том, чтобы не скрывать их уникальные органолептические характеристики, а, напротив, выделить их, предоставив потребителю приятные вкусовые акценты, сочетая их с полезными функциональными свойствами, благоприятными для организма [12–15].

Ферментация (в частности, заквасочными культурами) позволяет повысить питательную ценность продукта, разнообразить вкусовые и ароматические характеристики, а также текстуры пищевых субстратов и повысить безопасность продуктов на растительной основе при хранении [16–21]. Данный процесс является относительно экономичным и малоэнергозатратным способом консервирования. [22–26].

Кроме того, ферментация способствует формированию пептидов с биоактивными свойствами, такими как ингибирование АПФ, антиоксидантная и противовоспалительная активности [27–31].

Использование заквасочных культур не только повышает содержание и доступность минералов, но и усиливает антиоксидантные свойства продуктов [32–35].

В настоящее время рынок конкурентоспособных продуктов питания без глютена отечественного производства нельзя назвать широким, чтобы решить проблему зависимости от импортных продуктов [36].

Согласно данным³, около 1% населения в мире страдают диагностированным заболеванием — целиакией, которое может привести к ряду других заболеваний, включая бесплодие, снижение плотности костей, неврологические расстройства, некоторые виды рака и другие аутоиммунные заболевания⁴. Кроме того, существует так называемая нецелиакичная чувствительность к глютену (NCGS), характеризующаяся кишечными и внекишечными симптомами, связанными с употреблением в пищу продуктов, содержащих глютен, при отсутствии целиакии и аллергии на пшеницу [37].

Гречка является безглютеновым сырьем и с успехом применяется при производстве пищевых продуктов, в частности хлебобулочных изделий [38, 39]. Гречка — это богатая питательными веществами крупа с уникальным профилем питательных веществ. Она богата фитохимическими веществами, витаминами и минералами. Основные эффекты гречки на здоровье человека — ее гипотензивное, гипогликемическое, гипохолестеринемическое, нейропротекторное, противоопухолевое и антиоксидантное действие [40, 41].

Цель исследований — оценить потенциал использования пробиотических микроорганизмов при разработке ферментированных напитков на основе семян гречихи.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

При проведении исследований использовали культуру гречневую зеленую (ООО «Агро-Альянс», Россия) (массовая доля белка — 13%, массовая доля жира — 2,5%, массовая доля углеводов — 68%), пробиотические культуры *Lactobacillus acidophilus* 57S, AT-41, H9, 8 (Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Россия), *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* (Yo100, Micromilk s.r.l., Италия), *Bifidobacterium bifidum* (LYOBAC-D, ALCE, Италия), *Bifidobacterium longum* B379M (ООО «Пропионикс», Россия), *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermani* KM-186 (ООО «Пропионикс», Россия), *Streptococcus thermophilus* (Danisco TA 40 LYO 50 DCU, Дания).

Семена гречихи (500 г) замачивали в фильтрованной воденочень (12 ч) в соотношении 3:1 (вода — гречка). Воду сливали, а семена гречихи трижды промывали фильтрованной водой для удаления слизи. Затем добавляли воду в таком количестве, чтобы сохранить соотношение воды и зерен 3:1 (по объему). Смесь измельчали в блендере SHINE BLW-N02 (SHINE, Китай) в течение 3 мин. Альфа-амилазу добавляли в количестве 0,1% (мас/об) и выдерживали при 65 °С в течение 20 мин., нагревали до 90 °С в течение 1 мин. для инактивации фермента. Полученную смесь фильтровали через лавсановую ткань (плотность 140 г/м²) и пастеризовали в Термомиксе® при скорости 2 при 85 ± 1 °С в течение 5 минут для обеспечения стабильности системы и обеспечения микробиологической безопасности. Технология производства представлена

Таблица 1. Показатели качества растительной дисперсии из гречки
Table 1. Quality indicators of buckwheat dispersion

Образец	Сухие вещества, %	Белок, %	Жир, %	Клетчатка, %	Полифенолы, мг (GAE) / 100 г	Углеводы, %
Растительная дисперсия на основе семян гречихи	6,69 ± 0,54	1,71 ± 0,03	0,31 ± 0,03	меньше 0,10	74,22 ± 1,33	4,49 ± 0,34

¹ Plant-based milk by numbers, US retail: Oat milk and pea milk up double digits, almond milk and soy milk flat [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2022/07/25/Plant-based-milk-by-numbers-US-retail-Oat-milk-and-pea-milk-up-double-digits-almond-milk-and-soy-milk-flat> (дата обращения: 29.11.2023).

² Как развивался рынок растительного молока в 2022 году [Электронный ресурс]. — URL: <https://vegetarian.ru/news/kak-razvivalsya-rynok-rastitelnogo-moloka-v-2022-godu.html> (дата обращения: 29.11.2023).

³ Al Kindi R, Al Salmani A, Al Hadhrami R, Al Maashani M. Epidemiology of Celiac Disease [Электронный ресурс]. — URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.110195> (дата обращения: 29.11.2023).

⁴ Celiac Disease: Fast Facts [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.beyondceliac.org/celiac-disease/facts-and-figures/> (дата обращения: 29.11.2023).

Рис. 1. Технология получения растительной дисперсии из семян
Fig. 1. Technology for obtaining plant dispersion from green buckwheat



на рисунке 1, физико-химические показатели растительной дисперсии приведены в таблице 1.

Для получения чистых культур микроорганизмов их культивировали на питательных средах в течение 48–96 часов. Полученную биомассу микроорганизмов концентрировали на центрифуге при 5000 об/мин в течение 10 мин. После этого проводили отделение биомассы, а затем добавляли криопротектор.

После тепловой обработки гречневой дисперсии ее охлаждали до температуры заквашивания с учетом оптимальной температуры для каждого штамма, вносили чистые культуры пробиотических бактерий в объеме 0,1% от общего объема растительной дисперсии. Процесс ферментации осуществляли до достижения значен- ний pH в пределах 4,6–4,8.

Измерение активной кислотности проводили с использованием pH-метра PH-410 (ЗАО «НПО «Техноком»). Титруемую кислотность измеряли методом титрования с применением индикатора фенолфталеина [42].

Определение содержания пропионовой кислоты проводили с использованием жидкостной хроматографии на системе Shimadzu LC-20 Prominence согласно методам [43, 44] с модификациями. Ферментированные образцы в объеме 25 мл смешивали с 0,001М раствором H_2SO_4 и центрифугировали при скорости 10 тыс. об/мин в течение 15 мин. Супернатанты, полученные после центрифугирования, фильтровали через нейлоновый фильтр. Объем образца для определения составил 10 мкл.

Сухие вещества определяли гравиметрическим методом [45].

Содержание клетчатки измеряли в соответствии с методом, предложенным Американской ассоциацией химиков по переработке зерновых продуктов (ААСС). Определение содержания углеводов проводили расчетным методом⁵.

Количественное содержание полифенолов измеряли колориметрическим методом [46].

Определение антиоксидантной активности образцов до и после ферментации проводили спектрофотометрическим методом [47].

Выживаемость пробиотических бактерий оценивали путем посева 1 мл серийных разведений (от 10^{-1} до 10^{-10}) в стерильном 0,9%-ном растворе хлорида натрия на питательную среду с использованием метода глубинного посева в чашках Петри.

Для подсчета количества микроорганизмов использовали MRS-агар для следующих штаммов: *L. acidophilus* H9, *L. acidophilus* AT-41, *L. acidophilus* 8, *L. acidophilus* 57s, *L. bulgaricus*, *B. bifidum*, *B. longum* B379M. Для *S. thermophilus* использовали агар M17.

Таблица 2. Числовая и словесная характеристика гедонической шкалы

Table 2. Numerical and verbal characteristics of the hedonic scale

Балл	Категория
1	крайняя степень неприятия
2	очень не нравится
3	средняя степень неприятия
4	немного не нравится
5	нейтральное отношение
6	слегка нравится
7	средняя степень предпочтения
8	очень нравится
9	наивысшая степень предпочтения

Инкубацию проводили при 37 °C в течение 48 часов *P. shermanii* KM-186 культивировали на лактатном агаре при температуре 30 °C в течение 96 часов. Полученные результаты были выражены в логарифмической форме (lg КОЕ/мл).

Определение структурно-механических показателей проводили на ротационном вискозиметре Rheotest RN4.1 (RHEOTEST Medingen GmbH, Germany)⁶ при температуре 4 ± 1 °C с использованием шпинделя H1.

Общее впечатление, консистенцию, вкус и запах ферментированных образцов на этапе подбора заквасочной культуры оценивали по девятибалльной гедонической шкале (табл. 2).

В дегустации и оценке участвовали 17 человек из числа студентов и работников факультета биотехнологий Университета ИТМО [48].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием общепринятых методов и программного обеспечения. Результаты считались статистически значимыми при уровне значимости $p \leq 0,05$.

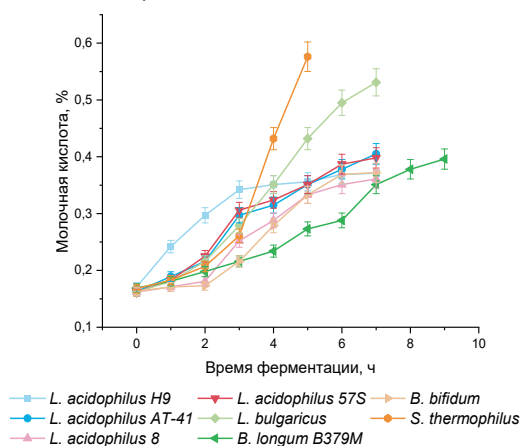
Результаты и обсуждение / Results and discussions

На начальном этапе научного исследования проводили оценку динамики изменений активной и титруемой кислотности в процессе ферментации гречневой дисперсии. На рисунках 2–4 представлены данные, иллюстрирующие процесс кислотонакопления в ходе ферментации растительной дисперсии, полученной из гречневой крупы, при применении различных заквасочных культур.

Наиболее активно процесс ферментации проходит при использовании *S. thermophilus* в течение 5 часов, при этом наблюдается изменение pH образца в пределах от 6,62 до 4,68. Прирост титруемой кислотности

Рис. 2. Динамика изменения титруемой кислотности в процессе ферментации гречневой дисперсии, % молочной кислоты

Fig.2. Dynamics of changes in titratable acidity during the fermentation of buckwheat dispersion, % lactic acid

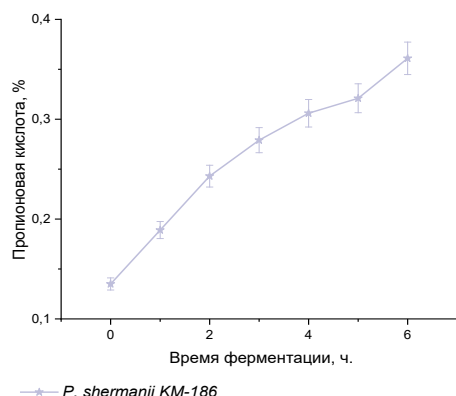


⁵ Mitchell C.R., Mitchell P.R., Nissenbaum R., inventors; Mitchell Cheryl R., Mitchell Pat R., assignee. Nutritional rice milk product. United States patent US 4,894,242. Jan 16 1990.

⁶ Ротационный вискозиметр Rheotest RN4.1 [Электронный ресурс]. http://granat-e.ru/rheotest_rn41.html (дата обращения: 29.11.2023).

Рис. 3. Динамика изменения титруемой кислотности в процессе ферментации гречневой дисперсии *P. shermanii* KM-186, % пропионовой кислоты

Fig. 3. Dynamics of changes in titratable acidity during the fermentation of buckwheat dispersion *P. shermanii* KM-186, % propionic acid



составил 0,408% молочной кислоты. Ферментация с использованием *B. bifidum*, *L. bulgaricus*, *L. acidophilus* AT-41, 8 и 57s продолжалась в течение 7 часов, при этом диапазон изменений pH для соответствующих образцов составил от 6,61 до 4,69, от 6,59 до 4,5, от 6,63 до 4,7, от 6,67 до 4,81, от 6,62 до 4,54 соответственно.

При этом прирост молочной кислоты составил 0,209%, 0,369%, 0,242%, 0,199% соответственно. Штамм *L. acidophilus* H9 не проявил способности ферментировать гречневую дисперсию, за 7 часов ферментации значения pH снизились от 6,59 до 5,28, причем статистически значимые изменения pH не происходили, начиная с 4-го часа ферментации.

Наиболее медленно процесс кислотонакопления проходил при использовании *B. longum* B379M в течение 9 часов при изменении pH до значений 4,82 и приросте титруемой кислотности 0,227% молочной кислоты. Штамм *P. shermanii* KM-186 достаточно активно ферментирует растительную дисперсию, процесс занимает 6 часов до pH 4,68, прирост пропионовой кислоты 0,226%.

Полученные данные о приросте биомассы микроорганизмов (рис. 5) свидетельствуют о том, что при ферментации гречневой дисперсии наибольший прирост биомассы наблюдался при использовании *L. bulgaricus*, *L. acidophilus* AT-41 и *B. bifidum* и составил 0,94, 0,74 и 0,65 lg (КОЕ/мл) соответственно.

Наименьший прирост биомассы был в образцах, ферментированных *P. shermanii* KM-186, *L. acidophilus* H9 и *L. acidophilus* 8, и составил 0,18, 0,31 и 0,34 lg (КОЕ/мл) соответственно.

Результаты исследования изменения антиоксидантной активности гречневой дисперсии до и после ферментации и в процессе хранения (рис. 6) показали, что наибольшее увеличение данного показателя в первый день у образцов, ферментированных *B. bifidum* (на 17,3%), *P. shermanii* KM-186 (на 14,12%), *L. bulgaricus* (на 11,43%), *L. acidophilus* AT-41 (на 8,62%).

Штамм *L. acidophilus* H9, напротив, показал незначительное снижение DPPH ингибирующей активности в 1-й день после ферментации. Штаммы *L. acidophilus* 57S, 8 и *S. thermophilus* показали незначительные различия в приросте антиоксидантной активности в 1-й день (на 7,68%, 5,61% и 6,35% соответственно); наименьшее изменение антиоксидантной активности в 1-й день показал штамм *B. longum* B379M (на 1,35%).

Изменения антиоксидантной активности в процессе хранения происходило по-разному в зависимости от используемой пробиотической культуры, а именно наибольшую антиоксидантную активность

Рис. 4. Изменение активной кислотности в процессе ферментации растительной дисперсии из гречки

Fig. 4. Change in pH values during fermentation of buckwheat dispersion

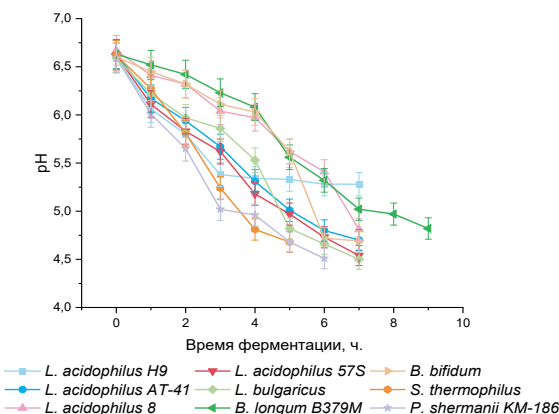


Рис. 5. Прирост биомассы пробиотических микроорганизмов в процессе ферментации гречневой дисперсии, lg(КОЕ/мл)

Fig. 5. Increase in biomass of probiotic microorganisms during fermentation of buckwheat dispersion, lg(CFU/ml)

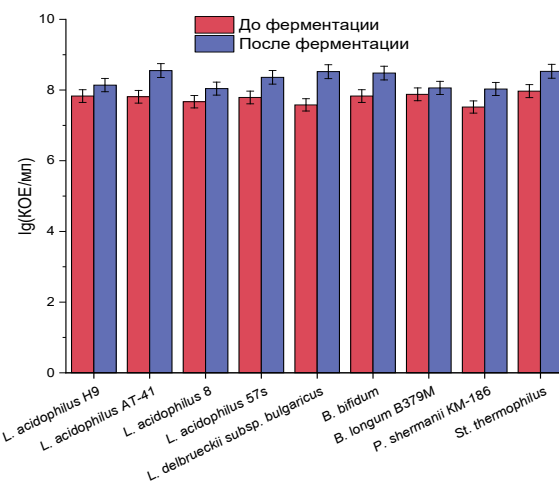
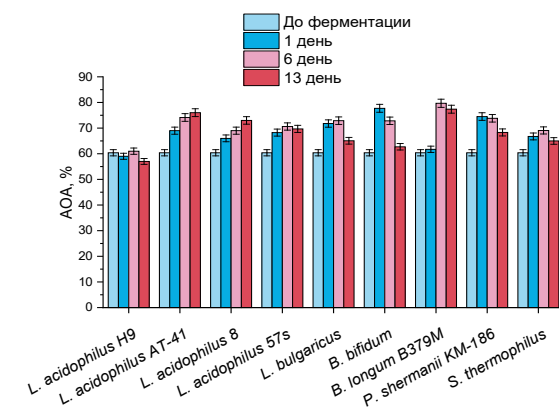


Рис. 6. Изменение антиоксидантной активности ферментированной гречневой дисперсии в процессе хранения, %

Fig. 6. Change in antioxidant activity of fermented buckwheat dispersion during storage, %



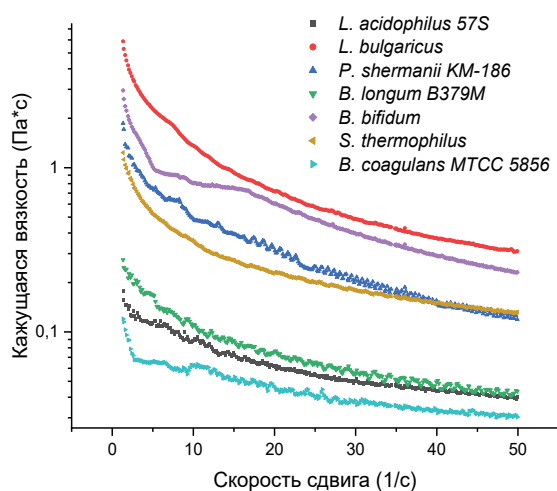
B. bifidum, *P. shermanii* KM-186 проявили в 1-й день хранения, *L. acidophilus* 57S, *S. thermophilus*, *L. bulgaricus* и *B. longum* B379M — на 6-й день, *L. acidophilus* AT-41 и *L. acidophilus* 8 — на 13-й день.

Данные (рис. 7) иллюстрируют различия в вязкости образцов и зависимость кажущейся вязкости от скорости сдвига образцов дисперсии, ферментированных различными заквасочными культурами.

Увеличение скорости сдвига в разной степени сопровождается уменьшением кажущейся вязкости, что

Рис. 7. Зависимость вязкости от скорости сдвига образцов дисперсии, ферментированных различными заквасочными культурами, Пахс

Fig. 7. Dependence of viscosity on shear rate of dispersion samples fermented with various starter cultures, Paxs



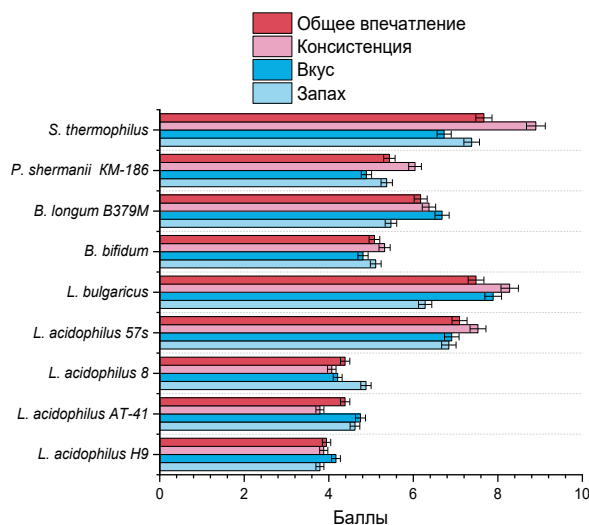
характеризует поведение каждого образца как не-ньютоновскую псевдопластичную жидкость, что обусловлено слабыми физическими связями, электростатическими и гидрофобными взаимодействиями. Наиболее вязкими были образцы, ферментированные *S. thermophilus*, *B. bifidum*, *P. shermanii* KM-186 и *L. bulgaricus*.

Данные (рис. 8) показывают, что для ферментирования растительной дисперсии из гречки лучше всего подходят *L. acidophilus* 57S, *S. thermophilus* и *L. bulgaricus*. Именно эти бактерии оказали наиболее положительный эффект на органолептические показатели ферментированных растительных дисперсий.

Все образцы имели мягкий вкус и приемлемую консистенцию. Интересным оказалось влияние *P. shermanii* KM-186, что привело к появлению острого запаха и вкуса, похожего на кефирный с оттенками хрена. Неплохие результаты показало внесение *B. longum* B379M, что привело к появлению мягкого кисловато-сладковатого вкуса и запаха. Образцы, ферментированные *L. acidophilus* AT-41, *L. acidophilus* 8 и *L. acidophilus* H9, получили наименьшее количество баллов. Использование *B. bifidum* привело к появлению горечи.

Рис. 8. Органолептическая оценка общих показателей ферментированных образцов дисперсии на основе семян гречки

Fig. 8. Organoleptic assessment of the general characteristics of fermented samples of dispersion based on buckwheat seeds



Выводы/Conclusions

В данном исследовании проведен анализ перспектив использования гречневой дисперсии в качестве основного субстрата для ферментации штамма *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* и *Propionibacterium* и *Streptococcus*.

Установлено, что длительность ферментации зависит от рода, вида и штамма бактерий, составляя 5–9 часов. В целом выбранные микроорганизмы успешно адаптировались к растительному сырью в процессе ферментации, за исключением *L. acidophilus* H9.

Наибольший прирост биомассы бактерий выявлен при использовании *L. bulgaricus*, *L. acidophilus* AT-41 и *B. bifidum*. Штаммы *B. bifidum*, *P. shermanii* KM-186, *L. bulgaricus* и *L. acidophilus* AT-41 продемонстрировали наибольшее увеличение антиоксидантной активности в 1-й день после ферментации.

Лучшими образцами из представленных по органолептическим характеристикам были выбраны *L. acidophilus* 57S, *S. thermophilus*, *L. Bulgaricus*.

Таким образом, гречневая дисперсия является благоприятной средой для роста пробиотических бактерий и перспективной основой для производства ферментированных продуктов на растительной основе.

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 РФФИ № 22-26-00288.

FUNDING

The article was financially supported by the grant of the Russian Science Foundation (RSF) No. 22-26-00288.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Smolnikova F. *et al.* Developing milk-fruit drinks for school nutrition. *Journal of Natural Remedies*. 2021; 21(9-1): 72–77. <https://www.elibrary.ru/fwcshs>
- Gavrilova N. *et al.* Specialized Sports Nutrition Foods: Review. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020; 12(2): 998–1003. <https://doi.org/10.31838/IJPR/2020.12.02.0152>
- Суйчинов А.К. и др. Исследование пищевой ценности паштета из мяса птицы с добавлением белково-минеральной добавки. *Всё о мясе*. 2023; (4): 34–39. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2023-4-34-39>

REFERENCES

- Smolnikova F. *et al.* Developing milk-fruit drinks for school nutrition. *Journal of Natural Remedies*. 2021; 21(9-1): 72–77. <https://www.elibrary.ru/fwcshs>
- Gavrilova N. *et al.* Specialized Sports Nutrition Foods: Review. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020; 12(2): 998–1003. <https://doi.org/10.31838/IJPR/2020.12.02.0152>
- Suychinov A.K. *et al.* Study of the nutritional value of poultry meat pate with a protein-mineral supplement. *Vsyo o myase*. 2023; (4): 34–39 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2023-4-34-39>

4. Rexhepi F. *et al.* Chemical changes of pumpkin seed oils and the impact on lipid stability during thermal treatment: study by FTIR – spectroscopy. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022; 11(6): e5839. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5839>
5. Зайцева Т.Н., Ребезов М.Б., Чудайкина А.В. Критерии идентификации безалкогольных напитков функциональной направленности. *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Тезисы 80-й Международной научно-технической конференции*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2022; 2: 70. <https://www.elibrary.ru/jvhnlo>
6. Решетник Е.И., Уточкина Е.А. Разработка технологии ферментированного молочно-растительного напитка с функциональными свойствами. *Техника и технология пищевых производств*. 2011; (2): 53–56. <https://www.elibrary.ru/nygvhx>
7. Ahsan S. *et al.* Technofunctional quality assessment of soymilk fermented with *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2022; 69(1): 172–182. <https://doi.org/10.1002/bab.2094>
8. Кений Н.В., Нестеренко А.А., Лысенко Ю.А., Ребезов М.Б. Апробация разработанной стартовой культуры на основе *Lactobacillus salivarius* и *Lactobacillus curvatus* для сырокопченых колбас из мяса птицы. *Аграрная наука*. 2022; (6): 112–116. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-112-116>
9. Варивода А.А., Кений Н.В., Ребезов М.Б. Разработка научно обоснованных подходов к проектированию пищевых продуктов направленного действия для геродиетического питания. *Аграрная наука*. 2023; (4): 145–151. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-145-151>
10. Sarkar T. *et al.* Quality Assessment of Tindora (*Coccinia indica*) Using Poincare Plot and Cartesian Quadrant Analysis. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(9): 2357–2371. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02287-2>
11. Tretyak L. *et al.* General Standardization Trends and Prospects for Objective Evaluation of Organoleptic properties of Beer and Beer Beverages. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2022; 15(3): 1323–1329. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2022.00221>
12. Aslam F. *et al.* Physicochemical properties of chemically interesterified vegetable oils. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2021; 10(5): e4291. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.4291>
13. Dyuyssembaev S.T., Serikova A.T., Okuskhanova E.K., Rebezov M.B., Esimbekov Zh.S. Nutritive value of beef under the radioactive contamination. *Экология. Радиация. Здоровье. Тезисы IX Международной научно-практической конференции*. Семей: Государственный медицинский университет г. Семей. 2013; 15. <https://www.elibrary.ru/zalvxt>
14. Зайцева Т.Н., Ребезов М.Б., Беззубова Е.В. Управление качеством хлебобулочных изделий. *Современные проблемы и перспективы развития науки, техники и образования. Материалы II Национальной научно-практической конференции*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2022; 218–222. <https://www.elibrary.ru/nskyeb>
15. Чудайкина А.В., Зайцева Т.Н., Ребезов М.Б. Состояние и проблемы кондитерской промышленности. *Качество продукции, технологий и образования. Материалы XVII Международной научно-практической конференции*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2022; 71–76. <https://www.elibrary.ru/vxwvgs>
16. Hammes W.P., Tichaczek P.S. Das Potential der Milchsäurebakterien bei der Produktion von hygienisch sicheren und gesundheitsfördernden Lebensmitteln. *Zeitschrift für Lebensmittel-untersuchung und-forschung*. 1994; 198(3): 193–201. <https://doi.org/10.1007/BF01192595>
17. Liu S.-n., Han Y., Zhou Z.-j. Lactic acid bacteria in traditional fermented Chinese foods. *Food Research International*. 2011; 44(3): 643–651. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.034>
18. Ross R.P., Morgan S., Hill C. Preservation and fermentation: past, present and future. *International Journal of Food Microbiology*. 2002; 79(1–2): 3–16. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00174-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00174-5)
19. Gaggia F., Di Gioia D., Baffoni L., Biavati B. The role of protective and probiotic cultures in food and feed and their impact in food safety. *Trends in Food Science & Technology*. 2011; 22(S1): S58–S66. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.03.003>
20. Adams M., Mitchell R. Fermentation and pathogen control: a risk assessment approach. *International Journal of Food Microbiology*. 2002; 79(1–2): 75–83. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00181-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00181-2)
21. Adams M.R., Nicolaides L. Review of the sensitivity of different foodborne pathogens to fermentation. *Food Control*. 1997; 8(5–6): 227–239. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(97\)00016-9](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(97)00016-9)
22. van Boekel M. *et al.* A review on the beneficial aspects of food processing. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2010; 54(9): 1215–1247. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900608>
23. Vaughan A., Eijsink V.G.H., O'Sullivan T.F., O'Hanlon K., Van Sinderen D. An analysis of bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from malted barley. *Journal of Applied Microbiology*. 2001; 91(1): 131–138. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01365.x>
24. Urbonaviciene D., Viskelis P., Bartkiene E., Juodeikiene G., Vidmantienė D. The Use of Lactic Acid Bacteria in the Fermentation of Fruits and Vegetables — Technological and Functional Properties. *Ekinci D. (ed.). Biotechnology. IntechOpen*. 2015; 135–164. <https://doi.org/10.5772/59938>
4. Rexhepi F. *et al.* Chemical changes of pumpkin seed oils and the impact on lipid stability during thermal treatment: study by FTIR – spectroscopy. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022; 11(6): e5839. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5839>
5. Zaytseva T.N., Rebezov M.B., Chudaykina A.V. Criteria for identifying functional non-alcoholic drinks. *Current problems of modern science, technology and education. Abstracts of the 80th International scientific and technical conference*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2022; 2: 70 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/jvhnlo>
6. Reshetnik E.I., Utochkina E.A. Fermented plant milk drink with functional characteristics: technology development. *Food processing: techniques and technology*. 2011; (2): 53–56 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/nygvhx>
7. Ahsan S. *et al.* Technofunctional quality assessment of soymilk fermented with *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2022; 69(1): 172–182. <https://doi.org/10.1002/bab.2094>
8. Keny N.V., Nesterenko A.A., Lysenko Yu.A., Rebezov M.B. Aprrobation of the developed starter culture based on *Lactobacillus salivarius* and *Lactobacillus curvatus* for raw smoked poultry sausages. *Agrarian science*. 2022; (6): 112–116 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-112-116>
9. Varivoda A.A., Keniy N.V., Rebezov M.B. Development of evidence-based approaches to the design of targeted food products for gerodietary nutrition. *Agrarian science*. 2023; (4): 145–151 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-145-151>
10. Sarkar T. *et al.* Quality Assessment of Tindora (*Coccinia indica*) Using Poincare Plot and Cartesian Quadrant Analysis. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(9): 2357–2371. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02287-2>
11. Tretyak L. *et al.* General Standardization Trends and Prospects for Objective Evaluation of Organoleptic properties of Beer and Beer Beverages. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2022; 15(3): 1323–1329. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2022.00221>
12. Aslam F. *et al.* Physicochemical properties of chemically interesterified vegetable oils. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2021; 10(5): e4291. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.4291>
13. Dyuyssembaev S.T., Serikova A.T., Okuskhanova E.K., Rebezov M.B., Esimbekov Zh.S. Nutritive value of beef under the radioactive contamination. *Ecology. Radiation. Health. Abstracts of the IX International scientific and practical conference*. Semey: State Medical University of Semey. 2013; 15. <https://www.elibrary.ru/zalvxt>
14. Zaytseva T.N., Rebezov M.B., Bezzubova E.V. Quality management of bakery products. *Modern problems and prospects for the development of science, technology and education. Proceedings of the II National scientific and practical conference*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2022; 218–222 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/nskyeb>
15. Chudaykina A.V., Zaytseva T.N., Rebezov M.B. State and problems of the confectionery industry. *Quality of products, technology and education. Proceedings of the XVII International scientific and practical conference*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2022; 71–76 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vxwvgs>
16. Hammes W.P., Tichaczek P.S. The potential of lactic acid bacteria for the production of safe and wholesome food. *European Food Research and Technology*. 1994; 198(3): 193–201 (in German). <https://doi.org/10.1007/BF01192595>
17. Liu S.-n., Han Y., Zhou Z.-j. Lactic acid bacteria in traditional fermented Chinese foods. *Food Research International*. 2011; 44(3): 643–651. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.034>
18. Ross R.P., Morgan S., Hill C. Preservation and fermentation: past, present and future. *International Journal of Food Microbiology*. 2002; 79(1–2): 3–16. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00174-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00174-5)
19. Gaggia F., Di Gioia D., Baffoni L., Biavati B. The role of protective and probiotic cultures in food and feed and their impact in food safety. *Trends in Food Science & Technology*. 2011; 22(S1): S58–S66. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.03.003>
20. Adams M., Mitchell R. Fermentation and pathogen control: a risk assessment approach. *International Journal of Food Microbiology*. 2002; 79(1–2): 75–83. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00181-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00181-2)
21. Adams M.R., Nicolaides L. Review of the sensitivity of different foodborne pathogens to fermentation. *Food Control*. 1997; 8(5–6): 227–239. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(97\)00016-9](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(97)00016-9)
22. van Boekel M. *et al.* A review on the beneficial aspects of food processing. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2010; 54(9): 1215–1247. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900608>
23. Vaughan A., Eijsink V.G.H., O'Sullivan T.F., O'Hanlon K., Van Sinderen D. An analysis of bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from malted barley. *Journal of Applied Microbiology*. 2001; 91(1): 131–138. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01365.x>
24. Urbonaviciene D., Viskelis P., Bartkiene E., Juodeikiene G., Vidmantienė D. The Use of Lactic Acid Bacteria in the Fermentation of Fruits and Vegetables — Technological and Functional Properties. *Ekinci D. (ed.). Biotechnology. IntechOpen*. 2015; 135–164. <https://doi.org/10.5772/59938>

25. Karovičová J., Drdák M., Greif G., Hybenová E. The choice of strains of *Lactobacillus* species for the lactic acid fermentation of vegetable juices. *European Food Research and Technology*. 1999; 210(1): 53–56. <https://doi.org/10.1007/s002170050532>
26. Cleveland J., Montville T.J., Nes I.F., Chikindas M.L. Bacteriocins: safe, natural antimicrobials for food preservation. *International Journal of Food Microbiology*. 2001; 71(1): 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00560-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00560-8)
27. Singh B.P., Bhushan B., Vij S. Antioxidative, ACE inhibitory and antibacterial activities of soy milk fermented by indigenous strains of lactobacilli. *Legume Science*. 2020; 2(4): e54. <https://doi.org/10.1002/leg3.54>
28. Undhad T., Hati S., Makwana S. Significance of storage study on ACE inhibitory, antioxidative, antimicrobial activities, and biotransformation of isoflavones of functional fermented soy-based beverage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021; 45(1): e15062. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15062>
29. Sultana S. *et al.* Impacts of nutritive and bioactive compounds on cancer development and therapy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(28): 9187–9216. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2062699>
30. Орлова Е.С., Аль-Сухайми С.А., Ребезов М.Б. Оценка антиоксидантной и антимикробной активности растительных биоактивных соединений в качестве натуральных консервантов. *Аграрная наука*. 2023; (8): 143–150. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-143-150>
31. Зинина О.В., Николина А.Д., Хвостов Д.В., Ребезов М.Б., Завьялов С.Н., Ахмедзянов Р.В. Белковый гидролизат как источник биоактивных пептидов в пищевой продукции диетического питания. *Пищевые системы*. 2023; 6(4): 440–448. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-440-448>
32. Tangyu M., Muller J., Bolten C.J., Wittmann C. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavor and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019; 103(23–24): 9263–9275. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9>
33. Vasilean I., Aprodu I., Garnai M., Munteanu V., Patrașcu L. Preliminary Investigations into the Use of Amylases and Lactic Acid Bacteria to Obtain Fermented Vegetable Products. *Foods*. 2021; 10(7): 1530. <https://doi.org/10.3390/foods10071530>
34. Naprasert J., Suttisansanee U., Kemsawasd V. Single and mixed lactic acid bacteria culture fermentation in red bean milk for development of a functional beverage. *Malaysian Applied Biology*. 2019; 48(4): 139–145.
35. Gavrilova N. *et al.* Biotechnology application in production of specialized dairy products using probiotic cultures immobilization. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019; 8(6): 642–648. <https://www.elibrary.ru/pydnoh>
36. Kulushtayeva B. *et al.* Gluten-free diet: positive and negative effect on human health. *Indian Journal of Public Health Research and Development*. 2019; 10(7): 906–909. <https://www.elibrary.ru/uvjesf>
37. Barbaro M.R., Cremon C., Stanghellini V., Barbara G. Recent advances in understanding non-celiac gluten sensitivity. *F1000Research*. 2018; 7: 1631. <https://doi.org/10.12688/f1000research.15849.1>
38. Жамел А., Искакова Г.К., Изембаева А.К., Байсыбаева М.П. Обоснование использования гречневой и кукурузной муки в технологии безглютеновых макаронных изделий. *Аграрная наука*. 2023; (5): 93–97. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-93-97>
39. Рустемова А.Ж., Ребезов М.Б. Применение зернобобовой смеси для хлебобулочных изделий. *Аграрная наука*. 2023; (8): 137–142. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142>
40. Sofi S.A. *et al.* Nutritional and bioactive characteristics of buckwheat, and its potential for developing gluten-free products: An updated overview. *Food Science & Nutrition*. 2023; 11(5): 2256–2276. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3166>
41. Atambayeva Z. *et al.* A Risk and Hazard Analysis Model for the Production Process of a New Meat Product Blended With Germinated Green Buckwheat and Food Safety Awareness. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 902760. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.902760>
42. Rincon L., Botelho R.B.A., de Alencar E.R. Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. *LWT*. 2020; 128: 109479. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109479>
43. Pineli L.D.L.D.O. *et al.* Low glycemic index and increased protein content in a novel quinoa milk. *LWT – Food Science and Technology*. 2015; 63(2): 1261–1267. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.094>
44. Li F.-Y., Cui R.-J., Zheng L.-H., Li C.-H. Study on the Processing Technology of Pea Milk with Soya. *Food Science*. 2004; 25(8): 211–214 (на кит. яз.).
45. Liu Z.-S., Chang S.K.C. Nutritional profile and physicochemical properties of commercial soymilk. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2013; 37(5): 651–661. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00696.x>
46. Lavrentev F.V. *et al.* Influence of pre-treatment methods on quality indicators and mineral composition of plant milk from different sources of raw materials. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2024; 104(2): 967–978. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12992>
47. Shori A.B., Aljohani G.S., Al-zahrani A.J., Al-sulbi O.S., Baba A.S. Viability of probiotics and antioxidant activity of cashew milk-based yogurt fermented with selected strains of probiotic *Lactobacillus* spp. *LWT*. 2022; 153: 112482. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112482>
48. Stone H., Sidel J., Oliver S., Woolsey A., Singleton R.C. Sensory Evaluation by Quantitative Descriptive Analysis. Gacula Jr. M.C. (ed.). Descriptive Sensory Analysis in Practice. *Food & Nutrition Press*. 1997; 23–34. <https://doi.org/10.1002/9780470385036.ch1c>
25. Karovičová J., Drdák M., Greif G., Hybenová E. The choice of strains of *Lactobacillus* species for the lactic acid fermentation of vegetable juices. *European Food Research and Technology*. 1999; 210(1): 53–56. <https://doi.org/10.1007/s002170050532>
26. Cleveland J., Montville T.J., Nes I.F., Chikindas M.L. Bacteriocins: safe, natural antimicrobials for food preservation. *International Journal of Food Microbiology*. 2001; 71(1): 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00560-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00560-8)
27. Singh B.P., Bhushan B., Vij S. Antioxidative, ACE inhibitory and antibacterial activities of soy milk fermented by indigenous strains of lactobacilli. *Legume Science*. 2020; 2(4): e54. <https://doi.org/10.1002/leg3.54>
28. Undhad T., Hati S., Makwana S. Significance of storage study on ACE inhibitory, antioxidative, antimicrobial activities, and biotransformation of isoflavones of functional fermented soy-based beverage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021; 45(1): e15062. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15062>
29. Sultana S. *et al.* Impacts of nutritive and bioactive compounds on cancer development and therapy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(28): 9187–9216. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2062699>
30. Orlova E.S., El-Sohaimy S.A., Rebezov M.B. Evaluation of the antioxidant and antimicrobial activity of plant bioactive compounds as natural preservatives. *Agrarian science*. 2023; (8): 143–150 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-143-150>
31. Zinina O.V., Nikolina A.D., Khvostov D.V., Rebezov M.B., Zavyalov S.N., Akhmedzyanov R.V. Protein hydrolysate as a source of bioactive peptides in diabetic food products. *Food systems*. 2023; 6(4): 440–448 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-440-448>
32. Tangyu M., Muller J., Bolten C.J., Wittmann C. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavor and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019; 103(23–24): 9263–9275. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9>
33. Vasilean I., Aprodu I., Garnai M., Munteanu V., Patrașcu L. Preliminary Investigations into the Use of Amylases and Lactic Acid Bacteria to Obtain Fermented Vegetable Products. *Foods*. 2021; 10(7): 1530. <https://doi.org/10.3390/foods10071530>
34. Naprasert J., Suttisansanee U., Kemsawasd V. Single and mixed lactic acid bacteria culture fermentation in red bean milk for development of a functional beverage. *Malaysian Applied Biology*. 2019; 48(4): 139–145.
35. Gavrilova N. *et al.* Biotechnology application in production of specialized dairy products using probiotic cultures immobilization. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019; 8(6): 642–648. <https://www.elibrary.ru/pydnoh>
36. Kulushtayeva B. *et al.* Gluten-free diet: positive and negative effect on human health. *Indian Journal of Public Health Research and Development*. 2019; 10(7): 906–909. <https://www.elibrary.ru/uvjesf>
37. Barbaro M.R., Cremon C., Stanghellini V., Barbara G. Recent advances in understanding non-celiac gluten sensitivity. *F1000Research*. 2018; 7: 1631. <https://doi.org/10.12688/f1000research.15849.1>
38. Zhamel A., Iskakov G.K., Izembayeva A.K., Baiysbayeva M.P. A Rationale for the use of buckwheat and corn flour in the technology of gluten-free pasta. *Agrarian science*. 2023; (5): 93–97 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-93-97>
39. Rustemova A.Zh., Rebezov M.B. The use of leguminous mixture for bakery products. *Agrarian science*. 2023; (8): 137–142 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142>
40. Sofi S.A. *et al.* Nutritional and bioactive characteristics of buckwheat, and its potential for developing gluten-free products: An updated overview. *Food Science & Nutrition*. 2023; 11(5): 2256–2276. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3166>
41. Atambayeva Z. *et al.* A Risk and Hazard Analysis Model for the Production Process of a New Meat Product Blended With Germinated Green Buckwheat and Food Safety Awareness. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 902760. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.902760>
42. Rincon L., Botelho R.B.A., de Alencar E.R. Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. *LWT*. 2020; 128: 109479. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109479>
43. Pineli L.D.L.D.O. *et al.* Low glycemic index and increased protein content in a novel quinoa milk. *LWT – Food Science and Technology*. 2015; 63(2): 1261–1267. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.094>
44. Li F.-Y., Cui R.-J., Zheng L.-H., Li C.-H. Study on the Processing Technology of Pea Milk with Soya. *Food Science*. 2004; 25(8): 211–214 (in Chinese).
45. Liu Z.-S., Chang S.K.C. Nutritional profile and physicochemical properties of commercial soymilk. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2013; 37(5): 651–661. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00696.x>
46. Lavrentev F.V. *et al.* Influence of pre-treatment methods on quality indicators and mineral composition of plant milk from different sources of raw materials. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2024; 104(2): 967–978. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12992>
47. Shori A.B., Aljohani G.S., Al-zahrani A.J., Al-sulbi O.S., Baba A.S. Viability of probiotics and antioxidant activity of cashew milk-based yogurt fermented with selected strains of probiotic *Lactobacillus* spp. *LWT*. 2022; 153: 112482. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112482>
48. Stone H., Sidel J., Oliver S., Woolsey A., Singleton R.C. Sensory Evaluation by Quantitative Descriptive Analysis. Gacula Jr. M.C. (ed.). Descriptive Sensory Analysis in Practice. *Food & Nutrition Press*. 1997; 23–34. <https://doi.org/10.1002/9780470385036.ch1c>

ОБ АВТОРАХ

Роберт Хамбалеви́ч Гелазов

аспирант факультета биотехнологий
robgelazov@itmo.ru
<https://orcid.org/0009-0003-1110-2053>

Наталья Владимировна Яковченко

кандидат технических наук, доцент факультета биотехнологий,
старший научный сотрудник
nviakovchenko@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5188-5916>

Камиль Рустамович Баязитов

аспирант факультета биотехнологий
307749@niuitmo.ru
<https://orcid.org/0009-0007-8424-1053>

Валерий Алексеевич Ширяев

аспирант факультета биотехнологий
244145@niuitmo.ru
<https://orcid.org/0009-0005-4007-7795>

Университет ИТМО,
ул. им. Ломоносова, 9, Санкт-Петербург, 191002, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Robert Khambalevich Gelazov

Postgraduate student of the Faculty of Biotechnologies (BioTech)
robgelazov@itmo.ru
<https://orcid.org/0009-0003-1110-2053>

Natalia Vladimirovna Iakovchenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Faculty
of Biotechnologies (BioTech), Senior Researcher
nviakovchenko@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5188-5916>

Kamil Rustamovich Bayazitov

Postgraduate Student of the Faculty of Biotechnologies (BioTech)
307749@niuitmo.ru
<https://orcid.org/0009-0007-8424-1053>

Valery Alexeyevich Shiriaev

Postgraduate Student of the Faculty of Biotechnologies (BioTech)
244145@niuitmo.ru
<https://orcid.org/0009-0005-4007-7795>

ITMO University,
9 Lomonosov Str., St. Petersburg, 191002, Russia

Н.В. Наumenko¹ ✉
А.А. Чаплина²
П.В. Сыsoева³
Р.И. Фаткуллин¹
Е.Е. Наumenko¹
И.В. Калинина¹

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия
² Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия
³ ООО «Штерн Ингредиентс», Санкт-Петербург, Россия

✉ Naumenkonv@susu.ru

Поступила в редакцию:
25.12.2023
Одобрена после рецензирования:
11.03.2024
Принята к публикации:
27.03.2024

Natalya V. Naumenko¹ ✉
Anastasiya A. Chaplina²
Polina V. Sysoeva³
Rinat I. Fatkullin¹
Ekaterina E. Naumenko¹
Irina V. Kalinina¹

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia
² ITMO University, St. Petersburg, Russia
³ "Stern Ingredients" LLC, St. Petersburg, Russia

✉ Naumenkonv@susu.ru

Received by the editorial office:
25.12.2023
Accepted in revised:
11.03.2024
Accepted for publication:
27.03.2024

Влияние нетрадиционного сырья на реологические показатели теста и качество хлебобулочных изделий

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Обязательным условием успешного нахождения продукта на рынке являются его высокие органолептические свойства при достаточно низкой ценовой политике. В качестве одного из таких подходов может быть предложено использование нетрадиционных растительных сырьевых ингредиентов (цельносмолотой муки из пророщенного зерна, β -глюкана, пектина и др.), которые позволяют сформировать качественные пищевые продукты функциональной направленности.

Методы. Объектами исследования были определены модельные смеси пшеничной муки хлебопекарной высшего сорта и нетрадиционного сырья, а также образцы хлебобулочных изделий (батон нарезной), полученные по традиционной (контроль) и опытной рецептуре. Реологические характеристики теста определяли по показателям альвеографа и фаринографа. Осуществлялась оценка качества готовых хлебобулочных изделий по 40-балльной шкале, а также контроль удельного объема и влажности изделий.

Результаты. Проведенные исследования показали, что внесение β -глюкана оказывает минимальное влияние на упругость теста, наблюдается снижение значений показателя качества фаринографа в среднем на 17–22%. Растяжимость теста снижается при внесении пектина более чем в 2 раза, повышаются значения показателя качества фаринографа, причем наилучший результат характерен при внесении пектина в количестве 2%. Наблюдаются максимальная устойчивость теста к замесу и минимальные значения степени разжижения теста. Контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий имели достаточно высокие суммарные значения органолептической оценки. Удельный объем опытных изделий при внесении β -глюкана в количестве 0,1% увеличивался в среднем на 12%, а при внесении пектина в количестве 4% — на 8% относительно контрольных образцов. Полученные результаты подтвердили возможность и целесообразность использования нетрадиционного сырья в рецептуре хлебобулочных изделий. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 23-26-00290.

Ключевые слова: клейковина, белок, мука пшеничная, технологические и хлебопекарные свойства, альвеограф, фаринограф, качество хлебобулочных изделий, жиросамозаместители

Для цитирования: Наumenko Н.В., Чаплина А.А., Сыsoева П.В., Фаткуллин Р.И., Наumenko Е.Е., Калинина И.В. Влияние нетрадиционного сырья на реологические показатели теста и качество хлебобулочных изделий. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 146–152.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-146-152>

© Наumenko Н.В., Чаплина А.А., Сыsoева П.В., Фаткуллин Р.И., Наumenko Е.Е., Калинина И.В.

Influence of non-traditional raw materials on rheological parameters of dough and quality of bakery products

ABSTRACT

Relevance. At the same time, a prerequisite for a successful product on the market is its high organoleptic properties at a fairly low-price policy. As one of such approaches can be proposed the use of non-traditional plant raw ingredients (whole-milled flour from sprouted grain, β -glucan, pectin, etc.), which will allow to form high-quality food products of functional orientation.

Methods. The objects of the study were defined as model mixtures of wheat flour baking flour of the highest grade and non-traditional raw materials, as well as samples of bakery products (sliced loaf) obtained according to the traditional (control) and experimental formulation. The rheological characteristics of the dough were determined by alveograph and farinograph. The quality of the finished bakery products was assessed on a 40-point scale, as well as the control of the specific volume and humidity of the products.

Results. The studies showed that the introduction of β -glucan has a minimal effect on the elasticity of the dough, there is a decrease in the values of the quality index of farinograph on average by 17 - 22%. The dough elasticity decreases with the introduction of pectin more than 2 times, the values of quality indicator of farinograph increase, and the best result is characterized by the introduction of pectin in the amount of 2%, the maximum dough stability to kneading and minimum values of dough liquefaction degree are observed. Control and experimental samples of bakery products had high enough total values of organoleptic evaluation. The specific volume of experimental products increased by an average of 12% when beta-glucan was added in an amount of 0.1%, and by 8% when pectin was added in an amount of 4% relative to control samples. The obtained results confirmed the possibility and expediency of using non-traditional raw materials in the formulation of bakery products. The study was financially supported by the RNF grant 23-26-00290.

Key words: gluten, protein, wheat flour, technological and baking properties, alveograph, farinograph, quality of bakery products, fat substitutes

For citation: Naumenko N.V., Chaplina A.A., Sysoeva P.V., Fatkullin R.I., Naumenko E.E., Kalinina I.V. Influence of non-traditional raw materials on rheological parameters of dough and quality of bakery products. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 146–152 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-146-152>

© Naumenko N.V., Chaplina A.A., Sysoeva P.V., Fatkullin R.I., Naumenko E.E., Kalinina I.V.

Введение/Introduction

Хлеб остается одним из наиболее важных продуктов питания в рационе человека и основным определяющим критерием культурной самобытности сообществ во всем мире [1, 2]. В европейских странах среднее потребление хлеба составляет 57 кг на человека в год¹, тогда как в Российской Федерации данное значение приближено к 90,3 кг в год, при этом 29%² в структуре потребления приходится на традиционные изделия из пшеничной муки. В то же время, по данным сайта Роскачество³, более 41% потребителей в 2022 году отмечали низкое качество такой хлебобулочной продукции, как нарезные батоны, что обуславливает необходимость поиска сбалансированных решений по стабилизации потребительских свойств и повышению функциональных достоинств данной продукции [3].

Необходимо отметить, что изменение образа жизни и рациона питания делает традиционный пшеничный хлеб и хлебобулочные изделия всё менее популярным среди населения [4]. Сегодня формирование рациона питания активного населения направлено на потребление продуктов с новыми потребительскими свойствами, низким содержанием сахара и жиров при увеличении количества пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ [5, 6]. При этом потребители отдают предпочтение продуктам с высокими органолептическими свойствами при их достаточно низкой ценовой политике [7–9]. Поэтому поиск путей совершенствования рецептуры, повышения качества и пищевой ценности данного сегмента продукции является актуальным.

В качестве одного из таких подходов может быть предложено использование нетрадиционных растительных сырьевых ингредиентов (цельнозерновой муки из пророщенного зерна [4, 10, 11], β-глюкана, пектина и др.), которые позволят сформировать качественные пищевые продукты. Ряд исследователей [12–15] установили, что качество хлебобулочных изделий улучшается за счет добавления гидроколлоидов. Пектины и β-глюканы помогают повысить газодерживающую способность теста, улучшают реологические характеристики и взаимодействуют с белками и крахмалом, улучшая их перевариваемость.

В 2011 году Европейская комиссия приняла решение о включении дрожжевого β-глюкана в список пищевых ингредиентов, тем самым повысив важность проводимых исследований и потенциал как сырьевого ингредиента пищевых продуктов [16–18]. Дрожжевой β-глюкан обладает более высокой биологической активностью и выраженным иммунологическим эффектом. Доказано [19–21], что β-глюкан при добавлении в тесто способствует образованию клейковинных сеток, взаимодействует с белками клейковины посредством водородных связей с образованием более стабильной структуры сети клейковины. В результате вокруг крахмала образуется более стабильная физическая оболочка, которая препятствует желатинизации и ретроградации крахмала, что обуславливает перспективность проводимых исследований.

Цель исследования — оценка возможности использования нетрадиционного растительного сырья в технологии хлебобулочных изделий как способа сохранения их качества при уменьшении массовой доли жира в рецептуре.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводились в 2023–2024 годах на базе кафедры пищевых и биотехнологий ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» с привлечением оборудования лаборатории КТ «ООО «Штерн Ингредиентс»» (Санкт-Петербург, Россия).

Для проведения исследований были определены следующие объекты:

мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта (далее — мука) (производитель «АО «Петербургский мельничный комбинат»»), приобретенная в розничной торговой сети (г. Санкт-Петербург, Россия);

дрожжевой высокоочищенный бета-1,3/1,6-D-глюкан (далее — β-глюкан) (производитель Angel Yeast Co, Yichang, China);

пектин (Genu Pectin Type YM-115-H) (производитель CP Kelco ApS, Lille Skensved, Дания);

модельные хлебопекарные смеси из муки (дрожжевого β-глюкана и муки, пектина) в указанных соотношениях: образец 1-й — мука: дрожжевой β-глюкан (1000:0,84), образец 2-й — мука: дрожжевой β-глюкан (1000:1,67), образец 3-й — мука: дрожжевой β-глюкан (1000:2,51), образец 4-й — мука: пектин (1000:33,4), образец 5-й — мука: пектин (1000:50,1), образец 6-й — мука: пектин (1000:66,8);

контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий (батончиков нарезных).

Для получения контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий использовали, рецептуру представленную в таблице 1.

На этапе входного контроля муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта органолептические показатели оценивались согласно ГОСТ 26574-2017⁴, влажность муки определяли методом воздушно-тепловой сушки согласно ГОСТ 9404-88⁵, качество и количество сырой клейковины — согласно ГОСТ 27839-2013⁶, число падения — методом Хагберга — Пертена по ГОСТ ISO 3093-2016⁷.

Таблица 1. Рецептура контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий (батончиков нарезных)

Table 1. Recipe for control and experimental samples of bakery products (sliced loaves)

Наименование сырья	Количество сырья, г						
	кон- троль	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта («АО «Петербургский мельничный комбинат»», г. Санкт-Петербург, Россия)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Дрожжи прессованные («Саф-Нева», г. Санкт-Петербург, Россия)	10	10	10	10	10	10	10
Соль пищевая (ООО «Соль Петербурга», г. Санкт-Петербург, Россия)	15	15	15	15	15	15	15
Сахар белый («Санкт-Петербургский сахарный завод», г. Санкт-Петербург, Россия)	60	60	60	60	60	60	60
Маргарин столовый с массовой долей жира 75% (ООО «Метро Кэш Энд Керри», г. Санкт-Петербург, Россия)	38	33	33	33	33	33	33
Дрожжевой β-глюкан (Angel Yeast Co, Yichang, China)	—	0,84	1,67	2,51	—	—	—
Пектин (CP Kelco ApS, Lille Skensved, Дания)	—	—	—	—	33,4	50,1	66,8
Вода							
							расчет

¹ AHFES (Atlantic Area Healthy Food Eco-System) Bakery: European market, consumer trends, and innovation [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.ahfesproject.com/research/bakery-european-market-consumer-trends-and-innovation/> (дата обращения: 29.01.2024).

² В 2022 году потребление хлебных продуктов в РФ составило 90,3 кг в год [Электронный ресурс]. — URL: <https://agranayanauka.ru/v-2022-godu-potreblenie-hlebnykh-produktov-v-rf-sostavilo-903-kg-v-god/> (дата обращения: 01.02.2024).

³ Лучшие нарезные батоны в 2023 году [Электронный ресурс]. — URL: <https://rskrf.ru/tips/spetsproekty/luchshie-nareznye-batony-v-2023-godu/> (дата обращения: 26.12.2023).

⁴ ГОСТ 26574-2017 Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия.

⁵ ГОСТ 9404-88 Мука и отруби. Метод определения влажности.

⁶ ГОСТ 27839-2013 Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины.

⁷ ГОСТ ISO 3093-2016 Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга — Пертена действует.

При изучении реологических свойств полученных смесей определяли показатели альвеографа модели Alveolab (производитель компания Chopin, Франция) и программного обеспечения Alveolink NG согласно ГОСТ Р 51415-99⁸.

Реологические характеристики теста определяли показатели фаринографа согласно ГОСТ ISO 5530-1-2013⁹ с использованием фаринографа Brabender (производитель компания Brabender GmbH & Co, Германия) и программного обеспечения Farinograph-TS 2.2.0 (Brabender GmbH & Co, Германия).

Все образцы хлебобулочных изделий изготавливали безопарным способом, компоненты вносили в один прием согласно вышеуказанной рецептуре. Использовалась тестомесильная машина Diosna SP 200 (DIOSNA Dierks & Söhne GmbH, Германия). Выпечка проводилась в шкафу пекарском подовом MIWE CONDO CO 3.1208 с расстойным шкафом (MIWE, Германия). После выпечки контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий хранились в герметичной полимерной упаковке при температуре 22–24 °С и оценивались через 24, 48 и 72 часа хранения. Органолептические показатели качества хлебобулочных изделий оценивали с использованием 40-балльной шкалы, удельный объем хлебобулочных изделий определяли прибором для определения объема хлеба ОХЛ-2 (производитель ООО «Зернотехника», г. Москва, Россия), влажность мякиша — высушиванием в инфракрасном излучении с помощью прибора Sartorius M 150 (концерн Sartorius AG, Германия).

Все результаты исследований проводились в трехкратной повторности и обрабатывались на основе методов математической статистики с использованием Microsoft Excel (США) и MathCad¹⁰. Полученные данные представлены с доверительным коэффициентом 0,95.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Введение нетрадиционного сырья в систему теста из пшеничной хлебопекарной муки может сильно повлиять как на его реологические свойства, так и на качество готовых изделий. Для прослеживаемости эксперимента, возможности экстраполяции представленных исследований в условиях реального производства на начальном этапе были определены ключевые показатели качества муки пшеничной хлебопекарной, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Результаты определения входных параметров муки пшеничной хлебопекарной, приобретенной в г. Санкт-Петербурге, используемой для изготовления контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Table 2. Results of determining the input parameters of wheat flour purchased in St. Petersburg, used for the manufacture of control and experimental samples of bakery products

Наименование показателей	Фактическое значение показателей
Вкус	Свойственный пшеничной муке, без посторонних привкусов
Запах	Свойственный пшеничной муке, без посторонних запахов
Наличие минеральной примеси	При разжевывании муки хруст не ощущается
Влажность, %	13,3 ± 0,5
Число падения, с.	302 ± 10
Количество клейковины, %	25,8 ± 0,6
Качество клейковины, ед. ИДК	67,0 ± 4,0

Органолептические показатели выбранного для исследования образца муки пшеничной хлебопекарной соответствуют ГОСТ 26574-2017¹¹. Значения показателя «число падения» имеют несколько завышенные характеристики (302 ± 10) ед. относительно рекомендуемого в открытых источниках литературы (200–250) ед.¹². Такая мука имеет низкую активность α-амилазы и может обладать недостаточной сахаробразующей способностью, что можно скорректировать внесением в рецептуру нетрадиционного растительного сырья. Количество клейковины имеет заниженные значения, что в дальнейшем может негативно сказаться на формировании каркаса теста и удельном объеме готовых изделий. Качество клейковины характеризуется, согласно ГОСТ 27839-2013¹³, как «средняя (хорошая)», что позволяет рекомендовать данное сырье для получения хлебобулочных изделий.

Использование нетрадиционного сырья в рецептуре хлебобулочных изделий может негативно сказаться на формировании белкового каркаса и изменении реологических свойств теста, поэтому на начальном этапе исследований были оценены реологические свойства контрольных и опытных образцов теста. Характерный вид альвеограмм образцов муки пшеничной хлебопекарной (контроль) и модельных смесей представлен на рисунке 1.

Реологические показатели контрольных и опытных образцов теста, полученные на альвеографе, представлены в таблице 3.

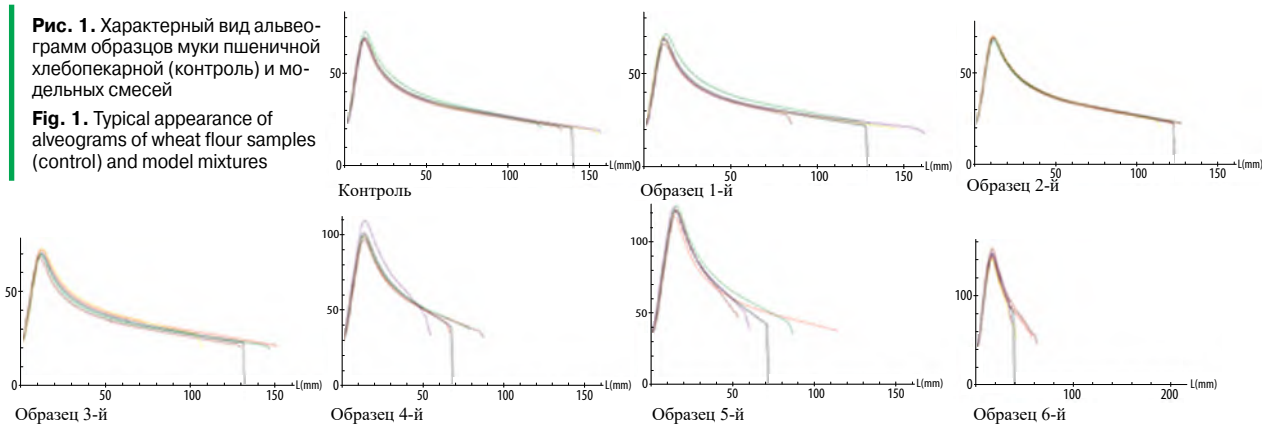


Рис. 1. Характерный вид альвеограмм образцов муки пшеничной хлебопекарной (контроль) и модельных смесей

Fig. 1. Typical appearance of alveograms of wheat flour samples (control) and model mixtures

⁸ ГОСТ Р 51415-99 Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение реологических свойств с применением альвеографа.

⁹ ГОСТ ISO 5530-1-2013 Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Часть 1. Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа.

¹⁰ <https://www.mathcad.com/en/>

¹¹ ГОСТ 26574-2017. Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия.

¹² Совершенствование технологий хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий функционального назначения: монография /

[С.Я. Корячкина, Г.А. Осипова, Е.В. Хмельова и др.] под ред. С.Я. Корячкиной. Орел: Госуниверситет — УНПК. 2012; 262. ISBN 978-5-93932-448-9

¹³ ГОСТ 27839-2013 Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины.

Таблица 3. Реологические показатели контрольных и опытных образцов теста, полученные на альвеографе
Table 3. Rheological parameters of control and experimental test samples obtained on an alveograph

Наименование образца	Энергия деформации теста W, Дж	Максимальное избыточное давление P, мм вод. ст.	Средняя абсцисса при разрыве L, мм	Показатель формы кривой P/L, мм вод. ст. / мм	Индекс раздувания G, см ³ /г
Контроль	314×10 ⁻⁴	76	138	0,55	26,1
Образец 1-й	299×10 ⁻⁴	76	127	0,60	25,1
Образец 2-й	290×10 ⁻⁴	76	121	0,63	24,5
Образец 3-й	314×10 ⁻⁴	78	130	0,60	25,4
Образец 4-й	276×10 ⁻⁴	112	67	1,67	18,2
Образец 5-й	339×10 ⁻⁴	134	71	1,89	18,8
Образец 6-й	262×10 ⁻⁴	162	38	4,26	13,7

Исследование реологических свойств теста при помощи альвеографа позволяет отследить деформационные характеристики, происходящие в процессе брожения. Внесение β-глюкана оказывает минимальное влияние на упругость теста, тогда как пектин повышает значения показателя «максимальное избыточное давление». Растяжимость системы (показатель L) снижается при внесении пектина более чем в 2 раза (для образцов 4-й и 5-й) и более чем в 3,5 раза (для образца 6-й) по сравнению с контролем. Рядом исследователей доказано¹⁴, что белок клейковины образует с пектином белково-полисахаридный комплекс и делает тесто более упругим и менее эластичным при формировании тестовых полуфабрикатов. Данный факт позволяет рекомендовать для повышения эластичности теста, увеличения удельного объема готовых изделий, а также для получения развитой тонкостенной пористости вносить путем частичной замены пшеничной муки высшего сорта в рецептуру цельнозерновую муку из пророщенного зерна пшеницы. Сила муки, характеризующая значениями показателя W, варьируется в пределах изменения 10%, при этом явно выраженной динамики изменения показателя от количества вносимого нетрадиционного сырья нет.

На следующем этапе исследований было оценено влияние нетрадиционного сырья на реологические показатели контрольных и опытных образцов теста, полученные на фаринографе (рис. 2).

Внесение дрожжевого β-глюкана приводит к снижению значений показателя качества фаринографа в среднем на 17–22%, причем данная характеристика в минимальной степени зависит от количества внесения данного нетрадиционного сырья. Другие реологические показатели (устойчивость теста к замесу, степень разжижения) находятся в диапазоне значений, приближенных к контролю, варьирование отмечается в пределах погрешности экспериментальных данных. Возможно предположить, что дрожжевой β-глюкан минимально взаимодействует с белками клейковины и не препятствует их набуханию и формированию трехмерной структуры.

Внесение в рецептуру пшеничного теста пектина позволило повысить значения показателя качества фаринографа, причем наилучший результат характерен при внесении пектина в количестве 2%. При этом наблюдаются максимальная устойчивость теста к замесу и минимальные значения степени разжижения теста. Однако

Рис. 2. Реологические показатели контрольных и опытных образцов теста, полученные на фаринографе

Fig. 2. Rheological indicators of control and experimental test samples obtained on a farinograph

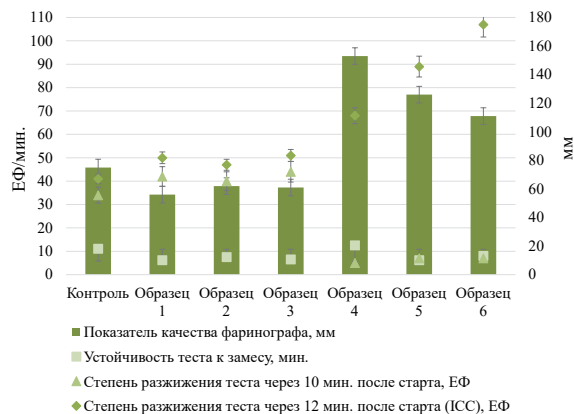


Таблица 4. Результаты определения показателей «водопоглощение» и «время образования теста» контрольного и опытных образцов
Table 4. Results of determining the indicators “water absorption” and “dough formation time” of control and test samples

Наименование образца	Водопоглощение, %	Время образования теста, мин.
Контроль	57,5 ± 0,7	2,16 ± 0,30
Образец 1-й	57,5 ± 0,4	1,45 ± 0,52
Образец 2-й	57,6 ± 0,6	1,46 ± 0,32
Образец 3-й	58,0 ± 0,4	1,54 ± 0,42
Образец 4-й	64,0 ± 0,6	8,40 ± 0,46
Образец 5-й	68,5 ± 0,3	8,32 ± 0,40
Образец 6-й	72,1 ± 0,5	8,03 ± 0,22

при внесении пектина в большем количестве (3%, 4%) показатель качества фаринографа снижается и наблюдается разжижение теста в процессе замеса, что, возможно, обусловлено изменениями белковой структуры и более быстрым набуханием пектина в процессе замеса теста. Данное предположение подтверждается временем образования теста опытных образцов с пектином (образцы 4-й, 5-й и 6-й), они имеют значения, превышающие в несколько раз контроль по данному показателю (табл. 4).

Внесение в рецептуру дрожжевого β-глюкана практически не оказало влияния на водопоглощающую способность теста, тогда как ряд исследований [18, 19, 22–24], представленных в открытой печати, отмечают увеличение данного показателя на 0,5–5%. Такие эффекты авторами объясняются структурой (соотношением связей 1,3:1,4) и высокой водопоглощающей способностью высокоочищенной фракцией некрахмальных полисахаридов овсяного и ячменного β-глюкана, что объясняет их способность первыми поглощать водную составляющую при замесе теста, тогда как используемый в исследовании дрожжевой β-глюкан представляет собой полисахарид с молекулярной массой 100–200 кДа, состоит из β1,3- и β1,6-глюкановых структур, к которым прикреплены хитин, различные маннопротеины, и не проявляет столь активных сорбционных свойств относительно водной фракции теста.

Необходимо учитывать, что в рецептуре опытных образцов (1-й, 2-й и 3-й) внесение дрожжевого β-глюкана производилось с учетом адекватного уровня потребления [20, 22] и не оказало значимых различий на

¹⁴ Донченко Л.В. Технология пектина и пектинопродуктов: учеб. пособие. М.: ДеЛи. 2000; 354.

Рис. 3. Внешний вид полученных контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Fig. 3. Appearance of the obtained control and experimental samples of bakery products

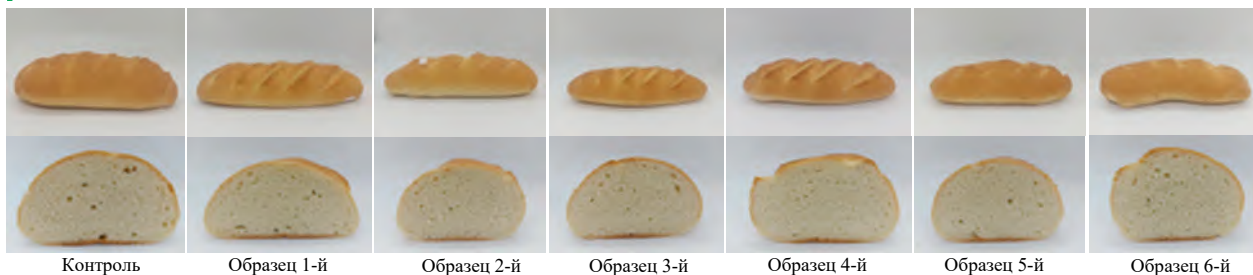
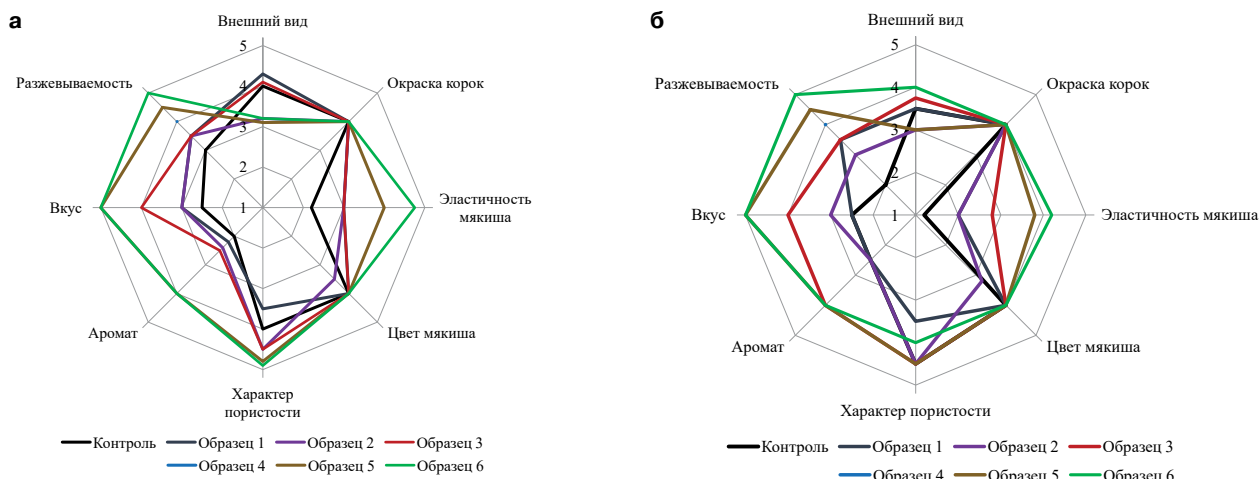


Рис. 4. Профилограммы органолептической оценки контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий: а — 24 часа хранения, б — 72 часа хранения

Fig. 4. Profilograms of organoleptic evaluation of control and experimental samples of bakery products: а — 24 hours of storage, б — 72 hours of storage



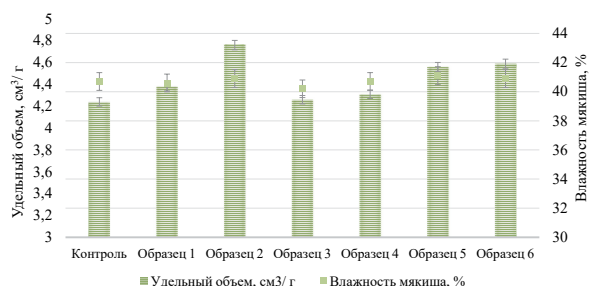
водопоглощительную способность теста, тогда как время образования теста данных образцов сократилось в среднем на 30%.

Изменения реологических характеристик, несомненно, оказали влияние на органолептические свойства хлебобулочных изделий (рис. 3, 4).

Полученные результаты органолептической оценки позволяют сказать, что контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий имели правильную форму, гладкую поверхность, равномерную пористость, достаточную эластичность мякиша. Эластичность мякиша контрольных образцов имела наименьшие значения, дегустаторы отмечали повышенную плотность и комкающийся мякиш, что наиболее ощущалось на конец хранения. При этом опытные образцы, полученные с внесением β -глюкана, характеризовались более равномерной тонкостенной развитой пористостью, мягким, достаточно эластичным мякишем с хорошей разжевываемостью.

Рис. 5. Результаты определения удельного объема и влажности мякиша контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Fig. 5. Results of determining the specific volume and moisture content of the crumb of control and experimental samples of bakery products



Опытные образцы, полученные с внесением пектина, имели наилучшие свойства мякиша: мягкий, эластичный, хорошо разжевываемый, создающий приятное ощущение (вкус и аромат) во рту.

Необходимо отметить, что в рецептуре опытных образцов теста был сокращен объем внесенного маргарина на 5%, что могло негативно сказаться на их органолептических свойствах, однако как на начало, так и на конец хранения (при суммарной балловой оценке) данные образцы имели большие значения по показателям «вкус», «аромат», «эластичность мякиша», «характер пористости» относительно контрольных образцов.

На показатели «окраска корок», «цвет мякиша», «влажность мякиша» внесение нетрадиционных сырьевых оказало минимальное значение, тогда как удельный объем готовых изделий имел значительный диапазон варьирования (рис. 5).

Удельный объем опытных образцов хлебобулочных изделий варьировался в зависимости от внесения нетрадиционного сырья. Так, внесение β -глюкана в количестве 0,1% (образец 2-й) позволило увеличить значение данного показателя в среднем на 12%, а внесение пектина в количестве 4% (образец 6-й) — на 8% соответственно.

Выводы/Conclusions

Полученные результаты позволяют сказать, что использование нетрадиционного сырья в технологии хлебобулочных изделий позволяет получить продукты с высокими потребительскими характеристиками, уменьшив при этом содержание жиров в рецептуре опытных образцов.

Внесение β -глюкана оказывает минимальное влияние на упругость теста, наблюдается снижение значений

показателя качества фаринографа в среднем на 17–22%, причем данная характеристика в наименьшей степени зависит от количества внесения данного сырья. Контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий имели достаточно высокие суммарные значения органолептической оценки. Удельный объем опытных изделий при внесении β -глюкана в количестве 0,1% увеличивался в среднем на 12%.

Использование в рецептуре пектина повышает значения показателя «максимальное избыточное давление». Растяжимость теста при внесении пектина снижается более чем в 2 раза, повышаются значения показателя качества фаринографа, причем наилучший

результат характерен при внесении пектина в количестве 2%, наблюдаются максимальная устойчивость теста к замесу и минимальные значения степени разжижения теста.

В ходе проведения исследований было установлено, что внесение пектина в больших количествах делает тесто упругим и менее эластичным, что может негативно сказаться на качестве готовых изделий. Данный факт позволяет рекомендовать вносить путем частичной замены пшеничной муки высшего сорта в рецептуру цельнозерновую муку из пророщенного зерна пшеницы, что требует дальнейших исследований в выбранном направлении.

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 при финансовой поддержке гранта РНФ 23-26-00290.

FUNDING

The research was carried out with financial support from the Russian Science Foundation grant 23-26-00290.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рустимова А.Ж., Ребезов М.Б. Зернобобовая смесь как перспективный сырьевой источник в технологии хлебопечения. *Аграрная наука*. 2023; (6): 121–125. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125>
2. Рустимова А.Ж., Ребезов М.Б. Применение зернобобовой смеси для хлебобулочных изделий. *Аграрная наука*. 2023; (8): 137–142. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142>
3. Косован А.П., Шапошников И.И. Анализ и перспективы развития рынка хлебобулочных изделий в России и за рубежом. *Хлебопродукты*. 2015; (7): 8–10. <https://www.elibrary.ru/bxqnzx>
4. Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Велямов М.Т. Цельнозерновая мука из пророщенного зерна пшеницы как пищевой ингредиент в технологии продуктов питания. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2019; 7(3): 23–30. <https://doi.org/10.14529/food190303>
5. Зинина О.В., Павлова Я.С., Ребезов М.Б., Чанов И.М., Николкина А.Д., Нурымхан Г.Н. Разработка и исследование крекера, обогащенного пищевыми волокнами. *Аграрная наука*. 2022; (9): 173–179. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179>
6. Смольникова Ф.Х., Конганбаев Е.К., Коселева Е.А., Ребезов М.Б., Асенова Б.К. Технология вафельного рожка для мягкого мороженого с использованием нутовой муки и псиллиума. *Аграрная наука*. 2023; (7): 144–148. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-144-148>
7. Нилова Л.П. Влияние технологических факторов на качество и антиоксидантную активность обогащенных хлебобулочных изделий. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2016; 4(1): 55–63. <https://doi.org/10.14529/food160107>
8. Нилова Л.П., Пилипенко Т.В., Вытовтов А.А., Икрамов Р.А. Использование ИК-спектроскопии для изучения механизма меланоидинообразования в обогащенных хлебобулочных изделиях. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2015; (2): 26–30. <https://www.elibrary.ru/tmcciv>
9. Старовойтова Я.Ю., Чугунова О.В., Школьников М.Н., Струпан Е.А. Разработка национальных булочных изделий из овсяной муки и растительными добавками. *Вестник КрасГАУ*. 2018; (3): 181–188. <https://www.elibrary.ru/utfchd>
10. Ding J., Hou G.G., Nemzer B.V., Xiong S., Dubat A., Feng H. Effects of controlled germination on selected physicochemical and functional properties of whole-wheat flour and enhanced γ -aminobutyric acid accumulation by ultrasonication. *Food Chemistry*. 2018; 243: 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.128>
11. Naumenko N., Potoroko I., Kalinina I. Stimulation of antioxidant activity and γ -aminobutyric acid synthesis in germinated wheat grain *Triticum aestivum* L. by ultrasound: Increasing the nutritional value of the product. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 86: 106000. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106000>
12. Ямашев Т.А., Гематдинова В.М., Канарский А.В. Влияние изолята овсяного бета-глюкана на реологию теста из пшеничной муки высшего сорта и качество хлебобулочных изделий. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. 2020; (2): 62–75. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-62-75>
13. Ding J. et al. Enhancing Contents of γ -Aminobutyric Acid (GABA) and Other Micronutrients in Dehulled Rice during Germination under Normoxic and Hypoxic Conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016; 64(5): 1094–1102. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04859>

REFERENCES

1. Rustemova A.Zh., Rebezov M.B. Leguminous mixture as a promising raw material source in bakery technology. *Agrarian science*. 2023; (6): 121–125 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125>
2. Rustemova A.Zh., Rebezov M.B. The use of leguminous mixture for bakery products. *Agrarian science*. 2023; (8): 137–142 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142>
3. Kosovan A.P., Shaposhnikov I.I. Analysis and prospects for the development of the bakery products market in Russia and abroad. *Khleboпродукты*. 2015; (7): 8–10 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/bxqnzx>
4. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Velyamov M.T. Sprouted Whole Wheat Grain as a Food Constituent in Food Technology. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2019; 7(3): 23–30 (in Russian). <https://doi.org/10.14529/food190303>
5. Zinina O.V., Pavlova Ya.S., Rebezov M.B., Chanov I.M., Nikolina A.D., Nurymkhan G.N. Development and examination of a cracker enriched with dietary fiber. *Agrarian science*. 2022; (9): 173–179 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179>
6. Smolnikova F.H., Konganbayev E.K., Kosheleva E.A., Rebezov M.B., Asenova B.K. Waffle cone technology for soft ice cream using chickpea flour and psyllium. *Agrarian science*. 2023; (7): 144–148 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-144-148>
7. Nilova L.P. Influence of Technological Factors on the Quality and Antioxidant Activity of Enriched Bakery Products. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2016; 4(1): 55–63 (in Russian). <https://doi.org/10.14529/food160107>
8. Nilova L.P., Pilipenko T.V., Vytovtov A.A., Ikramov R.A. The use of IR spectroscopy to study the mechanism of melanoidins formation in enriched bakery products. *Storage and Processing of Farm Products*. 2015; (2): 26–30 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tmcciv>
9. Starovoytova Ya.Yu., Chugunova O.V., Shkolnikova M.N., Strupan E.A. The development of national bakery products with oatmeal and herbal additives. *Bulletin of KrasGAU*. 2018; (3): 181–188 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/utfchd>
10. Ding J., Hou G.G., Nemzer B.V., Xiong S., Dubat A., Feng H. Effects of controlled germination on selected physicochemical and functional properties of whole-wheat flour and enhanced γ -aminobutyric acid accumulation by ultrasonication. *Food Chemistry*. 2018; 243: 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.128>
11. Naumenko N., Potoroko I., Kalinina I. Stimulation of antioxidant activity and γ -aminobutyric acid synthesis in germinated wheat grain *Triticum aestivum* L. by ultrasound: Increasing the nutritional value of the product. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 86: 106000. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106000>
12. Yamashev T.A., Gematdinova V.M., Kanarsky A.V. The effect of oat beta-glucan isolate on the rheology of dough from premium wheat flour and the quality of bakery products. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment*. 2020; (2): 62–75 (in Russian). <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-62-75>
13. Ding J. et al. Enhancing Contents of γ -Aminobutyric Acid (GABA) and Other Micronutrients in Dehulled Rice during Germination under Normoxic and Hypoxic Conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016; 64(5): 1094–1102. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04859>

14. Dzik D., Różyło R., Gawlik-Dziki U., Świeca M. Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. *Trends in Food Science & Technology*. 2014; 40(1): 48–61.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.010>
15. Zeng F., Hu Z., Yang Y., Jin Z., Jiao A. Regulation of baking quality and starch digestibility in whole wheat bread based on β -glucans and protein addition strategy: Significance of protein-starch-water interaction in dough. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 256(2): 128021.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128021>
16. Li J., Yin L., Li J. Effect of Pectins on Dough Rheology and Chinese Steamed Bread Quality. *Grain & Oil Science and Technology*. 2018; 1(2): 77–84.
<https://doi.org/10.3724/SP.J.1447.GOST.2018.18034>
17. Nelson K., Stojanovska L., Vasiljevic T., Mathai M. Germinated grains: a superior whole grain functional food? *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 2013; 91(6): 429–441.
<https://doi.org/10.1139/cjpp-2012-0351>
18. Ragaei S., Guzar I., Dhull N., Seetharaman K. Effects of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread. *LWT – Food Science and Technology*. 2011; 44(10): 2147–2153.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.016>
19. Skendi A., Biliaderis C.G., Papageorgiou M., Izidorczyk M.S. Effects of two barley β -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chemistry*. 2010; 119(3): 1159–1167.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.030>
20. Tian B. *et al.* Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chemistry*. 2010; 119(3): 1195–1200.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.035>
21. Wu Q.Y. *et al.* Accumulating pathways of γ -aminobutyric acid during anaerobic and aerobic sequential incubations in fresh tea leaves. *Food Chemistry*. 2018; 240: 1081–1086.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.004>
22. Коденцова В.М., Рисник Д.В. Разнообразие β -глюканов: свойства, адекватные и клинически эффективные дозы. *Медицинский алфавит*. 2022; (16): 121–126.
<https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-16-121-126>
23. Singh H., Singh N., Kaur L., Saxena S.K. Effect of sprouting conditions on functional and dynamic rheological properties of wheat. *Journal of Food Engineering*. 2001; 47(1): 23–29.
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00094-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00094-7)
24. Petrávič-Tominac V., Zechner-Krpan V., Grba S., Srećec S., Panjkota-Krbavčić I., Vidović L. Biological Effects of Yeast β -Glucans. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2010; 75(4): 149–158.

ОБ АВТОРАХ

Наталья Владимировна Науменко¹

доктор технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий
naumenkonv@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9520-3251>

Анастасия Андреевна Чаплина²

магистр
<https://orcid.org/0009-0007-5179-1948>
1nast@mail.ru

Полина Валерьевна Сысоева³

руководитель отдела исследований и разработок
psysoeva@sterningredients.ru
<https://orcid.org/0009-0000-3634-636X>

Ринат Ильгидарович Фаткуллин¹

кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий
fatkullinri@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1498-0703>

Екатерина Евгеньевна Науменко¹

магистр
<https://orcid.org/0000-0002-0213-1595>
9193122375@mail.ru

Ирина Валерьевна Калинина¹

доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и биотехнологий, доцент
kalininaiv@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

¹ Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

² Университет ИТМО, Кронверкский пр-т, д. 49, литера А, 197101, Санкт-Петербург, Россия

³ ООО «Штерн Ингредиентс», Свердловская набережная, 38, литера В, 195027, Санкт-Петербург, Россия

14. Dzik D., Różyło R., Gawlik-Dziki U., Świeca M. Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. *Trends in Food Science & Technology*. 2014; 40(1): 48–61.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.010>

15. Zeng F., Hu Z., Yang Y., Jin Z., Jiao A. Regulation of baking quality and starch digestibility in whole wheat bread based on β -glucans and protein addition strategy: Significance of protein-starch-water interaction in dough. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 256(2): 128021.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128021>

16. Li J., Yin L., Li J. Effect of Pectins on Dough Rheology and Chinese Steamed Bread Quality. *Grain & Oil Science and Technology*. 2018; 1(2): 77–84.
<https://doi.org/10.3724/SP.J.1447.GOST.2018.18034>

17. Nelson K., Stojanovska L., Vasiljevic T., Mathai M. Germinated grains: a superior whole grain functional food? *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 2013; 91(6): 429–441.
<https://doi.org/10.1139/cjpp-2012-0351>

18. Ragaei S., Guzar I., Dhull N., Seetharaman K. Effects of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread. *LWT – Food Science and Technology*. 2011; 44(10): 2147–2153.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.016>

19. Skendi A., Biliaderis C.G., Papageorgiou M., Izidorczyk M.S. Effects of two barley β -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chemistry*. 2010; 119(3): 1159–1167.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.030>

20. Tian B. *et al.* Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chemistry*. 2010; 119(3): 1195–1200.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.035>

21. Wu Q.Y. *et al.* Accumulating pathways of γ -aminobutyric acid during anaerobic and aerobic sequential incubations in fresh tea leaves. *Food Chemistry*. 2018; 240: 1081–1086.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.004>

22. Kodentsova V.M., Risnik D.V. Variety of β -glucans: properties, adequate and clinically effective doses. *Medical alphabet*. 2022; (16): 121–126 (in Russian).
<https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-16-121-126>

23. Singh H., Singh N., Kaur L., Saxena S.K. Effect of sprouting conditions on functional and dynamic rheological properties of wheat. *Journal of Food Engineering*. 2001; 47(1): 23–29.
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00094-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00094-7)

24. Petrávič-Tominac V., Zechner-Krpan V., Grba S., Srećec S., Panjkota-Krbavčić I., Vidović L. Biological Effects of Yeast β -Glucans. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2010; 75(4): 149–158.

ABOUT THE AUTHORS

Natalya Vladimirovna Naumenko¹

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology
naumenkonv@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9520-3251>

Anastasiya Andreevna Chaplina²

Master
1nast@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-5179-1948>

Polina Valeryevna Sysoeva³

Head of the Research and Development Department
psysoeva@sterningredients.ru
<https://orcid.org/0009-0000-3634-636X>

Rinat Ilgidarovich Fatkullin¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology
fatkullinri@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1498-0703>

Ekaterina Evgenievna Naumenko¹

Master
<https://orcid.org/0000-0002-0213-1595>
9193122375@mail.ru

Irina Valeryevna Kalinina¹

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food and Biotechnology, Associate Professor
kalininaiv@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

¹ South Ural State University, 76 Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia

² ITMO University, 49 litera A Kronverksky Prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

³ “Stern Ingredients” LLC, 38 litera B Sverdlovskaya naberezhnaya, St. Petersburg, 195027, Russia

А.В. Блинов¹
 З.А. Рехман¹ ✉
 А.Б. Голик¹
 А.А. Гвозденко¹
 А.А. Нагдалян¹
 М.Б. Ребезов^{2, 3}

¹ Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

² Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

³ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ zafrehman1027@gmail.com

Поступила в редакцию:
20.02.2024

Одобрена после рецензирования:
11.03.2024

Принята к публикации:
27.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-153-159

Andrey V. Blinov¹
 Zafar A. Rekhman¹ ✉
 Alexey B. Golik¹
 Alexey A. Gvozdenko¹
 Andrey A. Nagdalian¹
 Maksim B. Rebezov^{2, 3}

¹ North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

² V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³ Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ zafrehman1027@gmail.com

Received by the editorial office:
20.02.2024

Accepted in revised:
11.03.2024

Accepted for publication:
27.03.2024

Инновационная форма эссенциального микроэлемента меди для обогащения молочной продукции

РЕЗЮМЕ

Микроэлементоз — это заболевание, связанное с дефицитом тех или иных жизненно важных микроэлементов. На сегодняшний день существуют способы борьбы с недостатком эссенциальных микронутриентов. В данной статье проводили механохимический синтез тройного медьсодержащего комплекса с аскорбиновой кислотой и L-изолейцином — незаменимой аминокислотой. Исследование образца методом рентгеновской дифрактометрии показало, что образец имеет тригональную кристаллическую структуру с пространственной группой P31c. В результате компьютерного квантово-химического моделирования определили значения разницы полной энергии, химической жесткости, энергии высшей занятой и низшей свободной молекулярной орбитали. Определили оптимальный вариант взаимодействия меди с витамином C и L-изолейцином, где формирование происходит через гидроксильные группы, присоединенные к C₂ и C₃ атомам аскорбиновой кислоты, и через карбоксильную группу и α-аминогруппу изолейцина. Образец исследовали методом ИК-спектроскопии и подтвердили данные компьютерного моделирования. Исследовали стабильность полученного комплекса в зависимости от технологических параметров — pH, температуры и времени экспозиции. С помощью метода греко-латинских квадратов составляли матрицу планирования многофакторного эксперимента. Анализ зависимости изменения значения оптической плотности (ΔD) от pH, температуры и времени экспозиции показал, что значительное влияние на ΔD оказывают pH среды и температура раствора: увеличение pH среды и температура раствора приводят к увеличению ΔD. Время экспозиции не оказывает значительного влияния на изменение значения оптической плотности (ΔD). Параметры, при которых наблюдается стабильность образцов, соответствуют наименьшим значениям ΔD: pH = 3–8, t = 25–70, τ = 5–15. Исследовали влияние концентрации медьсодержащего комплекса на физико-химические параметры молока. Установили, что оптимальной концентрацией аскорбатизолейцината меди для обогащения молочной продукции является 0,005 моль/л и ниже. Далее проводили органолептическую оценку показателей молока, обогащенного аскорбатизолейцинатом меди. Анализ результатов показал, что органолептические показатели (запах и вкус) молока, обогащенного аскорбатизолейцинатом меди, на 0,1 балла выше показателей молока, обогащенного неорганической формой эссенциального микроэлемента меди, и ниже, чем у контрольной пробы молока, на 0,3 балла.

Ключевые слова: эссенциальный микроэлемент, медь, незаменимые аминокислоты, молоко, титруемая кислотность, pH

Для цитирования: Блинов А.В., Рехман З.А., Голик А.Б., Гвозденко А.А., Нагдалян А.А., Ребезов М.Б. Инновационная форма эссенциального микроэлемента меди для обогащения молочной продукции. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 153–159.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-153-159>

© Блинов А.В., Рехман З.А., Голик А.Б., Гвозденко А.А., Нагдалян А.А.

An innovative form of the essential trace element copper for fortification of dairy products

ABSTRACT

Microelementosis is a disease associated with a deficiency of certain vital microelements. Today, there are ways to combat the lack of essential micronutrients. In this article, the mechanochemical synthesis of a triple copper-containing complex with ascorbic acid and L-isoleucine, an essential amino acid, was carried out. Examination of the sample by X-ray diffractometry showed that the sample has a trigonal crystal structure with space group P31c. As a result of computer quantum chemical modeling, the values of the difference in total energy, chemical hardness, energy of the highest occupied molecular orbital and the lowest unoccupied molecular orbital were determined. We determined the optimal option for the interaction of copper with vitamin C and L-isoleucine, where the binding occurs through hydroxyl groups attached to the C₂ and C₃ atoms of ascorbic acid, and through the carboxyl group and α-amino group of isoleucine. The sample was examined by IR spectroscopy and confirmed by computer modeling data. The stability of the resulting complex was studied depending on the technological parameters — pH, temperature and exposure time. Using the Greco-Latin square method, a matrix for planning a multifactorial experiment was compiled. An analysis of the dependence of the change in optical density (ΔD) on pH, temperature and exposure time showed that the pH of the medium and the temperature of the solution have a significant effect on ΔD: an increase in the pH of the medium and the temperature of the solution leads to an increase in ΔD. Exposure time does not have a significant effect to change the optical density value (ΔD). The parameters at which sample stability is observed correspond to the lowest values of ΔD: pH = 3–8, t = 25–70, τ = 5–15. The effect of the concentration of a copper-containing complex on the physicochemical parameters of milk was studied. It has been established that the optimal concentration of copper ascorbate isoleucinate for fortifying dairy products is 0.005 mol/l or less. Next, an organoleptic assessment of the indicators of milk enriched with copper ascorbate isoleucinate was carried out. The analysis of the results showed that the organoleptic parameters (smell and taste) of milk enriched with ascorbate-isoleucinate of copper are 0.1 points higher than those of milk enriched with the inorganic form of the essential trace element copper and 0.3 points lower than that of the control milk sample.

Key words: essential trace element, copper, essential amino acids, milk, titratable acidity, pH

For citation: Blinov A.V., Rekhman Z.A., Golik A.B., Gvozdenko A.A., Nagdalian A.A., Rebezov M.B. An innovative form of the essential trace element copper for fortification of dairy products. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 153–159 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-153-159>

© Blinov A.V., Rekhman Z.A., Golik A.B., Gvozdenko A.A., Nagdalian A.A., Rebezov M.B.

Введение/Introduction

Дефицит макро- и микроэлементов является актуальной проблемой физиологии питания и нутрициологии^{1, 2} [1–4]. Недостаточная обеспеченность необходимыми элементами ведет к нарушению функционирования важнейших систем организма и повышает риск развития различных заболеваний [5–7].

Медь является одним из эссенциальных микронутриентов^{3, 4}, она входит в состав супероксиддисмутазы — фермента, предотвращающего окисление свободных радикалов, также содержит в своем составе медь [8–10]. Улучшая фибринолитическую активность крови, достаточное содержание меди снижает риск заболеваний сердечно-сосудистой системы [11–13]. Дефицит меди ведет к заболеваниям кожи, соединительной ткани, а также артриту и артрозам [14, 15]. Гефестин — фермент, содержащий медь, отвечает за транспорт железа, соответственно, дефицит меди приводит к появлению железодефицитной анемии [16].

Суточная норма потребления эссенциального микроэлемента меди — 3 мг/сутки. Добиться необходимого содержания можно путем потребления медьсодержащих продуктов (орехов, свеклы, мяса, бобовых, авокадо, ржаного хлеба), а также использования пищевых продуктов, обогащенных хелатными комплексами меди [17, 18].

Хелатирование способствует образованию комплексов, которые обладают более высокой стабильностью, чем комплексы, не имеющие хелатной структуры [19]. Хелаторами являются органические молекулы, которые обладают специфическими лигандами и могут связывать (переносить) ионы металлов [20].

Способностью образовывать хелатные комплексы с переходными металлами обладает аскорбиновая кислота [21], однако стабильность получаемых комплексов невысокая, поэтому дополнительным хелатором могут выступать незаменимые аминокислоты [22].

Цели данной работы — синтез и исследование свойств тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента меди с аскорбиновой кислотой и незаменимой аминокислотой — L-изолейцином, а также исследование его влияния на органолептические и физико-химические параметры молока.

Материалы и методы исследования /

Materials and methods

Синтез проводили в ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» с использованием следующих реактивов: L-изолейцина (ч., PanReas Applichem, Дармштадт, Германия), аскорбиновой кислоты (ч. д. а., «ЛенРеактив», г. Санкт-Петербург), гидроксида бария и сульфата меди (ч. д. а., «Интерхим», г. Санкт-Петербург).

Для синтеза аскорбатаизолейцината меди (II) смешивали L-изолейцин с аскорбиновой кислотой в мольном соотношении 1:1. Затем к полученной смеси добавляли гидроксид бария, дистиллированную воду и сульфат меди (II). Из полученного раствора удаляли

сульфат бария центрифугированием при 3000 об/мин в течение 5 мин.

Для изучения функциональных групп в полученных образцах использовали ИК-спектроскопию. ИК-спектры регистрировали на ИК-спектрометре ФСМ-1201 с преобразованием Фурье (ООО «Инфраспек», г. Санкт-Петербург). Диапазон измерений — 400–4400 см⁻¹.

Для изучения фазового состава образцы исследовали методом рентгенофазового анализа на рентгеновском дифрактометре PANalytical Empyrean (корпорация Spectris, Великобритания).

Компьютерное квантово-химическое моделирование аскорбатаизолейцината меди (II) проводили в программе QChem⁵ с использованием молекулярного редактора Iqmol⁶. Расчет осуществлялся на оборудовании центра обработки данных (Schneider Electric, Франция) ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет». Расчеты проводили со следующими параметрами: расчет — Energy, метод — HF, базис — 6-31G, convergence — 5, силовое поле — Chemical.

Для исследования стабильности аскорбатаизолейцината меди (II) при различных значениях технологических параметров проводили многофакторный эксперимент, который включал в себя три входных параметра и три уровня варьирования.

В качестве входных параметров рассматривали активную кислотность среды (pH), время перемешивания (τ, мин.), температуру раствора (t, °C).

В качестве выходного параметра выступало значение изменения оптической плотности (Δ D).

Значение оптической плотности определяли на оптическом спектрофотометре СФ-56 («ЛОМО-СПЕКТР», г. Санкт-Петербург, Россия).

Матрица многофакторного эксперимента представлена в таблице 1.

Таблица 1. Матрица многофакторного эксперимента

Table 1. Matrix of a multivariate experiment

Опыт 1-й		Опыт 2-й		Опыт 3-й	
pH	3	pH	3	pH	3
t, °C	25	t, °C	60	t, °C	95
τ, мин.	5	τ, мин.	15	τ, мин.	25
Опыт 4-й		Опыт 5-й		Опыт 6-й	
pH	7	pH	7	pH	7
t, °C	25	t, °C	60	t, °C	95
τ, мин.	15	τ, мин.	25	τ, мин.	5
Опыт 7-й		Опыт 8-й		Опыт 9-й	
pH	11	pH	11	pH	11
t, °C	25	t, °C	60	t, °C	95
τ, мин.	25	τ, мин.	5	τ, мин.	15

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программы Statistica 12.0⁷ и пакета прикладных программ Statistica Neural Networks⁸.

Обогащение молока с жирностью 3,2% (АО «МКС», г. Ставрополь, Россия) аскорбатаизолейцинатом меди (II) проводили из расчета 30% от суточной нормы потребления меди (0,9 мг).

¹ Food Fortification: Unlocking Essential Nutrition for Mass Impact. — URL: <https://www.graygroupintl.com/blog/food-fortification>

² Food Fortification. — URL: <https://www.clearias.com/food-fortification/>

³ National Nutrient Database for Standard Reference. Release 28, Copper Cu (mcg) content of selected foods per common measure. US Department of Agriculture. <https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-national-nutrient-database-standard-reference-legacy-release>

⁴ Copper. In: Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. National Academies Press. 2001; 224–257 (accessed: August 18, 2020). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222310>

⁵ Q-Chem is a comprehensive ab initio quantum chemistry software for accurate predictions of molecular structures, reactivities, and vibrational, electronic and NMR spectra. Режим доступа: URL: <https://www.q-chem.com>

⁶ Gilbert A. Introduction to Iqmol / A. Gilbert. Режим доступа: URL: <http://iqmol.org/downloads/IqmolUserGuide.pdf>

⁷ <https://statistica.software.informer.com/12.0/>

⁸ <https://docs.tibco.com/pub/stat/14.0.0/doc/html/UsersGuide/GUID-F60C241F-CD88-4714-A8C8-1F28473C52EE.html>

Исследование среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина в образце проводили методом динамического рассеяния света (DLS) на приборе Photocor-Complex (ООО «Антекс-97», Россия). Компьютерную обработку полученных результатов осуществляли с использованием программного обеспечения DynaLS⁹.

Исследование ζ -потенциала и электропроводности проводили методом акустической и электроакустической спектроскопии на установке DT-1202 (Dispersion Technology Inc., США).

Активную кислотность среды определяли на рН-метре-(ионмере) «Эксперт-001» (ООО «Эконикс-Эксперт», Россия).

Синтез и исследование образцов аскорбатойзолейцината меди проводили на базе кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» в январе 2024 года.

Титруемую кислотность молока определяли титриметрическим методом согласно ГОСТ 3624¹⁰. Метод базируется на титровании молока раствором щелочи (гидроксидом натрия или калия) в присутствии индикатора фенолфталеина.

Исследования органолептических свойств проводили в соответствии с ГОСТ 28283¹¹. Количество привлекаемых экспертов ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» — 10. Исследования проводили на базе кафедры физики и технологии наноструктур и материалов ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».

Результаты и обсуждение /
Results and discussion

На первом этапе полученный образец аскорбатойзолейцината меди исследовали методом рентгеновской дифрактометрии. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

Анализ фазового состава показал, что образец аскорбатойзолейцината меди имеет тригональную кристаллическую структуру с пространственной группой P31c.

Для исследования процесса взаимодействия L-изолейцина, аскорбиновой кислоты и меди проводили квантово-химическое моделирование, в результате которого получили распределение электронной плотности, значения полной энергии молекулярной системы и абсолютной химической жесткости. Полученные данные представлены на рисунке 2 и в таблице 2.

Анализ результатов квантово-химического моделирования показал, что все представленные модели взаимодействия № 1–6 в соответствии с таблицей 2

Рис. 1. Дифрактограмма аскорбатойзолейцината меди
Fig. 1. X-ray diffraction pattern of copper ascorbate isoleucinate

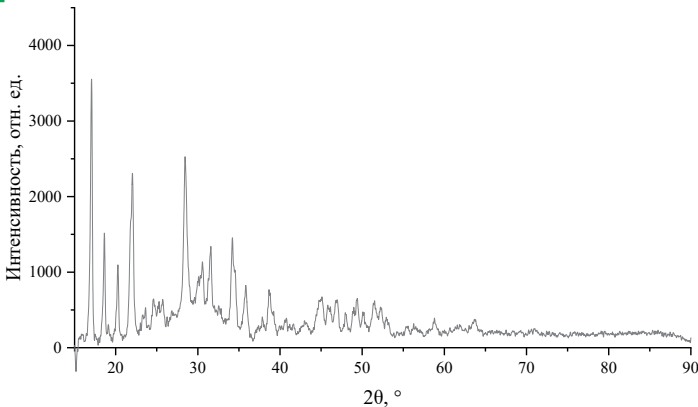


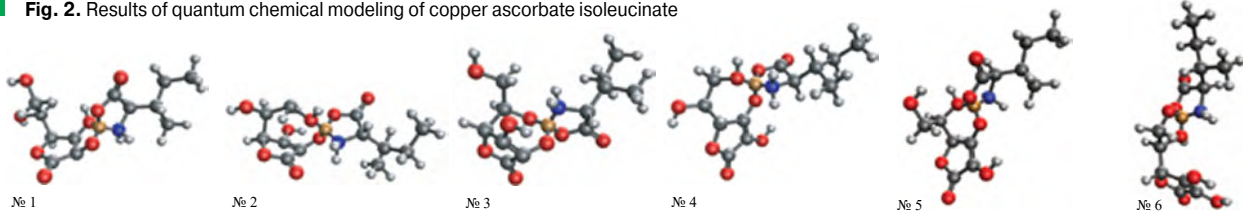
Таблица 2. Результаты квантово-химического моделирования аскорбатойзолейцината меди
Table 2. Results of quantum chemical modeling of copper ascorbate isoleucinate

Аминокислота	Взаимодействие с аминокислотой	Взаимодействие с аскорбиновой кислотой	E, ккал/моль	E _{номо} , эВ	E _{лumo} , эВ	η, эВ
L-изолейцин	Через карбоксильную группу и α-аминогруппу L-изолейцина	Через OH группы C ₂ и C ₃ атомов аскорбиновой кислоты (№ 1)	-2753,568	-0,201	0,046	0,124
		Через OH группы C ₂ и C ₆ атомов аскорбиновой кислоты (№ 2)	-2752,553	-0,185	0,012	0,099
		Через OH группы C ₂ и C ₅ атомов аскорбиновой кислоты (№ 3)	-2753,404	-0,163	0,050	0,107
		Через OH группы C ₃ и C ₆ атомов аскорбиновой кислоты (№ 4)	-2753,284	-0,206	0,073	0,140
		Через OH группы C ₃ и C ₅ атомов аскорбиновой кислоты (№ 5)	-2753,363	-0,234	0,064	0,149
		Через OH группы C ₅ и C ₆ атомов аскорбиновой кислоты (№ 6)	-2753,211	-0,140	0,069	0,105

обладают значениями полной энергии по модулю $E \geq -2752,55$ ккал/моль. Наибольшим по модулю значением полной энергии ($E = -2753,568$ ккал/моль) обладает вариант взаимодействия, где формирование происходит через гидроксильные группы, присоединенные к C₂ и C₃ атомам аскорбиновой кислоты и через карбоксильную группу и α-аминогруппу L-изолейцина. Установлено, что все полученные модели имеют значение химической жесткости $\eta \geq 0,099$ эВ.

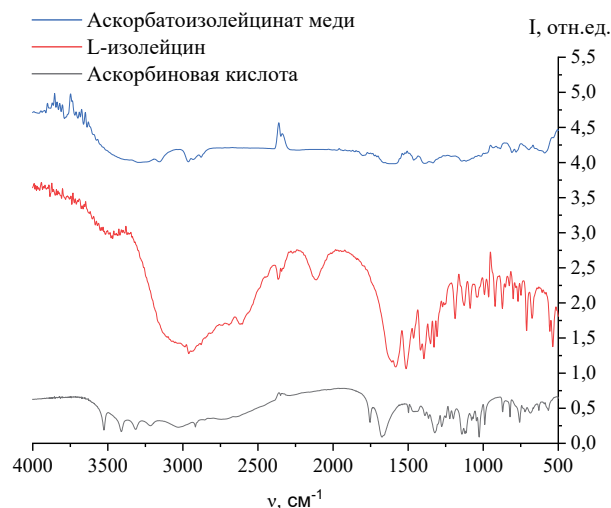
Для подтверждения результатов моделирования образцы исследовали на ИК-спектрометре с преобразованием Фурье. Результаты исследований представлены на рисунке 3.

Рис. 2. Результаты моделирования аскорбатойзолейцината меди
Fig. 2. Results of quantum chemical modeling of copper ascorbate isoleucinate



⁹ https://bio.pnpi.nrcki.ru/wp-content/uploads/2020/01/Photocor-Compact-Z_Manual.pdf
¹⁰ ГОСТ 3624-92 Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности.
¹¹ ГОСТ 28283-2015 Молоко коровье. Метод органолептической оценки вкуса и запаха.

Рис. 3. ИК-спектр аскорбатизолейцината меди
Fig. 3. IR spectrum of copper ascorbate isoleucinate



Анализ ИК-спектра аскорбиновой кислоты показал, что в области от 3150 до 3560 см^{-1} присутствуют полосы на 3525 см^{-1} , 3410 см^{-1} , 3315 см^{-1} и 3220 см^{-1} , которые характерны для валентных колебаний О-Н групп. Полосы на 3030 и 2918 см^{-1} принадлежат CH_2 -группе. Полосы на 634, 719 и 1755 см^{-1} соответствуют колебаниям $\text{C}=\text{O}$. Полоса на 1670 см^{-1} соответствует колебаниям $\text{C}=\text{C}$. Полосы на 1498 см^{-1} , 1365 см^{-1} , 1197 см^{-1} , 990 см^{-1} соответствуют деформационным колебаниям CH_2 -группы. Полоса на 1220 см^{-1} соответствует деформационным колебаниям CH -группы. Полосы на 1278, 1392 и 1448 см^{-1} соответствуют деформационным колебаниям $\text{C}-\text{O}-\text{H}$, наблюдаемых у C_2 , C_3 , C_5 , C_6 атомов аскорбиновой кислоты. Полосы на 1075, 1112, 1144 и 1330 см^{-1} соответствуют деформационным колебаниям $\text{C}-\text{OH}$, наблюдаемых у C_2 , C_3 , C_5 , C_6 атомов аскорбиновой кислоты. Полосы на 756 и 871 см^{-1} соответствуют колебаниям $\text{C}=\text{C}$ [23–25].

Анализ ИК-спектра L-изолейцина показал, что в спектре присутствуют характерные для аминокислот полосы колебаний на 1512 см^{-1} и 1610 см^{-1} , соответствующие деформационным колебаниям NH_3^+ группы. Установлено, что полосы колебаний на 1325 см^{-1} и 1579 см^{-1} соответствуют колебаниям COO^- группы. В области до 1300 см^{-1} присутствуют деформационные колебания $-\text{CH}_2$ и $-\text{CH}_3$ групп. В области от 2500 до 3200 см^{-1} присутствуют валентные колебания NH_3^+ , $-\text{CH}_2$ и $-\text{CH}_3$ групп [26].

В ИК-спектре аскорбатизолейцината меди наблюдается уменьшение интенсивности полос на 1512 см^{-1} , 1610 см^{-1} , соответствующих деформационным колебаниям NH_3^+ группы, и на 1325 см^{-1} , 1579 см^{-1} , соответствующих колебаниям COO^- группы, характерных для L-изолейцина. Наблюдается уменьшение интенсивности полос на 1330 см^{-1} , соответствующих деформационным колебаниям $\text{C}-\text{OH}$, на 1278 и на 1448 см^{-1} , соответствующих деформационным колебаниям $\text{C}-\text{O}-\text{H}$ аскорбиновой кислоты. Таким образом, можно сделать вывод, что образование аскорбатизолейцината меди происходит через ОН группы аскорбиновой кислоты и через COO^- и NH_3^+ группы аминокислоты. Полученные результаты ИК-спектроскопии согласуются с данными компьютерного квантово-химического моделирования.

На следующем этапе исследовали стабильность аскорбатизолейцината меди. В результате обработки экспериментальных данных получили зависимости изменения значения оптической плотности (ΔD) от pH, температуры и времени экспозиции. Полученные зависимости представлены на рисунке 4.

Анализ зависимости изменения значения оптической плотности (ΔD) от pH, температуры и времени экспозиции показал, что значительное влияние на ΔD оказывают pH среды и температура раствора: увеличение pH среды и температура раствора приводят к увеличению ΔD . Время экспозиции не оказывает значительного влияния на изменение значения оптической плотности (ΔD). Наибольшее изменение значения оптической плотности (ΔD) наблюдается при следующих параметрах: pH — с 9 до 11, t — с 80 до 95 $^{\circ}\text{C}$, τ — с 15 до 25 мин. Параметры, при которых наблюдается стабильность образцов, соответствуют наименьшим значениям ΔD : pH = 3–8, t = 25–70, τ = 5–15. На основании полученных данных можно сделать вывод: обогащение молочной продукции можно проводить как во время пастеризации, так и после нее.

Далее исследовали влияние концентрации аскорбатизолейцината меди на физико-химические параметры дисперсной фазы молока. Результаты этих исследований представлены в таблице 3.

Анализ полученных данных показал, что изменение концентрации практически не оказывает влияния на электропроводность образцов и заряд мицелл казеина дисперсной фазы молока. Однако концентрация тройного комплекса влияет на средний гидродинамический радиус мицелл казеина, титруемую кислотность и pH. При концентрации 0,00005, 0,0005 и 0,005 моль/л

Рис. 4. Зависимости изменения значения оптической плотности (ΔD) от pH, температуры и времени экспозиции: а — pH и t , б — pH и τ , в — t и τ
Fig. 4. Dependencies of change in optical density value (ΔD) on pH, temperature and exposure time: а — pH and t , б — pH and τ , в — t and τ

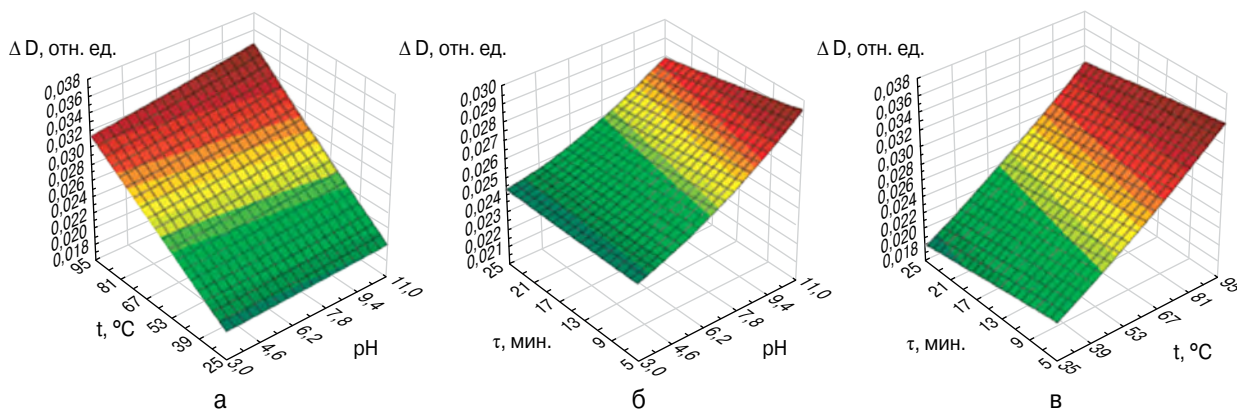


Таблица 3. Физико-химические параметры дисперсной фазы молока

Table 3. Physico-chemical parameters of the dispersed phase of milk

Параметр	Концентрация аскорбатизолейцината меди				Контроль
	0,05 моль/л	0,005 моль/л	0,0005 моль/л	0,00005 моль/л	
Средний гидродинамический радиус, нм	59	38	36	32	30
Электропроводность, См/м	0,92	1,23	0,97	0,81	0,78
ζ-потенциал, мВ	-0,68	0,58	0,86	0,65	-0,52
pH	5,90	6,70	6,79	6,79	6,78
Титруемая кислотность, °Т	54	20	18	16	18

Таблица 4. Результаты органолептической оценки

Table 4. Organoleptic evaluation results

Наименование образцов	Запах и вкус	Оценка, балл
Молоко, обогащенное неорганической формой меди — эссенциального микроэлемента меди	чистый, приятный, слегка сладковатый	4,50
Молоко, обогащенное хелатной формой эссенциального микроэлемента меди — аскорбатизолейцинатом меди	чистый, приятный, слегка сладковатый	4,60
Молоко «чистое» (из торговой сети, небогатое)	чистый, приятный, слегка сладковатый	4,90

значения среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина, титруемой кислотности и pH значительно не отличаются от значений контрольного образца. При увеличении концентрации до 0,05 моль/л средний гидродинамический радиус мицелл казеина увеличивается до 59 нм, титруемая кислотность — до 54 °Т, а pH образца уменьшается до 5,90. Таким образом, для обогащения аскорбатизолейцинатом меди необходимо использовать концентрации 0,005 моль/л и ниже.

На заключительном этапе проводили дегустационную оценку молока, обогащенного тройным медьсодержащим комплексом. Результаты органолептической оценки молока представлены в таблице 4.

Анализ результатов показал, что органолептические показатели (запах и вкус) молока, обогащенного аскорбатизолейцинатом меди, на 0,1 балла выше показателей молока, обогащенного неорганической формой эссенциального микроэлемента меди, и ниже, чем у контрольной пробы молока, на 0,3 балла.

Выводы/Conclusions

В рамках данной работы проведены синтез и исследование свойств тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента меди с аскорбиновой кислотой и L-изолейцином — незаменимой аминокислотой, а

также исследование его влияния на органолептические и физико-химические параметры молока.

Исследование фазового состава показало, что образец имеет тригональную кристаллическую структуру с пространственной группой P31c. Компьютерное квантово-химическое моделирование эссенциального микроэлемента меди с аскорбиновой кислотой и L-изолейцином показало, что формирование комплекса происходит через гидроксильные группы, присоединенные к C₂ и C₃ атомам аскорбиновой кислоты, и через карбоксильную группу и α-аминогруппу изолейцина (η ≥ 0,105 эВ и E = 2753,568 ккал/моль).

Полученные результаты ИК-спектроскопии согласуются с данными компьютерного квантово-химического моделирования. По данным ИК-спектроскопии, образование аскорбатизолейцината меди происходит через ОН группы аскорбиновой кислоты и через COO⁻ и NH₃⁺ группы аминокислоты.

Исследование стабильности аскорбатизолейцината меди показало, что значительное влияние на ΔD оказывают pH среды и температура раствора: увеличение pH среды и температура раствора приводят к увеличению ΔD. Время экспозиции не оказывает значительного влияния на изменение значения оптической плотности (ΔD). Наибольшее изменение значения оптической плотности (ΔD) наблюдается при следующих параметрах: pH — с 9 до 11, t — с 80 до 95 °С, τ — с 15 до 25 мин. Параметры, при которых наблюдается стабильность образцов, соответствуют наименьшим значениям ΔD: pH = 3–8, t = 25–70, τ = 5–15.

На основании полученных данных можно сделать вывод: обогащение молочной продукции можно проводить как во время пастеризации, так и после нее.

Исследование влияния концентрации медьсодержащего комплекса на физико-химические параметры молока показало, что оптимальной концентрацией аскорбатизолейцината меди для обогащения молочной продукции является 0,005 моль/л и ниже. При этих значениях показатели pH и титруемой кислотности соответствуют требованиям государственных стандартов молока коровьего питьевого.

Анализ результатов органолептической оценки показал, что органолептические показатели (запах и вкус) молока, обогащенного аскорбатизолейцинатом меди, на 0,1 балла выше показателей молока, обогащенного неорганической формой эссенциального микроэлемента меди, и ниже, чем у контрольной пробы молока, на 0,3 балла.

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 № 22-76-00029. <https://rscf.ru/project/22-76-00029/>

FUNDING

This research was funded by Russian Science Foundation No. 22-76-00029. <https://rscf.ru/project/22-7600029/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Учасов Д.С. Медь в питании спортсменов: физиологические и гигиенические аспекты. *Автономия личности*. 2023; 27.
2. Adetunji C. *et al.* Roles of nutrigenomics in drug discovery and development. In book: *Role of Nutrigenomics in Modern-Day Healthcare and Drug Discovery*. 2023; Chapter 10: 277–299. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824412-8.00016-3>
3. Rebezov M. *et al.* Nutritional and Technical Aspect of Tiger Nut and Its Microconstituents: An Overview. *Food Reviews International*. 2023; 39(6): 3262–3282 <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2011910>
4. Sarkar T. *et al.* Minor tropical fruits as a potential source of bioactive and functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(23): 6491–6535. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2033953>

REFERENCES

1. Uchasov D.S. Copper in the nutrition of athletes: physiological and hygienic aspects. *Personal autonomy*. 2023; 27 (in Russian).
2. Adetunji C. *et al.* Roles of nutrigenomics in drug discovery and development. In book: *Role of Nutrigenomics in Modern-Day Healthcare and Drug Discovery*. 2023; Chapter 10: 277–299. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824412-8.00016-3>
3. Rebezov M. *et al.* Nutritional and Technical Aspect of Tiger Nut and Its Microconstituents: An Overview. *Food Reviews International*. 2023; 39(6): 3262–3282 <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2011910>
4. Sarkar T. *et al.* Minor tropical fruits as a potential source of bioactive and functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(23): 6491–6535. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2033953>

5. Абеуова О.А. и др. Биологическая характеристика цинка, железа и меди на организм человека. *Актуальные проблемы современности*. 2020; 4: 144–150.

6. Gonzalez-Alvarez M.A., Hernandez-Bonilla D., Plascencia-Alvarez N.I., Riojas-Rodriguez H., Rosselli D. Environmental and occupational exposure to metals (manganese, mercury, iron) and Parkinson's disease in low and middle-income countries: a narrative review. *Reviews on environmental health.*, 2021; 37(1): 1–11. <https://doi.org/10.1515/reveh-2020-0140>

7. Ахметшина З.Р. Дефицит витаминов и микроэлементов в питании человека. *Гуманитарные и правовые проблемы современной России. Материалы XVIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции*. Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос». 2023; 19–22. EDN: GPUALM

8. Gombart A.F., Pierre A., Maggini S. A Review of Micronutrients and the Immune System-Working in Harmony to Reduce the Risk of Infection. *Nutrients*. 2020; 12(1): 236. <https://doi.org/10.3390/nu12010236>

9. Wazir S.M., Ghobrial I. Copper deficiency, a new triad: anemia, leucopenia, and myeloneuropathy. *Journal of Community Hospital Internal Medicine Perspectives*. 2017; 7(4): 265–268. <https://doi.org/10.1080/20009666.2017.1351289>

10. Сафонов В. и др. Активность супероксиддисмутазы крови телят и содержание в ней меди, цинка, глутатиона и металлотioneинов. *Biogeochemical innovations under the conditions of the biosphere technogenesis correction*. 2020; 1: 318–322.

11. Яшин А.Н., Петров А.Н. Актуальность разработки обогащенных микроэлементами продуктов питания для диетотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях. *Пищевые системы*. 2023; 6(3): 272–278. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-272-278>

12. Balamurugan K., Schaffner W. Copper homeostasis in eukaryotes: Teetering on a tightrope. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Molecular Cell Research*. 2006; 1763(7): 737–746. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2006.05.001>

13. Параконский А.П. Роль меди в организме и значение ее дисбаланса. *Естественно-гуманитарные исследования*. 2015; 10(4): 73–84.

14. Рустембекова С.А., Горшков В.В. Элементарная специализация продуктов питания. *Юбилейный сборник научных трудов кафедры прикладной математики и программирования по итогам работы постоянно действующего семинара «Теория систем»*. 2020; 78–90.

15. Myint Z.W. *et al.* Copper deficiency anemia: review article. *Annals of Hematology*. 2018; 97(9): 1527–1534. <https://doi.org/10.1007/s00277-018-3407-5>

16. Hofmann P., Vidovic M., Debrunner J. Copper Deficiency. *Journal of Clinical Nutrition and Dietetics*. 2021; 7: 1–4.

17. Byrne L. *et al.* Influence of the chelation process on the stability of organic trace mineral supplements used in animal nutrition. *Animals*. 2021; 11(6): 1730. <https://doi.org/10.3390/ani11061730>

18. Chin A. Copper Deficiency Anemia and Neutropenia Due to Ketogenic Diet. *Pediatrics*. 2018; 141(5): e20173286. <https://doi.org/10.1542/peds.2017-3286>

19. Mattar G. *et al.* New approaches, bioavailability and the use of chelates as a promising method for food fortification. *Food Chemistry*. 2022; 373: 131394. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131394>

20. Kontoghiorghes G.J. Advances on chelation and chelator metal complexes in medicine. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020; 21(7): 2499. <https://doi.org/10.3390/ijms21072499>

21. Ritacca A. G. *et al.* Experimental and theoretical study of the complexation of Fe³⁺ and Cu²⁺ by L-ascorbic acid in aqueous solution. *Journal of Molecular Liquids*. 2022; 355: 118973. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.118973>

22. Блинов А.В. и др. Определение оптимальной конфигурации тройных хелатных комплексов эссенциального микроэлемента цинка с витамином С и незаменимыми аминокислотами. *Современная наука и инновации*. 2023; 4: 93–102. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2022.4.9>

23. Lohmann W., Pagel D., Penka V. Structure of ascorbic acid and its biological function: determination of the conformation of ascorbic acid and isoscorbic acid by infrared and ultraviolet investigations. *European journal of biochemistry*. 1984; 138(3): 479–480.

24. Metreveli N.O., Jariashvili K.K., Namicheishvili L.O., Svintradze D.V., Chikvaizde E.N., Sionkowska A., Skopinska J. UV-vis and FT-IR spectra of ultraviolet irradiated collagen in the presence of antioxidant ascorbic acid. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2010; 73(3): 448–455.

25. Yadav R.A., Rani P., Kumar M., Singh R., Singh P., Singh N.P. Experimental IR and Raman spectra and quantum chemical studies of molecular structures, conformers and vibrational characteristics of L-ascorbic acid and its anion and cation. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2011; 84(1): 6–21.

26. Zhang X., Yang Z., Li W., Yang L., Weng S., Wu J. The interaction between amino acids and metal ions (I). The FT-IR spectroscopic study of the binding between D, L-homocysteic acid and alkali metal ions. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2004; 60(1–2): 235–240.

5. Abeuova O.A. *et al.* Biological characteristics of zinc, iron and copper on the human body. *Current problems of our time*. 2020; 4: 144–150 (in Russian).

6. Gonzalez-Alvarez M.A., Hernandez-Bonilla D., Plascencia-Alvarez N.I., Riojas-Rodriguez H., Rosselli D. Environmental and occupational exposure to metals (manganese, mercury, iron) and Parkinson's disease in low and middle-income countries: a narrative review. *Reviews on environmental health.*, 2021; 37(1): 1–11. <https://doi.org/10.1515/reveh-2020-0140>

7. Akhmetshina Z.R. Deficiency of vitamins and trace elements in human nutrition. *Humanitarian and legal problems of modern Russia. Materials of the XVIII All-Russian Student Scientific and Practical Conference*. Novosibirsk: Publishing Center of Novosibirsk State Agrarian University "Zolotoy Kolos". 2023; 19–22 (in Russian). EDN: GPUALM

8. Gombart A.F., Pierre A., Maggini S. A Review of Micronutrients and the Immune System-Working in Harmony to Reduce the Risk of Infection. *Nutrients*. 2020; 12(1): 236. <https://doi.org/10.3390/nu12010236>

9. Wazir S.M., Ghobrial I. Copper deficiency, a new triad: anemia, leucopenia, and myeloneuropathy. *Journal of Community Hospital Internal Medicine Perspectives*. 2017; 7(4): 265–268. <https://doi.org/10.1080/20009666.2017.1351289>

10. Safonov V. *et al.* Activity of superoxide dismutase in the blood of calves and the content of copper, zinc, glutathione and metallothioneins. *Biogeochemical innovations under the conditions of the biosphere technogenesis correction*. 2020; 1: 318–322 (in Russian).

11. Yashin A.N., Petrov A.N. Relevance of the development of food products enriched with microelements for diet therapy for cardiovascular diseases. *Food Systems*. 2023; 6(3): 272–278 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-272-278>

12. Balamurugan K., Schaffner W. Copper homeostasis in eukaryotes: Teetering on a tightrope. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Molecular Cell Research*. 2006; 1763(7): 737–746. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2006.05.001>

13. Parakhonsky A.P. The role of copper in the body and the significance of its imbalance. *Natural-humanitarian studies*. 2015; 10(4): 73–84 (in Russian).

14. Rustembekova S.A., Gorshkov V.V. Elemental specialization of food products. *Anniversary collection of scientific works of the Department of Applied Mathematics and Programming based on the results of the permanent seminar "Systems Theory"*. 2020; 78–90 (in Russian).

15. Myint Z.W. *et al.* Copper deficiency anemia: review article. *Annals of Hematology*. 2018; 97(9): 1527–1534. <https://doi.org/10.1007/s00277-018-3407-5>

16. Hofmann P., Vidovic M., Debrunner J. Copper Deficiency. *Journal of Clinical Nutrition and Dietetics*. 2021; 7: 1–4.

17. Byrne L. *et al.* Influence of the chelation process on the stability of organic trace mineral supplements used in animal nutrition. *Animals*. 2021; 11(6): 1730. <https://doi.org/10.3390/ani11061730>

18. Chin A. Copper Deficiency Anemia and Neutropenia Due to Ketogenic Diet. *Pediatrics*. 2018; 141(5): e20173286. <https://doi.org/10.1542/peds.2017-3286>

19. Mattar G. *et al.* New approaches, bioavailability and the use of chelates as a promising method for food fortification. *Food Chemistry*. 2022; 373: 131394. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131394>

20. Kontoghiorghes G.J. Advances on chelation and chelator metal complexes in medicine. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020; 21(7): 2499. <https://doi.org/10.3390/ijms21072499>

21. Ritacca A. G. *et al.* Experimental and theoretical study of the complexation of Fe³⁺ and Cu²⁺ by L-ascorbic acid in aqueous solution. *Journal of Molecular Liquids*. 2022; 355: 118973. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.118973>

22. Blinov A.V. *et al.* Determination of the optimal configuration of ternary chelate complexes of the essential microelement zinc with vitamin C and essential amino acids. *Modern science and innovation*. 2023; 4: 93–102 (in Russian). <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2022.4.9>

23. Lohmann W., Pagel D., Penka V. Structure of ascorbic acid and its biological function: determination of the conformation of ascorbic acid and isoscorbic acid by infrared and ultraviolet investigations. *European journal of biochemistry*. 1984; 138(3): 479–480.

24. Metreveli N.O., Jariashvili K.K., Namicheishvili L.O., Svintradze D.V., Chikvaizde E.N., Sionkowska A., Skopinska J. UV-vis and FT-IR spectra of ultraviolet irradiated collagen in the presence of antioxidant ascorbic acid. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2010; 73(3): 448–455.

25. Yadav R.A., Rani P., Kumar M., Singh R., Singh P., Singh N.P. Experimental IR and Raman spectra and quantum chemical studies of molecular structures, conformers and vibrational characteristics of L-ascorbic acid and its anion and cation. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2011; 84(1): 6–21.

26. Zhang X., Yang Z., Li W., Yang L., Weng S., Wu J. The interaction between amino acids and metal ions (I). The FT-IR spectroscopic study of the binding between D, L-homocysteic acid and alkali metal ions. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2004; 60(1–2): 235–240.

ОБ АВТОРАХ

Андрей Владимирович Блинов¹

кандидат технических наук, доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Зафар Абдулович Рехман¹

ассистент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Алексей Борисович Голик¹

ассистент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
lexgoolman@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2580-9474>

Алексей Алексеевич Гвозденко¹

ассистент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
gvozdenco.1999a@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7763-5520>

Андрей Ашотович Нагдалян¹

кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии
geniando@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6782-2821>

Максим Борисович Ребезов^{2, 3}

- доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник²;
- доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов³

rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹ Северо-Кавказский федеральный университет, ул. им. Пушкина, 1, Ставрополь, 355002, Россия

² Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

³ Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Andrey Vladimirovich Blinov¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Zafar Abdulovich Rekhman¹

Assistant at the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Alexey Borisovich Golik¹

Assistant at the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials
lexgoolman@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2580-9474>

Alexey Alexeevich Gvozdenco¹

Assistant at the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials
gvozdenco.1999a@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7763-5520>

Andrey Ashotovich Nagdalian¹

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology
geniando@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6782-2821>

Maksim Borisovich Rebezov^{2, 3}

- Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher²;
- Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products³

rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹ North Caucasus Federal University, 1 Pushkin Str., Stavropol, 355002, Russia

² V.M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, 26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

³ Ural State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075, Russia

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



Новости из ЦНСХБ

Обзор подготовлен Урбанской Г. Г.

Иванов В.И. Продовольственная безопасность Севера и Арктики: специфика, направления обеспечения. — Ижевск : ООО «Принт», 2022. — 192 с. Шифр ЦНСХБ 23-2628.

В монографии рассмотрено содержание понятия продовольственной безопасности, выявлены ее уровни. Установлены составные элементы продовольственной безопасности, включающие продовольственную независимость, экономическую и физическую доступность продовольствия, безопасность продуктов питания для потребителей, формирование резерва продовольственных ресурсов. Проведен анализ обеспечения продовольственной безопасности в зарубежных странах в зависимости от уровня аграрного потенциала. Дана оценка уровня продовольственной безопасности России. Раскрыта специфика обеспечения продовольствием в северных и арктических территориях России. Выявлены риски и угрозы продовольственной безопасности в экстремальных условиях проживания, связанные с разрушением материально-технической базы сельского хозяйства, дефицитом квалифицированных кадров, деградацией сельской инфраструктуры, транспортной недоступностью отдаленных территорий для гарантированного снабжения их продовольствием, снижением качества продуктов питания. Обоснованы приоритетные направления устойчивого развития аграрной сферы, включая ускорение инновационной модернизации, формирование многоукладной экономики, совершенствование экономических отношений. Рассмотрено состояние бедности сельского и городского населения в динамике за 1995-2021 гг. Предложены меры по преодолению сельской бедности, которые позволят повысить уровень экономической доступности продовольствия. Издание снабжено таблицами и иллюстративными материалами, списком библиографии из 183 наименований. Книга предназначена для руководителей и специалистов государственных и муниципальных органов управления, научных сотрудников, преподавателей вузов, студентов, аспирантов экономического и аграрного профиля.

Рюмкин С.В. Развитие сельских территорий Сибири посредством создания карбоновых ферм. / С.В. Рюмкин. — Новосибирск : ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2023. — 311 с. Шифр ЦНСХБ 23-06480.

В монографии рассматривается развитие сельских территорий Сибирского федерального округа и повышение их устойчивости посредством использования имеющихся лесных ресурсов на территории муниципальных районов, как естественных карбоновых ферм, обладающих способностью депонировать углерод. Включение экосистемных услуг в хозяйственную деятельность муниципальных районов дает возможность формировать карбоновую ренту от способности

природных массивов депонировать углерод. Рассмотрен механизм управления карбоновыми фермами и разработана схема финансирования развития сельских территорий через эмиссию углеродных единиц. Разработанный экономический механизм создания карбоновых ферм предусматривает реализацию 250 млн углеродных единиц промышленным и сельскохозяйственным предприятиям на внутреннем и внешнем рынках. Рассчитан прогноз развития сельского хозяйства во взаимосвязи с развитием сельских территорий через реализацию механизма дополнительного финансирования. Издание снабжено 45 иллюстрациями и 27 таблицами, списком библиографии из 207 источников на русском языке и 50 — на иностранных языках, а также приложением на 55 страницах. Книга предназначена для широкого круга читателей, занимающихся научной и практической деятельностью в области развития сельских территорий.

Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России : монография / Под редакцией О.А. Макарова. — Москва : МАКС Пресс, 2022. — 320 с. Шифр ЦНСХБ 23-1193.

В монографии изложены различные концепции эколого-экономической оценки земель и результаты их апробации для различных регионов Европейской территории России Белгородской, Волгоградской, Калининградской, Пензенской, Самарской и Владимирской областей. Указанные исследования проводились на трёх иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства областей агрохозяйства, муниципального района, региона в целом. Одним из важнейших итогов проведённых работ явилась разработанная и апробированная во всех исследованных субъектах Российской Федерации комплексная схема эколого-экономической оценки деградации почв и земель, включающая в себя применение нескольких методологических подходов: расчет величины ущерба/вреда, позволяющий оценить деградацию в настоящий момент времени; определение показателя нейтрального баланса деградации земель, отражающего развитие деградационных процессов в динамике; оценку соотношения цены «бездействия» и цены «действия» по отношению к восстановлению деградированных земель, прогнозирующую рентабельность проектов по восстановлению территории. Также разработана концепция, связывающая проблемы продовольственной безопасности регионов Российской Федерации с результатами анализа деградации земель, включающего не только эколого-экономическую, но и социально-демографическую составляющие. Предназначена для почвоведов, экологов, специалистов в области экономики сельского хозяйства и экономики природопользования.

агро волга 2024

МЕЖДУНАРОДНАЯ
АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ
ВЫСТАВКА

3-5 июля Казань

Международный выставочный
центр «Казань Экспо»



agrovolga.org

Бенефит Пэ



Магия природы

для естественного
увеличения урожая

Реклама

Агроподдержка
Сингенты

Получите совет эксперта



syngenta.ru



syngenta