

научно-теоретический и производственный журнал

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN
SCIENCE

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X(online)

9
2025



БЕСПЛАТНО
скачать журнал
и подписаться



Подпишитесь
на наш
Telegram канал!



ВЕТЕРИНАРИЯ

Действие бетулиносодержащей кормовой добавки на лизоцимную и бактерицидную активность сыворотки крови телят и коров дойного стада

30

ЗООТЕХНИЯ

Перспективные гены-кандидаты, ассоциированные с продуктивностью молочных коз

69

АГРОНОМИЯ

Влияние пролонгированной стрессозащиты на устойчивость производственного процесса зерновых культур

90

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
КОРМОВ, КОРМОВЫХ ДОБАВОК, ВЕТЕРИНАРИИ И ОБОРУДОВАНИЯ

КормВет Экспо Грэйн 2025

29–31 ОКТЯБРЯ, МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»

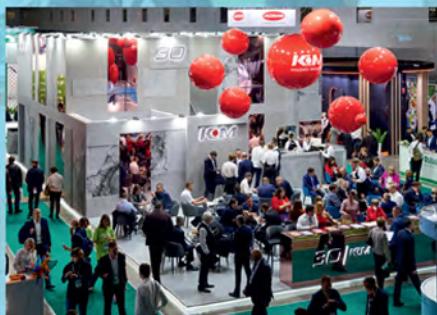
СВИНОВОДСТВО | ПТИЦЕВОДСТВО | ЖИВОТНОВОДСТВО | АКВАКУЛЬТУРА

ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ



- КОРМА, КОМБИКОРМА, КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ
- ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ, ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА И МАСЛИЧНЫХ
- ТЕХНОЛОГИИ ПОЛЕВОГО КОРМОПРОИЗВОДСТВА
- СИСТЕМЫ КОРМЛЕНИЯ И СОДЕРЖАНИЯ
- ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОРМОВ

- ВЕТЕРИНАРНЫЕ ПРЕПАРАТЫ
- ВАКЦИНЫ, СЫВОРОТКИ
- ИММУНОГЛОБУЛИНЫ
- ВИТАМИННО-МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
- ВЕТЕРИНАРНЫЙ И ЗООТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ
- СРЕДСТВА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ



НАС ВЫБИРАЮТ ПРОФЕССИОНАЛЫ!



16+



FEEDVET-EXPO.RU

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

КОНТАКТЫ

ОТДЕЛ ПРОДАЖ В Г. ВОРОНЕЖЕ

Тел.: +7 (473) 206-67-48
E-mail: opvmsd@efko.ru

ОТДЕЛ ПРОДАЖ В Г. АЛЕКСЕЕВКЕ

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

Тольяттинский комбинат пищевых продуктов –
партнёр ГК «ЭФКО» по переработке семян
подсолнечника.

СДЕЛАЕМ КОРМА ЭФФЕКТИВНЕЕ



ШРОТ

соевый, рапсовый, подсолнечный

ЗАЩИЩЁННЫЙ ПРОТЕИН

соевый, подсолнечный

СОЕВАЯ ОБОЛОЧКА

МАСЛО

соевое, рапсовое, подсолнечное

ЗАЩИЩЁННЫЙ ЖИР

Кормовая добавка:
Жир модифицированный ULTRA FEED F

Кормовой концентрат:
Защищённый жир EXTRA FEED F

Кальциевые соли жирных кислот
CALCI FEED MAX (для КРС)

09 · 2025

Agrarnaya nauka

Том 398, номер 09, 2025
Volume 398, number 09, 2025
ISSN 0869-8155 (print)
ISSN 2686-701X (online)

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 Б. В., кандидат ветеринарных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиении и экологии — филиал ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН», г. Москва, Россия.

Заместитель главного редактора:

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.

Редакционная коллегия

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Аббас Р. З., PhD, доцент, Сельскохозяйственный университет Фейсалабад, г. Фейсалабад, Пакистан.

Ансори А. Н. М., PhD, Университет Эйрланга, г. Сурабая, Индонезия.

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

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

Зайд Й., доктор ветеринарных наук, Университет ветеринарии и фармацевтики в Брно, г. Брно, Чехия.

Кощаев А. Г., доктор биологических наук, профессор, академик РАН, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар, 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, г. Москва, Россия.

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

Уша Б. В., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Российский биотехнологический университет, 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.

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.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Абдурасулов А. Х., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан.

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

Акназаров Б. К., доктор ветеринарных наук, профессор, Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина, г. Бишкек, Кыргызстан.

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

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

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

Булашев А. К., доктор ветеринарных наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет им. Сакена Сейфуллина, г. Астана, Казахстан.

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.

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

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

Колесник Е. А., доктор биологических наук, доцент, Государственный университет просвещения, г. Москва, Россия

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.

Кривоногова А. С., доктор биологических наук, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН (Уральский научно-исследовательский ветеринарный институт), г. Екатеринбург, Россия.

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

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

Лунева А. В., доктор биологических наук, доцент, Российской государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, 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.

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

09 · 2025

Agrarnaya nauka

Том 398, номер 09, 2025

Volume 398, number 09, 2025

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

Лысенко Ю.А., доктор биологических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Миколайчик И.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, 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, Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, Московская обл., Россия.

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 Беларусь по животноводству, г. Жодино, Беларусь.

Рустамова С.И., PhD, Ветеринарный научно-исследовательский институт при Минсельхозе Республики Азербайджан, г. Баку, Азербайджан.

Семенов В.Г., доктор биологических наук, профессор, Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары, Россия.

Сотникова Л.Ф., доктор ветеринарных наук, профессор, Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия.

Степанова М.И., доктор биологических наук, профессор, Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия.

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

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

АГРОНОМИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Годсвилл Н.Н., PhD, Университет Яунде I, г. Яунде, Камерун.

Джураев М.Я., PhD, доцент, Андиканский институт сельского хозяйства и агротехнологий, г. Андикан, Узбекистан.

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

Тиравенгандам М., PhD, Университет Конкук, г. Сеул, Южная Корея.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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.

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 агробиологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, г. Волгоград, Россия.

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

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Афрасъяб Х., доктор гидромеханики и гидромеханики, Университет Кебангсаан Малайзия, Банги, Малайзия.

Дарвиш А.М.Г., PhD, Город научных исследований и технологических приложений, г. Александрия, Египет.

де Соуза К.К., PhD, Региональный университет Блюменау, г. Блюменау, Бразилия.

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

Зенгин Г., PhD, профессор, Сельчукский университет, г. Сельчуклу-Конья, Турция.

Кузнецова О.А., доктор технических наук, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, г. Москва, Россия.

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

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

Сложекина М.И., доктор биологических наук, профессор, член-корр. РАН, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, г. Волгоград, Россия.

Смауси С., PhD, Университет Сфакса, г. Сфакс, Тунис.

Фавзи М.М., PhD, профессор, Маврикийский университет, г. Редуит, Маврикий.

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

Хан М.У., PhD, Сельскохозяйственный университет Фейсалабад, г. Фейсалабад, Пакистан.

Шехата М.Г.М., PhD, Город научных исследований и технологических приложений, г. Каир, Египет.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

Бриюханов А.Ю., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Институт агроинженерных и экологических проблем — филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Санкт-Петербург, Россия.

Есимбеков Ж.С., PhD, Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности, г. Алматы, Казахстан.

Зинина О.В., доктор технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

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.

Калинина И.В., доктор технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

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 рыбозохозяйственный университет, г. Владивосток, Россия.

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

Резниченко И.Ю., доктор технических наук, профессор, Кузбасский государственный аграрный университет им. В.Н. Полецкова, г. Кемерово, Россия.

Семёнова А.А., доктор технических наук, профессор, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Россия.

Сибирев А.В., доктор технических наук, профессор, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия.

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.

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.

Эль-Сохами С.А., PhD, профессор, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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 Национальной академии наук, г. Минск, Беларусь.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Бутко Г.П., доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия.

Головина С.Г., доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Россия.

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

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

Пенькова И.В., доктор экономических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия.

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

Рамазанов И.А., доктор экономических наук, доцент, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, г. Москва, Россия.

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

09 · 2025

Agrarnaya nauka

Tom 398, номер 09, 2025
Volume 398, number 09, 2025
ISSN 0869-8155 (print)
ISSN 2686-701X (online)

© journal «Agrarian science»
© authors

Copyright © 2024 This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially, provided the original work is properly cited and states its license.

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.
Editor-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](http://vetpress.ru)

<https://agrarnyanauka.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://agrarnyanauka.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](http://elibrary.ru)

The circulation of 2000 copies.

Signed in print 11.09.2025

Release date 18.09.2025

The journal is printed in the printing house of LLC «Poly Print Service», 127015, Moscow, Butyrskaya Street, 86

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 Scientific Centre VIEV, Moscow, Russia.

Deputy Editor-in-Chief

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

THE EDITORIAL BOARD

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

Abbas R.Z., PhD, Associate Professor, University of Agriculture, Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Ansori A.N.M., PhD, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia.

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.

Javanmard M., Doctor of Veterinary Medicine, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran.

Koshchaev A.G., Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.

Omabaev A.M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, 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, 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.

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

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.

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.

Yuldashevbaev Yu.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Abdurusulov A.Kh., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Osh State University, Osh, Kyrgyzstan.

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

Aknazarov B.K., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin, Bishkek, Kyrgyzstan.

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.

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.

Bulashev A.K., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan.

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

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, Russia.

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

Kolesnik E.A., Doctor of Biological Sciences, Federal State University of Education, Moscow, Russia.

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.

Krivonogova A.S., Doctor of Biological Sciences, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ural Veterinary Research Institute), Yekaterinburg, Russia.

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

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

Luneva A.V., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.

Lysenko Yu.A., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, 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, Russia.

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

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

09 · 2025

Agrarnaya nauka

Tom 398, номер 09, 2025

Volume 398, number 09, 2025

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

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.
Rustamova S.I., PhD, Veterinary Research Institute under the Ministry of Agriculture of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan.
Semenov V.G., Doctor of Biological Sciences, Professor, Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia.
Shcherbakov P.N., Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia.
Sotnikova L.F., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia.
Stepanova M.I., Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia.
Topuria L.Yu., Doctor of Biological Sciences, Professor, Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia.

AGRONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

Godswill N.N., PhD, University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon.
Juraev M.Ya., PhD, Associate Professor, Andijan Institute of Agriculture and Agrotechnologies, Andijan, Uzbekistan.
Nasiev B.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Zangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan.
Thiruvengadam M., PhD, Konkuk University, Seoul, South Korea.

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Bunin M.S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Central Scientific Agricultural Library, Moscow, Russia.
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.
Grichanov I.Ya., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, All-Russian Research Institute of Plant Protection, Pushkin, Russia.
Islamgulov D.R., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.
Jalilov F.S., Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, 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.
Kazakhmedov R.E., Doctor of Biological Sciences, North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking, Derbent, Russia.
Nikitin S.N., Doctor of Agricultural Sciences, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemitsev, Ulyanovsk, Russia.
Zeynalov A.S., Doctor of Biological Sciences, Federal Scientific Selection and Technological Center for Horticulture and Nursery, Moscow, Russia.

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

Afrasyab Kh., Doctor of Fluid Mechanics and Fluid engineering Machinery, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia.
Darwish A.M.G., PhD, City of Scientific Research and Technological Applications, Alexandria, Egypt.
de Souza K.C., PhD, Blumenau Regional University, Blumenau, Brazil.
Didmanidze O.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.
Fawzi M.M., PhD, Professor, University of Mauritius, Reduit, Mauritius.
Khan M.U., PhD, Faisalabad Agricultural University, Faisalabad, Pakistan.
Kuznetsova O.A., Doctor of Technical Sciences, V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
Mironescu M., Doctor in Industrial Engineering, Professor Eng., University Lucian Blaga of Sibiu, Sibiu, Romania.
Sarkar T., PhD, Malda Polytechnic Institute, Malda, India.
Shehata M.G.M., PhD, City of Scientific Research and Technological Applications, Cairo, Egypt.
Slozhenkina M.I., Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Volga Region Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia.
Smaoui S., PhD, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
Zengin G., PhD, Professor, Selcuk University, Seljuk-Konya, Turkey.

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Babich O.O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.
Briukhanov A.Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agroengineering and Environmental Problems (branch), Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russia.
Chernopolskaya N.L., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolygin, Omsk, Russia.
El-Sohaimy S.A., PhD, Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.
Ishevsky A.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research University ITMO, St. Petersburg, Russia.
Ivanov Yu.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.
Kalinina I.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.
Khatko Z.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Maikop State Technological University, Maikop, Russia.
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.
Reznichenko I.Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletkov, Kemerovo, Russia.
Semyonova A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
Sibirev A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal Scientific Agroengineering Center of VIM, Moscow, Russia.
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, Russia.
Yessimbekov Zh.S., PhD, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan.
Zinina O.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

Bautin V.M., Doctor of Economics, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Timiryazev State Agrarian University, 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.

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Butko G.P., Doctor of Economics, Professor, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia.
Golovina S.G., Doctor of Economics, Professor, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia.
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.
Penkova I.V., Doctor of Economics, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia.
Popova E.V., Doctor of Economics, Professor, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.
Rakhmetova R.U., Doctor of Economics, Professor, University of Turan, Astana, Kazakhstan.
Ramazanov I.A., Doctor of Economics, Associate Professor, Russian Presidentialidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕТЕРИНАРИЯ

Шипилов В.Г., Вильмис Д.А. Клинико-офтальмологическая характеристика регенерации роговицы при хирургическом лечении с помощью амниотической мембрани у собак.....	8
Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Зайцев В.В., Девяткин А.А., Павлова К.А. Исследование обмена неэстерифицированных жирных кислот и кетоновых тел на фоне острой гипоксии разного генеза и нагрузке антигипоксантами.....	15
Востроилова Г.А., Шабанов Д.И., Хохлова Н.А., Корчагина А.А., Некрасов А.В., Сыромятников М.Ю., Стрельников Н.А. Исследование влияния липофильных криофракций селезенки и плаценты крупного рогатого скота на мышей в условиях генотоксического действия митомицина	22
Гнездилова Л.А., Мурадян Ж.Ю., Круглова Ю.С., Розинский С.М. Изучение действия бетулиносодержащей кормовой добавки на лизоцимную и бактерицидную активность сыворотки крови телят и коров дойного стада	30

ЗООТЕХНИЯ

Иолчиев Б.С., Ушакова С.Н., Приданова И.Е., Луконина О.Н., Машталер Д.В., Мороз Т.А., Сейдахметов Б.С., Комбарова Н.А. Взаимосвязь индекса фрагментации ядерной ДНК сперматозоидов с гормональным статусом у быков-производителей	38
Гриценко С.А., Белооков А.А., Ермолов С.М., Ребезов М.Б., Гриценко М.Д. Показатели экстерьера свинок материнской породы на различных этапах онтогенеза.....	45
Самусенко Л.Д., Мамаев А.В., Химичева С.Н., Родина Н.Д., Сергеева Е.Ю. Модель биоэнергетической оценки и прогнозирования шерстной продуктивности в овцеводстве.....	54
Кошкина О.А., Денискова Т.Е., Абдельманова А.С., Чурбакова Н.А., Соловьев А.Д., Доцев А.В., Зиновьева Н.А. Идентификация полиморфных SNP в генах <i>IGF2BP2</i> и <i>BMPR1B</i> у оренбургской и карачаевской пород коз	62
Суров А.И., Степаненко В.А., Галанова Е.С., Синякина Е.В., Карлова Е.Д. Перспективные гены-кандидаты ассоциированные с продуктивностью молочных коз	69

АГРОНОМИЯ

Кривошеев Г.Я., Игнатьев А.С., Шевченко Н.А., Газе В.Л., Лобунская И.А. Оценка засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы методом остаточного водного дефицита	82
Ступин А.С., Левин В.И., Антипкина Л.А. Влияние пролонгированной стрессозащиты на устойчивость производственного процесса зерновых культур.....	90
Базанов Т.А., Ущаповский И.В., Логинова Н.Н., Минина Е.В., Вересова П.Д. Использование гексануклеотидных SSR-маркеров для молекулярно-генетической паспортизации конопли посевной	99
Харченко В.Е., Жуковская В.В., Черская Н.А., Мельник Н.А., Жуковский К.С. Особенности распространения <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. в период засухи.....	106
Шишина А.С., Марунова Л.К., Казарина А.В. Изучение влияния физиологически активных веществ на кормовую и семенную продуктивность донника белого однолетнего (<i>Melilotus albus Medic.</i>)	115
Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н.З., Кириллова Е.С., Саубанова Г.Р., Гайфуллина Г.Р., Хусаинова И.И., Тазутдинова М.Р. Качество сортов яровой мягкой пшеницы для изготовления хлеба из цельнозерновой муки	125
Шахмирзоев Р.А. Продуктивность интродуцированного сорта яблони Цивт 11 на слаборослых подвоях.....	134

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Просвирников Д.Б., Тунцев Д.В., Валеева Р.Т., Имагилова Л.М., Броднева А.В., Одилова Р.М. Ферментативный гидролиз сельскохозяйственных растительных материалов с последующим культивированием кормовых дрожжей <i>Candida tropicalis</i> и <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	141
Блинов А.В., Рехман З.А., Самоволов А.В., Голик А.Б., Авансиян С.С., Ребезов М.Б. Исследование антиоксидантной активности кисломолочных продуктов, обогащенных селенсодержащей наноразмерной системой	151
Кондратьев Н.Б., Осипов М.В., Казанцев Е.В., Баженова А.Е. Использование загустителей для уменьшения скорости миграции влаги при хранении конфет со сбивными корпусами	158

CONTENTS

VETERINARY MEDICINE

Shipilov V.G., Vilnis D.A. Clinical and ophthalmological characteristics of corneal regeneration during surgical treatment using the amniotic membrane in dogs	8
Kanaeva E.S., Pavlova O.N., Gulenko O.N., Zaitsev V.V., Devyatkin A.A., Pavlova K.A. Study of the metabolism of unesterified fatty acids and ketone bodies against the background of acute hypoxia of different genesis and loading with antihypoxants.....	15
Vostroilova G.A., Shabanov D.I., Khokhlova N.A., Korchagina A.A., Nekrasov A.V., Syromyatnikov M.Yu., Strelnikov N.A. Study of the effect of lipophilic cryofractions of spleen and placenta of cattle on mice under conditions of genotoxic action of mitomycin	22
Gnezdinova L.A., Muradyan Zh.Yu., Kruglova Yu.S., Rozinsky S.M. Study of the effect of betulin-containing feed additive on lysozyme and bactericidal activity of blood serum of dairy calves and cows	30

ZOOTECHNICS

Iolchiev B.S., Ushakova S.N., Pridanova I.E., Lukonina O.N., Mashtaler D.V., Moroz T.A., Seidakhmetov B.S., Kombarova N.A. Relationship between sperm nuclear DNA fragmentation index and hormonal status in breeding bulls	38
Gritsenko S.A., Belookov A.A., Ermolov S.M., Rebezov M.B., Gritsenko M.D. Exterior indicators of maternal breed pigs at different stages of ontogenesis.....	45
Samusenko L.D., Mamaev A.V., Khimicheva S.N., Rodina N.D., Sergeeva E.Yu. Model of bioenergetic assessment and forecasting of wool productivity in sheep breeding	54
Koshkina O.A., Deniskova T.E., Abdelmanova A.S., Churbakova N.A., Solovyova A.D., Dotsev A.V., Zinovieva N.A. Identification of polymorphic SNPs in <i>IGF2BP2</i> and <i>BMPR1B</i> genes in Orenburg and Karachaev breeds of goats	62
Surov A.I. Stepanenko V.A., Galanova E.S., Sinyakina E.V., Karpova E.D. Promising candidate genes associated with dairy goat productivity	69

AGRONOMY

Krivosheev G.Ya., Ignatiev A.S., Shevchenko N.A., Gaze V.L., Lobunskaya I.A. Estimation of drought resistance of self-pollinated maize lines by the residual water deficit method	82
Stupin A.S., Levin V.I., Antipkina L.A. The effect of prolonged stress protection on the stability of the production process of grain crops	90
Bazanov T.A., Ushapovsky I.V., Loginova N.N., Minina E.V., Veresova P.D. The use of hexanucleotide SSR-markers for molecular genetic certification of <i>Cannabis sativa</i> L.	99
Kharchenko V.E., Zhukovskaya V.V., Cherskaya N.A., Melnik N.A., Zhukovsky K.S. Features of the distribution of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. during the drought period	106
Shishina A.S., Marunova L.K., Kazarina A.V. Studies of the effect of physiologically active substances on the feed and seed productivity of annual white sweet clover (<i>Melilotus albus Medic.</i>).....	115
Askhadullin Danil F., Askhadullin Damir F., Vasilova N.Z., Kirillova E.S., Saubanova G.R., Gaifullina G.R., Khusainova I.I., Tazutdinova M.R. The quality of spring common wheat varieties for making bread from whole grain flour	125
Shakhmirzoev R.A. Productivity of the introduced apple variety Tsivt 11 on dwarf rootstocks	134

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Prosvirnikov D.B., Tuntsev D.V., Valeeva R.T., Ismagilova L.M., Brodneva A.V., Odilova R.M. Enzymatic hydrolysis of plant agricultural raw materials with subsequent cultivation of fodder yeast <i>Candida tropicalis</i> and <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	141
Blinov A.V., Rekhman Z.A., Samovolov A.V., Golik A.B., Avanesyan S.S., Rebezov M.B. Study of antioxidant activity of fermented milk products enriched with selenium-containing nanosized system	151
Kondratiev N.B., Osipov M.V., Kazantsev E.V., Bazhenova A.E. Use of thickeners to reduce the rate of moisture migration during storage of candies with whipped bodies	158

УДК: 619:617.713-089.843:636.7

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-8-14

В.Г. Шипилов¹✉

Д.А. Вильмис^{1,2}

¹Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

²Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

✉ miravet.vet@yandex.ru

Поступила в редакцию: 03.07.2025

Одобрена после рецензирования: 11.08.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

© Шипилов В.Г., Вильмис Д.А.

Клинико-офтальмологическая характеристика регенерации роговицы при хирургическом лечении с помощью амниотической мембраны у собак

РЕЗЮМЕ

На сегодняшний день реконструктивно-восстановительные операции остаются основным методом выбора, который позволяет эффективно восполнить разрушенный участок стромы, возникший в результате глубоких язв роговицы. Несмотря на представленное разнообразие как синтетических, так и биологических материалов, используемых для регенерации патологического участка, дальнейшее изучение и поиск доступных биосовместимых материалов, способных обеспечить достаточную прозрачность в постоперационном периоде, остается актуальной задачей. В работе представлены результаты использования амниотической мембраны в качестве биоматериала для протезирования глубоких язв роговицы и десцеметоцеле у собак. Исследование выполнено на кафедре болезней мелких домашних, лабораторных и экзотических животных ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» и ветеринарной клиники «Инновет». Представлены результаты исследования 26 собак с язвенным кератитом, поступивших на прием за 9-месячный период; описаны результаты исследования по изучению возрастной, половой и породной предрасположенности к развитию язв роговицы. В 11,54% случаев для обеспечения адекватной регенерации язвенного дефекта проводили хирургическое лечение с использованием амниотической мембраны в качестве биотрансплантата. В результате лечения глубоких стромальных язв роговицы удалось достичь регенерации с формированием лейкомы различной степени прозрачности, сохранения зрения и хорошего косметического эффекта во всех описанных случаях. Полученные результаты гистологического исследования подтверждают эффективную интеграцию амниотической мембраны и перспективность ее использования при реконструктивно-восстановительных операциях по поводу глубоких язвенных дефектов.

Ключевые слова: язва роговицы, амнион, амниотическая мембрана, биоматериал, реконструктивно-восстановительные операции, кератопластика, собака

Для цитирования: Шипилов В.Г., Вильмис Д.А. Клинико-офтальмологическая характеристика регенерации роговицы при хирургическом лечении с помощью амниотической мембраны у собак. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 8–14.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-8-14>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-8-14

Вадим Г. Шипилов¹✉

Дарья А. Вильмис^{1,2}

¹Russian Biotechnological University (ROSBIOOTECH), Moscow, Russia

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

✉ miravet.vet@yandex.ru

Received by the editorial office: 03.07.2025

Accepted in revised: 11.08.2025

Accepted for publication: 26.08.2025

© Shipilov V.G., Vilmis D.A.

Clinical and ophthalmological characteristics of corneal regeneration during surgical treatment using the amniotic membrane in dogs

ABSTRACT

At the present time, reconstructive surgeries are the primary treatment approach, which allow to effectively restore the destroyed area of the stroma, which resulted from deep corneal ulcers. Despite the presented variety of synthetic and biological materials used for the regeneration of the pathological area, further study and search for available, biocompatible materials capable of providing sufficient transparency in the postoperative period remains an urgent task. The article presents the results of using amniotic membrane as a biomaterial for prosthetics of deep corneal ulcers and descemetocoele in dogs. The study was carried out at the Department of Diseases of Small Domestic, Laboratory and Exotic Animals of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "ROSBIOOTEKH" and the INNOVET Veterinary Clinic. The article presents the results of a study of 26 dogs with ulcerative keratitis, admitted for an appointment over a 9-month period, and describes the results of a study of age, sex and breed predisposition to the development of corneal ulcers. In 11.54% of cases, surgical treatment was performed using amniotic membrane as a biotransplant to ensure successful regeneration of the ulcer defect. As a result of treating deep stromal corneal ulcers, it was possible to achieve regeneration with the formation of leukoma of varying degrees of transparency, preservation of vision and a good cosmetic effect in all described cases. The obtained results of the histological study confirm the effective integration of the amniotic membrane and the prospects of its use in reconstructive and restorative operations for deep ulcer defects.

Key words: corneal ulcer, amnion, amniotic membrane, biomaterial, reconstructive surgeries, keratoplasty, dog

For citation: Shipilov V.G., Vilmis D.A. Clinical and ophthalmological characteristics of corneal regeneration during surgical treatment using the amniotic membrane in dogs. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 8–14 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-8-14>

Введение/Introduction

Язва роговицы — локальный дефект поверхности роговицы, который сопровождается процессом воспаления подлежащей стромы, способен осложняться проникновением и развитием бактериального компонента, вирусного и грибкового агентов [1—3]. Одним из опасных осложнений, приводящих к необходимости энуклеации глаза, является перфорация роговицы [4, 5].

На сегодняшний день возможности медикаментозного лечения глубоких язвенных поражений роговицы не позволяют добиться полноценной регенерации язвенного дефекта, в результате чего хирургические методы лечения остаются основными методами выбора.

Несмотря на активную работу в области повышения эффективности результатов реконструктивно-восстановительных операций на роговице и множество предложенных способов хирургического лечения при язвенных процессах, возможности хирургических методов могут быть ограничены в силу ряда причин. Среди них сложность получения материала для замещения роговицы от донора и процессы избыточного рубцевания в зоне язвенного дефекта после проведения операции [6, 7].

В последнее время в медицинской и ветеринарной практике отмечается рост интереса к использованию амниона как биоматериала для замещения язвенных дефектов роговицы у различных видов животных в связи с научным обоснованием ряда положительных свойств данного биоматериала [8—11]. Амниотическая мембрана, окружая эмбрион, ограничивает амниотическую полость и является оболочкой, расположенной на внутренней стороне плаценты. После появления публикаций, описывающих полезные свойства амниотической мембранны (в частности, невысокие показатели иммуногенности, стойкие эпителиально-стромальные контакты, способность профилактировать процессы апоптоза поверхностного эпителия роговицы, барьерную функцию, снижающую проникновение лимфоцитов, а также свойства тормозить иммунологический конфликт тканей в месте язвенного дефекта [12, 13] и, что является наиболее важным, сохранять высокий уровень прозрачности роговичной ткани в месте проведения протезирования), стал отмечаться интерес к возможности ее применения в качестве биоматериала [14—17].

Несмотря на имеющиеся исследования о возможности применения амниотической мембранны в медицинской практике, отмечается недостаточное количество данных в ветеринарной отечественной литературе.

В связи с этим целью исследования являлось изучение возможности использования и снижения образования выраженных рубцовых изменений в области проведения

реконструктивно-восстановительных операций по поводу глубоких язв роговицы с помощью амниотической мембранны.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В исследовании принимали участие собаки различных пород в количестве 26 особей, все животные были представлены с целью проведения профильного офтальмологического осмотра при помощи специальных инструментальных методов. Работа выполнена на основании анализа историй болезни животных, обследованных в условиях клиники кафедры болезней мелких домашних, лабораторных и экзотических животных ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», а также частной клиники «Инновет» г. Москвы за 9-месячный период в 2024–2025 гг.

Проанализированы данные о возрасте, породной и половой принадлежности животных, этиологии язвенных дефектов, а также результаты офтальмологического осмотра — клинические проявления, характер течения и осложнения язвенных кератитов исследуемой группы животных.

Для проведения офтальмологического и клинического осмотра использовали щелевую лампу Shin Nippon (SHIN-NIPPON, Япония) и флюоресцеиновую инстилляционную пробу (флюоресцеиновый тест¹), позволяющую определить наличие, локализацию и размер язвенного дефекта вследствие окрашивания диагностическим красителем флюоресцеином натрия стромы роговицы.

В ходе проведения протезирования глубоких язв роговицы амниотической мембраной применяли хирургический микроскоп с системой X-Y (Carl Zeiss, Германия), микрохирургические офтальмологические инструменты. Транспланта получали с помощью трепана по размеру, соответствующему язвенному дефекту, амниотическую мембрану фиксировали эпителиальной стороной вверх прерывистыми швами при помощи шовного материала на основе полигликолида USP 8/0 после механической обработки язвенного дефекта.

До и после хирургического этапа пациенты получали терапию в виде инстилляции глазных капель с содержанием офлоксацина («Флоксал», Dr. Gerhard Mann, Bausch Health, Германия) и лубриканта («Корнерегель», Dr. Gerhard Mann, Bausch Health, Германия), кратность применения которых рассчитывалась индивидуально в каждом клиническом случае.

Эффективность проведенного хирургического лечения оценивали на основании прозрачности язвенного дефекта роговицы (лейкомы), наличия зрения животного, степени помутнения роговицы на прилегающей к язвенному дефекту,

¹ Kirk N. Gelatt. Veterinary Ophthalmology, 6th Edition. 2021. P: 616-618.

а также наличия васкуляризации и пигмента. При помощи цифровой офтальмологической камеры Optomed Smartscope (Optomed, Финляндия) регистрировали процессы регенерации в зоне язвенных дефектов.

Для оценки интеграции амниотической мембранны в строму роговицы проводили гистологическое исследование энуклеированного глазного яблока собаки посмертно, в результате гибели через 7 месяцев после проведения кератопластики. Полученный материал фиксировали в 10%-м нейтральном забуференном формалине в соотношении 1:10 с одной заменой раствора. Патоморфологическое исследование выполнено в центре ветеринарной патоморфологии «СИТО» (Красногорск, Россия).

Гистологические препараты глазного яблока окрашивали гематоксилином-эозином по протоколам фирмы-производителя и подвергали патоморфологическому исследованию с целью выявления изменений роговицы в месте проведения кератопластики при помощи амниотической мембранны.

Исследования проводили в соответствии с Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза² от 22 сентября 2010 года о защите животных, используемых в научных целях.

Анализ и математическую обработку полученных результатов проводили с помощью программы Microsoft Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Средний возраст исследуемых животных составлял $5,1 \pm 3,3$ лет.

Анализ полового диморфизма позволил установить следующее процентное взаимодействие: язвы роговицы диагностировали у самок в 57,7% случаев (15 собак), у самцов — в 42,3% случаев (11 собак).

В 80,77% случаев собаки были породистыми (21 собака), из них 34,62% собак (9 особей) относились к брахицефалическим породам (мопс, чихуахуа, брабансон, пекинес), что является фактором риска в силу особенностей морфологии черепа и орбиты, усложняет течение патологического процесса и регенерацию язвенного дефекта. В 19,23% случаев собаки не имели четкой породной предрасположенности (5 особей).

Во всех случаях выявляли унилатеральное расположение язвенного дефекта: в 53,85% случаев отмечали повреждение правого глаза (14 собак), в 46,15% случаев — левого (12 собак). Основными клиническими признаками являлись роговичный синдром, проявляющийся фотофобией, слезотечением и блефароспазмом, отмечались также инъекция сосудов глазного яблока, отек роговицы,

наличие видимого дефекта, васкуляризация при длительном течении процесса. В 84,62% случаев диагностировали сопутствующий рефлекторный увеит, проявляющийся миозом, опалесценцией влаги передней камеры глаза и изменениями радужной оболочки. У 21 собаки (80,77%) проводили измерение внутриглазного давления глаза с язвенным дефектом, у 5 собак (19,23%) измерения не проводили ввиду высокого риска перфорации. В 65,38% случаев (17 собак) наблюдали снижение внутриглазного давления пораженного глаза; среднее значение внутриглазного давления глаз с язвенным дефектом и здорового составляло $10,08 \pm 2,11$ мм рт. ст. и $15,38 \pm 2,45$ мм рт. ст. соответственно. В 19,05% случаев (4 собаки) внутриглазное давление оставалось в пределах нормы, клинически значимая разница с показателями здорового глаза отсутствовала.

При проведении исследования в 34,62% случаев (9 собак) была установлена этиология повреждения роговицы. В 11,54% случаев (3 собаки) язвы роговицы были травматические, из них 1 случай (3,85%) — травма кошачьим когтем. Также в ходе обследования животных с язвенными дефектами регистрировали энтропион нижних век (11,54%, 3 собаки), трихиаз (3,85%, 1 собака), дистрихиаз (3,85%, 1 собака), новообразование мейбомиевой железы верхнего века (3,85%, 1 собака).

В результате офтальмологического обследования в 50,0% случаев диагностировали поверхностные язвы роговицы с потерей стромы менее 1/2, в 15,38% случаев глубина язвенного дефекта составляла около 20%, в 11,54% случаев — около 30%, в 23,08% — около 40%. В 38,46% случаев регистрировали глубокие стромальные язвы роговицы с потерей $\frac{1}{2}$ толщины роговицы и более, в 7,69% — десцеметоцеле, в 3,85% случаев наблюдали язву, осложненную перфорацией (табл. 1, рис. 1). У одной собаки (3,85% случаев) язва роговицы была осложнена кератомляцией.

Таблица 1. Характеристика язвенного дефекта роговицы у собак по глубине (n = 26)

Table 1. Characteristics of corneal ulceration in dogs by depth (n = 26)

Глубина язвенного дефекта	Абсолютное значение, гол.	Относительное значение, %
Неглубокая язва роговицы		
потеря до 20% стромы	4	15,38
потеря до 30% стромы	3	11,54
потеря до 40% стромы	6	23,08
Глубокая язва роговицы		
Стромальная язва (потеря 50% стромы и более)	10	38,46
Десцеметоцеле	2	7,69
Язва, осложненная перфорацией	1	3,85

² Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes Text with EEA relevance.
<http://data.europa.eu/eli/dir/2010/63/oj>

Рис. 1. Макрокартина глаза собаки породы пудель, кобель, 4 года: десцеметоцеле (увеличение x2).
Фото В.Г. Шипилова

Fig. 1. Macro picture of the eye of a poodle dog, male, 4 years old: descemetocoele (zoom x2). Photo by Shipilov V.G.



При оценке локализации установили, что в 53,85% случаев (14 собак) язва роговицы располагалась центрально (рис. 2), в 15,38% случаев (4 собаки) — паракентрально (рис. 3), в 11,54% случаев (3 собаки) — в нижнем латеральном квадранте, в 7,69% случаев (2 собаки) — в верхнем квадранте, в 7,69% случаев (2 собаки) — в латеральном квадранте и в 3,85% случаев (1 собака) — в нижнем (рис. 4).

При исследовании диаметр язвенного дефекта в большинстве случаев составлял 4 мм (46,15%, 12 собак), в 34,62% случаев (9 собак) — 5 мм, в 19,23% случаев (5 собак) — 3 мм.

С учетом комплексного подхода при лечении животных с диагнозом «язва роговицы» проведен анализ применения каждого метода, выраженный в процентном соотношении. В 88,46% случаев применяли терапевтическое лечение, в 11,54% случаев лечение проводили при помощи реконструктивно-восстановительных операций с применением амниотической мембранны (рис. 5).

Амниотическая мембрана использовалась в качестве биоматериала при хирургическом лечении десцеметоцеле и глубоких стромальных язвах роговицы с потерей стромы более 50% с целью восполнения дефекта и снижения риска перфорации глазного яблока в качестве механического протектора, способствующего ускорению эпителизации за счет улучшения миграции эпителиальных клеток, а также как трансплантат, не вызывающий иммунную реакцию, предотвращающий апоптоз эпителиальных клеток, обладающий

Рис. 2. Макрокартина глаза собаки породы мопс, самка, 3 года: язва роговицы, центральная локализация (увеличение x2). Фото В.Г. Шипилова

Fig. 2. Macro picture of the eye of a pug dog, female, 3 years old: corneal ulcer, central localization (zoom x2). Photo by Shipilov V.G.

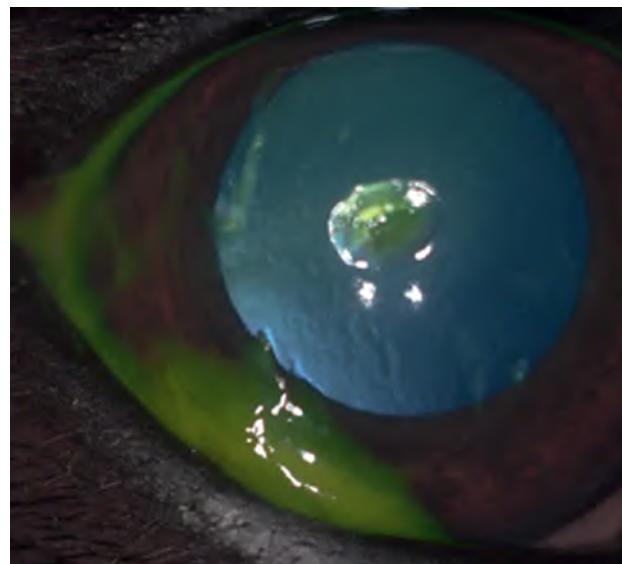


Рис. 3. Макрокартина глаза собаки породы йоркширский терьер, самка, 11 лет: язва роговицы, локализация паракентрально (увеличение x2). Фото В.Г. Шипилова

Fig. 3. Macro picture of the eye of a Yorkshire Terrier dog, female, 11 years old: corneal ulcer, paracentral localization (zoom x2). Photo by Shipilov V.G.



Рис. 4. Характеристика язвенного дефекта роговицы у собак по локализации

Fig. 4. Characteristics of corneal ulcers in dogs by location

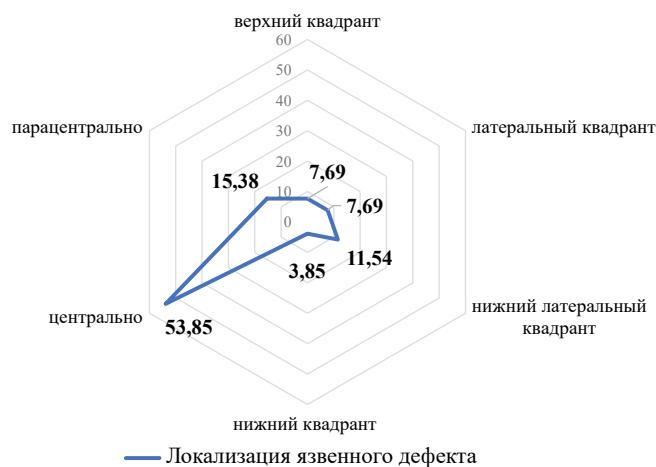


Рис. 5. Макрокартина глазного яблока — протезирование роговицы при помощи амниотической мембранны (увеличение x2). Фото В.Г. Шипилова

Fig. 5. Macro picture of the eyeball — corneal prosthetics using amniotic membrane (zoom x2). Photo by Shipilov V.G.

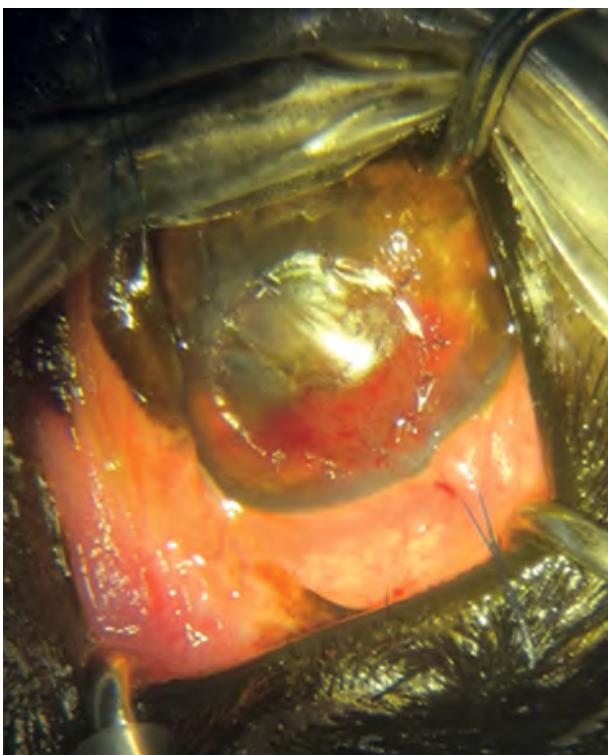
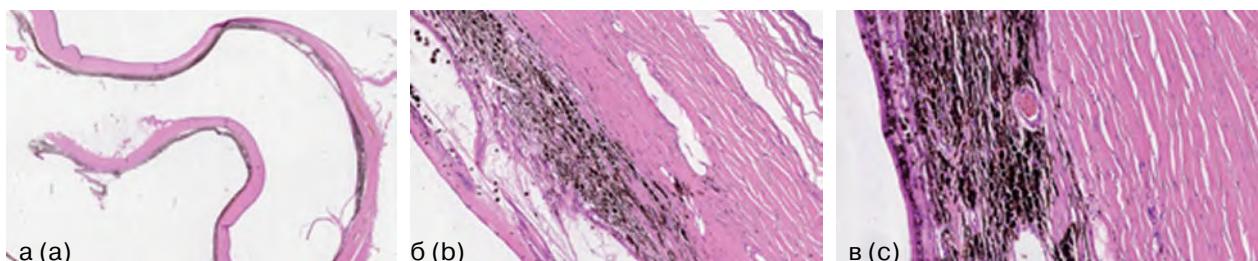


Рис. 7. Роговица собаки через 7 месяцев после кератопластики с использованием амниотической мембранны (окраска гематоксилин-эозином): а) общий вид биоптата (объектив x10, окуляр x2); б) участки дезорганизации роговицы в месте крепления амниотической мембранны (объектив x10, окуляр x10); в) общий вид утолщенного слоя пигментных клеток и васкуляризация роговицы (объектив x10, окуляр x10)

Fig. 7. Cornea of a dog 7 months after keratoplasty using amniotic membrane (hematoxylin and eosin staining): a) general view of the biopsy (objective x10, eyepiece x2); b) areas of corneal disorganization at the site of attachment of the amniotic membrane (objective x10, eyepiece x10); c) general view of the thickened layer of pigment cells and vascularization of the cornea (objective x10, eyepiece x10)



противомикробным, антифиброзным, антиангиогенным и противовоспалительным свойствами.

Также в 15,38% случаев проводилось хирургическое вмешательство, необходимое для устранения этиологического фактора: в 11,54% случаев выполнили блефаропластику нижнего века по Хот-Цельсу в различных модификациях, в 3,85% случаев — клиновидную резекцию новообразования мейбомиевой железы верхнего века.

Результатом хирургического лечения глубоких язв роговицы с использованием амниотической мембранны в качестве биоматериала являлась регенерация с полной эпителилизацией язвенного дефекта роговицы с сохранением слабо выраженного помутнения в зоне проведения хирургии. Во всех случаях отмечалось сохранение зрения у животных и восполнение стромы роговицы в зоне язвенного дефекта. Эпителиализация трансплантата

Рис. 6. Макрокартина глаза собаки через 7 месяцев после кератопластики с использованием амниотической мембранны, метис, самка, 6 лет: лейкома роговицы, очаговая пигментация и васкуляризация в области хирургического вмешательства (увеличение x2). Фото В.Г. Шипилова

Fig. 6. Macro picture of the eye of a dog 7 months after keratoplasty using amniotic membrane, crossbreed, female, 6 years old. Corneal leukoma, focal pigmentation and vascularization in the area of surgical intervention (zoom x2). Photo by Shipilov V.G.



отмечалась к 11–14 суткам, роговичный синдром купировался на 6–8 день.

В одном случае (1 собака) отмечались очаговая пигментация и сохранение неоваскуляризации в области проведения хирургического вмешательства (рис. 6).

При проведении гистологического исследования у данного животного зарегистрировали восстановление толщины роговицы в области дефекта, очаги дезорганизации стромального коллагена в области крепления амниотической мембранны (рис. 7).

При гистологическом исследовании фрагмента роговицы в области проведения кератопластики с использованием амниотической мембранны отмечалось отсутствие выраженной воспалительной реакции, передний эпителий не утолщен, внутренняя поверхность роговицы покрыта слоем

пигментных клеток (до 0,2 мм), присутствует вакуляризация роговицы. Очаги дезорганизации роговицы и отсутствие воспаления свидетельствуют о прикреплении амниотической мембранны в области проведения кератопластики и хорошей интеграции данного материала.

Выводы/Conclusions

Применение амниотической мембранны в качестве биотрансплантата при реконструктивно-восстановительных операциях по поводу глубоких язв роговицы является перспективным методом, позволяющим добиться хорошего косметического эффекта и сохранить зрение у животного. В ходе исследования 26 собак с язвами роговицы в 11,54% случаев проводили хирургическое лечение с применением амниотической мембранны. Во всех случаях использования данного материала удалось добиться полной эпителизации

язвенного дефекта роговицы с сохранением слабо выраженного помутнения в зоне проведения хирургии, в трети случаев отмечались очаговая пигментация и сохранение неоваскуляризации в области проведенной кератопластики, во всех случаях зрение у животных было сохранено.

Амниотическая мембрана выполняет роль механического протектора, обладающего рядом достоинств: угнетение воспаления, ангиогенеза и фиброза в области хирургического вмешательства, предотвращение эпителиального апоптоза и, как следствие, ускорение эпителизации язевного дефекта с восстановлением толщины роговицы.

Возможность длительного хранения и низкая иммуногенность также являются преимуществами данного материала и способствуют его широкому применению при хирургическом лечении глубоких язв роговицы.

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 plagiat. 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. James-Jenks E.M., Pinard C.L., Charlebois P.R., Monteith G. Evaluation of corneal ulcer type, skull conformation, and other risk factors in dogs: A retrospective study of 347 cases. *Canadian Veterinary Journal*. 2023; 64(3): 225–234.
2. Farahani M., Patel R., Dwarakanathan S. Infectious corneal ulcers. *Disease-a-Month*. 2017; 63(2): 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.disamonth.2016.09.003>
3. Lin A. et al. Bacterial Keratitis Preferred Practice Pattern®. *Ophthalmology*. 2019; 126(1): P1–P55. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.10.018>
4. Gilani C.J., Yang A., Yonkers M., Boysen-Osborn M. Differentiating Urgent and Emergent Causes of Acute Red Eye for the Emergency Physician. *Western Journal of Emergency Medicine*. 2017; 18(3): 509–517. <https://doi.org/10.5811/westjem.2016.12.31798>
5. Mandell D.C. Ophthalmic emergencies. *Clinical Techniques in Small Animal Practice*. 2000; 15(2): 94–100. <https://doi.org/10.1053/svms.2000.6804>
6. Ahmed F., House R.J., Feldman B.H. Corneal Abrasions and Corneal Foreign Bodies. *Primary Care: Clinics in Office Practice*. 2015; 42(3): 363–375. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2015.05.004>
7. Sanchez R.F., Ledbetter E.C., Leiva M. Reconstruction of deep and perforating corneal defects in dogs—A review (Part I/III): Autogenous ocular tissues, donor tissues, and corneal clarity scoring. *Veterinary Ophthalmology*. 2025; 28(2): 519–531. <https://doi.org/10.1111/vop.13286>
8. Costa D. et al. A multicenter retrospective study on cryopreserved amniotic membrane transplantation for the treatment of complicated corneal ulcers in the dog. *Veterinary Ophthalmology*. 2019; 22(5): 695–702. <https://doi.org/10.1111/vop.12643>
9. Lengellé C. Surgical Repair of Deep Melting Ulcers With Freeze-Dried Amniotic Membrane Transplantation in Dogs and Cats. *Veterinary Ophthalmology*. 2025. <https://doi.org/10.1111/vop.70023>
10. Maini S., Hurley-Bennett K., Dawson C. Case Series Describing the Use of Low-Temperature Vacuum-Dehydrated Amnion (Omnigen) for the Treatment of Corneal Ulcers in Cats and Dogs: 46 Cases (2016–2017). *Topics in Companion Animal Medicine*. 2020; 41: 100474. <https://doi.org/10.1016/j.tcam.2020.100474>
11. Ledbetter E.C., Sanchez R.F., Repiso M.L. Reconstruction of deep and perforating corneal defects in dogs—A review (Part II/III): Biomaterials and keratoprosthesis. *Veterinary Ophthalmology*. 2025; 28(2): 532–542. <https://doi.org/10.1111/vop.13287>

REFERENCES

1. James-Jenks E.M., Pinard C.L., Charlebois P.R., Monteith G. Evaluation of corneal ulcer type, skull conformation, and other risk factors in dogs: A retrospective study of 347 cases. *Canadian Veterinary Journal*. 2023; 64(3): 225–234.
2. Farahani M., Patel R., Dwarakanathan S. Infectious corneal ulcers. *Disease-a-Month*. 2017; 63(2): 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.disamonth.2016.09.003>
3. Lin A. et al. Bacterial Keratitis Preferred Practice Pattern®. *Ophthalmology*. 2019; 126(1): P1–P55. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.10.018>
4. Gilani C.J., Yang A., Yonkers M., Boysen-Osborn M. Differentiating Urgent and Emergent Causes of Acute Red Eye for the Emergency Physician. *Western Journal of Emergency Medicine*. 2017; 18(3): 509–517. <https://doi.org/10.5811/westjem.2016.12.31798>
5. Mandell D.C. Ophthalmic emergencies. *Clinical Techniques in Small Animal Practice*. 2000; 15(2): 94–100. <https://doi.org/10.1053/svms.2000.6804>
6. Ahmed F., House R.J., Feldman B.H. Corneal Abrasions and Corneal Foreign Bodies. *Primary Care: Clinics in Office Practice*. 2015; 42(3): 363–375. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2015.05.004>
7. Sanchez R.F., Ledbetter E.C., Leiva M. Reconstruction of deep and perforating corneal defects in dogs—A review (Part I/III): Autogenous ocular tissues, donor tissues, and corneal clarity scoring. *Veterinary Ophthalmology*. 2025; 28(2): 519–531. <https://doi.org/10.1111/vop.13286>
8. Costa D. et al. A multicenter retrospective study on cryopreserved amniotic membrane transplantation for the treatment of complicated corneal ulcers in the dog. *Veterinary Ophthalmology*. 2019; 22(5): 695–702. <https://doi.org/10.1111/vop.12643>
9. Lengellé C. Surgical Repair of Deep Melting Ulcers With Freeze-Dried Amniotic Membrane Transplantation in Dogs and Cats. *Veterinary Ophthalmology*. 2025. <https://doi.org/10.1111/vop.70023>
10. Maini S., Hurley-Bennett K., Dawson C. Case Series Describing the Use of Low-Temperature Vacuum-Dehydrated Amnion (Omnigen) for the Treatment of Corneal Ulcers in Cats and Dogs: 46 Cases (2016–2017). *Topics in Companion Animal Medicine*. 2020; 41: 100474. <https://doi.org/10.1016/j.tcam.2020.100474>
11. Ledbetter E.C., Sanchez R.F., Repiso M.L. Reconstruction of deep and perforating corneal defects in dogs—A review (Part II/III): Biomaterials and keratoprosthesis. *Veterinary Ophthalmology*. 2025; 28(2): 532–542. <https://doi.org/10.1111/vop.13287>

12. Бойко Э.В. и др. Результаты раннего использования амниотической мембраны в экспериментальной модели химического ожога роговицы. *Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал)*. 2023; 7(4): 15–24.
<https://doi.org/10.17116/operhirurg2023704115>
13. Куликов А.Н., Чурашов С.В., Карпович В.В., Черныш В.Ф., Козлова Ю.В., Богданов В.А. Сравнительное исследование способов фиксации амниотической мембранны в лечении персистирующей эрозии роговицы. *Офтальмология*. 2025; 22(2): 305–310.
<https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-2-305-310>
14. Батманов Ю.А. Применение свежего амниона в лечении заболеваний роговицы. *Вестник офтальмологии*. 1990; 106(5): 17–19.
15. Krysik K., Dobrowolski D., Wylegala E., Lyssek-Boron A. Amniotic Membrane as a Main Component in Treatments Supporting Healing and Patch Grafts in Corneal Melting and Perforations. *Journal of Ophthalmology*. 2020; 2020: 4238919.
<https://doi.org/10.1155/2020/4238919>
16. Malhotra C., Jain A.K. Human amniotic membrane transplantation: Different modalities of its use in ophthalmology. *World Journal of Transplantation*. 2014; 4(2): 111–121.
<https://doi.org/10.5500/wjt.v4.i2.111>
17. Said D.G. et al. Histologic Features of Transplanted Amniotic Membrane: Implications for Corneal Wound Healing. *Ophthalmology*. 2009; 116(7): 1287–1295.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.01.034>
12. Boyko E.V. et al. Results of the early use of the amniotic membrane in an experimental model of corneal chemical burn. *Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy = Operativnaya khirurgiya i klinicheskaya anatomiya (Пироговский научный журнал)*. 2023; 7(4): 15–24. (In Russian).
<https://doi.org/10.17116/operhirurg2023704115>
13. Kulikov A.N., Churashov S.V., Karpovich V.V., Chernysh V.F., Kozlova Yu.V., Bogdanov V.A. Comparative study of amniotic membrane fixation methods in the treatment of persistent corneal epithelial defects. *Ophthalmology*. 2025; 22(2): 305–310. (In Russian).
<https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-2-305-310>
14. Batmanov Yu.A. Use of fresh amnion in the treatment of corneal diseases. *Russian Annals of ophthalmology*. 1990; 106(5): 17–19 (in Russian)
15. Krysik K., Dobrowolski D., Wylegala E., Lyssek-Boron A. Amniotic Membrane as a Main Component in Treatments Supporting Healing and Patch Grafts in Corneal Melting and Perforations. *Journal of Ophthalmology*. 2020; 2020: 4238919.
<https://doi.org/10.1155/2020/4238919>
16. Malhotra C., Jain A.K. Human amniotic membrane transplantation: Different modalities of its use in ophthalmology. *World Journal of Transplantation*. 2014; 4(2): 111–121.
<https://doi.org/10.5500/wjt.v4.i2.111>
17. Said D.G. et al. Histologic Features of Transplanted Amniotic Membrane: Implications for Corneal Wound Healing. *Ophthalmology*. 2009; 116(7): 1287–1295.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.01.034>

ОБ АВТОРАХ

Вадим Геннадьевич Шипилов¹

ветеринарный врач, соискатель кафедры болезней мелких домашних, лабораторных и экзотических животных
miravet.vet@ya.ru
<https://orcid.org/0009-0008-2893-5955>

Дарья Александровна Вильмис^{1,2}

- кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры болезней мелких домашних, лабораторных и экзотических животных¹;
- интерн кафедры ветеринарной интернатуры²
vilmisda@mgupp.ru
<https://orcid.org/0009-0007-0921-627X>

¹Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия

²Донской государственный технический университет, пл. им. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону, 344003, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Vadim Gennadievich Shipilov¹

veterinarian, postgraduate student of the Department of Diseases of Small Domestic, Laboratory and Exotic Animals
miravet.vet@ya.ru
<https://orcid.org/0009-0008-2893-5955>

Daria Alexandrovna Vilimis^{1,2}

- Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Diseases of Small Domestic, Laboratory and Exotic Animals¹;
- Intern of the Department of Veterinary Internship²
vilmisda@mgupp.ru
<https://orcid.org/0009-0007-0921-627X>

¹Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH)
11 Volokolamskoye Highway, Moscow, 125080, Russia

²Don State Technical University,
1 Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344003, Russia

Подпишитесь на Telegram канал ИД «Аграрная наука»



Еженедельно вы будете получать свежие новости АПК и сельского хозяйства, анонсы отраслевых событий, знакомиться с результатами научных исследований, репортажами и интервью.



Оформите подписку на информационные e-mail рассылки



Дважды в неделю на ваш e-mail ящик будут приходить уведомления о топовых событиях АПК, аналитика, прогнозы, приглашения на выставки и конференции.

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 57.085.23

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-15-21

Е.С. Канаева¹О.Н. Павлова²✉О.Н. Гуленко²В.В. Зайцев¹А.А. Девяткин^{3, 4, 5}К.А. Павлова¹¹Самарский государственный аграрный университет, Самара, Россия²Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Самара, Россия³Самарская областная клиническая офтальмологическая больница им. Т.И. Ерошевского, Самара, Россия⁴Приволжский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия⁵Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, Тамбов, Россия

✉ casiopeya13@mail.ru

Поступила в редакцию: 17.04.2025

Одобрена после рецензирования: 11.08.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

© Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Зайцев В.В., Девяткин А.А., Павлова К.А.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-15-21

Elena S. Kanaeva¹Olga N. Pavlova²✉Olga N. Gulenko²Vladimir V. Zaitsev¹Anatoly A. Devyatkin^{3, 4, 5}Kristina A. Pavlova²¹Samara State Agrarian University, Samara, Russia²Samara State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russia³Samara Regional Clinical Ophthalmologic Hospital named after T.I. Eroshevsky, Samara, Russia⁴Volga Region State University of Railway Transport, Samara, Russia⁵Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia

✉ casiopeya13@mail.ru

Received by the editorial office: 17.04.2025

Accepted in revised: 11.08.2025

Accepted for publication: 26.08.2025

© Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Зайцев В.В., Девяткин А.А., Павлова К.А.

Исследование обмена неэстерифицированных жирных кислот и кетоновых тел на фоне острой гипоксии разного генеза и нагрузке антигипоксантами

РЕЗЮМЕ

Гипоксия — это частая причина гипоэнергетических состояний, при которых усиливается гидролиз липидов, возрастает синтез жирных кислот, что приводит к повышению их концентрации, а также концентрации кетоновых тел, которые являются субстратами окисления в тканях. Множественность патологических изменений в организме при гипоксии требует поиска эффективных антигипоксантов, в качестве которых можно использовать экстракты смородины черной и малины лекарственной. Цель работы — изучить особенности обмена неэстерифицированных жирных кислот и кетоновых тел при нагрузке антигипоксантами на фоне острой гемической, гистотоксической и гипоксической нормобарической гипоксии.

Исследование проведено на белых крысах. В течение 15 суток животные получали внутрижелудочно экстракты смородины черной, малины лекарственной, смесь этих экстрактов в соотношении 1:1 и цитохром С, который вводили внутримышечно. Концентрацию неэстерифицированных жирных кислот (НЭЖК) определяли в сыворотке крови, тканях сердца и головного мозга крыс, а кетоновых тел — в сыворотке крови. Рост концентрации НЭЖК и кетоновых тел во всех изучаемых тканях при острой гипоксии различного генеза является показателем нарушений липидного обмена и срыва механизмов адаптации. Введение антигипоксантов способствовало снижению концентрации НЭЖК и кетоновых тел в тканях крыс, что свидетельствует о наличии у изучаемых препаратов высокого липидопротекторного и антиоксидантного эффекта, и самую высокую эффективность демонстрирует смесь экстрактов малины лекарственной и смородины черной в соотношении 1:1.

Ключевые слова: крысы, неэстерифицированные жирные кислоты, кетоновые тела, гипоксия, антигипоксанты, гемическая гипоксия, гистотоксическая гипоксия, нормобарическая гипоксия

Для цитирования: Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Зайцев В.В., Девяткин А.А., Павлова К.А. Исследование обмена неэстерифицированных жирных кислот и кетоновых тел на фоне острой гипоксии разного генеза и нагрузке антигипоксантами. Аграрная наука. 2025; 398(09): 15–21.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-15-21>

Study of the metabolism of unesterified fatty acids and ketone bodies against the background of acute hypoxia of different genesis and loading with antihypoxants

ABSTRACT

Hypoxia is a frequent cause of hypoenergetic states, in which lipid hydrolysis increases, fatty acid synthesis increases, which leads to an increase in their concentration, as well as the concentration of ketone bodies, which are substrates of oxidation in tissues. The multiplicity of pathological changes in the body under hypoxia requires the search for effective antihypoxants, as which can be used extracts of black currant and medicinal raspberry.

The aim of the work was to study the peculiarities of metabolism of unesterified fatty acids and ketone bodies during antihypoxant loading on the background of acute hemic, histotoxic and hypoxic normobaric hypoxia.

The study was carried out on white rats. During 15 days the animals received intragastrically extracts of black currant, raspberry medicinal, a mixture of these extracts in the ratio 1:1 and cytochrome C, which was administered intramuscularly. The concentration of nonesterified fatty acids (NEFA) was determined in serum, heart and brain tissues of rats, and ketone bodies — in serum. The increase in the concentrations of FAFAs and ketone bodies in all tissues under acute hypoxia of various genesis is an indicator of lipid metabolism disorders and failure of adaptation mechanisms. The introduction of antihypoxants contributed to the decrease in the concentration of fatty acids and ketone bodies in the tissues of rats, which indicates that the studied preparations have a high lipidoprotective and antioxidant effect, and the highest efficiency is demonstrated by a mixture of extracts of medicinal raspberry and black currant in the ratio of 1:1.

Key words: rats, unesterified fatty acids, ketone bodies, hypoxia, antihypoxants, hemic hypoxia, histotoxic hypoxia, normobaric hypoxia

For citation: Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Зайцев В.В., Девяткин А.А., Павлова К.А. Study of the metabolism of unesterified fatty acids and ketone bodies against the background of acute hypoxia of different genesis and loading with antihypoxants. Agrarian science. 2025; 398(09): 15–21 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-15-21>

Введение/Introduction

Изучение метаболических нарушений, вызванных гипоксией, приобретает всё большую актуальность в контексте понимания множества заболеваний, затрагивающих жизненно важные системы организма. Гипоксия, которая может возникать как результат различных патофизиологических процессов, приводит к значительным метаболическим изменениям, прямо влияющим на морфологию и физиологию клеток и тканей. В условиях дефицита кислорода происходит не только сокращение его доставки к тканям, но и нарушается использование уже доставленного кислорода, что вызывает цепную реакцию метаболических сбоев [1–3].

Гипоксия — это частая причина гипоэнергетических состояний, при которой усиливается гидролиз липидов. Одновременно с этим при гипоксических состояниях в организме возрастает синтез жирных кислот, что приводит к повышению их концентрации в организме. При высокой концентрации в крови и тканях свободные недиссоциированные жирные кислоты формируют мицеллярные структуры и дестабилизируют мембранны многих клеток, увеличивая их жидкость и таким образом нарушая их функцию, а также превращаются в кетоновые тела [4, 5]. Таким образом, нарушения липидного обмена в условиях гипоксии становятся путем для формирования множества клеточных и физиологических патологий.

Множественность патофизиологических и патобиохимических изменений в организме при гипоксии требует поиска эффективных фармакологических средств различного типа действия, среди которых могут быть представлены регуляторы гемодинамики, блокаторы кальциевых каналов, препараты центрального действия, стабилизаторы мембран, антиоксиданты, и все они, по сути, являются в той или иной мере антигипоксантами [6].

В настоящее время весьма популярны растительные антигипоксанты, которые благодаря разнообразным механизмам действия и широкому спектру фармакологических эффектов, а также малым побочным эффектам являются средствами метаболической терапии [6]. В связи с этим экстракты черной смородины и малины лекарственной привлекают внимание исследователей благодаря своим потенциальным антигипоксическим свойствам, которые связаны с наличием различных биологически активных соединений. Биофлавоноиды, содержащиеся в этих экстрактах, способны проявлять антигипоксическое действие за счет уменьшения сродства гемоглобина к кислороду, что способствует его эффективной доставке к тканям, что особенно важно в условиях гипоксии.

Биологически активные соединения (БАС) экстрактов смородины черной и малины помогают предупредить разобщение процессов окисления и фосфорилирования в митохондриях, что достигается благодаря их мембранопротекторным свойствам. Повышение эффективности цикла трикарбоновых кислот является еще одним

важным аспектом действия биофлавоноидов этих экстрактов. Они могут способствовать активизации этого энергетического пути, увеличивая общую продукцию АТФ, что помогает клеткам лучше справляться с условиями ограниченного поступления кислорода. БАС экстрактов смородины черной и малины лекарственной могут участвовать в процессе шунтирования зон гипоксической блокады. Это означает, что они могут восстанавливать нормальный энергетический обмен в условиях, когда некоторые части дыхательной цепи нарушены [6, 7].

Таким образом, использование экстрактов черной смородины и малины лекарственной в качестве антигипоксантов представляет собой многообещающее направление в дальнейшем исследовании и разработке средств, способных поддерживать здоровье и жизнедеятельность клеток и тканей в условиях кислородного голодания.

Цель исследования — изучить особенности обмена неэстерифицированных жирных кислот и кетоновых тел при нагрузке антигипоксантами на фоне острой гемической, гистотоксической и гипоксической нормобарической гипоксии.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент выполнен в виварии кафедры биоэкологии и физиологии сельскохозяйственных животных Самарского государственного аграрного университета. На проведение исследования получено заключение Этического комитета при Самарском государственном аграрном университете от 10 октября 2022 года № 293.

Исследование проведено на 480 белых беспородных крысах-самцах (по 30 голов в группе). Нулевая группа — интактные животные. Крысы 1–3-й групп получали экстракт смородины черной (ООО «КоролёвФарм», Россия) в дозе 100 мг/кг массы; животные 4–6-й групп получали в той же дозе экстракт малины лекарственной (ООО «КоролёвФарм», Россия); животные 7–9-й групп получали цитохром С («Самсон-Мед», Россия), который разводили физиологическим раствором и вводили крысам внутримышечно в дозе 0,1 мг/кг живой массы активного вещества; животные 10–12-й групп получали смесь экстрактов смородины черной и малины лекарственной в соотношении 1:1 в дозе 200 мг/кг массы, а 13–15-й групп (контроль) — дистиллированную воду по аналогичной схеме в эквивалентном объеме.

Все экстракты вводили животным внутрижелудочно в течение 2 недель до моделирования гипоксии, а затем воспроизводили гемическую, гистотоксическую и гипоксическую нормобарическую гипоксию стандартными способами [8].

Всех животных содержали в виварии при свободном доступе к воде и пище и естественном световом режиме. Питание осуществляли гранулированным сбалансированным кормом «Дельта Фидс» для лабораторных крыс и мышей С-19.

НЭЖК определяли в сыворотке крови, тканях сердца и головного мозга крыс, а кетоновых тел — в сыворотке крови.

Взятие материалов и выведение крыс из эксперимента методом декапитации производили через 12 часов после моделирования гипоксии с точным соблюдением всех этических норм, применимых к лабораторным животным, ФЗ от 27.12.2018 года № 498¹, требований приказа МЗ РФ от 01.04.2016 № 199н².

После выведения животных из эксперимента извлекали головной мозг и сердце, промывали раствором хлорида калия, а затем готовили гомогенаты³ в автоматическом гомогенизаторе. В качестве среды выделения использовали охлажденный раствор хлорида калия в соотношении 1:3 [9].

Количественное определение неэстерифицированных жирных кислот происходило методом тонкослойной хроматографии. Неэстерифицированные жирные кислоты превращали в медные мыла в реакции с нитратом меди с дальнейшей экстракцией последних в органический растворитель — хлороформ. Введение в хлороформную фазу дифенилкарбогидразина приводило к развитию фиолетового окрашивания. Оптическую плотность определяли при длине волн 550 нм. Концентрацию НЭЖК выражали в сыворотке крови (в ммоль) на 1 л сыворотки, в тканях (в г) на 1 кг влажной ткани.

Концентрацию кетоновых тел определяли по методу В.И. Баева, Е.И. Булаха [10]. Принцип метода основан на том, что в присутствии бихромата калия β -гидроксибутират в кислой среде окисляется до ацетона. Ацетон в щелочной среде с салициловым альдегидом образует дигидрооксибензолацетон, окрашенный в желто-оранжевый цвет. Экстинкцию раствора определяли при 520 нм, а концентрацию кетоновых тел выражали в ммоль/л.

Цифровой материал всех экспериментов подвергали статистической обработке с помощью пакета программ Statistica Application 10.0.1011.0. (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ изменений концентрации КТ и НЭЖК в сыворотке крови (ммоль/л), в тканях головного

мозга и сердца крыс (г/кг влажной ткани), подвергавшихся гипоксии и ее коррекции, представлен в таблице 1.

При исследовании концентрации КТ и НЭЖК в сыворотке крови и тканях головного мозга и сердца крыс, подвергавшихся гипоксии и ее коррекции антигипоксантами, установлены выраженные различия показателей между интактными животными и крысами экспериментальных групп.

В целом на фоне всех трех изучаемых острых гипоксий в сыворотке крови и тканях мозга и сердца крыс установлено разной интенсивности повышение концентрации кетоновых тел в сыворотке крови крыс и концентрации НЭЖК в сыворотке крови и изучаемых тканях. Так, на фоне гемической гипоксии у животных 13-й группы концентрация кетоновых тел в сыворотке крови была больше, чем у интактных крыс, на 58,0%, при этом у крыс, получавших антигипоксанты, она была больше, чем у интактных животных: в 1-й группе — на 26,3%, в 4-й группе — на 38,6%, в 7-й группе — на 31,6%, а в 10-й группе — на 15,8%, но меньше, чем у крыс контрольной группы: в 1-й группе — на 20,0%, в 4-й группе — на 13,3%, в 7-й группе — на 16,7%, а в 10-й группе — на 26,7%.

У животных 13-й группы концентрация НЭЖК в сыворотке крови была больше, чем у интактных

Таблица 1. Изменение концентрации КТ и НЭЖК в сыворотке крови (ммоль/л), в тканях головного мозга и сердца крыс (г/кг влажной ткани), подвергавшихся гипоксии и ее коррекции

Table 1. Changes in the concentration of CT and NEJA in blood serum (mmol/L), in brain and heart tissues (g/kg wet tissue) of rats (g/kg wet tissue), exposed to hypoxia and its correction

Группы животных	Вид острой гипоксии	Концентрация кетоновых тел в сыворотке крови	Концентрация НЭЖК		
			сыворотка крови	головной мозг	сердце
Интактные	—	0,19±0,01	0,78±0,03	0,63±0,02	0,84±0,03
1	Гемическая	0,24±0,01 ^{1,2}	0,96±0,03 ^{1,2}	0,81±0,03 ^{1,2}	1,22±0,04 ^{1,2}
4		0,26±0,01 ^{1,2}	0,99±0,03 ^{1,2}	0,82±0,03 ¹	1,28±0,05 ¹
7		0,25±0,01 ^{1,2}	1,03±0,04 ¹	0,84±0,03 ¹	1,26±0,04 ¹
10		0,22±0,01 ^{1,2}	0,89±0,03 ^{1,2}	0,76±0,02 ^{1,2}	1,15±0,03 ^{1,2}
13		0,30±0,01 ¹	1,09±0,04 ¹	0,89±0,03 ¹	1,38±0,04 ¹
2	Гистотоксическая	0,27±0,01 ^{1,3}	1,01±0,04 ^{1,3}	0,89±0,03 ^{1,3}	1,49±0,05 ^{1,3}
5		0,28±0,02 ^{1,3}	1,05±0,04 ^{1,3}	0,91±0,02 ^{1,3}	1,45±0,04 ^{1,3}
8		0,29±0,01 ^{1,3}	1,09±0,03 ^{1,3}	0,95±0,03 ¹	1,51±0,05 ¹
11		0,25±0,01 ^{1,3}	0,93±0,03 ^{1,3}	0,81±0,03 ^{1,3}	1,34±0,03 ^{1,3}
14	Нормобарическая	0,33±0,02 ¹	1,27±0,04 ¹	1,03±0,04 ¹	1,63±0,06 ¹
3		0,24±0,01 ¹	0,89±0,03 ¹	0,71±0,02 ^{1,4}	1,01±0,04 ^{1,4}
6		0,23±0,01 ^{1,4}	0,91±0,03 ¹	0,75±0,03 ¹	1,03±0,04 ^{1,4}
9		0,22±0,01 ^{1,4}	0,90±0,04 ¹	0,73±0,03 ¹	1,05±0,03 ^{1,4}
12		0,20±0,02 ⁴	0,85±0,03 ^{1,4}	0,69±0,02 ^{1,4}	0,97±0,03 ^{1,4}
15		0,26±0,01 ¹	0,96±0,04 ¹	0,78±0,03 ¹	1,15±0,04 ¹

Примечание: различия достоверны при $p < 0,05$; 1 — по сравнению с показателями интактных крыс; 2 — по сравнению с показателями 13-й группы для 1-й, 4-й, 7-й и 10-й групп; 3 — по сравнению с показателями 14-й группы для 2-й, 5-й, 8-й и 11-й групп; 4 — по сравнению с показателями 15-й группы для 3-й, 6-й, 9-й и 12-й групп.

¹ Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ.

² Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики: приказ Минздрава РФ от 01.04.2016 № 199н: зарегистрировано в Минюсте РФ 15.08.2016 № 43232.

³ Методические рекомендации по экспериментальному изучению препаратов, предлагаемых для клинического исследования в качестве антигипоксических средств / под ред. Л.Д. Лукьяновой. Москва. 1990; 19.

крыс, на 39,7%, при этом у крыс, получавших антигипоксанты, она была выше по сравнению с интактными животными: в 1-й группе — на 23,1%, в 4-й группе — на 26,9%, в 7-й группе — на 32,1%, в 10-й группе — на 14,1%, но ниже, чем у животных контрольной группы: у крыс 1-й группы — на 11,9%, у крыс 4-й группы — на 9,2%, у крыс 7-й группы — на 5,5%, у крыс 10-й группы — на 18,3%.

У животных 13-й группы концентрация НЭЖК в тканях головного мозга была выше, чем у интактных крыс, на 41,3%, при этом у крыс, получавших антигипоксанты, она была выше, чем у интактных животных: в 1-й группе — на 28,6%, в 4-й группе — на 30,2%, в 7-й группе — на 33,3%, в 10-й группе — на 20,6%, но ниже, чем у животных контрольной группы: у крыс 1-й группы — на 9,0%, у крыс 4-й группы — на 7,9%, у крыс 7-й группы — на 5,6%, у крыс 10-й группы — на 14,6%.

У животных 13-й группы концентрация НЭЖК в тканях сердца была выше, чем у интактных крыс, на 64,3%, при этом у крыс, получавших антигипоксанты, она была выше, чем у интактных животных: в 1-й группе — на 45,2%, в 4-й группе — на 52,4%, в 7-й группе — на 50,0%, в 10-й группе — на 36,9%, но ниже, чем у животных контрольной группы: у крыс 1-й группы — на 11,6%, у крыс 4-й группы — на 7,2%, у крыс 7-й группы — на 8,7%, у крыс 10-й группы — на 16,7%.

На фоне тканевой гипоксии у животных 14-й группы концентрация кетоновых тел в сыворотке крови была больше, чем у интактных крыс, на 73,7%, при этом у крыс, получавших антигипоксанты она была больше, чем у интактных животных: во 2-й группе — на 42,1%, в 5-й группе — на 47,4%, в 8-й группе — на 52,6%, в 11-й группе — на 31,6%, но меньше, чем у крыс контрольной группы: во 2-й группе — на 18,2%, в 5-й группе — на 15,2%, в 8-й группе — на 12,1%, в 11-й группе — на 24,2%.

У животных 14-й группы концентрация НЭЖК в сыворотке крови была больше, чем у интактных крыс, на 62,8%, при этом у крыс, получавших антигипоксанты, она была выше по сравнению с интактными животными: во 2-й группе — на 29,5%, в 5-й группе — на 34,6%, в 8-й группе — на 39,7%, в 11-й группе — на 19,2%, но ниже, чем у животных контрольной группы: у крыс 2-й группы — на 20,5%, у крыс 5-й группы — на 17,3%, у крыс 8-й группы — на 14,2%, у крыс 11-й группы — на 26,8%.

У животных 14-й группы концентрация НЭЖК в тканях головного мозга была выше, чем у интактных крыс, на 63,5%, при этом у крыс, получавших антигипоксанты, она была выше, чем у интактных животных: во 2-й группе — на 41,3%, в 5-й группе — на 44,4%, в 8-й группе — на 50,8%, в 11-й группе — на 28,6%, но ниже, чем у животных контрольной группы: у крыс 2-й группы — на 13,6%, у крыс 5-й группы — на 11,7%, у крыс 8-й группы — на 7,8%, у крыс 11-й группы — на 21,4%.

У животных 14-й группы концентрация НЭЖК в тканях сердца была выше, чем у интактных крыс,

на 94,0 %, при этом у крыс, получавших антигипоксанты, она была выше, чем у интактных животных: во 2-й группе — на 77,4%, в 5-й группе — на 72,6%, в 8-й группе — на 79,8%, в 11-й группе — на 59,5%, но ниже, чем у животных контрольной группы: у крыс 2-й группы — на 8,6%, у крыс 5-й группы — на 11,0%, у крыс 8-й группы — на 7,4%, у крыс 11-й группы — на 17,8%.

На фоне нормобарической гипоксии у животных 15-й группы концентрация кетоновых тел в сыворотке крови была больше, чем у интактных крыс, на 36,8%, при этом у крыс, получавших антигипоксанты, она была больше, чем у интактных животных: в 3-й группе — на 26,3%, в 6-й группе — на 21,1%, в 9-й группе — на 15,8%, в 12-й группе — на 5,3 %, но меньше, чем у крыс контрольной группы: в 3-й группе — на 7,7%, в 6-й группе — на 11,5%, в 9-й группе — на 15,4%, в 12-й группе — на 23,1%.

У животных 15-й группы концентрация НЭЖК в сыворотке крови была больше, чем у интактных крыс, на 23,1%, при этом у крыс, получавших антигипоксанты, она была выше по сравнению с интактными животными: в 3-й группе — на 14,1%, в 6-й группе — на 16,7%, в 9-й группе — на 15,4%, в 12-й группе — на 9,0%, но ниже, чем у животных контрольной группы: у крыс 3-й группы — на 7,3%, у крыс 6-й группы — на 5,2%, у крыс 9-й группы — на 6,2%, у крыс 12-й группы — на 11,5%.

У животных 15-й группы концентрация НЭЖК в тканях головного мозга была выше, чем у интактных крыс, на 23,8%, при этом у крыс, получавших антигипоксанты, она была выше, чем у интактных животных: в 3-й группе — на 12,7%, в 6-й группе — на 19,1%, в 9-й группе — на 15,9%, в 12-й группе — на 9,5%, но ниже, чем у животных контрольной группы: у крыс 3-й группы — на 9,0%, у крыс 6-й группы — на 3,8%, у крыс 9-й группы — на 6,4%, у крыс 12-й группы — на 11,5%.

У животных 15-й группы концентрация НЭЖК в тканях сердца была выше, чем у интактных крыс, на 36,9%, при этом у крыс, получавших антигипоксанты, она была выше, чем у интактных животных: в 3-й группе — на 20,2%, в 6-й группе — на 22,6%, в 9-й группе — на 25,0%, в 12-й группе — на 15,5%, но ниже, чем у животных контрольной группы: у крыс 3-й группы — на 12,2%, у крыс 6-й группы — на 10,4%, у крыс 9-й группы — на 8,7%, у крыс 12-й группы — на 15,7%.

В целом на фоне моделирования острой гипоксии различного генеза отмечается достоверное повышение концентрации НЭЖК в сыворотке крови и тканях и изменения в метаболизме веществ, касающиеся как нарушений липидного обмена, так и функций клеточных мембран. Увеличение скорости включения ацетата в синтез жирных кислот, которое происходит на фоне недостатка кислорода, может быть связано с тем, что клетки, пытаясь адаптироваться к кислородному голоданию, переключаются на анаэробные пути метаболизма, что приводит к уменьшению потока ацетата

через цикл трикарбоновых кислот и снижает его участие в энергообразовании.

В результате этого процесса в сыворотке крови и других тканях наблюдается увеличение процентного содержания насыщенных жирных кислот, что негативно сказывается на состоянии клеточных мембран, они становятся менее подвижными и текучими, и это снижает их жидкостные свойства, что влияет на способность клеток к нормальному обмену веществ, поскольку нарушается механизм транспорта субстратов и ионов через мембранны [11].

Поскольку мембранны клеток играют ключевую роль в обеспечении клетки питательными веществами и удалении продуктов обмена, их изменение при гипоксии может привести к затруднению процессов клеточной коммуникации, передачи сигналов и даже к апоптозу.

В целом при гипоксии обменные процессы перестраиваются таким образом, чтобы оптимизировать использование доступного кислорода и энергетических ресурсов, особенно в тех органах, которые продолжают выполнять основные функции. Печень в этом контексте играет ключевую роль, так как ее способность к усвоению жирных кислот возрастает при высоком их содержании в крови, что связано с необходимостью обеспечения организма альтернативными источниками энергии.

Еще одной из характерных особенностей гипоксии является повышение активности фосфолипаз, что связано с действием циклического аденоцимонофосфата (ЦАМФ), который оказывает влияние на множество метаболических процессов в клетках. Увеличение его концентрации приводит к активации фосфолипаз, что усиливает расщепление фосфолипидов, составляющих клеточные мембранны, и, как следствие, в тканях мозга наблюдается накопление НЭЖК, которые оказывают токсическое действие. Это может проявляться в том, что липиды, накопившиеся в клетках, вызывают их набухание, что приводит к нарушению клеточной целостности и функциональности.

Набухание митохондрий, наблюдаемое при этом состоянии, может оказывать ингибирующее воздействие на активность мембраносвязанных ферментов дыхательной цепи. Это создает дополнительные проблемы, так как сниженная активность этих ферментов мешает выработке АТФ — основного энергетического источника для клеток.

Повышение концентрации НЭЖК в условиях острой гипоксии стимулирует синтез кетоновых

тел, которые служат важным энергетическим субстратом для периферических органов.

Результаты настоящего исследования согласуются с работами других авторов [12, 13].

Согласно исследованиям М.З. Исаиловой и соавт., при гипоксии выявлены повышение концентрации НЖК в крови и нарушение клеточных мембран [14].

По данным С.Г. Гичка и соавт., у пациентов с инфарктом миокарда и развитием генерализованной гипоксии установлены повышение концентрации НЭЖК в ткани легкого, в крови, в конденсате выдыхаемого воздуха, снижение количества фосфолипидов и процентной доли полиненасыщенных жирных кислот [15].

В исследованиях О.Р. Грек и соавт. установлено возрастание концентрации НЭЖК в сыворотке крови при острой гипоксии у неадаптированных к ней крыс [16].

Выходы/Conclusions

Возрастание концентрации НЭЖК в среднем на 36,5% и кетоновых тел в среднем на 28,4% во всех изучаемых тканях при острой гипоксии является компенсаторно-приспособительным механизмом, который направлен на снижение избыточной концентрации НЭЖК в сыворотке крови для предотвращения более глубоких метаболических нарушений.

Введение на фоне острой гипоксии антигипоксантов способствовало снижению концентрации НЭЖК в сыворотке крови при гемической гипоксии в среднем на 11,3%, при тканевой гипоксии в среднем на 19,7%, при нормобарической гипоксии в среднем на 7,6% и кетоновых тел в сыворотке крови при гемической гипоксии в среднем на 19,2%, при тканевой гипоксии в среднем на 17,4%, при нормобарической гипоксии в среднем на 14,4% и тканях головного мозга при гемической гипоксии в среднем на 9,3%, при тканевой гипоксии в среднем на 23,6%, при нормобарической гипоксии в среднем на 7,7% и тканях сердца крыс при гемической гипоксии в среднем на 11,0%, при тканевой гипоксии в среднем на 11,2%, при нормобарической гипоксии в среднем на 11,8%, что свидетельствует о наличии у изучаемых препаратов высокого липидопротекторного и антиоксидантного эффекта, и самую высокую эффективность демонстрирует смесь экстрактов малины лекарственной и смородины черной в соотношении 1:1.

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зарубина И.В. Современные представления о патогенезе гипоксии и ее фармакологической коррекции. Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2011; 9(3): 31–48. <https://elibrary.ru/ounjlr>

REFERENCES

1. Zarubina I.V. Modern view on pathogenesis of hypoxia and its pharmacological correction. *Reviews on clinical pharmacology and drug therapy*. 2011; 9(3): 31–48 (in Russian). <https://elibrary.ru/ounjlr>

2. Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Сороковикова Т.В., Девяткин А.А. Некоторые аспекты метаболизма липидов в тканях головного мозга и сердца крыс на фоне острой гемической гипоксии при применении антигипоксантов. *Аграрная наука*. 2025; (3): 36–46.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-36-46>
3. Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Зайцев В.В. Патофизиологические аспекты фосфолипидного обмена у крыс при гистотоксической и нормобарической гипоксии при применении антигипоксантов. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2024; (4): 18–24.
<https://doi.org/10.24412/2074-5036-2024-464-18-24>
4. Ким А.Е., Шустов Е.Б., Зайцева И.П., Лемешченко А.В. Патофизиологические механизмы неблагоприятного взаимодействия гипоксии и температурных факторов в отношении физической работоспособности. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2022; 66(4): 94–106.
<https://doi.org/10.25557/0031-2991.2022.04.94-106>
5. Мамадалиева Н.И., Саатов Т.С., Обидова Д.Д. Механизмы нарушения метаболизма липидов в миокарде в условиях гипоксии. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*. 2020; (4–2): 16–25.
<https://elibrary.ru/eygmde>
6. Канаева Е.С., Павлова О.Н. Влияние сухих экстрактов листьев смородины черной и малины лекарственной на устойчивость животных к гипоксии различного генеза. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2024; (6).
<https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.45>
7. Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н. Исследование корригирующего влияния растительных антигипоксантов на липидный и фосфолипидный обмен у крыс при моделировании гемической гипоксии. *Генетика и разведение животных*. 2024; (4): 22–28.
<https://doi.org/10.31043/2410-2733-2024-4-22-28>
8. Оsipенко А.Н. Влияние нарушений метаболизма жирных кислот, гипоксии артериальной стенки и внутриблужечных кровоизлияний на акумуляцию липидов в сосудах с атеросклерозом. *Acta biomedica scientifica*. 2021; 6(2): 70–80.
<https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.2.8>
9. Покровский А.А., Арчаков А.И., Терасимова А.М., Любимцев О.Н. К вопросу о энзиматическом контроле степени разрушения субклеточных структур в процессе гомогенизации. *Цитология*. 1971; 13(9): 263–269.
10. Баев В.И., Булах Е.И. Определение кетоновых тел в крови и тканях. *Лабораторное дело*. 1974; (9): 545–546.
<https://elibrary.ru/zybaoz>
11. Титов В.Н. Альбумин, транспорт насыщенных жирных кислот и метаболический стресс-синдром (обзор литературы). *Клиническая лабораторная диагностика*. 1999; (4): 3–11.
12. Pai T., Yeh Y.-Y. Stearic acid unlike shorter-chain saturated fatty acids is poorly utilized for triacylglycerol synthesis and β -oxidation in cultured rat hepatocytes. *Lipids*. 1996; 31(2): 159–164.
<https://doi.org/10.1007/BF02522615>
13. Sherratt H.S.A. Introduction: the regulation of fatty acid oxidation in cells. *Biochemical Society Transactions*. 1994; 22(2): 421–422.
<https://doi.org/10.1042/bst0220421>
14. Исаилова М.З., Мамедалиева Н.М., Золотарева Л.Г., Алексеева Н.Р. Содержание жирных кислот в плаценте при осложненной беременности. *Медицина*. 2001; (4): 32–33.
15. Гичка С.Г., Брюзгина Г.С., Мойбенко О.О. Структурні та функціональні зміни легень та стан ліпідного метаболізу при кардіогенному шоці. *Фізіологічний журнал*. 1999; 45(6): 81–87.
<https://elibrary.ru/hfsmxz>
16. Грек О.Р., Долгов А.В., Морозов А.В. Жирнокислотный состав сыворотки крови интактных и адаптированных к гипоксии крыс на фоне действия острой гипоксии. *Вопросы медицинской химии*. 1981; 27(4): 469–471.

ОБ АВТОРАХ

Елена Сергеевна Канаева¹

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоотехники
 kanaeva_es_84@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1286-6165>

Ольга Николаевна Павлова²

доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой физиологии
 casiorepeya13@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8055-1958>

Ольга Николаевна Гуленко²

кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии
 gulenko.ol@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6338-7095>

2. Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Сороковикова Т.В., Девяткин А.А. Some aspects of lipid metabolism in rat brain and heart tissues against the background of acute hemic hypoxia. *Agrarian science*. 2025; (3): 36–46 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-36-46>

3. Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Зайцев В.В. Pathophysiological aspects of phospholipid metabolism in rats under histotoxic and normobaric hypoxia during antihypoxant administration. *Actual questions of veterinary biology*. 2024; (4): 18–24 (in Russian).
<https://doi.org/10.24412/2074-5036-2024-464-18-24>

4. Ким А.Е., Шустов Е.Б., Зайцева И.П., Лемешченко А.В. Pathophysiological mechanisms of adverse interactions of hypoxia and temperature factors in relation to physical working ability. *Pathological physiology and experimental therapy*. 2022; 66(4): 94–106 (in Russian).
<https://doi.org/10.25557/0031-2991.2022.04.94-106>

5. Mamadaliyeva N.I., Saatov T.S., Obidova D.D. Mechanisms of violation of lipid metabolism in myocardium under conditions of hypoxia. *East European Scientific Journal*. 2020; (4–2): 16–25 (in Russian).
<https://elibrary.ru/eygmde>

6. Канаева Е.С., Павлова О.Н. Effect of dried extracts of blackcurrant and raspberry leaves on resistance of animals to hypoxia of different genesis. *International Research Journal*. 2024; (6) (in Russian).
<https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.45>

7. Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н. Study of the corrective effect of plant antihypoxants on lipid and phospholipid metabolism in rats during modeling of hemic hypoxia. *Genetics and breeding of animals*. 2024; (4): 22–28 (in Russian).
<https://doi.org/10.31043/2410-2733-2024-4-22-28>

8. Osipenko A.N. Influence of Disorders of Fatty Acid Metabolism, Arterial Wall Hypoxia, and Intraplaque Hemorrhages on Lipid Accumulation in Atherosclerotic Vessels. *Acta Biomedica Scientifica*. 2021; 6(2): 70–80 (in Russian).
<https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.2.8>

9. Pokrovsky A.A., Archakov A.I., Gerasimova A.M., Lyubimtsev O.N. To the question of enzymatic control of the degree of destruction of subcellular structures in the process of homogenisation. *Tsitolgiya*. 1971; 13(9): 263–269 (in Russian).

10. Baev V.I., Bulakh E.I. Determination of ketone bodies in blood and tissues. *Laboratornoye delo*. 1974; (9): 545–546 (in Russian).
<https://elibrary.ru/zybaoz>

11. Titov V.N. Albumin, transport of saturated fatty acids and metabolic stress syndrome (literature review). *Clinical Laboratory Diagnostics*. 1999; (4): 3–11 (in Russian).

12. Pai T., Yeh Y.-Y. Stearic acid unlike shorter-chain saturated fatty acids is poorly utilized for triacylglycerol synthesis and β -oxidation in cultured rat hepatocytes. *Lipids*. 1996; 31(2): 159–164.
<https://doi.org/10.1007/BF02522615>

13. Sherratt H.S.A. Introduction: the regulation of fatty acid oxidation in cells. *Biochemical Society Transactions*. 1994; 22(2): 421–422.
<https://doi.org/10.1042/bst0220421>

14. Isaилова М.З., Мамедалиева Н.М., Золотарева Л.Г., Алексеева Н.Р. Content of fatty acids in the placenta in complicated pregnancy. *Meditina*. 2001; (4): 32–33 (in Russian).

15. Hyчka S.H., Briuzhina T.S., Moibenko O.O. Structural and functional changes to the lungs and the lipid metabolic status in cardiogenic shock. *Fiziologichnyi zhurnal*. 1999; 45(6): 81–87 (in Ukrainian).
<https://elibrary.ru/hfsmxz>

16. Грек О.Р., Долгов А.В., Морозов А.В. Serum fatty acid composition of intact rats and rats adapted to hypoxia against a background of exposure to acute hypoxia. *Voprosy meditsinskoi khimii*. 1981; 27(4): 469–471 (in Russian).

ABOUT THE AUTHORS

Elena Sergeevna Kanaeva¹

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Zootechnics
 kanaeva_es_84@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1286-6165>

Olga Nikolaevna Pavlova²

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physiology
 casiorepeya13@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8055-1958>

Olga Nikolaevna Gulenko²

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology
 gulenko.ol@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6338-7095>

Владимир Владимирович Зайцев¹

доктор биологических наук, профессор, декан факультета биотехнологии и ветеринарной медицины, заведующий кафедрой биоэкологии и физиологии с/х животных
zaycev_vv1964@mail.ru
[https://orcid.org 0000-0001-5085-8273](https://orcid.org/0000-0001-5085-8273)

Анатолий Анатольевич Девяткин^{3, 4, 5}

доктор медицинских наук, врач³;
доктор медицинских наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и экологии⁴;
доктор медицинских наук, профессор кафедры биохимии и фармакологии⁵
vitreus@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7506-8040>

Кристина Александровна Павлова¹

студент 1-го курса Института фармации
casiopeya13@mail.ru

¹Самарский государственный аграрный университет,
ул. Учебная, 2, п. г. т. Усть-Кинельский, Кинель, Самарская
обл., 446442, Россия

²Самарский государственный медицинский университет
Министерства здравоохранения Российской Федерации,
ул. Чапаевская, 89, Самара, 443099, Россия

³Самарская областная клиническая офтальмологическая
больница им. Т.И. Ерошевского,
ул. Запорожская, 26, Самара, 443066, Россия

⁴Приволжский государственный университет путей
сообщения,
ул. Свободы, 2B, Самара, 443066, Россия

⁵Тамбовский государственный университет
им. Г.Р. Державина,
ул. Интернациональная, 33, Тамбов, 392000, Россия

Vladimir Vladimirovich Zaitsev¹

Doctor of Biological Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Biotechnology and Veterinary Medicine, Head of the Department of Bioecology and Physiology of Farm Animals
zaycev_vv1964@mail.ru
[https://orcid.org 0000-0001-5085-8273](https://orcid.org/0000-0001-5085-8273)

Anatoly Anatolyevich Devyatkin^{3, 4, 5}

Doctor of Medical Sciences, physician³;
Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Life Safety and Ecology⁴;
Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Biochemistry and Pharmacology⁵
vitreus@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7506-8040>

Kristina Alexandrovna Pavlova¹

1st year student at the Institute of Pharmacy
casiopeya13@mail.ru

¹Samara State Agrarian University,
2 Uchebnaya Str., Ust-Kinelsky settlement, Kinel, Samara
region, 446442, Russia

²Samara State Medical University of the Ministry of Health
of the Russian Federation,
89 Chapaevskaya Str., Samara, 443099, Russia

³Samara Regional Clinical Ophthalmological Hospital named
after T.I. Eroshevsky,
26 Zaporozhskaya Str., Samara, 443066, Russia

⁴Volga Region State University of Railway Transport,

2 V Svobody Str., Samara, 443066, Russia

⁵Tambov State University named after G.R. Derzhavin,

33 Internatsionalnaya Str., Tambov, 392000, Russia



AGROCON
Найди себя в АГРО
Крупнейшая межуниверситетская
выставка-форум АПК для
молодёжи



agrocon.pro

17 ОКТЯБРЯ | РУДН ул. МИКЛУХО-МАКЛАЯ, д. 6

Реклама

Г.А. Востроилова

Д.И. Шабанов

Н.А. Хохлова

А.А. Корчагина

А.В. Некрасов

М.Ю. Сыромятников

Н.А. Стрельников

Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, Воронеж, Россия

nina_xoxlova@mail.ru

Поступила в редакцию: 14.04.2025

Одобрена после рецензирования: 11.08.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

© Востроилова Г.А., Шабанов Д.И.,
Хохлова Н.А., Корчагина А.А., Некрасов А.В.,
Сыромятников М.Ю., Стрельников Н.А.

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-22-29

Galina A. Vostroilova

Dmitry I. Shabanov

Nina A. Khokhlova

Anastasia A. Korchagina

Artem V. Nekrasov

Mikhail Yu. Syromyatnikov

Nikolay A. Strelnikov

All-Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Voronezh, Russia

nina_xoxlova@mail.ru

Received by the editorial office: 14.04.2025

Accepted in revised: 11.08.2025

Accepted for publication: 26.08.2025

© Vostroilova G.A., Shabanov D.I.,
Khokhlova N.A., Korchagina A.A.,
Nekrasov A.V., Syromyatnikov M.Yu.,
Strelnikov N.A.

Исследование влияния липофильных криофракций селезенки и плаценты крупного рогатого скота на мышей в условиях генотоксического действия митомицина

РЕЗЮМЕ

Цель данной работы — изучение antimутагенного и ДНК-протекторного действия липофильных криофракций селезенки и плаценты крупного рогатого скота у мышей с индуцированной митомицином (ММ) генотоксичностью. Изучали воздействие липофильной криофракции селезенки КРС (ЛКСК), липофильной криофракции плаценты КРС (ЛКПК) и их смеси в равном соотношении (ЛКСПК). В экспериментах использовали беспородных мышей — самцов. Изучали влияние однократного введения субстанций отдельно и одновременно с внутрибрюшинной инъекцией ММ, также при трехкратном применении субстанций с интервалом в 24 ч перед введением ММ относительно групп негативного и позитивного контроля.

После от животных получали образцы костного мозга для микроядерного теста и образцы печени для определения количества повреждений митохондриальной ДНК (мтДНК) во фрагментах 12S–16S и ND5. ЛКСК, ЛКПК и ЛКСПК при однократном введении снижали частоту полихроматофильных эритроцитов с микроядрами (МЯПХЭ) в 4,1; 3,9 и 2,4 раза ($p < 0,05$) соответственно относительно мышей группы позитивного контроля. При курсовом введении ЛКСПК частота МЯПХЭ уменьшалась на 31,3% ($p < 0,05$) относительно группы позитивного контроля. Введение ЛКСК и ЛКСПК уменьшало количество повреждений мтДНК на 96,5 и 68,3% ($p < 0,05$) соответственно во фрагменте 12S–16S относительно мышей группы позитивного контроля. Курсовое введение ЛКСПК до ММ снижало количество повреждений мтДНК на 52,2% ($p < 0,05$) во фрагменте ND5. Так было выявлено antimутагенное действие исследуемых криофракций и ДНК-защитное действие ЛКСК и ЛКСПК по отношению к мтДНК.

Ключевые слова: антигенотоксичность, липофильные криофракции селезенки и плаценты, митомицин, мыши, микроядерный тест, митохондриальная ДНК, количественная ПЦР

Для цитирования: Востроилова Г.А. и др. Исследование влияния липофильных криофракций селезенки и плаценты крупного рогатого скота на мышей в условиях генотоксического действия митомицина. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 22–29.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-22-29>

Study of the effect of lipophilic cryofractions of spleen and placenta of cattle on mice under conditions of genotoxic action of mitomycin

ABSTRACT

The aim of this work was to study the antimutagenic and DNA-protective effects of lipophilic cryofractions of bovine spleen and placenta in mice with mitomycin (MM)-induced genotoxicity. The effect of lipophilic cryofraction of bovine spleen (LCSC), lipophilic cryofraction of bovine placenta (LCPC) and their mixture in equal proportions (LCSPC) was studied. Outbred male mice were used in the experiments. The effects of a single administration of the substances separately and simultaneously with an intraperitoneal injection of MM were studied, as well as with three-time administration of the substances with an interval of 24 hours before the administration of MM relative to the negative and positive control groups. Afterwards, bone marrow samples were obtained from the animals for the micronucleus test and liver samples to determine the amount of mitochondrial DNA (mtDNA) damage in the 12S-16S and ND5 fragments. A single administration of LCSC, LCPC and LCSPC reduced the frequency of polychromatophilic erythrocytes with micronuclei (MNPCE) by 4.1, 3.9 and 2.4 times ($p < 0.05$), respectively, relative to the positive control group mice. With a course of administration of LCSPC, the frequency of MNPCE decreased by 31.3% ($p < 0.05$) relative to the positive control group. Administration of LCSC and LCSPC reduced the amount of mtDNA damage by 96.5 and 68.3% ($p < 0.05$), respectively, in the 12S-16S fragment relative to the positive control group mice. A course of administration of LCSPC before MM reduced the amount of mtDNA damage by 52.2% ($p < 0.05$) in the ND5 fragment. The antimutagenic effect of the studied cryofractions and the DNA-protective effect of LCSC and LCSPC in relation to mtDNA were revealed.

Key words: antigenotoxicity, lipophilic cryofractions of spleen and placenta, mitomycin, mice, micronucleus test, mitochondrial DNA, quantitative PCR

For citation: Vostroilova G.A. et al. Study of the effect of lipophilic cryofractions of spleen and placenta of cattle on mice under conditions of genotoxic action of mitomycin. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 22–29 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-22-29>

Введение/Introduction

Видовые, породные и линейные признаки животных передаются из поколения в поколение благодаря материальным носителям наследования — хромосомам, состоящим из ДНК и гистонов. Диплоидные соматические клетки содержат полный, стабильный и специфичный для данного вида объем информации и обеспечивают полноценное функционирование систем животного организма. Ряд экзогенных и эндогенных факторов способен приводить к нарушению количества и структуры хромосом, разрыву ДНК, потере или изменению кодированной в ней информации [1, 2]. Среди основных эндогенных факторов, влияющих на целостность клеточного генома, выделяют воздействие активных форм кислорода и других токсических молекул, образующихся в процессе метаболизма, ошибки деления клеток или копирования и репарации ДНК, а также несвоевременную элиминацию поврежденных клеток [2, 3]. Так, самцы сельскохозяйственных животных могут иметь сниженную фертильность в связи с наличием в эякуляте сперматозоидов, находящихся в стадии «абортивного» (не завершенного) апоптоза, сперматозоидов с аберрантным хроматином, возникающим из-за ошибок в его компактизации, и сперматозоидов с поврежденной ядерной и митохондриальной ДНК, укороченными теломерами, эпигенетическими изменениями и микроделециями Y-хромосомы, которые возникают в результате окислительного стресса [3]. Среди экзогенных факторов повреждения генома выделяют генотоксическое действие ксенобиотиков (лекарственные средства, тяжелые металлы, отходы производств, пестициды, инсектициды, микотоксины, бактериальные токсины и другие соединения), повышенную температуру, ионизирующую радиацию, инфекционные заболевания [2–4]. Воздействие этих факторов способно либо прямо индуцировать повреждение ДНК и нарушения клеточного деления, либо косвенно увеличивать частоту повреждений с помощью механизмов, сходных с действием эндогенных факторов [5]. Так, например, показано увеличение числа хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови коров под действием диоксинов [6, 7], а микотоксин (ократоксин А) индуцировал повреждение ДНК в эмбрионах свиней [8].

Таким образом, влияние ряда неблагоприятных факторов, а также некоторые заболевания способны индуцировать повреждение генетического аппарата в клетках, что может инициировать развитие патологий в организме сельскохозяйственных животных и их потомства [9]. Эти факторы в конечном итоге приводят к экономическим потерям для сельскохозяйственных производителей [10]. Сохранение и поддержание целостности

генофонда сельскохозяйственных животных является актуальной проблемой современного животноводства [11].

Поэтому большую значимость приобретает поиск природных антимутагенов, способных предотвратить вредное действие мутагенных факторов, а также способов их применения. Введение веществ, обладающих антимутагенным действием, способно снизить повреждение ДНК, хромосом и тем самым способствовать сохранению цитогенетической стабильности организма животных [12].

Благодаря наличию разнообразных биологических эффектов внимание исследователей привлекают препараты, содержащие в своем составе фракции селезенки, плаценты или крови крупного рогатого скота или свиней. Вместе с тем способ получения фармацевтических субстанций, его характеристики могут оказывать влияние на ее действие [13]. Липофильные формы фармацевтических препаратов тканевого происхождения могут быть обогащены жирорастворимыми гормонами, витаминами и другими физиологически активными веществами [14]. Однако их свойства изучены недостаточно.

Поэтому цель данной работы — выявление антимутагенных и ДНК-защитных свойств липофильных криофракций некоторых органов крупного рогатого скота у мышей в условиях индуцированной митомицином генотоксичности.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования были выполнены в 2024 году. Используя метод криофракционирования¹, в лаборатории доклинических исследований и моделирования биологических систем и вивария ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии» (ФГБНУ «ВНИВИПФиТ», Россия) были изготовлены:

- а) липофильная криофракция селезенки крупного рогатого скота (ЛКСК);
- б) липофильная криофракция плаценты крупного рогатого скота (ЛКПК);
- в) смесь липофильной криофракции селезенки и плаценты крупного рогатого скота в соотношении 1:1 (ЛКСПК).

Для индукции генотоксического действия применяли «Митомицин-С Киева» (Kyowa Hakko Kogyo Co., Ltd, Япония), содержащий в качестве действующего вещества митомицин (ММ).

В экспериментах использовали самцов белых беспородных мышей (*Mus albus officinarum*, n = 66) массой тела 26,0 ± 2,0 г, полученных из вивария ФГБНУ «ВНИВИПФиТ».

Подопытные животные содержались в стандартных условиях вивария (температура воздуха

¹ Патент РФ № 2237486, Заявка: 2003124738/15 от 07.08.2003, МПК (51) A61K 35/50(2006.01). Опубликовано: 10.10.2004. Способ получения биологически активных липофильной и гидрофильной фракций плаценты свиной. Статус: не действует (последнее изменение статуса: 08.08.2023) <https://www.fips.ru/>

+18–23 °C, относительная влажность 45–60%). Доступ к воде и корму был свободным.

Предварительно на заседании биоэтической комиссии ФГБНУ «ВНИИПФиТ» (протокол № 1-01/24 от 25 января 2024 года) было получено одобрение на все предлагаемые в эксперименте процедуры с животными, которые также соответствовали Директиве 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза² от 22 сентября 2010 года по охране животных, используемых в научных целях.

В ходе эксперимента были сформированы группы подопытных животных (табл. 1). В каждой группе исследовали по 6 животных³. Мышей выводили из эксперимента путем передозировки углекислого газа через 24 ч после окончания инъекций. Из бедренных костей животных вымывали костный мозг и готовили его суспензию в буферном растворе Хенкса (рН 7,4), а также получали образцы печени для выделения тотальной ДНК.

Выбор дозы вводимой фармацевтической субстанции был обусловлен проведенными ранее исследованиями и соответствовал условно-терапевтическим дозам исследуемых фармацевтических субстанций и содержащих их препаратов, которые применялись для продуктивных животных [14–16]. Доза ММ 10 мг/кг была достаточной для индукции генотоксичности в клетках костного мозга и печени мышей исследуемых групп [17].

Микроядерный тест проводили путем микроскопирования с помощью микроскопа «Микромед-3 ЛЮМ» («Микромед», Китай) при увеличении ×1000 препаратов костного мозга мышей, окрашенных по Романовскому — Гимзе. Определяли частоту полихроматофильных эритроцитов с микроядрами (МЯПХЭ) и долю

полихроматофильных эритроцитов (ПХЭ) относительно нормохромных эритроцитов (НЭ). Об антимутагенном эффекте судили по статистически значимому снижению частоты МЯПХЭ у исследуемых групп относительно частоты МЯПХЭ в костном мозге мышей группы позитивного контроля (мыши получали только ММ) [18].

Исследование повреждения митохондриальной ДНК (мтДНК) проводили с помощью количественной полимеразной цепной реакции (qPCR) длинных цепей [19]. Амплификацию проводили с использованием амплификатора DTlite 4 («ДНК-технология», Россия). Для измерения количества копий мтДНК использовали фрагмент мтДНК, кодирующий гены 16S и Nd1 (16S-Nd1) и ядерный ген gapdh в качестве референса. Величину повреждения митохондриальной ДНК (мтДНК) определяли относительно группы I с помощью qPCR путем изучения участка мтДНК, кодирующего 12S и 16S рrPHK (12S-16S), и участка, кодирующего митохондриальный ген ND5 (ND5) с использованием опубликованных ранее праймеров [19, 20]. Исследовали по четыре животных в группе.

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакетов программы STATISTICA 10 (Statsoft, США). Сравнение выборок осуществляли с использованием U-теста Манна — Уитни. Полученные результаты представляли как среднее арифметическое (M) ± стандартная ошибка (SE).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В исследовании нами была изучена частота МЯПХЭ при однократном и курсовом введении липофильных криофракций селезенки и

Таблица 1. Дизайн эксперимента (n = 66)

Table 1. Design of Experiments (n = 66)

Группа животных	Вещество	Доза и условия введения
I	Изотонический NaCl	Однократно внутримышечно и внутрибрюшинно в объеме 0,1 и 0,5 мл соответственно
IIa	ЛКСК	Однократно внутримышечно в дозе 0,5 мл/кг в объеме 0,1 мл
IIb	ЛКПК	Однократно внутримышечно в дозе 0,5 мл/кг в объеме 0,1 мл
IIc	ЛКСПК	Однократно внутримышечно в дозе 0,5 мл/кг в объеме 0,1 мл
IIIa	ЛКСК и митомицин	ЛКСК однократно внутримышечно в дозе 0,5 мл/кг в объеме 0,1 мл и митомицин однократно внутрибрюшинно в дозе 10 мг/кг в объеме 0,5 мл
IIIb	ЛКПК и митомицин	ЛКПК однократно внутримышечно в дозе 0,5 мл/кг в объеме 0,1 мл и митомицин однократно внутрибрюшинно в дозе 10 мг/кг в объеме 0,5 мл
IIIc	ЛКСПК и митомицин	ЛКСПК однократно внутримышечно в дозе 0,5 мл/кг в объеме 0,1 мл и митомицин однократно внутрибрюшинно в дозе 10 мг/кг в объеме 0,5 мл
IVa	ЛКСК и митомицин	ЛКСК трехкратно внутримышечно в дозе 0,5 мл/кг в объеме 0,1 мл и совместно с последней инъекцией митомицин однократно внутрибрюшинно в дозе 10 мг/кг в объеме 0,5 мл
IVb	ЛКПК и митомицин	ЛКПК трехкратно внутримышечно в дозе 0,5 мл/кг в объеме 0,1 мл и совместно с последней инъекцией митомицин однократно внутрибрюшинно в дозе 10 мг/кг в объеме 0,5 мл
IVc	ЛКСПК и митомицин	ЛКСПК трехкратно внутримышечно в дозе 0,5 мл/кг в объеме 0,1 мл и совместно с последней инъекцией митомицин однократно внутрибрюшинно в дозе 10 мг/кг в объеме 0,5 мл
V	Митомицин	Однократно внутрибрюшинно в дозе 10 мг/кг в объеме 0,5 мл

Примечание: ЛКСК — липофильная криофракция селезенки крупного рогатого скота; ЛКПК — липофильная криофракция плаценты крупного рогатого скота; ЛКСПК — смесь липофильной криофракции селезенки и плаценты крупного рогатого скота в соотношении 1:1.

² Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22.09.2010 on the protection of animals used for scientific purposes. Text with EEA relevance. Document 32010L0063.

³ Миронов А.Н. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. М.: Гриф и К. 2012; 944с. ISBN: 978-5-8125-1466-3. EDN: SDEWMP.

плаценты КРС (ЛКСК, ЛКПК, ЛКСПК) совместно с ММ (рис. 1). Введение липофильных криофракций селезенки и плаценты КРС (группы IIa, IIb, IIc) не вызывало изменения частоты МЯПХЭ в костном мозге относительно группы негативного контроля. Так, частота МЯПХЭ составила $0,53 \pm 0,13$; $0,59 \pm 0,10$; $0,52 \pm 0,12$; $0,55 \pm 0,18\%$ у групп I, IIa, IIb, IIc соответственно.

Нами было обнаружено увеличение частоты МЯПХЭ в костном мозге в 12,6 раз ($p < 0,05$) до 6,7% относительно группы I при введении мышам ММ (группа V). Однако введение ЛКСК (группа IIIa) снижало частоту МЯПХЭ в 4,1 раза (полученное значение: $1,62 \pm 0,47\%$) относительно группы позитивного контроля (группа V). Однократное введение ЛКПК (группа IIIb) снижало частоту МЯПХЭ в 3,9 раза: до $1,87 \pm 0,26\%$ ($p < 0,05$), а применение ЛКСПК (группа IIIc) — в 2,4 раза: до $2,73 \pm 0,51\%$ ($p < 0,05$) относительно группы V.

При трехкратном введении перед инъекцией ММ фармацевтических субстанций: ЛКСК, ЛКПК, ЛКСПК (частота МЯПХЭ составила $5,67 \pm 0,91$; $5,40 \pm 0,39$; $4,60 \pm 0,67\%$ в группах IVa, IVb и IVc соответственно), было выявлено статистически значимое снижение частоты МЯПХЭ в костном мозге у группы IVc (ЛКСПК) на 31,3% ($p < 0,05$) относительно группы V.

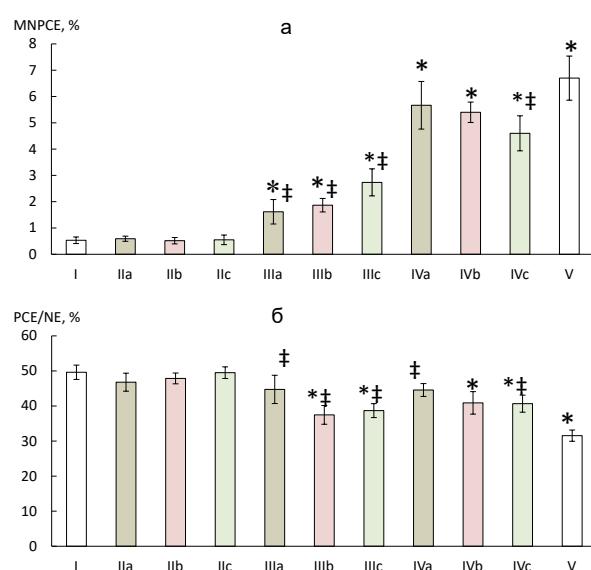
В группах IIa, IIb, IIc применение ЛКСК, ЛКПК и ЛКСПК не вызывало изменений доли ПХЭ относительно группы негативного контроля (группа I), которая составляла $46,79 \pm 2,57$; $47,87 \pm 1,54$; $49,51 \pm 1,66$ и $49,62 \pm 2,04$ соответственно. Введение липофильных криофракций совместно с ММ достоверно снижало токсический эффект ММ на гемопоэтические клетки костного мозга. Так, при однократном введении ЛКСК, ЛКПК, ЛКСПК совместно с митомицином (группы IIIa, IIIb, IIIc) доля ПХЭ составляла $44,73 \pm 4,03$; $37,47 \pm 2,68$; $38,69 \pm 1,99\%$ соответственно. При этом содержание ПХЭ при введении ЛКСК (группа IIIa) относительно группы I снижалась незначимо, а в группах IIIb и IIIc была меньше на 24,0 и 24,5% ($p < 0,05$) соответственно.

В то же время нами обнаружено достоверное увеличение доли ПХЭ во всех трех группах относительно мышей, получивших только ММ (группа V), содержание которых составляло $31,55 \pm 1,60\%$. Так, в группах IIIa, IIIb и IIIc наблюдалось возрастание содержания ПХЭ в костном мозге на 22,6; 19,0 и 19,5% ($p < 0,05$) соответственно.

Многократное введение липофильных криофракций совместно с ММ приводило к сходному тренду изменений исследуемых показателей. Доля ПХЭ в костном мозге в группах IVa, IVb и IVc составляла $44,56 \pm 1,83$; $40,89 \pm 3,21$ и $40,67 \pm 2,43\%$ соответственно. При этом, как и при однократном введении, трехкратное введение ЛКСК (группа IVa) не приводило к достоверному изменению содержания ПХЭ относительно группы I, а в группах IVb и IVc индуцировано снижение доли ПХЭ на 17,6 и 18,0% соответственно.

Рис. 1. Частота полихроматофильных эритроцитов с микроядрами (а) и доля полихроматофильных эритроцитов (б) в костном мозге мышей: MNPCE — частота полихроматофильных эритроцитов с микроядрами, %; PCE/NE — отношение содержания полихроматофильных эритроцитов к нормохромным, %; I—V — исследуемые группы; * — статистически значимое отличие от группы I ($p < 0,05$); ‡ — статистически значимое отличие от группы V ($p < 0,05$); M ± SE% — среднее арифметическое ± стандартная ошибка

Fig. 1. Frequency of polychromatophilic erythrocytes with micronuclei (a) and proportion of polychromatophilic erythrocytes (b) in the bone marrow of mice: MNPCE — frequency of polychromatophilic erythrocytes with micronuclei, %; PCE/NE — ratio of polychromatophilic erythrocytes to normochromic erythrocytes, %; I—V — study groups; * — statistically significant difference from group I ($p < 0,05$); ‡ — statistically significant difference from group V ($p < 0,05$); M ± SE% — arithmetic mean ± standard error



Помимо этого, курсовое применение ЛКСК и ЛКСПК (группы IVa и IVc) приводило к возрастанию доли ПХЭ на 41,2 и 28,9% относительно группы V.

Таким образом, нами было выявлено снижение токсического действия ММ в группах IIIa, IIIb, IIIc и IVa, IVc.

Далее определяли относительное число копий mtДНК и количество повреждений в mtДНК в печени мышей, которым вводили ЛКСК, ЛКПК и ЛКСПК (рис. 2). Уровень митохондриального биогенеза, несмотря на колебания в исследуемых группах (группы II—V) значимо не отличался от уровня негативного контроля (группа I), который составлял $1,08 \pm 0,30$. Отдельное введение липофильных субстанций (группы IIa, IIb и IIc) не вызывало значимого увеличения количества повреждений mtДНК в печени мышей, во фрагменте 12S–16S оно было равным $0,45 \pm 1,67$; $0,65 \pm 1,36$ и $0,81 \pm 0,64$, а во фрагменте ND5 — $1,46 \pm 0,64$; $1,93 \pm 9,58$ и $1,67 \pm 0,67$ соответственно.

После совместного однократного введения ЛКСК, ЛКПК и ЛКСПК с ММ (группы IIIa, IIIb и IIIc) обнаружено увеличение количества повреждений mtДНК. Так, во фрагменте 12S–16S количество повреждений составило $1,88 \pm 2,04$; $3,98 \pm 0,27$

и $1,3 \pm 0,91$, а во фрагменте *ND5* — $2,35 \pm 0,49$; $3,54 \pm 0,29$ и $3,10 \pm 0,36$ у групп IIIa, IIIb и IIIc соответственно. Вместе с тем в группе IIIa в обоих фрагментах количество повреждений mtДНК достоверно не отличалось от показателей негативного контроля (группа I). В то же время количество повреждений mtДНК в группе IIIb было в 4 и 3,5 раза выше ($p < 0,05$) во фрагментах 12S–16S и *ND5* относительно группы I. В группе IIIc только во фрагменте *ND5* нами обнаружено достоверное увеличение количества повреждений mtДНК в 3,1 раза. Вместе с тем в группах IIIa, IIIb и IIIc количество повреждений mtДНК печени не снижалось относительно группы V. В этой группе количество повреждений mtДНК во фрагментах 12S–16S и *ND5* составило $4,58 \pm 0,63$ и $3,69 \pm 0,27$ соответственно.

При курсовом введении липофильных криофракций перед инъекцией ММ количество повреждений mtДНК во фрагменте 12S–16S составило $0,16 \pm 0,67$; $1,63 \pm 0,75$ и $1,45 \pm 0,52$ для групп IVa, IVb и IVc соответственно, а для фрагмента *ND5* — $2,12 \pm 0,58$; $3,12 \pm 0,92$ и $1,58 \pm 0,63$.

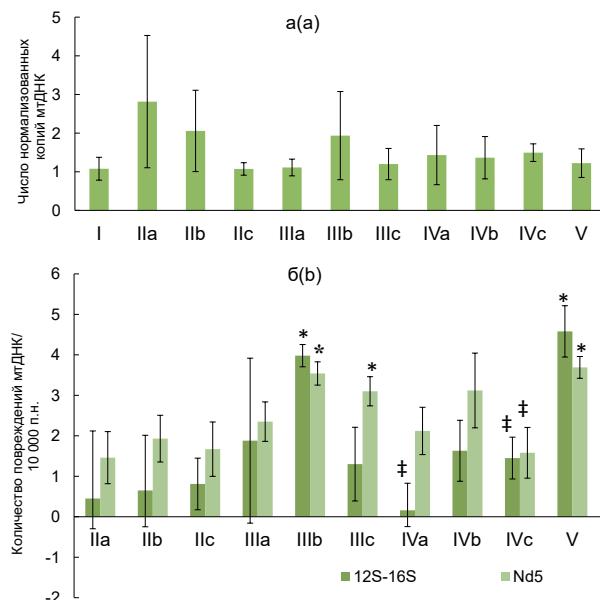
Таким образом, нами обнаружено статистически значимое снижение mtДНК при курсовом введении ЛКСК перед ММ (группа IVa) на 96,5% ($p < 0,05$) во фрагменте 12S–16S относительно группы Vd, которое не было выявлено во фрагменте *ND5*. При курсовом введении ЛКСПК перед ММ (группа IVc) в фрагментах 12S–16S и *ND5* количество повреждений достоверно также снижалось на 68,3 и 57,2% ($p < 0,05$), соответственно.

В ходе исследования не обнаружено проявление исследуемыми криофракциями селезенки и плаценты мутагенного или токсического действия, которое оценивали по снижению доли полихроматофильных эритроцитов в костном мозге мышей относительно нормохромных эритроцитов. В результате проведенной работы все криофракции селезенки или плаценты достоверно индуцировали снижение частоты МЯПХЭ в костном мозге мышей при индуцированном ММ генотоксическом воздействии. Применение исследуемых фармацевтических субстанций приводило к уменьшению частоты МЯПХЭ в 4,1; 3,9 и 2,4 раза ($p < 0,05$) соответственно при однократном применении относительно мышей группы позитивного контроля.

Трехкратная инъекция ЛКСПК индуцировала уменьшение частоты МЯПХЭ на 31,3% ($p < 0,05$) относительно мышей группы V. Таким образом, липофильные криофракции селезенки и плаценты оказывали антимутагенное воздействие на мышей с индуцированной митомицином цитогенетической нестабильностью. Далее с помощью количественной ПЦР нами было проведено исследование копийности митохондриальной ДНК (mtДНК) и относительного количества повреждений mtДНК в печени мышей исследуемых групп. Введение исследуемых фармацевтических субстанций и митомицина статистически значимо не

Рис. 2. Нормализованное число копий mtДНК печени мышей (а) и относительное количество повреждений mtДНК печени мышей (б); 12S–16S — участок mtДНК, содержащий гены 12S–16S; Nd5 — участок mtДНК, содержащий ген ND5; I–V — номера экспериментальных групп; число нормализованных копий mtДНК, нормализованное по ядерному гену gapdh; количество повреждений mtДНК / 10 000 п. н. — количество повреждений в mtДНК относительно 10 000 пар нуклеотидов; * — статистически значимое отличие от группы I ($p < 0,05$); ‡ — статистически значимое отличие от группы V ($p < 0,05$); M ± SE% — среднее арифметическое ± стандартная ошибка

Fig. 2. Normalized number of mtDNA copies in mouse liver (a) and relative amount of mtDNA damage in mouse liver (b); 12S–16S — the mtDNA region containing the 12S–16S genes; Nd5 — the mtDNA region containing the ND5 gene; I–V — the numbers of the experimental groups; Number of normalized mtDNA copies — the relative number of mtDNA copies normalized by the nuclear gapdh gene; Number of mtDNA damage/10,000 bp — the number of damages in mtDNA relative to 10,000 nucleotide pairs; * — a statistically significant difference from group I ($p < 0,05$); ‡ — a statistically significant difference from group V ($p < 0,05$); M ± SE% — the arithmetic mean ± standard error



влияло на митохондриальный биогенез. Как и в микроядерном тесте на полихроматофильных эритроцитах костного мозга, при введении фармацевтических субстанций количество повреждений не отличалось от группы негативного контроля. В условиях генотоксического действия митомицина курсовое введение липофильной криофракции селезенки и смеси липофильной криофракции селезенки и плаценты значительно уменьшало количество повреждений mtДНК на 96,5 и 68,3% ($p < 0,05$) соответственно во фрагменте 12S–16S относительно группы V. Трехкратная инъекция смеси липофильной криофракции селезенки и плаценты перед инъекцией митомицина также снижало количество повреждений mtДНК на 52,2% ($p < 0,05$) во фрагменте *ND5* относительно животных группы позитивного контроля.

Таким образом, было выявлено ДНК-защитное действие липофильной криофракции селезенки и смеси липофильной криофракции селезенки и плаценты крупного рогатого скота по отношению к mtДНК.

При этом снижение антимутагенного эффекта у липофильных криофракций при курсовом воздействии может быть не только ответной реакцией организма, выражющейся в активации компенсаторных механизмов организма в ответ на введение исследуемых фармацевтических субстанций (изменение всасывания, ускорение биотрансформации и экскреции, снижение чувствительности рецепторов) [21]. Эти данные могут являться свидетельством различных механизмов действия криофракций. Так, для веществ, проявляющих свойства дисмутагенов, которые предотвращают попадание генотоксиканта в клетки или непосредственно дезактивируют его, характерно краткосрочное проявление антимутагенных свойств, в то время как свойства биоантимутагенов, которые способны влиять на протекание биохимических процессов в клетках, проявляются скорее при курсовом введении антигенотоксиканта [4].

Действительно, выявленное увеличение доли ПХЭ в костном мозге при однократном введении липофильных криофракций может свидетельствовать о снижении токсического действия ММ, например, из-за поддержания целостности клеточных мембран, что также является одним из механизмов антигенотоксического действия [4, 22]. Подтверждением этих данных может служить значимое увеличение доли ПХЭ в костном мозге при однократном введении ЛКСК, ЛКПК и ЛКСПК и курсовом приеме ЛКСК и ЛКСПК перед введением ММ. Так, для некоторых фармацевтических субстанций и препаратов, содержащих липофильные экстракти органов животных, показано наличие различных биологически активных веществ, например липофильных витаминов А и Е, которые являются антиоксидантами и способны увеличивать устойчивость клеточных мембран [14, 23]. Вместе с тем одни и те же вещества могут проявлять свое антигенотоксическое действие с помощью различных механизмов [24].

Это, в некоторой степени, может объяснить то, что, в отличие от однократного применения, только курсовое введение ЛКСК и ЛКСПК вызывало уменьшение количества повреждений мтДНК в печени мышей, индуцированное ММ (рис. 2). При этом следует отметить, что фрагмент 12S–16S мтДНК показал большую чувствительность к ДНК-защитному действию исследуемых фармацевтических субстанций при введении генотоксиканта — ММ. Количество повреждений мтДНК значимо снижалось на 89,7; 96,5; 68,3% ($p < 0,05$) при курсовом введении ЛКСК и ЛКСПК соответственно, в то время как число повреждений мтДНК значимо снижалось во фрагменте *ND5*

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 пLAGIAT.
Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00034, <https://rscf.ru/project/24-26-00034/>

на 57,2% только при курсовом введении ЛКСПК. Также следует отметить низкую чувствительность фрагментов 12S–16S и *ND5* мтДНК к генотоксическому действию циклофосфамида в дозе 20 мг/кг. Полученные различия могли проявиться в связи с отличием в типе повреждений мтДНК, различным нуклеотидным составом исследуемых участков мтДНК и активностью кодируемых в них генов [25]. Следует отметить, что, хотя и больший антимутагенный эффект наблюдался нами при введении криофракций селезенки, только сочетание криофракции селезенки и плаценты КРС индуцировало снижение количества повреждений в мтДНК во фрагменте *ND5*.

Выявленные изменения, вероятно, могут быть вызваны не только прямым антиоксидантным действием витаминов, аминокислот (L-аргинин, цистеин) или других биологически активных молекул (фосфолипиды, глутатион), но и быть индуцированными действием регуляторных молекул, которые были выявлены в различных экстрактах тканей животных [14, 26, 27, 28]. Действительно, гормоны, цитокины, простагландины и другие биологически активные молекулы способны приводить к модуляции антиоксидантной системы, системы интерферонов, систем репарации ДНК, регулировать активность апоптоза, влиять на клеточный цикл, которые прямо или косвенно изменяют мутагенную активность генотоксикантов [4, 24, 29, 30]. Вместе с тем пути и механизмы антимутагенного и ДНК-протекторного действия, которые обнаружены у фармацевтических субстанций тканевого происхождения, до конца не выявлены и требуют дальнейшего изучения.

В ходе исследования при генотоксическом воздействии, вызванном ММ, ЛКСК, ЛКПК и ЛКСПК проявляли антимутагенную активность в костном мозге мышей, которая выражалась в снижении частоты МЯПХЭ, а ЛКСК и ЛКСПК оказывали ДНК-протекторный эффект на мтДНК печени в 12S–16S и *ND5* фрагментах мтДНК.

Выходы/Conclusions

В условиях индуцированной митомицином цитогенетической нестабильности ЛКСК, ЛКПК и ЛКСПК проявляли антимутагенную активность в костном мозге мышей, а ЛКСК и ЛКСПК оказывали ДНК-протекторный эффект на мтДНК печени.

Эти данные свидетельствуют о перспективности использования липофильных криофракций селезенки и плаценты КРС в качестве компонентов препаратов, способствующих поддержанию генетической стабильности генома сельскохозяйственных животных.

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.

FUNDING

The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 24-26-00034, <https://rscf.ru/project/24-26-00034/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Parry J.M., Parry E.M. (eds.). *Genetic Toxicology: Principles and Methods*. Totowa, NJ: Humana. 2012. XVI, 433. ISBN 978-1-61779-420-9
<https://doi.org/10.1007/978-1-61779-421-6>
- Carusillo A., Mussolini C. DNA Damage: From Threat to Treatment. *Cells*. 2020; 9(7): 1665.
<https://doi.org/10.3390/cells9071665>
- Kumaresan A., Das Gupta M., Datta T.K., Morrell J.M. Sperm DNA Integrity and Male Fertility in Farm Animals: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020; 7: 321.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00321>
- Дурнев А.Д. Антимутагенез и антимутагены. *Физиология человека*. 2018; 44(3): 116–137.
<https://doi.org/10.7868/S013116461803013X>
- Chatterjee N., Walker G.C. Mechanisms of DNA damage, repair, and mutagenesis. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 2017; 58(5): 235–263.
<https://doi.org/10.1002/em.22087>
- Perucatti A. et al. Chromosome instability in lymphocytes of Friesian cows naturally exposed to dioxins being raised close to a metallurgic factory area in southern Italy. *Caryologia*. 2016; 69(2): 133–140.
<https://doi.org/10.1080/00087114.2015.1136543>
- Genualdo V. et al. Chromosome fragility in river buffalo cows exposed to dioxins. *Journal of Applied Genetics*. 2012; 53(2): 221–226.
<https://doi.org/10.1007/s13353-012-0092-2>
- Woo S.-M., Yang S.-G., Kim Y.-W., Koo D.-B., Park H.-J. Ochratoxin A triggers endoplasmic reticulum stress through PERK/NRF2 signaling and DNA damage during early embryonic developmental competence in pigs. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2024; 269: 11575.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115757>
- Jennings R.L., Griffin D.K., O'Connor R.E. A New Approach for Accurate Detection of Chromosome Rearrangements That Affect Fertility in Cattle. *Animals*. 2020; 10(1): 114.
<https://doi.org/10.3390/ani10010114>
- Udroiu I., Sgura A. Cytogenetic tests for animal production: state of the art and perspectives. *Animal Genetics*. 2017; 48(5): 505–515.
<https://doi.org/10.1111/age.12581>
- Айбазов А.М., Мамонтова Т.В. Охранение и рациональное использование генетических ресурсов сельскохозяйственных животных – актуальная задача современности. *Новости науки в АПК*. 2018; (2-1): 152–156.
<https://www.elibrary.ru/apfrf>
- Akram M. et al. Medicinal plants with anti-mutagenic potential. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2020; 34(1): 309–318.
<https://doi.org/10.1080/13102818.2020.1749527>
- Шабунин С.В., Вострилова Г.А., Паршин П.А., Шабанов Д.И., Хохлова Н.А. Антикластогенная активность аминоселетона при воздействии циклофосфамида на костный мозг мышей. *Сельскохозяйственная биология*. 2021; 56(4): 763–771.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.4.763rus>
- Шабунин С.В., Беляев В.И., Вострилова Г.А., Кабитский С.Н. Органопрепараты (лекарственные препараты из органов и тканей животных). Воронеж: Антарес. 2013; 260. ISBN 978-5-9900617-9-8
<https://www.elibrary.ru/wkmwsf>
- Шабунин С.В. и др. Влияние аминоселетона на состояние прооксидантной и антиоксидантной систем крови у свиноматок. *Достижения науки и техники АПК*. 2019; 33(7): 71–74.
<https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10716>
- Вострилова Г.А., Близнецова Г.Н. Фармакологическое действие аминотона. Биотехнология: реальность и перспективы в сельском хозяйстве. *Материалы Международной научно-практической конференции*. Саратов: КУБиК. 2013; 19–20.
<https://www.elibrary.ru/ozrbqb>
- Шабанов Д.И., Вострилова Г.А., Михайлов Е.В., Сыромятников М.Ю., Корчагина А.А., Селютина М.А. Исследование влияния митомицина на уровень повреждений митохондриальной ДНК у мышей *in vivo*. *Ветеринарный фармакологический вестник*. 2023; (2): 12–23.
<https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2023.2.12>
- Hayashi M. The micronucleus test—most widely used *in vivo* genotoxicity test—. *Genes and Environment*. 2016; 38: 18.
<https://doi.org/10.1186/s41021-016-0044-x>
- Gureev A.P., Shaforostova E.A., Starkov A.A., Popov V.N. Simplified qPCR method for detecting excessive mtDNA damage induced by exogenous factors. *Toxicology*. 2017; 382: 67–74.
<https://doi.org/10.1016/j.tox.2017.03.010>
- Хорольская В.Г., Гуреев А.П., Шафоростова Е.А., Лавер Д.А., Попов В.Н. Влияние фенофибрата на генотоксичность в мозге и печени и на экспрессию генов, регулирующих метаболизм жирных кислот, у мышей. *Биомедицинская химия*. 2019; 65(5): 388–397.
<https://doi.org/10.18097/PBMC20196505388>

REFERENCES

- Parry J.M., Parry E.M. (eds.). *Genetic Toxicology: Principles and Methods*. Totowa, NJ: Humana. 2012. XVI, 433. ISBN 978-1-61779-420-9
<https://doi.org/10.1007/978-1-61779-421-6>
- Carusillo A., Mussolini C. DNA Damage: From Threat to Treatment. *Cells*. 2020; 9(7): 1665.
<https://doi.org/10.3390/cells9071665>
- Kumaresan A., Das Gupta M., Datta T.K., Morrell J.M. Sperm DNA Integrity and Male Fertility in Farm Animals: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020; 7: 321.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00321>
- Durnev A.D. Antimutagenesis and Antimutagens. *Human Physiology*. 2018; 44(3): 336–355.
<https://doi.org/10.1134/S0362119718030052>
- Chatterjee N., Walker G.C. Mechanisms of DNA damage, repair, and mutagenesis. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 2017; 58(5): 235–263.
<https://doi.org/10.1002/em.22087>
- Perucatti A. et al. Chromosome instability in lymphocytes of Friesian cows naturally exposed to dioxins being raised close to a metallurgic factory area in southern Italy. *Caryologia*. 2016; 69(2): 133–140.
<https://doi.org/10.1080/00087114.2015.1136543>
- Genualdo V. et al. Chromosome fragility in river buffalo cows exposed to dioxins. *Journal of Applied Genetics*. 2012; 53(2): 221–226.
<https://doi.org/10.1007/s13353-012-0092-2>
- Woo S.-M., Yang S.-G., Kim Y.-W., Koo D.-B., Park H.-J. Ochratoxin A triggers endoplasmic reticulum stress through PERK/NRF2 signaling and DNA damage during early embryonic developmental competence in pigs. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2024; 269: 11575.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115757>
- Jennings R.L., Griffin D.K., O'Connor R.E. A New Approach for Accurate Detection of Chromosome Rearrangements That Affect Fertility in Cattle. *Animals*. 2020; 10(1): 114.
<https://doi.org/10.3390/ani10010114>
- Udroiu I., Sgura A. Cytogenetic tests for animal production: state of the art and perspectives. *Animal Genetics*. 2017; 48(5): 505–515.
<https://doi.org/10.1111/age.12581>
- Aibazov M.M., Mamontova T.V. Conservation and rational use of genetic resources of agricultural animals - a current task of contemporaneity. *Novosti nauki v APK*. 2018; (2-1): 152–156. (In Russian).
<https://www.elibrary.ru/apfrf>
- Akram M. et al. Medicinal plants with anti-mutagenic potential. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2020; 34(1): 309–318.
<https://doi.org/10.1080/13102818.2020.1749527>
- Shabunin S.V., Vostriilova G.A., Parshin P.A., Shabanov D.I., Khokhlova N.A. Anticlastogenic activity of aminoseleton under the effect of cyclophosphamide on the bone marrow of mice. *Agricultural Biology*. 2021; 56(4): 763–771.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.4.763eng>
- Shabunin S.V., Belyaev V.I., Vostriilova G.A., Kabitskiy S.N. Organopreparaty (medicines from animal organs and tissues). Voronezh: Antares. 2013; 260 (In Russian). ISBN 978-5-9900617-9-8
<https://www.elibrary.ru/wkmwsf>
- Shabunin S.V. et al. Effect of Aminoseleton on the State of Prooxidant and Antioxidant Blood Systems of Sows. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2019; 33(7): 71–74 (In Russian).
<https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10716>
- Vostriilova G.A., Bliznetsova G.N. Pharmacological action of aminotona. *Biotechnology: reality and prospects in agriculture. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Saratov: KUBiK. 2013; 19–20 (In Russian).
<https://www.elibrary.ru/ozrbqb>
- Shabanov D.I., Vostriilova G.A., Mikhaylov E.V., Syromyatnikov M.Yu., Korchagina A.A., Selyutina M.A. Study of the effect of mitomycin on the level of mitochondrial DNA damage in mice *in vivo*. *Bulletin of Veterinary pharmacology*. 2023; (2): 12–23 (In Russian).
<https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2023.2.12>
- Hayashi M. The micronucleus test—most widely used *in vivo* genotoxicity test—. *Genes and Environment*. 2016; 38: 18.
<https://doi.org/10.1186/s41021-016-0044-x>
- Gureev A.P., Shaforostova E.A., Starkov A.A., Popov V.N. Simplified qPCR method for detecting excessive mtDNA damage induced by exogenous factors. *Toxicology*. 2017; 382: 67–74.
<https://doi.org/10.1016/j.tox.2017.03.010>
- Хорольская В.Г., Гуреев А.П., Шафоростова Е.А., Лавер Д.А., Попов В.Н. The Fenofibrate Effect on Genotoxicity in Brain and Liver and on the Expression of Genes Regulating Fatty Acids Metabolism of Mice. *Biochemistry (Moscow), Supplement Series B: Biomedical Chemistry*. 2020; 14(1): 23–32.
<https://doi.org/10.1134/S1990750820010084>

21. Moscow J., Morrow C.S., Cowan K.H. General Mechanisms of Drug Resistance. Kufe D.W. et al. (eds.). Holland-Frei Cancer Medicine. 6th edition. Hamilton, ON: BC Decker. 2003.
22. Suzuki Y. et al. The micronucleus test and erythropoiesis. Effects of erythropoietin and a mutagen on the ratio of polychromatic to normochromatic erythrocytes (P/N ratio). *Mutagenesis*. 1989; 4(6): 420–424.
<https://doi.org/10.1093/mutage/4.6.420>
23. Maya-Soriano M.J., Taberner E., Sabés-Alsina M., López-Béjar M. Retinol might stabilize sperm acrosomal membrane in situations of oxidative stress because of high temperatures. *Theriogenology*. 2013; 79(2): 367–373.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.10.009>
24. De Flora S., Ramel C. Mechanisms of inhibitors of mutagenesis and carcinogenesis. Classification and overview. *Mutation Research*. 1988; 202(2): 285–306.
[https://doi.org/10.1016/0027-5107\(88\)90193-5](https://doi.org/10.1016/0027-5107(88)90193-5)
25. Rothfuss O., Gasser T., Patenge N. Analysis of differential DNA damage in the mitochondrial genome employing a semi-long run real-time PCR approach. *Nucleic Acids Research*. 2010; 38(4): e24.
<https://doi.org/10.1093/nar/gkp1082>
26. Shen L.-H. et al. Protective Effect and Mechanism of Placenta Extract on Liver. *Nutrients*. 2022; 14(23): 5071.
<https://doi.org/10.3390/nu14235071>
27. Хохлова Н.А., Лободина Т.Е., Григорьева Н.А., Топольницкая А.Б., Федорова Н.М., Панина Т.А. Изучение биологической активности аминоселетона в teste на *Paramecium caudatum*. *Ветеринарный фармакологический вестник*. 2018; (1): 25–30.
<https://www.elibrary.ru/vflq>
28. Jia D. et al. Investigation on Immunomodulatory Activity of Calf Spleen Extractive Injection in Cyclophosphamide-induced Immunosuppressed Mice and Underlying Mechanisms. *Scandinavian Journal of Immunology*. 2016; 84(1): 20–27.
<https://doi.org/10.1111/sji.12442>
29. Гончарова Р.И., Кузир Т.Д. Молекулярные основы применения антимутагенов в качестве антиканцерогенов. *Экологическая генетика*. 2005; 3(3): 19–32.
<https://www.elibrary.ru/hslphb>
30. Bolzán A.D., Lacunza E., Bianchi M.S. Effect of recombinant interferon- α on streptonigrin-induced chromosome aberrations and sister-chromatid exchanges in hamster cells. *Mutation Research*. 2003; 522(1–2): 127–134.
[https://doi.org/10.1016/s0027-5107\(02\)00304-4](https://doi.org/10.1016/s0027-5107(02)00304-4)
31. Galano A., Tan D.-X., Reiter R.J. Melatonin: A Versatile Protector against Oxidative DNA Damage. *Molecules*. 2018; 23(3): 530.
<https://doi.org/10.3390/molecules23030530>
21. Moscow J., Morrow C.S., Cowan K.H. General Mechanisms of Drug Resistance. Kufe D.W. et al. (eds.). Holland-Frei Cancer Medicine. 6th edition. Hamilton, ON: BC Decker. 2003.
22. Suzuki Y. et al. The micronucleus test and erythropoiesis. Effects of erythropoietin and a mutagen on the ratio of polychromatic to normochromatic erythrocytes (P/N ratio). *Mutagenesis*. 1989; 4(6): 420–424.
<https://doi.org/10.1093/mutage/4.6.420>
23. Maya-Soriano M.J., Taberner E., Sabés-Alsina M., López-Béjar M. Retinol might stabilize sperm acrosomal membrane in situations of oxidative stress because of high temperatures. *Theriogenology*. 2013; 79(2): 367–373.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.10.009>
24. De Flora S., Ramel C. Mechanisms of inhibitors of mutagenesis and carcinogenesis. Classification and overview. *Mutation Research*. 1988; 202(2): 285–306.
[https://doi.org/10.1016/0027-5107\(88\)90193-5](https://doi.org/10.1016/0027-5107(88)90193-5)
25. Rothfuss O., Gasser T., Patenge N. Analysis of differential DNA damage in the mitochondrial genome employing a semi-long run real-time PCR approach. *Nucleic Acids Research*. 2010; 38(4): e24.
<https://doi.org/10.1093/nar/gkp1082>
26. Shen L.-H. et al. Protective Effect and Mechanism of Placenta Extract on Liver. *Nutrients*. 2022; 14(23): 5071.
<https://doi.org/10.3390/nu14235071>
27. Khokhlova N.A., Lobodina T.E., Grigorieva N.A., Topolnitskay A.V., Fedorova N.M., Panina T.A. The study of the biological activity of aminoseleton test for *Paramecium caudatum*. *Bulletin of Veterinary pharmacology*. 2018; (1): 25–30 (In Russian).
<https://www.elibrary.ru/vflq>
28. Jia D. et al. Investigation on Immunomodulatory Activity of Calf Spleen Extractive Injection in Cyclophosphamide-induced Immunosuppressed Mice and Underlying Mechanisms. *Scandinavian Journal of Immunology*. 2016; 84(1): 20–27.
<https://doi.org/10.1111/sji.12442>
29. Goncharova R.I., Kuzhir T.D. Molecular basis of applying antimutagens as anticarcinogens. *Ecological genetics*. 2005; 3(3): 19–32 (In Russian).
<https://www.elibrary.ru/hslphb>
30. Bolzán A.D., Lacunza E., Bianchi M.S. Effect of recombinant interferon- α on streptonigrin-induced chromosome aberrations and sister-chromatid exchanges in hamster cells. *Mutation Research*. 2003; 522(1–2): 127–134.
[https://doi.org/10.1016/s0027-5107\(02\)00304-4](https://doi.org/10.1016/s0027-5107(02)00304-4)
31. Galano A., Tan D.-X., Reiter R.J. Melatonin: A Versatile Protector against Oxidative DNA Damage. *Molecules*. 2018; 23(3): 530.
<https://doi.org/10.3390/molecules23030530>

ОБ АВТОРАХ**Галина Анатольевна Востроилова**

доктор биологических наук, главный научный сотрудник
gvostroilova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2960-038X>

Дмитрий Игоревич Шабанов

научный сотрудник
am7d@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1574-1317>

Нина Алексеевна Хохлова

кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник
nina_xoxlova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6861-2554>

Анастасия Андреевна Корчагина

кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник
a.a.korch@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8561-417X>

Артём Валерьевич Некрасов

младший научный сотрудник
artem_artem_nekrasov@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5957-1583>

Михаил Юрьевич Сыромятников

кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
mihan.vrn@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9028-0613>

Николай Алексеевич Стрельников

младший научный сотрудник
strelnickov.nickolay@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0781-7713>

Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии,
ул. им. Ломоносова, 114Б, Воронеж, 394087, Россия

ABOUT THE AUTHORS**Galina Anatolyevna Vostroilova**

Doctor of Biological Sciences, Chief Scientific Associate
gvostroilova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2960-038X>

Dmitry Igorevich Shabanov

Scientific Associate
am7d@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1574-1317>

Nina Alekseevna Khokhlova

Candidate of Veterinary Sciences, Senior Scientific Associate
nina_xoxlova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6861-2554>

Anastasia Andreevna Korchagina

Candidate of Veterinary Sciences, Senior Scientific Associate
a.a.korch@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8561-417X>

Artem Valerievich Nekrasov

Junior Scientific Associate
artem.artem.nekrasov@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5957-1583>

Mikhail Yuryevich Syromyatnikov

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Principal Scientific Associate
mihan.vrn@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9028-0613>

Nikolay Alekseevich Strel'nikov

Junior Scientific Associate
strelnickov.nickolay@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0781-7713>

All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology,
Pharmacology and Therapy,
114B, Lomonosov Str., Voronezh, 394087, Russia

Л.А. Гнездилова

Ж.Ю. Мурадян ✉

Ю.С. Круглова

С.М. Розинский

Московская государственная
академия ветеринарной медицины
и биотехнологии – МВА
им. К.И. Скрябина, Москва, Россия

✉ zh_muradyan@mail.ru

Поступила в редакцию: 19.05.2025

Одобрена после рецензирования: 11.08.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

© Гнездилова Л.А., Мурадян Ж.Ю.,
Круглова Ю.С., Розинский С.М.

Изучение действия бетулиносодержащей кормовой добавки на лизоцимную и бактерицидную активность сыворотки крови телят и коров дойного стада

РЕЗЮМЕ

Изучено влияние бетулиносодержащей кормовой добавки на лизоцимную и бактерицидную активность сыворотки крови телят и коров дойного стада в условиях животноводческого комплекса.

Показано, что спустя 14 дней эксперимента содержание лизоцима у 5-месячных телят опытной группы было больше, чем в контроле, на 18,5% ($p \leq 0,01$), у 10-месячных телят опытной группы было больше контроля на 23% ($p \leq 0,01$), а у коров опытной группы на 35% ($p \leq 0,05$) превышало значение содержания лизоцима сыворотки крови коров контрольной группы.

Установлено, что спустя 14 дней эксперимента содержание БАСК у 5-месячных телят опытной группы превышало значение контрольной группы на 22,5% ($p \leq 0,05$), у 10-месячных телят опытной группы превышало данные контрольной группы на 14,7% ($p \leq 0,01$) и у коров опытной группы на 36,75% ($p \leq 0,05$) БАСК была выше, чем у коров контрольной группы.

Таким образом, полученные данные демонстрируют активацию факторов неспецифической резистентности у всех исследуемых возрастных групп животных после дачи кормовой добавки, содержащей бетулин, и подтверждают перспективность применения природной кормовой добавки для коррекции иммунного статуса крупного рогатого скота.

Ключевые слова: бетулин, лизоцим, бактерицидная активность, коровы, телята, неспецифический иммунитет, пероральное введение, микробиологический анализатор, сыворотка крови

Для цитирования: Гнездилова Л.А., Мурадян Ж.Ю., Круглова Ю.С., Розинский С.М. Изучение действия бетулиносодержащей кормовой добавки на лизоцимную и бактерицидную активность сыворотки крови телят и коров дойного стада. Аграрная наука. 2025; 398(09): 30–37.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-30-37>

Larisa A. Gnedilova

Zhora Yu. Muradyan ✉

Yulia S. Kruglova

Serafim M. Rozinsky

Moscow State Academy of Veterinary
Medicine and Biotechnology – MVA
by K.I. Skryabin, Moscow, Russia

✉ zh_muradyan@mail.ru

Received by the editorial office: 19.05.2025

Accepted in revised: 11.08.2025

Accepted for publication: 26.08.2025

© Gnedilova L.A., Muradyan Zh.Yu.,
Kruglova Yu.S., Rozinsky S.M.

Study of the effect of betulin-containing feed additive on lysozyme and bactericidal activity of blood serum of calves and dairy cows

ABSTRACT

A scientifically of the effect of betulin-containing feed additive on the lysozyme and bactericidal activity of the blood serum of calves and dairy cows in the conditions of a livestock complex was carried out.

It was shown that after 14 days of the experiment, the lysozyme content in five-month-old calves of the experimental group was higher than in the control by 18.5% ($p \leq 0.01$), in ten-month-old calves of the experimental group it was higher than the control by 23% ($p \leq 0.01$), and in cows of the experimental group it exceeded the lysozyme content of the blood serum of cows of the control group by 35% ($p \leq 0.05$). It was found that after 14 days of the experiment, the content of BASK in five-month-old calves of the experimental group exceeded the value of the control group by 22.5% ($p \leq 0.05$), in ten-month-old calves of the experimental group it exceeded the data of the control group by 14.7% ($p \leq 0.01$) and in cows of the experimental group by 36.75% ($p \leq 0.05$) BASK was higher than in cows of the control group. Thus, the data obtained demonstrate the activation of nonspecific resistance factors in all studied age groups of animals after giving a feed additive containing betulin, and confirm the prospects of using a natural feed additive to correct the immune status of cattle.

Key words: betulin, lysozyme, bactericidal activity, cows, calves, non-specific immunity, oral administration, microbiological analyzer, blood serum

For citation: Gnedilova L.A., Muradyan Zh.Yu., Kruglova Yu.S., Rozinsky S.M. Study of the effect of betulin-containing feed additive on lysozyme and bactericidal activity of blood serum of dairy calves and cows. Agrarian science. 2025; 398 (09): 30–37 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-30-37>

Введение/Introduction

При современном уровне физического, химического и биологического загрязнения окружающей среды сельскохозяйственные животные, так же как и люди, страдают от иммунодефицита — разбалансировки нормального функционирования иммунной системы [1, 2]. Это приводит к существенному снижению общей сопротивляемости организма животного к различным заболеваниям вирусной и бактериальной этиологии. У коров снижаются показатели продуктивности и воспроизводительная способность, у молодняка нарушается положительная динамика увеличения живой массы тела.

Условия, которые создают дополнительный стресс для животных, например неправильно сбалансированный рацион, инфекционные и инвазионные болезни или акушерско-гинекологические заболевания, усугубляют ситуацию [3–5]. При анализе качества корма необходимо обращать внимание на природные загрязнители, в том числе на микотоксины, которые продолжают оказывать сильное воздействие на здоровье животных [6].

Таким образом, восстановление нормального функционирования иммунной системы животного, создание более напряженного иммунитета с помощью новых кормовых добавок, основу которых составляют биологически активные вещества растительного происхождения, в настоящее время являются весьма актуальными [7–11].

В области ветеринарной медицины активно развиваются новые направления решения проблемы инфекционных болезней — создание и применение препаратов растительного происхождения, способных оказывать физиологически значимые эффекты на организм животного, такие как иммуномодулирующее, антиоксидантное и антимикробное действие [12, 13].

Биоактивные природные компоненты характеризуются низкой токсичностью, высокой доступностью в качестве сырьевой базы и относительно просты в экстракции [14].

К таким природным соединениям относится природный пентациклический тритерпеноид лупанового ряда — бетулин. Он содержится в большом количестве растений (орешнике, календуле, солодке), но в промышленных масштабах его получают экстракцией из бересты — наружного слоя коры березы белой (*Betula Alba*), повислой (*Betula Pendula*) [15–18].

Тритерпеноиды бересты, в частности бетулин и его производные, обладают биологической активностью, которая детерминирована их естественными функциями в растительных тканях, где данные соединения обеспечивают резистентность к абиотическим стрессам (УФ-радиации, температурным колебаниям) и биотическим угрозам, включая бактерии, грибы, вирусы и насекомых-вредителей [19].

Бетулин является объектом длительного изучения в медицине, в том числе ветеринарной.

Доказано, что данное соединение проявляет иммуномодулирующую активность путем потенцирования иммунного ответа на патогены. Этот эффект опосредован активацией макрофагов — клеток, ответственных за фагоцитоз бактерий и инфицированных вирусами клеток [20]. Помимо этого, бетулин и его производные индуцируют синтез интерферона, тем самым усиливая противовирусную резистентность организма. Поскольку активные формы кислорода (АФК) генерируются как в условиях патологии, так и в ходе физиологического процесса тканевого дыхания, важным свойством бетулина является его выраженная антиоксидантная активность. Он обеспечивает протекцию клеточных мембран от пероксидативного повреждения, выступая в роли защитного агента [21].

В ветеринарии положительные результаты от применения бетулина были получены для лечения крупного рогатого скота при болезнях слизистых оболочек — инфекционном ринотрахеите и вирусной диарее (ИРТ ВД-БС), свиней и телят при инфекционных болезнях смешанной этиологии [22, 23], при изучении влияния бетулина на состояние здоровья собак [24] и птицы [25].

Препараты «Бетулин-экстракт» (БЭ) для перорального применения и растворимая форма «Бетулин-ЭПГ» для парентерального применения с положительным результатом были испытаны на лабораторных животных, птице, телятах и северных оленях [26, 27].

Исследования, направленные на изучение биологической активности растительных тритерпеновых соединений, являются актуальными [28–31]. Одним из перспективных направлений в данной области является изучение молекулярных механизмов действия бетулина и его синтетических производных на показатели неспецифической резистентности организма сельскохозяйственных животных [32, 33]. Невосприимчивость его к воздействию разнообразных патогенных факторов приобретает критическое значение, в особенности в условиях интенсивного животноводства, сопряженного с высокой производственной нагрузкой. В связи с этим крупный рогатый скот (КРС) должен иметь высокую адаптивность к стрессам, устойчивость к заболеваниям и потенциалом для длительного продуктивного использования, что особенно актуально для дойных коров [34, 35].

Объективную и комплексную оценку состояния системы естественной резистентности организма животных обеспечивает мониторинг клеточного и гуморального звеньев неспецифического иммунитета по показателям периферической крови [36].

В связи с вышеизложенным был предложен экспериментальный протокол для изучения эффективности природной кормовой добавки на основе бетулина при скармливании телятам и коровам в период лактации. Критерием оценки выступили изменения параметров естественной

резистентности на примере бактерицидной и лизоцимной активности крови.

Цель настоящего исследования — оценка воздействия бетулиносодержащей кормовой добавки на неспецифические факторы гуморального иммунитета — лизоцимную и бактерицидную активность сыворотки крови у телят и коров молочного стада в условиях промышленного животноводческого комплекса.

В задачи исследования входили:

1. Количественное определение динамики лизоцимной активности сыворотки крови.
2. Оценка изменений бактерицидной активности сыворотки крови у телят и лактирующих коров на фоне пероральной аппликации бетулиносодержащей добавки.
3. Проведение сравнительного анализа иммунобиологических показателей между опытной и контрольной группами.

Материалы и методы исследования /

Materials and methods

Исследования проводили с сентября по октябрь 2024 года на молочных комплексах племенного хозяйства СХП «Колхоз «Сознательный»» (Зубцовский р-н, Тверская обл., Россия) и на базе лаборатории микробиологии Федерального исследовательского центра животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста (Московская обл.).

Хозяйство благополучно по лейкозу, туберкулезу, бруцеллезу.

Для экспериментальных исследований предприятием были выделены животные разных физиологических групп: бычки 5- и 10-месячного возраста и лактирующие коровы сычевской породы 2-й и 3-й лактаций.

Телята (бычки) находились в беспривязном содержании в отдельном комплексе — по 10 голов в секторе, коровы — по принципу привязного содержания в отдельном комплексе на 200 голов.

Условия содержания животных соответствовали ветеринарно-санитарным и гигиеническим требованиям по содержанию помещений и территорий.

При кормлении бычков и коров 2–3-й лактаций использовали рационы, в состав которых входили

сено разнотравное луговое (42,4–43,2%), силос кукурузный (17,6–18,9%), зерновая смесь дробленная (пшеница или ячмень) (38,2–39,0%).

Рационы для животных были сформированы по потребности в питательных веществах и энергии¹.

Для изучения действия бетулина на лизоцимную и бактерицидную активность сыворотки крови телят и коров дойного стада были сформированы: 2 группы бычков (опытная и контрольная — по 10 голов в каждой) возраста 5 месяцев с живой массой 150–165 кг^{2,3}; 2 группы бычков (опытная и контрольная — по 10 голов в каждой) возраста 10 месяцев с живой массой 286–316 кг; 2 группы лактирующих здоровых коров 2–3-й лактаций (опытная и контрольная — по 10 голов в каждой) с живой массой 550–600 кг и удоем 7000–8000 в год.

С опытными и контрольными животными проводили все плановые диагностические мероприятия согласно утвержденной схеме лечебно-профилактических обработок в хозяйстве.

Все эксперименты на животных были выполнены с соблюдением этических норм, соответствующих Директиве Европейского союза № 2010/63/EС⁴ и принципам гуманного обращения с животными, изложенным в статье 4 Федерального закона РФ № 498-ФЗ⁵.

При проведении исследований были предприняты меры, чтобы свести к минимуму страдания животных и количество исследованных опытных образцов.

Добавку, содержащую бетулин⁶ (с маркировкой ИП «Иванов Сергей Олегович», ТУ 10.89.15-008-2003838090-2022), в виде водной взвеси в 2%-ном растворе кукурузного крахмала для улучшения биодоступности препарата (далее — бетулиносодержащая добавка) задавали индивидуально каждому животному опытных групп перорально с помощью резиновой бутылки в дозе 10 мг/кг живой массы тела один раз в день в течение 14 дней. Расчет дозы осуществляли, опираясь на ранее проведенные научные исследования⁷.

В начале исследования, а также ежедневно на протяжении 14 суток совместно со специалистами предприятия оценивали клиническое состояние животных: температуру, пульс, дыхание, поведенческие реакции, аппетит, акт дефекации и

¹ Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных / А.П. Калашников, В.И. Фисинин, В.В. Щеглов и др. 3-е изд. (перераб. и доп.). М.: Знание. 2003; 456.

ISBN 5-94587-093-5, EDN PXQMHL

² Живую массу крупного рогатого скота определяли с помощью мерной ленты путем обмера. Методика проведения: определяли живую массу КРС измеряя косую длину туловища (от крайней передней точки выступа плечевой кости до заднего выступа седалищного бугра) и обхват груди за лопатками.

³ Лебедко Е.А. Определение живой массы сельскохозяйственных животных по промерам: практическое руководство. М.: Аквариум-Принт. 2006; 48.

ISBN 5-98435-574-4

⁴ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

⁵ Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

⁶ Общее наименование продукции «Экстракт бересты бетулиносодержащий» с маркировкой ИП «Иванов Сергей Олегович». Тип объекта декларирования: серийный выпуск. Декларация: ЕАЭС № RU Д-RU.PA04.B.54045/23. Регламенты: ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции; ТР ТС 022/2011 Пищевая продукция в части ее маркировки; ТР ТС 029/2012 Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств.

⁷ Красиков А.П., Алексеева И.Г., Деев Л.Е., Панфилов Р.Ю. Применение бетулина для лечения телят при ассоциативных инфекциях. Ветеринарная патология. 2010; 1(32): 49–57.

диурез, двигательную активность, состояние кожных покровов.

В период проведения эксперимента у животных опытных групп не отмечено достоверных изменений показателей температуры тела, частоты пульса и количества дыхательных движений. Не было выявлено общей реакции организма на введение препарата. Не отмечали изменений поведенческих реакций, понижения аппетита, расстройства дефекации и диуреза, а также снижения удоев.

Кровь у животных брали из яремной и подхвостовой вен до и после 14 дней использования добавки с бетулином. Далее получали сыворотку на кафедре диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина.

Определение лизоцимной и бактерицидной активности сыворотки крови проводили с использованием 96-луночного микробиологического анализатора Multiskan FC (Thermo Scientific, США)⁸.

Для определения процента лизиса, количества лизоцима (мкг) в 1 мл сыворотки крови, удельной единицы активности (ед. а.) в пересчете на 1 мг белка использовали музейный тест-штамм *Micrococcus luteus (lysodeicticus)* 4698 ATCC 1537 ATCC-2665 с OD₅₄₀ 0,6–0,62 McF («Мак-Фарланда») — предоставлен из коллекции Федерального исследовательского центра, животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста (Московская обл.).

В каждую лунку вносили 0,05 мл исследуемой сыворотки крови, 0,2 мл фосфатного буфера и 0,1 мл стандартной культуры. Термостатировали на термостате DSI-200D (DIGI System, Тайвань) при 37 °C с определением OD через 1 и 3 часа.

Количество лизоцима в 1 мл сыворотки крови определяли по калибровочной кривой, построенной по стандартному раствору лизоцима. Пересчет уровня лизоцимной активности ферментов в единицы активности на 1 мг белка выражали в условных единицах активности на 1 мг белка (уд. е. а. / мг белка).

Для оценки активности сыворотки крови (БАСК) готовили суспензию суточной музейной тест-культуры *Escherichia coli* M-17-02 с оптической плотностью 1,9 McF — предоставлен из коллекции Федерального исследовательского центра животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста (Московская обл.). В 96-луночные планшеты разливали по 0,2 мл мясо-пептонного бульона и вносили по 0,05 мл исследуемой сыворотки крови и 0,1 мл инокулюма культуры *Escherichia coli* M-17-02. Термостатировали на термостате DSI-200D (DIGI System, Тайвань) при 37 °C 5 часов.

Измерения проводили сразу и через 5 часов культивирования⁹.

Обработка экспериментальных данных выполнена с использованием методов биометрии¹⁰ и компьютерной программы Microsoft Office Excel (США) пакета «Анализ данных»¹¹.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Ранее авторами были получены результаты биохимического анализа крови животных в эксперименте [37].

Результаты определения количества лизоцима в сыворотке крови и бактерицидной активности сыворотки крови бактерицидной активности у телят и коров до и через 14 дней после применения бетулиносодержащей добавки представлены в виде таблиц.

Из таблицы 1 видно, что пероральное введение добавки 5-месячным телятам на основе бетулина имеет достоверное повышение уровня лизоцима и БАСК в сыворотке крови телят ($p \leq 0,05$). В контрольной группе значимых изменений не было выявлено. Из этого следует, что бетулиносодержащая кормовая добавка способствует усилиению неспецифического иммунитета у телят.

В таблице 2 показано, что кормовая добавка на основе бетулина достоверно повышает уровень лизоцима и БАСК у телят ($p \leq 0,05$) в возрасте 10 месяцев. В контрольной группе изменений по данному показателю не наблюдали. Различия между группами статистически значимы ($p \leq 0,01$), что подтверждает иммуномодулирующий эффект добавки.

После применения кормовой добавки, содержащей бетулин, как показано в таблице 3, у коров опытной группы наблюдалось достоверное повышение уровня лизоцима и БАСК ($p \leq 0,05$),

Таблица 1. Определение лизоцима и бактерицидной активности сыворотки крови 5-месячных телят до и после применения бетулиносодержащей кормовой добавки ($n = 10$, $M \pm m$)

		Лизоцим, мкг/мл сыворотки	БАСК	
Контрольная группа		до	после	до
		$M \pm m$	$0,219 \pm 0,07$	$0,225 \pm 0,04$
				$37,56 \pm 3,44$
Опытная группа		до	после	$37,48 \pm 4,11$
		$M \pm m$	$0,168 \pm 0,05^*$	$0,276 \pm 0,04^{**}$
				$36,94 \pm 3,53^*$
				$48,36 \pm 6,50$

Примечание: * различия достоверны при $p \leq 0,05$; ** различия достоверны при $p \leq 0,01$ относительно контроля.

⁸ Патент 2294373 С2 РФ МПК (51) G01N 33/48 (2006.01) Способ определения лизоцимной активности биологических объектов. Заявка: от 08.02.2005 № 2005103265/13. Патентообладатель: Оренбургская государственная медицинская академия Министерства здравоохранения Российской Федерации. Статус: не действует (последнее изменение статуса 09.02.2025). Пошлина: патент перешел в общественное достояние.

⁹ Методы ветеринарной классической лабораторной диагностики: справочник / под. ред. проф. И.П. Кондрахина. М.: КолосС. 2004; 492.

¹⁰ Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа. 1990; 352.

¹¹ Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel. М.: Финансы и статистика. 2002; 368.

Таблица 2. Лизоцимная и бактерицидная активность сыворотки крови 10-месячных телят до и после применения бетулиносодержащей кормовой добавки (n = 10, M ± m)

Table 2. Determination of lysozyme and bactericidal activity of blood serum of ten-month-old calves before and after the use of a betulin-containing feed additive (n = 10, M ± m)

	Лизоцим, мкг/мл сыворотки		БАСК	
Контрольная группа				
	до	после	до	после
M ± m	0,194 ± 0,06	0,202 ± 0,05	37,91 ± 4,02	37,45 ± 4,29
Опытная группа				
	до	после	до	после
M ± m	0,173 ± 0,05*	0,262 ± 0,04*	31,33 ± 6,55*	43,88 ± 8,47**

Примечание: * различия достоверны при $p \leq 0,05$; ** различия достоверны при $p \leq 0,01$.

Таблица 3. Лизоцимная и бактерицидная активность сыворотки крови дойных коров в эксперименте (n = 10, M ± m)

Table 3. Determination of lysozyme and bactericidal activity of blood serum of dairy cows (n = 10, M ± m)

	Лизоцим, мкг/мл сыворотки		БАСК	
Контрольная группа				
	до	после	до	после
M ± m	0,204 ± 0,05	0,211 ± 0,05*	36,48 ± 3,52	37,79 ± 2,52*
Опытная группа				
	до	после	до	после
M ± m	0,216 ± 0,03	0,325 ± 0,02	40,52 ± 8,23*	59,74 ± 5,27

Примечание: * различия достоверны при $p \leq 0,05$; ** различия достоверны при $p \leq 0,01$.

а в контрольной группе значимых изменений не было обнаружено.

В начале эксперимента показатели количества лизоцима и БАСК у 5-, 10-месячных телят и коров между опытными и контрольными группами статистически достоверных различий не имели.

Средние значения количества лизоцима в опытной группе 5- и 10-месячных телят были ниже, чем в контроле ($0,168 \pm 0,05$ в опыте против $0,219 \pm 0,07$ в контроле у 5-месячных телят и $0,173 \pm 0,05$ в опыте против $0,194 \pm 0,06$ в контроле у 10-месячных телят, а у коров значение $0,216 \pm 0,03$ в опыте против $0,204 \pm 0,05$ в контроле, что, однако, подтверждает различие между опытной и контрольной группами статистически недостоверным, оценивали по критерию Стьюдента¹²⁾.

При этом следует отметить, что по клиническим показателям, значениям температуры, пульса, дыхания, живой массе, а также результатам гематологических и биохимических исследований между опытными и контрольными группами в начале эксперимента существенных различий не было.

Спустя 14 дней после дачи бетулиносодержащей кормовой добавки отмечали повышение количества лизоцима сыворотки крови во всех опытных группах животных ($p \leq 0,05$). При этом у животных контрольных групп содержание

лизоцима сыворотки крови к концу эксперимента оставалось на прежнем уровне.

Несмотря на то что в начале эксперимента значение лизоцима у телят опытной группы было ниже, чем в контроле, на 30% у 5-месячных и на 12% у 10-месячных, сравнение конечного результата между опытными и контрольными группами спустя 14 дней эксперимента показало, что содержание лизоцима у 5-месячных телят опытной группы было больше, чем в контроле на 18,5% ($p \leq 0,01$), у 10-месячных телят опытной группы было больше контроля на 23% ($p \leq 0,01$), а у коров опытной группы на 35% ($p \leq 0,05$) превышало значение содержания лизоцима сыворотки крови коров контрольной группы.

Результаты исследования изменения БАСК телят и коров с применением бетулиносодержащей кормовой добавки коррелировали с результатами определения содержания лизоцима сыворотки крови. Так, у 5-месячных телят опытной группы через 14 дней после дачи бетулиносодержащей кормовой добавки значение БАСК увеличилось с $36,94 \pm 3,53$ до $48,36 \pm 6,5\%$ ($p \leq 0,05$).

Аналогичные изменения бактерицидной активности сыворотки крови наблюдали и у телят 10-месячного возраста и коров. В то же время у животных контрольных групп БАСК к концу опыта оставалась на прежнем уровне.

Выводы/Conclusions

На основании проведенных исследований установлено, что пероральное применение бетулиносодержащей кормовой добавки вызывает статистически достоверное (при $p \leq 0,01$) повышение уровня лизоцима (на 64,3%) у 5-месячных телят, на 51,4% — у 10-месячных, а также увеличение бактерицидной активности сыворотки крови на 30,9% и 40,1%, соответственно, по сравнению с контрольными группами.

У лактирующих коров опытной группы зафиксирован рост лизоцимной активности на 50,5% и увеличение БАСК на 47,5% относительно исходных значений, в то время как в контрольной группе изменения показателей не превышали 3,2%.

Полученные количественные данные демонстрируют выраженную динамику изученных иммунологических параметров, достигающую максимальной значимости при $p \leq 0,01$. Выявленная положительная динамика неспецифических факторов гуморального иммунитета свидетельствует о наличии выраженного иммуномодулирующего действия изучаемой добавки.

Таким образом, применение бетулина способствует статистически значимому усиливанию естественной резистентности организма животных, что подтверждается активацией как лизоцимной, так и бактерицидной системы сыворотки крови с максимальной эффективностью у 10-месячных телят.

¹²⁾ ГОСТ Р ИСО 13528-2010 Статистические методы. Применение при экспериментальной проверке компетентности посредством межлабораторных сравнительных испытаний. М: Стандартинформ. 2012; 61.

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 plagiat. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование проводили в рамках гранта РНФ «Природные адаптогены для восстановления воспроизводительной функции у крупного рогатого скота при микотоксикозах» (соглашение № 23-26-00150).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипин А.В. Особенности клинического течения и диагностики первичных иммунодефицитов. *Междисциплинарная иммунология: перспективы развития. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых. Киров: Кировский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации. 2025; 21–23.* <https://www.elibrary.ru/bumcyx>
2. Семенов К.Г., Анакова Е.А. Патологии иммунной системы. Иммунодефициты. *Студенческая наука – первый шаг в академическую науку. Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции с участием школьников 10–11-х классов. Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет. 2025; 546–547.* <https://www.elibrary.ru/zueybk>
3. Агюлина А.Р. Естественная резистентность телят в условиях резко континентального климата Оренбургской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010; (2): 69–70.* <https://www.elibrary.ru/mqgbyp>
4. Гнездилова Л.А., Федотов С.В., Мурадян Ж.Ю., Розинский С.М. Влияние микотоксинов на репродуктивные и производственные показатели лактирующих коров в условиях интенсивного производства. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2023; (4): 70–79.* <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202304007>
5. Gnezdilova L.A., Kruglova Yu.S., Muradyan Zh.Yu., Rozinsky S.M. Sustainable ecological health of livestock farms, the impact of a betulin-containing feed additive on clinical and hematological parameters in breeding calves and dairy cows. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science. 2024; 14(4): 191–200.* <https://doi.org/10.31407/ijees14.423>
6. Зайцев В.В., Серых М.М., Овчинников С.В. Повышение резистентности новорожденных телят. *Актуальные проблемы ветеринарии и зоотехнии в XXI веке. Сборник научных трудов. Самара: Самарская государственная сельскохозяйственная академия. 2004; 59–60.* <https://www.elibrary.ru/tpisaj>
7. Красиков А.П., Алексеева И.Г., Ушаков А.В. Стимуляция иммунного ответа с помощью бетулина при его сочетанном применении с вакцинами против лептоспироза и фузобактериоза животных. *Ветеринарная патология. 2014; 2(48): 45–50.* <https://www.elibrary.ru/sxlucf>
8. Иванов Н.Г. Стимуляция иммуногенеза биопрепаратами. Научно-образовательная среда как основа развития интеллектуального потенциала сельского хозяйства регионов России. *Материалы IV Международной научно-практической конференции. Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет. 2024; 117–119.* <https://www.elibrary.ru/spbktx>
9. Беликова Д.А., Никулин Ю.П., Никулина О.А. Влияние фито-добавок на продуктивность, иммунитет и воспроизводительные качества сельскохозяйственных животных. Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока. *Материалы VII Международной научно-практической конференции. Уссурийск: Приморский государственный аграрно-технологический университет. 2024; 42–47.* <https://www.elibrary.ru/mxsvax>
10. Девяткин В.А. Использование хвои как источника фитобиотиков в питании животных и аквакультуры. *Аграрная наука. 2023; (6): 50–57.* <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-50-57>
11. Мишурев А.В., Романов В.Н., Довыденкова М.В. Иммунный и антиоксидантный статус организма ягнят при использовании бурых водорослей *Fucus vesiculosus*. *Аграрная наука. 2023; (9): 47–51.* <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-47-51>
12. Gnezdilova L., Kruglova Yu., Muradyan Zh., Rozinsky S. Assessing the ecological impact of betulin-containing feed additives: insights from biochemical parameters in breeding calves and dairy cows. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science. 2025; 15(1): 103–112.* <https://doi.org/10.31407/ijees15.112>
- 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.

FUNDING

The study was conducted within the framework of the Russian Science Foundation grant “Natural adaptogens for restoring reproductive function in cattle with mycotoxicosis” (agreement No. 23-26-00150).

REFERENCES

1. Antipin A.V. Features of the clinical course and diagnosis of primary immunodeficiencies. *Interdisciplinary immunology: development prospects. Proceedings of the II All-Russian scientific and practical conference of students and young scientists. Kirov: Kirov State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2025; 21–23 (in Russian).* <https://www.elibrary.ru/bumcyx>
2. Semenov K.G., Anakova E.A. Pathologies of the immune system. Immunodeficiencies. *Student science is the first step into academic science. Proceedings of the All-Russian student scientific and practical conference with the participation of schoolchildren of grades 10–11. Cheboksary: Chuvash State Agrarian University. 2025; 546–547 (in Russian).* <https://www.elibrary.ru/zueybk>
3. Aglyulina A.R. Natural resistance of calves under the conditions of sharp-continental climate of the Orenburg region. *Izvestia Orenburg state agrarian university. 2010; (2): 69–70 (in Russian).* <https://www.elibrary.ru/mqgbyp>
4. Gnezdilova L.A., Fedotov S.V., Muradyan Zh.Yu., Rozinsky S.M. Effect of mycotoxins on reproductive and production performance of lactating cows under conditions of intensive production. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology. 2023; (4): 70–79 (in Russian).* <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202304007>
5. Gnezdilova L.A., Kruglova Yu.S., Muradyan Zh.Yu., Rozinsky S.M. Sustainable ecological health of livestock farms, the impact of a betulin-containing feed additive on clinical and hematological parameters in breeding calves and dairy cows. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science. 2024; 14(4): 191–200.* <https://doi.org/10.31407/ijees14.423>
6. Zaytsev V.V., Serykh M.M., Ovchinnikov S.V. Increasing the resistance of newborn calves. *Actual problems of veterinary science and animal science in the 21st century. Collection of scientific papers. Samara: Samara State Agricultural Academy. 2004; 59–60 (in Russian).* <https://www.elibrary.ru/tpisaj>
7. Krasikov A.P., Alekseeva I.G., Ushakov A.V. Stimulation of the immune response with betulin in its combined use with vaccines against leptospirosis and fusobacteriosis in animals. *Veterinary pathology. 2014; 2(48): 45–50 (in Russian).* <https://www.elibrary.ru/sxlucf>
8. Ivanov N.G. Stimulation of immunogenesis with biopreparations. *Scientific and educational environment as a basis for developing the intellectual potential of agriculture in the regions of Russia. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. Cheboksary: Chuvash State Agrarian University. 2024; 117–119 (in Russian).* <https://www.elibrary.ru/spbktx>
9. Belikova D.A., Nikulin Yu.P., Nikulina O.A. Influence of phytoadditives on productivity, immunity and reproductive qualities of farm animals. *The role of agricultural science in the development of forestry and agriculture in the Far East. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference. Ussuriysk: Primorsky State Agrarian and Technological University. 2024; 42–47 (in Russian).* <https://www.elibrary.ru/mxsvax>
10. Devyatkin V.A. The use of needles as a phytobiotics in animal nutrition and aquaculture. *Agrarian science. 2023; (6): 50–57 (in Russian).* <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-50-57>
11. Mishurov A.V., Romanov V.N., Dovydenko M.V. Immune and antioxidant status of the body of lambs using brown algae *Fucus vesiculosus*. *Agrarian science. 2023; (9): 47–51 (in Russian).* <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-47-51>
12. Gnezdilova L., Kruglova Yu., Muradyan Zh., Rozinsky S. Assessing the ecological impact of betulin-containing feed additives: insights from biochemical parameters in breeding calves and dairy cows. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science. 2025; 15(1): 103–112.* <https://doi.org/10.31407/ijees15.112>

13. Красиков А.П., Плещакова В.И., Новицкий А.А., Трофимов И.Г., Алексеева И.Г., Лещёва Н.А. Применение растительного препарата «Бетулин» в животноводстве. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки.* 2017; (12–2): 9–13.
<https://www.elibrary.ru/vwagsd>
14. Шрайнер А.А., Сунцова О.А., Лыско С.Б., Кулаков И.В. Разработка новых биологически активных препаратов на основе бетулина для нужд практической ветеринарии. *Биотехнологии в сельском хозяйстве, промышленности и медицине. Сборник материалов Региональной научно-практической конференции молодых ученых.* Омск: Омский ГАУ. 2017; 277–282.
<https://www.elibrary.ru/vwpwf>
15. Карамаева А.С., Зайцев В.В. Показатели естественной резистентности коров разных пород. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование.* 2011; (2): 150–153.
<https://www.elibrary.ru/nebjnt>
16. Сабыр А.Е., Аймаков А.О. Технология получения биологических активных веществ из коры березы. *Лицевые технологии будущего: инновационные идеи, научный поиск, креативные решения. Сборник материалов V Международной научно-практической молодежной конференции, посвященной памяти Р.Д. Поландовой.* М.: Белый Ветер. 2023; 157–159.
<https://www.elibrary.ru/vislx>
17. Васильев В.В. Кора березы — ценное сырье для химической переработки. *Древесные плиты и фанера: теория и практика. XXVI Всероссийская научно-практическая конференция.* СПб.: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова. 2023; 48–52.
<https://www.elibrary.ru/kwsek1>
18. Лушков Д.А., Никонова Н.Н., Хуршкайнен Т.В. Выделение экстрактивных веществ из березовой коры методом эмульсионной экстракции. *Человек и окружающая среда. Сборник докладов XI Всероссийской молодёжной научной конференции.* Сыктывкар: Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина. 2023; 94–98.
<https://www.elibrary.ru/ptwmlm>
19. Куликова Н.А. Исследование содержания билирубина в крови крупного рогатого скота. *Международный студенческий научный вестник.* 2017; (4–5): 616–618.
<https://www.elibrary.ru/zegmkh>
20. Петренко А.А., Барышников П.И. Применение биогенных препаратов растительного происхождения в ветеринарии. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета.* 2024; (3): 62–67.
<https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-233-3-62-67>
21. Алексеева И.Г., Красиков А.П., Земляницына И.Ю. Иммuno-модулирующие свойства бетулина и перспективы его применения в ветеринарной медицине. *Патология продуктивных и непродуктивных животных, рыб и птиц. Сборник научных трудов ВНИИБТЖ СО РАСХН.* Омск. 2011; 179–185.
<https://www.elibrary.ru/stopml>
22. Голдырев А.А., Деев Л.Е., Ситников В.А. Бетулин и его влияние на состояние здоровья собак. *Аграрная наука.* 2007; (11): 26–28.
<https://www.elibrary.ru/icdtbb>
23. Земляницына И.Ю. Новый экологический препарат «Бетулин» и его применение при микоплазмозе и микоплазмозассоциированной инфекции свиноматок и поросят. *Современные проблемы науки и образования.* 2012; (6): 761.
<https://www.elibrary.ru/todvkh>
24. Задорожная М.В., Лыско С.Б., Красиков А.П. Эффективность применения «Бетулина» в птицеводстве. *Ветеринария и кормление.* 2013; (1): 32–34.
<https://www.elibrary.ru/rcnued>
25. Задорожная М.В., Лыско С.Б. Гистоморфологические изменения органов иммунной системы цыплят-бройлеров при применении препарата «Бетулин». *Главный зоотехник.* 2023; 7(240): 34–40.
<https://www.elibrary.ru/fimehu>
26. Красиков А.П., Алексеева И.Г., Деев Л.Е., Панfilov R.Yu. Применение «Бетулина» для лечения телят при ассоциативных инфекциях. *Ветеринарная патология.* 2010; 1(32): 49–57.
<https://www.elibrary.ru/obmnft>
27. Дерюгина А.В., Иващенко М.Н., Метелин В.Б., Ковылин Р.С., Игнатьев П.С. Влияние технологического стресса на неспецифическую резистентность организма коров. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.* 2023; 15(3): 26–40.
<https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-26-40>
28. Берзина А.Г., Станкова Н.В., Каплун А.П., Буркова А.А., Гамалея Н.Б. Изучение адьювантовых свойств наночастиц из экстракта бересты при иммунизации мини-свиней светлогорской популяции. *Биомедицина.* 2021; 17(3E): 133–138.
<https://doi.org/10.33647/2713-0428-17-3E-133-138>
13. Krasikov A.P., Pleshakova V.I., Novitsky A.A., Trofimov I.G., Alexeeva I.G., Leshcheva N.A. The use of herbal preparation "Betulin" in animal husbandry. *Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences.* 2017; (12–2): 9–13 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/vwagsd>
14. Shrainer A.A., Suntsova O.A., Lysko S.B., Kulakov I.V. Development of new biologically active preparations based on betulin for the needs of the practical veterinary. *Biotechnology in agriculture, industry and medicine. Collection of materials of the Regional scientific and practical conference of young scientists.* Omsk: Omsk State Agrarian University. 2017; 277–282 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/vpwvf>
15. Karamaeva A.S., Zaytsev V.V. Cows' different breeds natural resistance indicators. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education.* 2011; (2): 150–153 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/nebjnt>
16. Sabry A.E., Aimakov A.O. Technology for obtaining biologically active substances from birch bark. *Food technologies of the future: innovative ideas, scientific research, creative solutions. Collection of materials of the V International scientific and practical youth conference dedicated to the memory of R.D. Polandova.* Moscow: Bely Veter. 2023; 157–159 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/vislx>
17. Vasiliev V.V. Birch bark is a valuable raw material for chemical processing. *Wood boards and plywood: theory and practice. XXVI All-Russian scientific and practical conference.* St. Petersburg: St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov. 2023; 48–52 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/kwsek1>
18. Lushkov D.A., Nikonova N.N., Khurshkainen T.V. Isolation of extractive substances from birch bark by emulsion extraction. *Man and the Environment. Collection of reports of the XI All-Russian youth scientific conference.* Syktyvkar: Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin. 2023; 94–98 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/ptwmlm>
19. Kulikova N.A. The study of the content of bilirubin in the blood of cattle. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik.* 2017; (4–5): 616–618 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/zegmkh>
20. Petrenko A.A., Baryshnikov P.I. Use of biogenic medicines of vegetable origin in veterinary medicine. *Bulletin of Altai State Agricultural University.* 2024; (3): 62–67 (in Russian).
<https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-233-3-62-67>
21. Alekseeva I.G., Krasikov A.P., Zemlyanitsyna I.Yu. Immunomodulatory properties of betulin and prospects for its use in veterinary medicine. *Pathology of productive and non-productive animals, fish and birds. Collection of scientific papers of the All-Russian Research Institute of Animal Husbandry and Biotechnology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Agricultural Sciences.* Omsk. 2011; 179–185 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/stopml>
22. Goldyrev A.A., Deev L.E., Sitnikov V.A. Betulin and its influence on the health of dogs. *Agrarian science.* 2007; (11): 26–28 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/icdtbb>
23. Zemlyanitsyna I.Yu. New ecological preparation betulin and its use in mycoplasmosis and mycoplasmosis-associated infection of sows and piglets. *Modern problems of science and education.* 2012; (6): 761 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/todvkh>
24. Zadorozhnyaya M.V., Lysko S.B., Krasikov A.P. Efficiency of "Betulin" application in poultry farming. *Veterinary science and feeding.* 2013; (1): 32–34 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/rcnued>
25. Zadorozhnyaya M.V., Lysko S.B. Histomorphological changes in the immune system organs of broiler chickens when using the drug "Betulin". *Chief Livestock Technician.* 2023; 7(240): 34–40 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/fimehu>
26. Krasikov A.P., Alekseeva I.G., Deev L.E., Panfilov R.Yu. Use of "Betulin" for the treatment of calves with associated infections. *Veterinary pathology.* 2010; 1(32): 49–57 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/obmnft>
27. Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Metelin V.B., Kovylin R.S., Ignatievev P.S. Influence of Technological Stress on Nonspecific Resistance of Cows. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.* 2023; 15(3): 26–40 (in Russian).
<https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-26-40>
28. Berzina A.G., Stankova N.V., Kaplun A.P., Burkova A.A., Gamaleya N.B. Investigation of the Adjuvant Properties of Nanoparticles from a Birch Bark Extract Used for Immunization of Mini Pigs of the Svetlogorsk Population. *Journal Biomed.* 2021; 17(3E): 133–138 (in Russian).
<https://doi.org/10.33647/27130428-17-3E-133-138>

29. Шляхтун А.Г., Радута Е.Ф., Сутько И.П., Волчкевич О.М., Букша Е.В., Богдевич Е.В. Профилактическое влияние «Бетулина» на развитие сахарного диабета 2-го типа у крыс. *Актуальные вопросы фармакологии и фармакотерапии. Сборник материалов научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора М.В. Кораблёва.* Гродно: Гродненский государственный медицинский университет. 2023; 169–172. <https://www.elibrary.ru/zjrwrc>
30. Мельникова Н.Б. и др. Регуляция липидного метаболизма под действием 1,2,4-триоксоланов и «Бетулина» в условиях гипоксии и иммобилизационного стресса в эксперименте на крысах. Ученые записки СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова. 2023; 30(4): 18–31. <https://doi.org/10.24884/16074181-2023-30-4-81-31>
31. Деч Т.А. Прогнозирование спектра биологической активности бетулина и его окисленных производных. *Наука XXI века: вызовы, становление, развитие: сборник статей IX Международной научно-практической конференции.* Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая наука». 2023; 36–40. <https://www.elibrary.ru/bkrbxw>
32. Kemboi D.C. et al. A Review of the Impact of Mycotoxins on Dairy Cattle Health: Challenges for Food Safety and Dairy Production in Sub-Saharan Africa. *Toxins.* 2020; 12(4): 222. <https://doi.org/10.3390/toxins12040222>
33. Ahn J.Y., Kim J., Cheong D.H., Hong H., Jeong J.Y., Kim B.G. An In Vitro Study on the Efficacy of Mycotoxin Sequestering Agents for Aflatoxin B1, Deoxynivalenol, and Zearalenone. *Animals.* 2022; 12(3): 333. <https://doi.org/10.3390/ani12030333>
34. Sulzberger S.A., Melnichenko S., Cardoso F.C. Effects of clay after an aflatoxin challenge on aflatoxin clearance, milk production, and metabolism of Holstein cows. *Journal of Dairy Science.* 2017; 100(3): 1856–1869. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11612>
35. Zhang F. et al. Turn-On Fluorescence Aptasensor on Magnetic Nanobeads for Aflatoxin M1 Detection Based on an Exonuclease III-Assisted Signal Amplification Strategy. *Nanomaterials.* 2019; 9(1): 104. <https://doi.org/10.3390/nano9010104>
36. Gao Y., Li S., Wang J., Luo C., Zhao S., Zheng N. Modulation of Intestinal Epithelial Permeability in Differentiated Caco-2 Cells Exposed to Aflatoxin M1 and Ochratoxin A Individually or Collectively. *Toxins.* 2018; 10(1): 13. <https://doi.org/10.3390/toxins10010013>
37. Гнездилова Л.А., Мурадян Ж.Ю., Круглова Ю.С., Розинский С.М. Мониторинг биохимических показателей сыворотки крови телят на фоне применения бетулиносодержащей кормовой добавки. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство.* 2025; 20(1): 12–26. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2025-20-1-12-26>

ОБ АВТОРАХ

Лариса Александровна Гнездилова

доктор ветеринарных наук, профессор, заведующая кафедрой диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных
lag22004@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1007-34>

Жора Юрикович Мурадян

кандидат биологических наук, доцент
zh_muradyan@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2516-7627>

Юлия Сабировна Круглова

кандидат ветеринарных наук, доцент
y7272@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2953-0745>

Серафим Михайлович Розинский

ассистент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных
ser.roz1@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-1937-6919>

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, ул. Академика Скрябина, 23, Москва, 109472, Россия

29. Shlyakhtun A.G., Raduta E.F., Sutko I.P., Volchkevich O.M., Buksha E.V., Bogdevich E.V. The preventive effect of "Betulin" on the development of type 2 diabetes in rats. *Actual issues of pharmacology and pharmacotherapy. collection of materials of the scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor M.V. Korablyov.* Grodno: Grodno State Medical University. 2023; 169–172 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zjrwrc>

30. Melnikova N.B. et al. Regulation of Lipid Metabolism by 1,2,4-Trioxolanes and "Betulin" under Hypoxia and Immobilization Stress in Rats. *The Scientific Notes of Pavlov University.* 2023; 30(4): 18–31 (in Russian). <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2023-30-4-18-31>

31. Dech T.A. Forecasting the spectrum of biological activity of betulin and its oxidized derivatives. *Science of the XXI century: challenges, formation, development: collection of articles of the IX International scientific and practical conference.* Petrozavodsk: International center of scientific partnership "New Science". 2023; 36–40 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/bkrbxw>

32. Kemboi D.C. et al. A Review of the Impact of Mycotoxins on Dairy Cattle Health: Challenges for Food Safety and Dairy Production in Sub-Saharan Africa. *Toxins.* 2020; 12(4): 222. <https://doi.org/10.3390/toxins12040222>

33. Ahn J.Y., Kim J., Cheong D.H., Hong H., Jeong J.Y., Kim B.G. An In Vitro Study on the Efficacy of Mycotoxin Sequestering Agents for Aflatoxin B1, Deoxynivalenol, and Zearalenone. *Animals.* 2022; 12(3): 333. <https://doi.org/10.3390/ani12030333>

34. Sulzberger S.A., Melnichenko S., Cardoso F.C. Effects of clay after an aflatoxin challenge on aflatoxin clearance, milk production, and metabolism of Holstein cows. *Journal of Dairy Science.* 2017; 100(3): 1856–1869. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11612>

35. Zhang F. et al. Turn-On Fluorescence Aptasensor on Magnetic Nanobeads for Aflatoxin M1 Detection Based on an Exonuclease III-Assisted Signal Amplification Strategy. *Nanomaterials.* 2019; 9(1): 104. <https://doi.org/10.3390/nano9010104>

36. Gao Y., Li S., Wang J., Luo C., Zhao S., Zheng N. Modulation of Intestinal Epithelial Permeability in Differentiated Caco-2 Cells Exposed to Aflatoxin M1 and Ochratoxin A Individually or Collectively. *Toxins.* 2018; 10(1): 13. <https://doi.org/10.3390/toxins10010013>

37. Gnezdilova L.A., Muradyan Zh.Yu., Kruglova Yu.S., Rozinsky S.M. Monitoring of biochemical parameters of blood serum of calves against the background of the use of betulin-containing feed additive. *Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Animal Husbandry.* 2025; 20(1): 12–26 (in Russian). <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2025-20-1-12-26>

ABOUT THE AUTHORS

Larisa Aleksandrovna Gnedzilova

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department of Disease Diagnostics, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction
lag22004@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1007-34>

Zhora Yurikovich Muradyan

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
zh_muradyan@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2516-7627>

Yulia Sabirovna Kruglova

Candidate Of Veterinary Sciences, Associate Professor
y7272@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2953-0745>

Serafim Mikhailovich Rozinsky

Assistant Professor at the Department of Disease Diagnostics, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction
ser.roz1@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-1937-6919>

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA by K.I. Skryabin,

23 Academician Skryabin Str., Moscow, 109472, Russia

Б.С. Иолчиев¹ 

С.Н. Ушакова¹

И.Е. Приданова¹

О.Н. Луконина¹

Д.В. Маштaler¹

Т.А. Мороз¹

Б.С. Сейдахметов²

Н.А. Комбарова³

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, пос. Лесные Поляны, Московская обл., Россия

² АО «Московское» по племенной работе, Ногинск, Московская обл., Россия

³ Головной центр по воспроизведению сельскохозяйственных животных, пос. Быково, Московская обл., Россия

 baylar1@yandex.ru

Поступила в редакцию: 01.06.2025

Одобрена после рецензирования: 11.08.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

© Иолчиев Б.С., Ушакова С.Н.,
Приданова И.Е., Луконина О.Н.,
Маштaler Д.В., Мороз Т.А.,
Сейдахметов Б.С., Комбарова Н.А.



Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-38-44

Baylar S. Iolchiev¹ 

Svetlana N. Ushakova¹

Irina E. Pridanova¹

Olga N. Lukonina¹

Dmitry V. Mashtaler¹

Tatiana A. Moroz¹

Bagit S. Seidakhmetov²

Nina A. Kombarova³

¹ All-Russian Scientific Research Institute of Animal Breeding, Lesnye Polyany, Moscow region, Russia

² JSC "Moscow for breeding work", Noginsk, Moscow region, Russia

³ Head Center for the Reproduction of Farm Animals, Bykovo, Moscow region, Russia

 baylar1@yandex.ru

Received by the editorial office: 01.06.2025

Accepted in revised: 11.08.2025

Accepted for publication: 26.08.2025

© Iolchiev B.S., Ushakova S.N., Pridanova I.E., Lukonina O.N., Mashtaler D.V., Moroz T.A., Seidakhmetov B.S., Kombarova N.A.

Взаимосвязь индекса фрагментации ядерной ДНК сперматозоидов с гормональным статусом у быков-производителей

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Эффективность разведения крупного рогатого скота напрямую зависит от качества воспроизводства, где состояние сперматозоидов у племенных быков играет решающую роль. Одним из критических факторов является фрагментация ДНК в сперматозоидах, которая может привести к генетическим аномалиям и снизить эффективность искусственного оплодотворения. Гормональный дисбаланс, особенно уровень тестостерона и эстрадиола, может повлиять на целостность ДНК. Это исследование направлено на изучение влияния гормонального статуса быков на фрагментацию ДНК в их сперматозоидах.

Методы. Исследование было проведено на 43 быках голштинской породы. Фрагментацию оценивали с помощью щелочного ДНК комет-анализа, в каждом образце анализировали не менее 250 сперматозоидов. Гормональный статус (тестостерон, эстрадиол, тироксин) оценивали с помощью иммуноферментного анализа (ELISA) сыворотки крови. Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения SPSS v.23 с использованием дисперсионного анализа и t-критерия Стьюдента.

Результаты. Более 98% сперматозоидов содержали неповрежденную ДНК, в то время как умеренные и тяжелые повреждения наблюдались в 1% и 0,8% клеток соответственно. У быков с неповрежденной ДНК уровень тестостерона был на 62,3% и 72% выше, чем у быков с поврежденной ДНК ($p < 0,05$). И наоборот, концентрация эстрадиола была на 40% выше у быков с фрагментированной ДНК. Корреляционный анализ выявил слабую, но значимую отрицательную связь между тестостероном и фрагментацией ДНК ($p \approx -0,20$) и положительную связь между эстрадиолом и повреждением ДНК ($p \approx 0,18$). Уровни тироксина не показали существенных различий между группами.

Выходы. Высокий уровень тестостерона связан с уменьшением фрагментации ДНК, в то время как повышенный уровень эстрадиола может способствовать ее увеличению, возможно, из-за окислительного стресса. Эти данные подчеркивают важность гормонального баланса для поддержания целостности ДНК сперматозоидов у племенных быков.

Ключевые слова: сперматозоиды, гормональный статус, ДНК-комет анализ, тестостерон, эстрадиол, фрагментация ДНК сперматозоидов

Для цитирования: Иолчиев Б.С. и др. Взаимосвязь индекса фрагментации ядерной ДНК сперматозоидов с гормональным статусом у быков-производителей. Аграрная наука. 2025; 398(09): 38–44.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-38-44>

Relationship between sperm nuclear DNA fragmentation index and hormonal status in breeding bulls

ABSTRACT

Relevance. The efficiency of cattle breeding is directly dependent on reproduction quality, where the condition of spermatozoa in breeding bulls plays a crucial role. One of the critical factors is DNA fragmentation in spermatozoa, which can cause genetic abnormalities and reduce the effectiveness of artificial insemination. Hormonal imbalance, particularly testosterone and estradiol levels, may affect DNA integrity. This study aims to investigate the influence of bulls' hormonal status on DNA fragmentation in their spermatozoa.

Methods. The study was conducted on 43 Holstein bulls. DNA fragmentation was assessed using the alkaline comet assay, with a minimum of 250 spermatozoa analyzed per sample. Hormonal status (testosterone, estradiol, thyroxine) was evaluated through enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) of blood serum. Statistical analysis was performed using SPSS v.23 software, employing variance analysis and Student's t-test.

Results. Over 98% of spermatozoa exhibited intact DNA, while moderate and severe damage was observed in 1% and 0.8% of cells, respectively. Bulls with intact DNA showed 62.3% and 72% higher testosterone levels compared to those with DNA damage ($p < 0.05$). Conversely, estradiol concentration was 40% higher in bulls with fragmented DNA. Correlation analysis revealed a weak but significant negative association between testosterone and DNA fragmentation ($p \approx -0.20$) and a positive association between estradiol and DNA damage ($p \approx 0.18$). Thyroxine levels showed no significant differences between groups.

Conclusions. High testosterone levels are associated with reduced DNA fragmentation, while elevated estradiol may contribute to its increase, potentially due to oxidative stress. These findings highlight the importance of hormonal balance in maintaining sperm DNA integrity in breeding bulls.

Key words: spermatozoa, hormonal status, DNA comet analysis, testosterone, estradiol, sperm DNA fragmentation

For citation: Iolchiev B.S. et al. Relationship between sperm nuclear DNA fragmentation index and hormonal status in breeding bulls. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 38–44 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-38-44>

Введение/Introduction

Экономическая эффективность скотоводства напрямую зависит от организации племенной работы. Она является одним из основных факторов, влияющих на рост объема производства, темп генетического прогресса [1–4]. В молочном животноводстве, особенно в высокопродуктивных стадах с коротким сроком эксплуатации коров, затраты на приобретение ремонтных телок занимают значительную долю в структуре расходов. Это особенно актуально при расширенном способе воспроизводства, направленном на увеличение поголовья.

Проблема нарушения репродуктивной функции крупного рогатого скота во всём мире вызывает серьезную озабоченность [5–8]. Около четверти быков-производителей демонстрируют сниженную fertильность или полную стерильность. Ключевым лимитирующим фактором репродуктивного потенциала, как у людей, так и у животных, выступает ухудшение качества семенного материала, прогрессирующее в последние десятилетия [9–11].

В молочном скотоводстве применяют различные методы вспомогательной репродуктивной технологии, особенно метод искусственного оплодотворения. Он позволяет использовать генетический материал одного племенного быка с выдающимися характеристиками для оплодотворения сотен и даже тысяч самок. В связи с этим контроль параметров спермопродукции приобретает критическую важность — как с экономической, так и с биологической точки зрения [12, 13].

Качество спермы зависит от комплекса биотических и абиотических факторов [14–18]. Исследования показывают, что одним из основных параметров, характеризующих биологическую полноценность мужских гамет, является состояние генетического материала в сперматозоидах. Высокий индекс фрагментации ДНК в сперматозоидах отрицательно коррелирует с результативностью искусственного осеменения и эффективностью процедур вспомогательной репродукции [18–23]. Нарушения целостности яДНК сперматозоидов могут привести к генетическим или хромосомным мутациям.

Гормональный баланс играет ключевую роль в поддержании fertильности [24–26]. Процесс сперматогенеза в значительной степени зависит от гормонов, вырабатываемых в ответ на гонадотропин-рилизинг-гормон в системе «гипоталамус — гипофиз — яички» [27]. Нормальная гормональная функция яичек регулируется выработкой гипофизом фолликулостимулирующего гормона (ФСГ), лютеинизирующего гормона (ЛГ), пролактина (ПРЛ), тиреотропного гормона (ТТГ), тестостерона и антимюллерова гормона (АМГ) [28, 29].

Исследования показывают, что дефицит гормонов в микроокружении половых клеток является

основной причиной увеличения количества незрелых сперматозоидов, что может негативно сказаться на их выживаемости и функциях [30]. Высокий уровень эстрadiола ассоциирован с повышением фрагментации ДНК из-за усиления оксидативного стресса и нарушения гормонального баланса. Эстрогены участвуют в регуляции сперматогенеза и подвижности сперматозоидов, однако их избыток (гиперэстрогенемия) подавляет выработку тестостерона [31].

Исследования, изучающие взаимосвязь между уровнями эндогенных гормонов и индексом фрагментации ДНК сперматозоидов у быков, ограничены.

Цель исследования — изучение взаимосвязи содержания тестостерона, эстрadiола и тироксина с уровнем фрагментации ядерной ДНК сперматозоидов у быков-производителей голштинской породы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Животные и сбор спермы. Исследования проводили в лаборатории биологии воспроизведения сельскохозяйственных животных Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела» в 2025 г.

В данной работе использовали сперму быков-производителей голштинской породы.

Сбор эякулята выполняли с применением искусственной вагины в соответствии с Национальной технологией замораживания и использования спермы племенных быков¹.

Качество спермы оценивали с помощью систем компьютерного анализа спермы (Computer-assisted sperm analysis, CASA). Использовали программное обеспечение Argus-CASA (ООО «Аргус-Софт», Россия).

Обслуживание животных и проведение экспериментов осуществляли в соответствии с нормативными документами² и ГОСТ 33215-2014³.

Оценка индекса фрагментации яДНК. Фрагментацию ядерной ДНК сперматозоидов определяли методом щелочного варианта ($\text{pH} > 13$) ДНК-комет анализа (одноклеточный гель-электрофорез). Визуализацию результатов электрофореза осуществляли с помощью флуоресцентного микроскопа Nikon Eclipse Ni-U (Nikon, Япония), интегрированного в систему визуализации микрофотоизображений ProgRessHFcool/CaputerPro 2.8.8 (Jenoptic AG, Германия). Для измерения степени фрагментации ДНК в сперматозоидах использовали программное обеспечение CASP LAB 1.2.2⁴). В каждом образце оценивали не менее 250 сперматозоидов. В каждом зафиксированном объекте

¹ Виноградов В.Н. и др. Национальная технология замораживания и использования спермы племенных быков-производителей. М.: Всероссийский НИИ животноводства. 2008.

² European Convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes. Official Journal L 222. 1999; 0031-0037.

³ https://rosstandards.ru/file/gost/13/020/gost_33215-2014.pdf

⁴ <https://sourceforge.net/projects/casp/files/casp/1.2.2/>

определяли процент ДНК в голове, в хвосте кометы, длину миграции ДНК в хвосте кометы, радиус головы, длину и момент хвоста кометы.

Мониторинг гормонального статуса быков-производителей. Кровь для анализа отбирали из хвостовой вены в стерильные вакуумные пробирки. Пробы транспортировали в термосумках для отделения сыворотки от форменных элементов. Сыворотку хранили при температуре -24 °С.

Концентрацию гормонов (тестостерона, эстрадиола, тироксина) определяли методом иммуноферментного анализа с использованием анализатора «Униплан-01» (ЗАО «Пикон», Россия) и наборов реагентов «Иммунотех» (АО «НВО «Иммунотех», Россия).

Измерение оптической плотности и обработку данных выполняли в программе «Пикон Сервис 3070» (ЗАО «Пикон», Россия).

Статистический анализ. Для создания базы данных и обработки первичных данных использовали Microsoft Office Excel (США). Статистический анализ первичного материала проводили с помощью программного обеспечения SPSS v.23 («Корпорация IBM», США). Обработку полученных данных проводили посредством дисперсионного анализа. Вычисляли средние арифметические (M) и стандартные ошибки средних ($\pm SEM$). Для изучения взаимосвязи между содержанием эндогенных гормонов и уровнем повреждения ядерной ДНК сперматозоидов был использован коэффициент ранговой корреляции Спирмена, оценивающий монотонную зависимость между переменными. Расчет коэффициента проводили по следующей формуле:

$$p = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)},$$

где d_i — разность рангов двух переменных для каждого наблюдения, n — количество наблюдений.

Достоверность различия сравниваемых средних значений оценивали с помощью t -критерия Стьюдента. Значимость различий была установлена на уровне: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

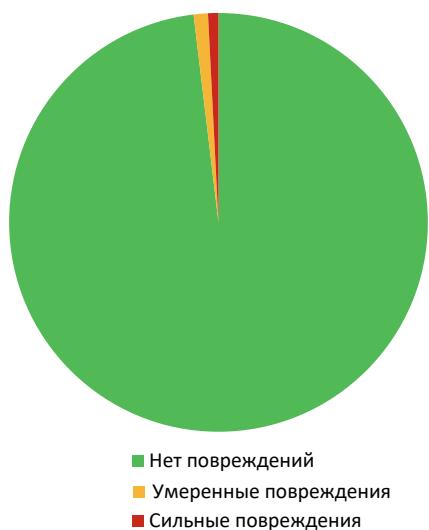
Результаты и обсуждение / Results and discussion

В исследуемой выборке более 98% всех гамет имели интактную ДНК. Доля сперматозоидов с умеренным повреждением генетического материала в среднем составила 1%, тогда как лишь у 0,8% клеток содержание ДНК в ядре было менее 60%, что соответствует высокому уровню фрагментации (рис. 1).

Среди 43 исследуемых быков у 9 особей не было обнаружено сперматозоидов с фрагментацией ядерной ДНК, а у 14 животных выявлены единичные сперматозоиды с высоким индексом фрагментации.

Рис. 1. Распределение сперматозоидов по степени повреждения яДНК, %

Fig. 1. Distribution of spermatozoa by degree of nDNA damage, %



В день сбора спермы у всех животных отбирали пробы крови для мониторинга гормонального статуса и анализа взаимосвязи между качеством спермы и уровнем гормонов в сыворотке крови.

У быков-производителей с интактной ядерной ДНК содержание тестостерона в сыворотке крови было на 62,3% выше, чем у животных со сперматозоидами, имеющими умеренное повреждение ДНК, и на 72,0% выше по сравнению с быками, у которых наблюдался высокий уровень повреждения (табл. 1).

По содержанию общего тироксина между группами достоверной разницы не установлено, этот показатель носит криволинейный характер. Минимальный уровень содержания данного гормона был у быков с высоким уровнем повреждения ДНК сперматозоидов, максимальный — у быков с умеренным повреждением.

Высокий уровень содержания эстрадиола обнаружен в сыворотке быков, у которых в популяции исследуемых сперматозоидов обнаружены сильно поврежденные клетки. В сыворотке этих быков содержалось на 40% больше эстрогена, чем у животных без повреждения ядерной ДНК сперматозоидов.

Таблица 1. Уровень гормонов в сыворотке крови быков-производителей в зависимости от степени повреждения яДНК

Table 1. Serum hormone levels in breeding bulls depending on the degree of nDNA damage

Содержание гормонов	Уровень повреждения яДНК в головке сперматозоидов		
	нет повреждений	умеренные повреждения	сильные повреждения
Тестостерон, нмоль/л	37,81 ± 0,18*	23,29 ± 1,73	21,98 ± 2,00
Тироксин, нмоль/л	90,69 ± 0,35	91,93 ± 3,26	86,24 ± 3,78
Эстрадиол, нмоль/л	0,314 ± 0,002	0,484 ± 0,02*	0,521 ± 0,02*

Примечание: * $p < 0,05$.

Анализ разброса данных одного из основных показателей, характеризующих степень повреждения ДНК (момент хвоста по Оливе) в зависимости от категории индекса фрагментации, показан на рисунке 2.

Как видно из графика, показатель момента хвоста кометы в группе, где индекс фрагментации яДНК не превышает 5%, отсутствует, в группе с умеренным повреждением распределение равномерное, размах небольшой. В группе с высоким уровнем повреждения наблюдаются большой размах и выбросы.

Анализ распределения концентрации тестостерона в сыворотке крови в зависимости от степени повреждения яДНК показал следующие результаты. У быков-производителей, в сперматозоидной популяции которых отсутствовали клетки с умеренным и высоким уровнями повреждения ДНК, медианные значения были смешены к нижней границе диапазона, статистические выбросы не наблюдались.

У быков со сперматозоидами, имеющими умеренные и выраженные повреждения ДНК, медианные значения были достоверно ниже ($p < 0,05$) по сравнению с показателями животных с интактной ДНК сперматозоидов (рис. 3).

Анализ распределения содержания общего тироксина в зависимости от характера повреждения яДНК сперматозоидов показывает, что распределение равномерно во всех группах (рис. 4).

Характер распределения содержания общего тироксина показывает тенденцию к увеличению в группах с поврежденной ДНК. С целью проверки гипотезы взаимосвязи содержания эндогенных гормонов с уровнем повреждения ядерной ДНК сперматозоидов провели корреляционный анализ.

Коэффициент Спирмена между содержанием тестостерона и моментом хвоста кометы составил (p) $\approx -0,20$, что говорит о слабой отрицательной корреляции между показателями. Данная взаимосвязь является статистически значимой ($p \leq 0,05$).

В исследуемой выборке достоверная взаимосвязь между индексом фрагментации и общим тироксином не установлена, а между содержанием эстрадиола и повреждением яДНК сперматозоидов установлена положительная корреляция (p) $\approx 0,18$.

Рис. 2. Разброс распределения момента хвоста кометы в зависимости от категории повреждения яДНК сперматозоидов

Fig. 2. Distribution of comet tail moment depending on damage category nDNA

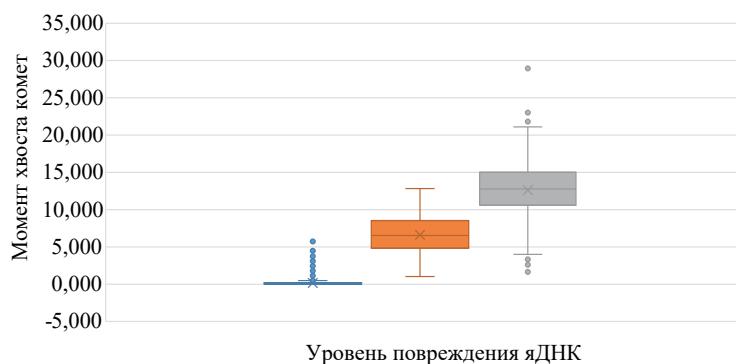


Рис. 3. Характеристика распределения показателей содержания тестостерона в зависимости от уровня повреждения яДНК

Fig. 3. Characteristics of the distribution of testosterone content indicators depending on the level of DNA damage

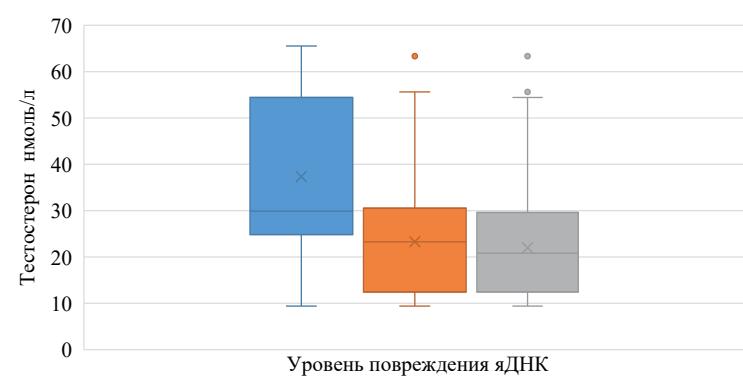
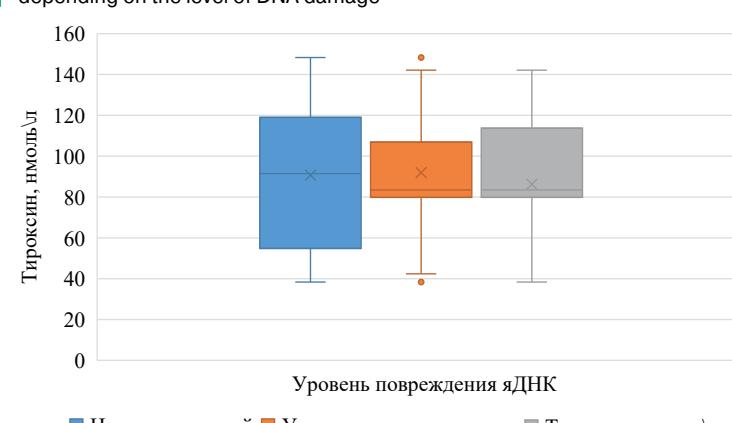


Рис. 4. Характеристика распределения показателей содержания общего тироксина в зависимости от уровня повреждения яДНК

Fig. 4. Characteristics of the distribution of total thyroxine content indicators depending on the level of DNA damage



Выводы/Conclusions

Исследование выявило значимую взаимосвязь между гормональным статусом быков-производителей и индексом фрагментации ядерной ДНК (яДНК) их сперматозоидов. Сперматозоиды с фрагментированной ядерной ДНК

у исследуемых быков-производителей встречались с низкой частотой, 98% сперматозоидов имеют интактную ДНК, что свидетельствует о высоком качестве генетического материала у исследуемых быков. Сперматозоиды с умеренными повреждениями составили 1% от общего количества проанализированных клеток, с высоким уровнем повреждения — 0,8%.

У быков с неповрежденной ДНК сперматозоидов уровень тестостерона в сыворотке крови был значительно выше — на 62,3% и 72,0%, соответственно, в сравнении с животными, у которых наблюдались умеренные и сильные повреждения ДНК. Это указывает на важную роль тестостерона в поддержании целостности генетического материала сперматозоидов.

Высокий уровень эстрadiола коррелировал с увеличением фрагментации ДНК.

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-26-00041).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Шмидт А.В., Иолчиев Б.С., Онкорова Н.Т. Изучение биологической полноценности сперматозоидов в сперме с бактериальной обсемененностью. *Вестник КрасГАУ*. 2024; (2): 101–108. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-6-101-108>
 - Иолчиев Б.С. и др. Дисперсия хроматина сперматозоидов быков-производителей в зависимости от возраста. *Животноводство и кормопроизводство*. 2024; 107(4): 255–265. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-255>
 - Карпеня М.М. Взаимосвязь некоторых факторов с репродуктивной функцией быков-производителей. *Зоотехническая наука Беларуси*. 2021; 56(1): 59–65. <https://elibrary.ru/btdnxo>
 - Руденко О.В. Показатели воспроизведения коров при разной степени инбридинга. *Вестник Российской университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2022; 17(3): 360–372. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-3-360-372>
 - Davis T.C., White R.R. Breeding animals to feed people: The many roles of animal reproduction in ensuring global food security. *Theriogenology*. 2020; 150: 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.01.041>
 - López-Gatius F. Is fertility declining in dairy cattle?: A retrospective study in northeastern Spain. *Theriogenology*. 2003; 60(1): 89–99. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)01359-6](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01359-6)
 - Berry D.P., Friggins N.C., Lucy M., Roche J.R. Milk Production and Fertility in Cattle. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2016; 4: 269–290. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021815-111406>
 - Мартынова Е.Н., Азимова Г.В., Исупова Ю.В., Сухова В.С. Проблема воспроизведения в молочном скотоводстве и пути ее решения. *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2016; (3): 38–44. <https://elibrary.ru/wmgnt>
 - Коршунов М.Н., Коршунова Е.С., Кастрин Ю.В., Даренков С.П. Мужской фактор бесплодия в аспекте невынашивания беременности. Кремлевская медицина. *Клинический вестник*. 2021; (3): 78–82. <https://doi.org/10.26269/n3bk-c996>
 - Нечипоренко А.П., Ситникова В.Е., Нечипоренко У.Ю., Коноваленко А.В. Инфракрасная фурье-спектроскопия в исследовании проявлений патологии сперматозоидов. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина*. 2023; 18(3): 233–257. <https://doi.org/10.21638/spbu11.2023.302>
 - Xiao L. et al. Effect of ambient temperature variability on sperm quality: A retrospective population-based cohort study. *Science of The Total Environment*. 2022; 851(2): 158245. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158245>
- У быков с поврежденными сперматозоидами концентрация эстрadiола была на 40% выше, чем у животных без повреждений. Это подтверждает гипотезу о негативном влиянии избытка эстрогенов на целостность ДНК, возможно, через усиление окислительного стресса.
- Корреляционный анализ подтвердил слабую, но статистически значимую отрицательную связь между тестостероном и фрагментацией ДНК ($r \approx -0,20$, $p \leq 0,05$), а также положительную связь между эстрadiолом и повреждением ДНК ($r \approx 0,18$).
- Результаты исследования подчеркивают важность гормонального баланса, особенно тестостерона и эстрadiола, для поддержания целостности ДНК сперматозоидов у быков-производителей.

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.

FUNDING

The research was carried out with financial support from the Russian Science Foundation (project No. 25-26-00041).

REFERENCES

- Shmidt A.V., Iolchiev B.S., Onkorova N.T. Studying the biological completeness of sperm in semen with bacterial contamination. *Bulletin of KrasGAU*. 2024; (2): 101–108 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-6-101-108>
- Iolchiev B.S. et al. Chromatin dispersion of spermatozoa of stud bulls depending on age *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024; 107(4): 255–265 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-255>
- Karpenya M.M. Correlation of some factors with reproductive function of producing bulls. *Zootechnical Science of Belarus*. 2021; 56(1): 59–65 (in Russian). <https://elibrary.ru/btdnxo>
- Rudenko O.V. Cow reproduction rates with varying inbreeding degrees. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry*. 2022; 17(3): 360–372 (in Russian). <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-3-360-372>
- Davis T.C., White R.R. Breeding animals to feed people: The many roles of animal reproduction in ensuring global food security. *Theriogenology*. 2020; 150: 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.01.041>
- López-Gatius F. Is fertility declining in dairy cattle?: A retrospective study in northeastern Spain. *Theriogenology*. 2003; 60(1): 89–99. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)01359-6](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01359-6)
- Berry D.P., Friggins N.C., Lucy M., Roche J.R. Milk Production and Fertility in Cattle. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2016; 4: 269–290. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021815-111406>
- Martynova E.N., Azimova G.V., Isupova Yu.V., Sukhova V.S. The problem of reproduction in dairy farming and the ways of its solving. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2016; (3): 38–44 (in Russian). <https://elibrary.ru/wmgnt>
- Korshunov M.N., Korshunova E.S., Kastrikin Yu.V., Darenkov S.P. Male infertility factor in pregnancy losses. *Kremlin medicine. Clinical bulletin*. 2021; (3): 78–82 (in Russian). <https://doi.org/10.26269/n3bk-c996>
- Nechiporenko A.P., Sitnikova V.E., Nechiporenko U.Yu., Konovalenko A.V. Fourier Infrared spectroscopy in the study of manifestations of sperm pathology. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*. 2023; 18(3): 233–257 (in Russian). <https://doi.org/10.21638/spbu11.2023.302>
- Xiao L. et al. Effect of ambient temperature variability on sperm quality: A retrospective population-based cohort study. *Science of The Total Environment*. 2022; 851(2): 158245. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158245>

12. Schulze M., Nitsche-Melkus E., Jakop U., Jung M., Waberski D. New trends in production management in European pig AI centers. *Theriogenology*. 2019; 137: 88–92.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.05.042>
13. Waberski D., Riesenbeck A., Schulze M., Weitze K.F., Johnson L. Application of preserved boar semen for artificial insemination: Past, present and future challenges. *Theriogenology*. 2019; 137: 2–7.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.05.030>
14. Абилов А.И., Турбина В.В., Новгородова И.П. Взаимосвязь качества семени с биохимическим и гормональным состоянием у быков-производителей. *Ветеринарный врач*. 2023; (5): 73–79.
<https://elibrary.ru/hwvnzo>
15. Bahrami Z., Daeifarshbaf N., Amjadi F., Aflatoonian R. The effects of hormonal changes on sperm DNA integrity in oligoasthenoterato-spermia individuals: A case-control study. *International Journal of Reproductive BioMedicine*. 2023; 20(12): 999–1006.
<https://doi.org/10.18502/ijrm.v20i12.12560>
16. Kumar N., Singh A.K. Trends of male factor infertility, an important cause of infertility: A review of literature. *Journal of Human Reproductive Sciences*. 2015; 8(4): 191–196.
17. McLachlan R.I. Approach to the Patient With Oligozoospermia. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2013; 98(3): 873–880.
<https://doi.org/10.1210/jc.2012-3650>
18. Anderson R.A. et al. Anti-Müllerian hormone as a marker of ovarian reserve and premature ovarian insufficiency in children and women with cancer: a systematic review. *Human Reproduction Update*. 2022; 28(3): 417–434.
<https://doi.org/10.1093/humupd/dmac004>
19. Zhu C. et al. Influence of sperm DNA fragmentation on the clinical outcome of *in vitro* fertilization-embryo transfer (IVF-ET). *Frontiers in Endocrinology*. 2022; 13: 945242.
<https://doi.org/10.3389/fendo.2022.945242>
20. Sakkas D., Mariethoz E., John J.C.S. Abnormal Sperm Parameters in Humans Are Indicative of an Abortive Apoptotic Mechanism Linked to the Fas-Mediated Pathway. *Experimental Cell Research*. 1999; 251(2): 350–355. <http://doi.org/10.1006/excr.1999.4586>
21. Lin M.-H. et al. Sperm chromatin structure assay parameters are not related to fertilization rates, embryo quality, and pregnancy rates in *in vitro* fertilization and intracytoplasmic sperm injection, but might be related to spontaneous abortion rates. *Fertility and Sterility*. 2008; 90(2): 352–359.
<https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2007.06.018>
22. Zini A., Boman J.M., Belzile E., Ciampi A. Sperm DNA damage is associated with an increased risk of pregnancy loss after IVF and ICSI: systematic review and meta-analysis. *Human Reproduction*. 2008; 23(12): 2663–2668.
<https://doi.org/10.1093/humrep/den321>
23. Kennedy C., Ahlering P., Rodriguez H., Levy S., Sutovsky P. Sperm chromatin structure correlates with spontaneous abortion and multiple pregnancy rates in assisted reproduction. *Reproductive BioMedicine Online*. 2011; 22(3): 272–276.
<https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2010.11.020>
24. Абилов А.И. и др. Метаболический профиль и спермопродукция у голштинских быков-производителей зарубежной селекции при содержании в разных климатических и геохимических условиях в России и Казахстане. *Сельскохозяйственная биология*. 2021; 56(4): 730–751.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.4.730rus>
25. Рогозин Д.С. Мужская fertilitъность: обзор литературы октября – декабря 2020 года. *Вестник урологии*. 2021; 9(1): 105–112.
<https://doi.org/10.21886/2308-6424-2021-9-1-105-112>
26. Vince S., Žura Žaja I., Samardžija M., Majić Balić I., Vilić M., Đurić D., Milinković-Tur S. Age-related differences of semen quality, seminal plasma, and spermatozoa antioxidative and oxidative stress variables in bulls during cold and warm periods of the year. *Animal*. 2018; 12(3): 559–568.
<https://doi.org/10.1017/S1751731117001811>
27. Odwole O.O., Peltoketo H., Huhtaniemi I.T. Role of Follicle-Stimulating Hormone in Spermatogenesis. *Frontiers in Endocrinology*. 2018; 9: 763.
<https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00763>
28. McLachlan R.I., Wreford N.G., Robertson D.M., de Kretser D.M. Hormonal control of spermatogenesis. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 1995; 6(3): 95–101.
[https://doi.org/10.1016/1043-2760\(94\)00215-p](https://doi.org/10.1016/1043-2760(94)00215-p)
29. Xu H.-Y., Zhang H.-X., Xiao Z., Qiao J., Li R. Regulation of anti-Müllerian hormone (AMH) in males and the associations of serum AMH with the disorders of male fertility. *Asian Journal of Andrology*. 2019; 21(2): 109–114.
https://doi.org/10.4103/aja.aja_83_18
30. Darbandi M. et al. Reactive oxygen species and male reproductive hormones. *Reproductive Biology and Endocrinology*. 2018; 16: 87.
<https://doi.org/10.1186/s12958-018-0406-2>
31. Hess R.A., Cooke P.S. Estrogen in the male: a historical perspective. *Biology of Reproduction*. 2018; 99(1): 27–44.
<https://doi.org/10.1093/biolre/ioy043>
12. Schulze M., Nitsche-Melkus E., Jakop U., Jung M., Waberski D. New trends in production management in European pig AI centers. *Theriogenology*. 2019; 137: 88–92.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.05.042>
13. Waberski D., Riesenbeck A., Schulze M., Weitze K.F., Johnson L. Application of preserved boar semen for artificial insemination: Past, present and future challenges. *Theriogenology*. 2019; 137: 2–7.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.05.030>
14. Абилов А.И., Турбина В.В., Новгородова И.П. The relationship between the semen quality and biochemical and hormonal state in bulls-producers. *Veterinarny vrach*. 2023; (5): 73–79 (in Russian).
<https://elibrary.ru/hwvnzo>
15. Bahrami Z., Daeifarshbaf N., Amjadi F., Aflatoonian R. The effects of hormonal changes on sperm DNA integrity in oligoasthenoterato-spermia individuals: A case-control study. *International Journal of Reproductive BioMedicine*. 2023; 20(12): 999–1006.
<https://doi.org/10.18502/ijrm.v20i12.12560>
16. Kumar N., Singh A.K. Trends of male factor infertility, an important cause of infertility: A review of literature. *Journal of Human Reproductive Sciences*. 2015; 8(4): 191–196.
17. McLachlan R.I. Approach to the Patient With Oligozoospermia. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2013; 98(3): 873–880.
<https://doi.org/10.1210/jc.2012-3650>
18. Anderson R.A. et al. Anti-Müllerian hormone as a marker of ovarian reserve and premature ovarian insufficiency in children and women with cancer: a systematic review. *Human Reproduction Update*. 2022; 28(3): 417–434.
<https://doi.org/10.1093/humupd/dmac004>
19. Zhu C. et al. Influence of sperm DNA fragmentation on the clinical outcome of *in vitro* fertilization-embryo transfer (IVF-ET). *Frontiers in Endocrinology*. 2022; 13: 945242.
<https://doi.org/10.3389/fendo.2022.945242>
20. Sakkas D., Mariethoz E., John J.C.S. Abnormal Sperm Parameters in Humans Are Indicative of an Abortive Apoptotic Mechanism Linked to the Fas-Mediated Pathway. *Experimental Cell Research*. 1999; 251(2): 350–355. <http://doi.org/10.1006/excr.1999.4586>
21. Lin M.-H. et al. Sperm chromatin structure assay parameters are not related to fertilization rates, embryo quality, and pregnancy rates in *in vitro* fertilization and intracytoplasmic sperm injection, but might be related to spontaneous abortion rates. *Fertility and Sterility*. 2008; 90(2): 352–359.
<https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2007.06.018>
22. Zini A., Boman J.M., Belzile E., Ciampi A. Sperm DNA damage is associated with an increased risk of pregnancy loss after IVF and ICSI: systematic review and meta-analysis. *Human Reproduction*. 2008; 23(12): 2663–2668.
<https://doi.org/10.1093/humrep/den321>
23. Kennedy C., Ahlering P., Rodriguez H., Levy S., Sutovsky P. Sperm chromatin structure correlates with spontaneous abortion and multiple pregnancy rates in assisted reproduction. *Reproductive BioMedicine Online*. 2011; 22(3): 272–276.
<https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2010.11.020>
24. Абилов А.И. и др. Metabolic profiles and sperm production in imported Holstein bull sires under different climatic and geochemical conditions of Russia and Kazakhstan. *Agricultural Biology*. 2021; 56(4): 730–751.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.4.730eng>
25. Rogozin D.S. Male fertility: a review of the publications from October — December 2020. *Urology herald*. 2021; 9(1): 105–112 (in Russian).
<https://doi.org/10.21886/2308-6424-2021-9-1-105-112>
26. Vince S., Žura Žaja I., Samardžija M., Majić Balić I., Vilić M., Đurić D., Milinković-Tur S. Age-related differences of semen quality, seminal plasma, and spermatozoa antioxidative and oxidative stress variables in bulls during cold and warm periods of the year. *Animal*. 2018; 12(3): 559–568.
<https://doi.org/10.1017/S1751731117001811>
27. Odwole O.O., Peltoketo H., Huhtaniemi I.T. Role of Follicle-Stimulating Hormone in Spermatogenesis. *Frontiers in Endocrinology*. 2018; 9: 763.
<https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00763>
28. McLachlan R.I., Wreford N.G., Robertson D.M., de Kretser D.M. Hormonal control of spermatogenesis. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 1995; 6(3): 95–101.
[https://doi.org/10.1016/1043-2760\(94\)00215-p](https://doi.org/10.1016/1043-2760(94)00215-p)
29. Xu H.-Y., Zhang H.-X., Xiao Z., Qiao J., Li R. Regulation of anti-Müllerian hormone (AMH) in males and the associations of serum AMH with the disorders of male fertility. *Asian Journal of Andrology*. 2019; 21(2): 109–114.
https://doi.org/10.4103/aja.aja_83_18
30. Darbandi M. et al. Reactive oxygen species and male reproductive hormones. *Reproductive Biology and Endocrinology*. 2018; 16: 87.
<https://doi.org/10.1186/s12958-018-0406-2>
31. Hess R.A., Cooke P.S. Estrogen in the male: a historical perspective. *Biology of Reproduction*. 2018; 99(1): 27–44.
<https://doi.org/10.1093/biolre/ioy043>

ОБ АВТОРАХ**Байлар Садраддинович Иолчиев¹**доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник
baylar1@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5386-7263>**Светлана Николаевна Ушакова¹**кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
s798558@mail.ru**Ирина Евгеньевна Приданова¹**кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
irinapridanova@yandex.ru**Ольга Николаевна Луконина¹**кандидат сельскохозяйственных наук, врио директора
lukoninaon@mail.ru**Дмитрий Владимирович Машталер¹**кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный
сотрудник
mashtaler-1989@mail.ru**Татьяна Анатольевна Мороз¹**кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
t_moroz_2013@mail.ru**Багит Серикович Сейдахметов²**кандидат биологических наук, главный технолог
mos-bulls@mail.ru**Нина Анатольевна Комбарова³**кандидат биологических наук, главный технолог
komnina@list.ru¹ Всероссийский научно-исследовательский институт
племенного дела,ул. им. Ленина, 13, пос. Лесные Поляны, Пушкино,
Московская обл., 141212, Россия² АО «Московское» по племенной работе»,
ул. Соединительная, 7, Ногинск, Московская обл., 142401,
Россия³ Головной центр по воспроизведству
сельскохозяйственных животных,
Центральная ул., 3, пос. Быково, Подольск, Московская
обл., 142143, Россия**ABOUT THE AUTHORS****Baylar Sadraddinovich Iolchiev¹**Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher
baylar1@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5386-7263>**Svetlana Nikolaevna Ushakova¹**Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
s798558@mail.ru**Irina Evgenievna Pridanova¹**Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
irinapridanova@yandex.ru**Olga Nikolaevna Lukonina¹**Candidate of Agricultural Sciences, Acting Director
lukoninaon@mail.ru**Dmitry Vladimirovich Mashtaler¹**Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
mashtaler-1989@mail.ru**Tatyana Anatolyevna Moroz¹**Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
t_moroz_2013@mail.ru**Bagit Serikovich Seidakhmetov²**Candidate of Biological Sciences, Chief Technologist
mos-bulls@mail.ru**Nina Anatolyevna Kombarova³**Candidate of Biological Sciences, Chief Technologist
komnina@list.ru¹ All-Russian Scientific Research Institute
of Animal Breeding,
13 Lenin Str., Lesnye Polyany, Pushkino, Moscow region,
141212, Russia² JSC “Moscow for breeding work”,
7 Soedinitelnaya Str., Noginsk, Moscow region, 142401,
Russia³ Head Center for the Reproduction
of Farm Animals,
3 Centralnaya Str., Bykovo, Podolsk, Moscow region, 142143,
Russia

Международная выставка
сельскохозяйственной техники,
материалов и оборудования
для животноводства и растениеводства

29–31 октября 2025

г. Екатеринбург,
МВЦ «Екатеринбург-Экспо»



Забронируйте стенд
www.agroprom-ural.ru

Организаторы



Международная
Выставочная
Компания



Реклама

УДК 636.4.03

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-45-53

С.А. Гриценко¹А.А. Белооков¹С.М. Ермолов¹М.Б. Ребезов^{2,3}✉М.Д. Гриценко¹¹ Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия² Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия³ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ rebezov@yandex.ru

Поступила в редакцию: 25.06.2025

Одобрена после рецензирования: 11.08.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

© Гриценко С.А., Белооков А.А., Ермолов С.М., Ребезов М.Б., Гриценко М.Д.

Показатели экстерьера свинок материнской породы на различных этапах онтогенеза

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В статье представлены показатели роста и развития промышленной популяции свиноматок материнской породы, используемых для трехпородного промышленного скрещивания. Установлено, что выбранные для исследований свиноматки материнской породы по параметрическим показателям биостатистики имеют однородные значения по показателям живой массы, абсолютным, среднесуточным, относительным приростам по показателям индексов телосложения.

Методы. В качестве объекта были использованы чистопородные свинки материнской породы Йоркширская — 250 голов. Ремонтных свинок оценивали при проведении бонитировки в возрасте достижения живой массы 100 кг, у свиноматок данные оценки взяли из автоматизированной системы зоотехнического учета «Гибрид».

Результаты. В среднем животные имели живую массу при рождении более 1,2 кг и к возрасту 108 дней достигали живую массу более 100 кг. Коэффициент вариации по исследуемой выборке невысокий и варьирует от 4,24 до 14,54%, что говорит об однородности выборки и ее представительности. Параметрические критерии популяции (X , Mo , Me) в выбранной группе свинок по показателям живой массы в различные периоды онтогенеза находились фактически на одном уровне.

Возраст достижения живой массы 100 кг в среднем составлял 170,91 дня.

Ввиду однородности показателей живой массы в различные периоды онтогенеза аналогичная закономерность установлена по показателям абсолютных, среднесуточных и относительных приростов живой массы ремонтных свиноматок.

На основании полученной оценки в зависимости от разработанных авторами градаций по значимым экстерьерным признакам животных популяция свиноматок была распределена на 3 группы. В ведущую группу вошли 103 головы — 41% от общего исследуемого поголовья, в посредственную группу — 86 голов (35%), в товарную — 61 голова (24%). Наличие в популяции наибольшего количества животных выдающейся группы говорит о высоком генетическом потенциале животных изучаемой популяции.

Ключевые слова: свиноводство, материнская порода, промышленное скрещивание, живая масса, промеры, индексы телосложения

Для цитирования: Гриценко С.А., Белооков А.А., Ермолов С.М., Ребезов М.Б., Гриценко М.Д. Показатели экстерьера свинок материнской породы на различных этапах онтогенеза. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 45–53.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-45-53>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-45-53

Svetlana A. Gritsenko¹Alexey A. Belookov¹Sergey M. Ermolov¹Maksim B. Rebezov^{2,3}✉Michael D. Gritsenko¹¹ South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia² V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia³ Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ rebezov@yandex.ru

Received by the editorial office: 25.06.2025

Accepted in revised: 11.08.2025

Accepted for publication: 26.08.2025

© Gritsenko S.A., Belookov A.A., Ermolov S.M., Rebezov M.B., Gritsenko M.D.

Exterior indicators of maternal breed pigs at different stages of ontogenesis

ABSTRACT

Relevance. The article presents the indicators of growth and development of the industrial population of sows of the maternal breed used for three-breed industrial crossbreeding. It was found that the sows of the mother breed selected for research according to parametric biostatistics have homogeneous values in terms of live weight, absolute, average daily, and relative gains in terms of body composition indices.

Methods. Purebred pigs of the Yorkshire mother breed (250 heads) were used as an object. Repair pigs were evaluated during bonification at the age of reaching a live weight of 100 kg, in sows these estimates were taken from the automated system of zootechnical accounting “Hybrid”.

Results. On average, the animals had a live birth weight of more than 1.2 kg and reached a live weight of more than 100 kg by the age of 108 days. The coefficient of variation in the sample under study is low and varies from 4.24 to 14.54%, which indicates the uniformity of the sample and its representativeness. The parametric criteria of the population (X , Mo , Me) in the selected group of pigs in terms of live weight in different periods of ontogenesis were actually at the same level.

The average age of reaching a live weight of 100 kg was 170.91 days.

Due to the uniformity of body weight indicators in different periods of ontogenesis, a similar pattern has been established in terms of absolute, average daily and relative weight gains of repair sows.

Based on the assessment obtained, depending on the gradations developed by the authors according to significant external characteristics of animals, the sow population was divided into 3 groups. The leading group included 103 heads (41% of the total livestock studied), 86 heads (35%) in the mediocre group, and 61 heads (24%) in the commodity group. The presence of the largest number of animals of an outstanding group in the population indicates the high genetic potential of the animals of the studied population.

Key words: pig breeding, maternal breed, industrial crossbreeding, live weight, measurements, body condition indices

For citation: Gritsenko S.A., Belookov A.A., Ermolov S.M., Rebezov M.B., Gritsenko M.D. Exterior indicators of maternal breed pigs at different stages of ontogenesis. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 45–53 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-45-53>

Введение/Introduction

Промышленное свиноводство — одна из наиболее технологичных отраслей животноводства, где селекция играет ключевую роль в повышении конкурентоспособности продукции. Традиционные методы селекции, основанные на фенотипической оценке и линейной селекции, постепенно уступают место цифровым технологиям, позволяющим ускорить генетический прогресс и минимизировать субъективные ошибки [1–5].

Селекционная работа направлена на: повышение мясной продуктивности (скорость роста, конверсию корма, выход мяса) [6–9]; улучшение репродуктивных качеств (многоплодие, выживаемость поросят) [10–12]; укрепление здоровья и устойчивости к заболеваниям [13]; сохранение генетического разнообразия чистопородных линий [14, 15].

Исследователи подчеркивают значимость комплексного подхода в селекции, включающего как генетическую оценку, так и экстерьерные характеристики животных [16–18]. Традиционные методы селекции (фенотипический отбор, оценка по потомству) дополняются современными цифровыми технологиями, что ускоряет процесс и повышает точность отбора [2, 3, 19].

Для получения товарных гибридов важное значение имеют выбор материнской породы и оценка показателей роста и развития чистопородных свиноматок [20–22].

Изучение биологических закономерностей развития имеет большое практическое значение в животноводстве. В зоотехнии оценка конституции — это составная часть общей племенной оценки животных. Наиболее доступна в практических условиях оценка конституции по общему виду (типу телосложения, соотношению естественных частей), предполагая, что хорошее развитие внешних форм свидетельствует и о хорошем развитии внутренних систем и органов [23–25].

Современные подходы к экстерьерной оценке основаны на использовании методик линейного описания и цифровых технологий [26–28]. Это позволяет выводить новые породы сельскохозяйственных животных и управлять продуктивностью [22, 29].

По конституции можно судить о крепости животных, их выносливости, приспособленности к условиям содержания и давать предварительную оценку продуктивности [30, 31].

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что так называемый прямой отбор животных только по продуктивности сопровождается ослаблением конституции и снижением резистентности организма к условиям содержания. Животные с ослабленной конституцией характеризуются низкой продуктивностью, слабым здоровьем [19, 24, 32]. Малоценны в хозяйственном

отношении, особенно в условиях промышленной технологии. По типу конституции можно определить особей, способных давать высокую продуктивность [24].

Конституция свиней определяется экстерьером и интерьером [25]. Экстерьер — это внешнее строение животного, его анатомо-морфологические признаки, рассматриваемые в связи с биологическими особенностями и хозяйственной ценностью [27]. При оценке экстерьера важно учитывать связь между морфологическими показателями и мясной продуктивностью [33–35].

В связи с этим отбору животных по показателям роста и развития следует придавать особое значение, тем более в условиях промышленной технологии производства свинины [8, 36].

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Работа была выполнена с 14.05.2025 по 14.06.2025 на обособленном структурном подразделении «Свинокомплекс «Ромкор» Троицкого района Челябинской области.

Для исследования в качестве объекта были использованы чистопородные свинки материнской породы йоркширская (250 голов). Ремонтных свинок оценивали при проведении бонитировки в возрасте достижения живой массы 100 кг, у свиноматок данные оценки взяли из автоматизированной системы зоотехнического учета «Гибрид» (табл. 1). Условия содержания и кормления животных были одинаковыми.

Из экстерьерных показателей были оценены: живая масса; промеры тела.

Уход за животными был одинаковым и соответствовал санитарно-гигиеническим и зоотехническим требованиям (ГОСТ 28839-2017¹). Испытуемые животные были клинически здоровыми.

Исследования выполнены с применением общепринятых методологических подходов. Для оценки экстерьерных показателей животных, участвующих в исследованиях, использовали зоотехнические методы².

Таблица 1. Поголовье свинок материнской породы для проведения исследований

Table 1. Number of sows of the maternal breed for conducting research

Технологическая группа	Количество голов, итого	Примечание
Ремонтные	134	Проведение бонитировки в возрасте достижения живой массы 100 кг
3-й опрос	15	
4-й опрос	36	Данные системы учета поголовья, внесенные при проведении бонитировки в возрасте достижения живой массы 100 кг
5-й опрос	37	
6-й опрос	28	
Итого	250	-

¹ ГОСТ 28839-2017 Животные сельскохозяйственные. Свиньи. Зоотехнические требования к содержанию на откорме. 2017.

² Комлацкий В.И., Величко Л.Ф. Конституция, экстерьер и этология и свиней. 2008; 59.

Взвешивание ремонтных свинок проводили индивидуально перед кормлением (утром) с точностью до 1 кг в различные периоды онтогенеза. По результатам взвешивания определяли абсолютные, среднесуточные и относительный прирост (коэффициент напряженности роста).

Оценивали скороспелость — возраст достижения живой массы 100 кг.

Бонитировку ремонтных свинок проводили при достижении живой массы 100 кг, которая уточняет сделанную ранее оценку по родословной. Использовали 100-балльную систему, при этом баллами оценивали общий вид животного и другие показатели, предусмотренные инструкцией по бонитировке.

Мерной палкой с двумя уровнями или мерной рулеткой бонитера у каждого животного взяты 6 основных промеров: высота в холке, глубина груди, ширина груди, длина туловища, обхват груди за лопатками, обхват пясти.

На основании взятых промеров был проведен расчет индексов телосложения: длинноногости, растянутости, сбитости, грудной, массивности по общепринятым формулам согласно рекомендациям В.Ф. Красоты и др. (1999 г.)³, В.Д. Кабанова (2001 г.)⁴.

Из биометрических характеристик популяции были рассчитаны следующие показатели: средняя арифметическая, ошибка средней арифметической, стандартное квадратическое отклонение, коэффициент вариации, достоверность, мода, медиана по общепринятым формулам⁵.

Ошибка и достоверность полученных результатов находили по общепринятым формулам. Обработка цифрового материала проведена методами описательной биометрии с использованием самостоятельно разработанных программ таблиц и пакета статистического анализа среди Microsoft Excel (США).

Применение вышеуказанных методик обеспечило точность и надежность обработки данных, что позволило сделать обоснованные выводы о экономической эффективности исследований и дать рекомендации для производителей свинины.

Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза о защите животных, использующихся для научных целей (Директива Европейского парламента и Совета Европейского

союза от 22 сентября 2010 года № 2010/63/ЕС по охране животных, используемых в научных целях⁶, и принципам обращения с животными, согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ (Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»)⁷.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Показатели балльной оценки экстерьера ремонтных свиноматок при бонитировке отражены в таблице 2. Все животные были оценены классом элиты.

При этом возраст достижения живой массы 100 кг в среднем составлял 170,91 дня, однако наиболее часто встречались особи с величиной данного показателя в 155 дней.

Данные о живой массе свинок до возраста бонитировки были взяты из автоматизированной системы зоотехнического учета «Гибрид».

В большинстве случаев авторы ограничивают оценку исследуемых групп животных такими показателями, как средняя, ошибка средней арифметической и коэффициент вариации, что, на наш взгляд, не всегда позволяет делать соответствующие выводы по выдвинутым нулевым и экспериментальным гипотезам.

Дополнительно проведен расчет модальных и медианных значений показателей роста чистопородных свинок с целью оценки однородности выбранной популяции.

Необходимо отметить, что параметрические критерии популяции (X , M_0 , Me) в выбранной группе свинок находятся фактически на одном уровне (рис. 1).

Таблица 2. Показатели балльной оценки экстерьера ремонтных свиноматок при бонитировке ($n = 250$)

Table 2. Scoring indicators for the exterior of replacement sows during grading ($n = 250$)

Показатель	Данные по породе	$X \pm m_x$	Мода, M_0	Медиана, Me	$Cv, \%$
Возраст достижения живой массы 100 кг	190 и менее	$172,91 \pm 0,65$	155,00	173,00	6,92
Общий вид	20	$19,6 \pm 0,22$	19,00	—	1,05
Голова, шея	5	$5 \pm 0,00$	500	—	0
Плечи, холка, грудь,	10	$10 \pm 0,00$	10,00	—	0
спина поясница, бока	15	$14,97 \pm 0,02$	15,00	—	1,40
Крестец, окорок	20	$20 \pm 0,00$	20,00	—	0

³ Красота В.Ф., Джапаридзе Т.Г. Разведение сельскохозяйственных животных: учебник. 1999; 386.

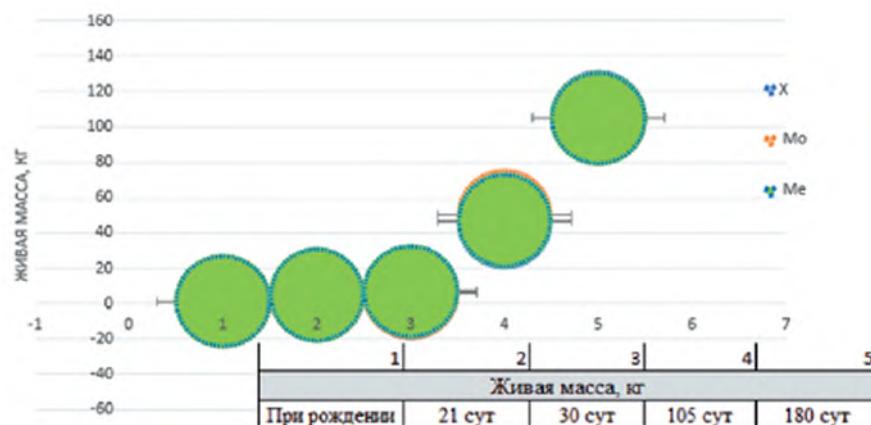
⁴ Кабанов В.Д. Свиноводство. 2001; 430.

⁵ Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников. 1969; 256.

⁶ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза о охране животных, используемых в научных целях. https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

⁷ Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Рис. 1. Параметрические критерии группы, отобранный для исследования
Fig. 1. Parametric criteria of the group selected for the study



В среднем животные имели живую массу более 1,2 кг и к возрасту 108 дней достигали более 100 кг.

Коэффициент вариации по исследуемой выборке невысокий и варьирует от 4,24 до 14,54%, что говорит об однородности выборки и ее представительности.

Ввиду однородности показателей живой массы в различные периоды онтогенеза аналогичная закономерность установлена по показателям

абсолютных, среднесуточных и относительных приростов живой массы ремонтных свиноматок (табл. 3–5).

Показатели средней величины, модальные и медианные значения отличались незначительно, что говорит о правильности выбора популяции.

Абсолютный прирост живой массы в период от рождения до возраста 180 суток по некоторым показателям, характеризующим сред-

ние величины, составил 104 кг, среднесуточный прирост 578 г, а относительный — 195%. При этом коэффициент вариации распределения варианс в группе по показателям, абсолютного, среднесуточного и относительного приростов за период от рождения до 180 дней составил 4,28%, 4,28%, 0,31% соответственно.

Линейный рост ремонтных свинок оценивали в возрасте достижения живой массы 100 кг. Оценивали 6 основных промеров (табл. 6).

Таблица 3. Показатели абсолютных приростов живой массы в различные периоды онтогенеза ремонтных свиноматок, отобранных для опыта ($n = 250$)

Table 3. Indicators of absolute live weight gains in different periods of ontogenesis of replacement sows selected for the experiment ($n = 250$)

Период	Абсолютный прирост, кг				
	$X \pm m_x$	мода, Mo	медиана, Me	↓ ⁸	Cv, %
При рождении	21 сут.	3,23 ± 0,02	2,80	3,10	13,11
	30 сут.	5,14 ± 0,05	4,70	4,80	17,40
	105 сут.	44,84 ± 0,34	48,80	45,90	13,04
	180 сут.	104,13 ± 0,26	103,90	103,80	4,28
21 сут.	30 сут.	1,91 ± 0,05	1,50	1,80	48,52
	105 сут.	41,61 ± 0,33	45,00	42,80	13,68
	180 сут.	100,90 ± 0,25	100,00	100,20	4,35
30 сут.	105 сут.	39,70 ± 0,33	41,00	40,90	14,19
	180 сут.	98,99 ± 0,26	99,00	98,50	4,51
	105 сут.	180 сут.	59,29 ± 0,38	61,00	58,50

Таблица 4. Показатели среднесуточных приростов живой массы в различные периоды онтогенеза ремонтных свиноматок, отобранных для опыта ($n = 250$)

Table 4. Average daily live weight gains in different periods of ontogenesis of replacement sows selected for the experiment ($n = 250$)

Период	Среднесуточный прирост, г				
	$X \pm m_x$	мода, Mo	медиана, Me	↓	Cv, %
При рождении	21 сут.	153,83 ± 1,16	133,33	147,62	13,11
	30 сут.	171,44 ± 1,72	156,67	160,00	17,40
	105 сут.	427,04 ± 3,22	464,76	437,14	13,04
	180 сут.	578,50 ± 1,43	577,22	576,67	4,28
21 сут.	30 сут.	212,53 ± 5,95	166,67	200,00	48,52
	105 сут.	495,35 ± 3,91	535,71	509,52	13,68
	180 сут.	634,59 ± 1,59	628,93	630,19	4,35
30 сут.	105 сут.	529,29 ± 4,34	546,67	545,33	14,19
	180 сут.	659,91 ± 1,72	660,00	656,67	4,51
105 сут.	180 сут.	790,53 ± 5,02	813,33	780,00	11,00

⁸↓ Здесь и далее — спарклайны.

Таблица 5. Показатели относительных приростов живой массы в различные периоды онтогенеза ремонтных свиноматок, отобранных для опыта ($n = 250$)

Table 5. Relative live weight gain indicators in different periods of ontogenesis of replacement sows selected for the experiment ($n = 250$)

Период		Относительный прирост, %					
		$X \pm m_x$	мода, Mo	медиана, Me	↓	Cv, %	
При рождении	21 сут.	114,05 ± 0,56	122,58	113,73		8,56	
	30 сут.	135,37 ± 0,48	133,33	136,00		6,11	
	105 сут.	189,60 ± 0,10	190,63	189,86		0,89	
	180 сут.	195,44 ± 0,03	195,85	195,52		0,31	
21 сут.	30 сут.	34,75 ± 0,78	40,00	33,33		39,09	
	105 сут.	164,47 ± 0,23	163,64	164,44		2,40	
	180 сут.	183,80 ± 0,08	181,82	184,20		0,78	
30 сут.	105 сут.	151,14 ± 0,38	138,98	152,29		4,37	
	180 сут.	177,24 ± 0,18	178,38	178,28		1,75	
	105 сут.	180 сут.	78,70 ± 0,62	70,97	76,71		13,75

Таблица 6. Показатели промеров тела свиноматок при бонитировке ($n = 250$)

Table 6. Body measurements of sows during grading ($n = 250$)

Промер, см	$X \pm m_x$	Мода, Mo	Медиана, Me	↓	Cv, %
Длина туловища	129,00 ± 0,25	124,00	131,00		33,30
Обхват груди за лопатками	108,76 ± 0,53	106,00	109,00		18,37
Высота в холке	58,90 ± 0,20	60,00	58,00		6,00
Глубина груди	35,41 ± 0,21	35,00	35,00		10,25
Ширина груди	30,06 ± 0,15	30,00	30,00		8,86
Обхват пяты	17,38 ± 0,09	17,00	17,00		8,47

Таблица 7. Показатели индексов телосложения свиноматок при бонитировке ($n = 250$)

Table 7. Indicators of body condition indices of sows during grading ($n = 250$)

Индекс, %	$X \pm m_x$	Мода, Mo	Медиана, Me	↓	Cv, %
длинноногости	39,80 ± 0,34	37,50	40,00		14,77
растянутости	223,23 ± 0,91	229,31	224,14		7,04
сбитости	13,28 ± 0,07	13,39	13,33		9,09
грудной	85,53 ± 0,56	80,00	86,30		11,44
массивности	29,58 ± 0,17	30,91	29,82		9,67

Установлено, что по показателям промеров выбранная группа отличалась по параметрическим показателям биостатистики. Разница между средним показателем, модой и медианой промера «длина туловища» составляет 5 см и 2 см соответственно. Коэффициент вариации по данному показателю самый высокий — 33,30%.

Величина промера «обхват груди за лопатками» имела незначительные различия по средней, моде и медиане — 1 см. Коэффициент вариации по данному признаку составил 18,37%. Остальные промеры не имели значительных отличий по смежным параметрическим показателям биостатистики.

По показателям индексов телосложения ремонтных свиноматок установлены незначительные различия, аналогичные различиям в распределении показателей промеров тела (табл. 7).

На основании полученной оценки в зависимости от разработанных авторами градаций по значимым экстерьерным признакам животных популяция свиноматок была распределена

на 3 группы. В ведущую группу вошли 103 головы, что составило 41% от общего исследуемого поголовья, в посредственную группу — 86 голов (35%), в товарную — 61 (24%) (рис. 2).

Рис. 2. Распределение свиноматок материнской породы по группам в зависимости от градаций по значимым признакам

Fig. 2. Distribution of sows of the maternal breed into groups depending on the gradations of significant characteristics



Выводы/Conclusions

Таким образом, выбранные для исследований свиноматки материнской породы по параметрическим показателям биостатистики имеют однородные значения по показателям живой массы, абсолютным, среднесуточным, относительным приростам по показателям индексов телосложения.

В среднем животные имели живую массу при рождении более 1,2 кг и к возрасту 108 дней достигали живую массу более 100 кг. Коэффициент вариации по исследуемой выборке невысокий и варьирует от 4,24 до 14,54%, что говорит об однородности выборки и ее репрезентативности. Параметрические критерии популяции (X , Mo , Me) в выбранной группе свинок по показателям живой массы в различные периоды онтогенеза находились фактически на одном уровне

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 плаагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-20017.
<https://rscf.ru/project/25-26-20017/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Novikov A.A., Pokhodnya G.S., Breslavets P.I., Zhabinskaya V.P., Breslavets Yu.P. Methods of increasing efficiency and acceleration of selection process in breeding of new breeds, types, and lines in pig husbandry. *E3S Web of Conferences*. 2021; 254: 09001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125409001>
- Чистяков В.Т. Современное развитие селекции и генетики в отечественном свиноводстве. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018; (4): 71–78. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.4.71>
- Храмченко Н.М., Романенко А.В., Невар К.В. Влияние селекционно-генетических параметров на точность индексной оценки (на примере свиноводства). *Зоотехническая наука Беларусь*. 2023; 58(1): 119–129. <https://elibrary.ru/frgpte>
- Старкова О.Я. Развитие свиноводства в Российской Федерации. Фундаментальные и прикладные науки сегодня. *Материалы XXVIII Международной научно-практической конференции*. Bengaluru: Pothi.com. 2022; 230–233. <https://www.elibrary.ru/ljnwy>
- Ковалев Ю. Развитие свиноводства: впереди новый этап. *Животноводство России*. 2024; (2): 22–24. <https://elibrary.ru/liimmw>
- Белооков А.А., Ребезов М.Б., Стволов С.С. Мясные качества помесного молодняка свиней. *Аграрная наука*. 2024; (2): 71–75. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-71-75>
- Косилов В.И., Жаймышева С.С., Губайдуллин Н.М., Галиева З.А. Весовой рост чистопородного и помесного молодняка свиней. *Инновационные достижения в ветеринарии, зоотехнии, биотехнологии и экологии. Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием*. Оренбург. 2024; 210–212. <https://elibrary.ru/khfasp>
- Гриценко С.А., Ребезов М.Б., Соломаха С.В. Показатели убоя товарных гибридов F2 свиней в зависимости от показателей линейного роста ремонтных свинок материнской породы (ММ). *Всё о мясе*. 2024; (6): 46–52. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2024-6-46-52>
- Белооков А.А., Белоокова О.В., Стволов С.С., Гриценко С.А., Ребезов М.Б., Зяблицева М.А. Оценка мясных качеств помесного молодняка свиней разной. *Аграрная наука*. 2023; (4): 70–74. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-70-74>

Возраст достижения живой массы 100 кг в среднем составлял 170,91 дня.

Ввиду однородности показателей живой массы в различные периоды онтогенеза аналогичная закономерность установлена по показателям абсолютных, среднесуточных и относительных приростов живой массы ремонтных свиноматок.

На основании полученной оценки в зависимости от разработанных авторами градаций по значимым экстерьерным признакам животных популяция свиноматок была распределена на 3 группы. В ведущую группу вошли 103 головы, что составило 41% от общего исследуемого поголовья, в посредственную группу — 86 голов (35%), в товарную — 61 (24%). Наличие в популяции наибольшего количества животных выдающейся группы говорит о высоком генетическом потенциале животных изучаемой популяции.

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.

FUNDING

The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 25-26-20017.
<https://rscf.ru/project/25-26-20017/>

REFERENCES

- Novikov A.A., Pokhodnya G.S., Breslavets P.I., Zhabinskaya V.P., Breslavets Yu.P. Methods of increasing efficiency and acceleration of selection process in breeding of new breeds, types, and lines in pig husbandry. *E3S Web of Conferences*. 2021; 254: 09001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125409001>
- Chistyakov V.T. Modern development of breeding and genetics in the Russian pig breeding. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018; (4): 71–78 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.4.71>
- Khramchanka M.M., Romanenko A.V., Nevar K.V. Influence of selection and genetic parameters on the accuracy of index estimation (by the example of pig breeding). *Zootechnical Science of Belarus*. 2023; 58(1): 119–129 (in Russian). <https://elibrary.ru/frgpte>
- Starkova O.Ya. Development of pig breeding in the Russian Federation. *Fundamental and applied sciences today. Proceedings of the XXVIII International scientific and practical conference*. Bengaluru: Pothi.com. 2022; 230–233 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ljnwy>
- Kovalyov Yu. Pig production development: a new stage ahead. *Animal Husbandry of Russia*. 2024; (2): 22–24 (in Russian). <https://elibrary.ru/liimmw>
- Beloookov A.A., Rebezov M.B., Stvolov S.S. Meat qualities of crossbred young pigs. *Agrarian science*. 2024; (2): 71–75 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-71-75>
- Kosilov V.I., Zhaimysheva S.S., Gubaydullin N.M., Galiyeva Z.A. Weight growth of purebred and crossbred young pigs. *Innovative achievements in veterinary medicine, animal science, biotechnology and ecology. Proceedings of the National scientific and practical conference with international participation*. Orenburg. 2024; 210–212 (in Russian). <https://elibrary.ru/khfasp>
- Gritsenko S.A., Rebezov M.B., Solomakha S.V. Indicators of slaughter of commercial F2 pig hybrids depending on the indicators of linear growth of replacement pigs of the maternal breed (MM). *Vsyo o myase*. 2024; (6): 46–52 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2024-6-46-52>
- Belookov A.A., Belookova O.V., Stvolov S.S., Gritsenko S.A., Rebezov M.B., Zyablitseva M.A. Evaluation of meat qualities of crossbred young pigs of different breeding. *Agrarian science*. 2023; (4): 70–74 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-70-74>

10. Белоус А.А., Волкова В.В., Решетникова А.А., Отраднов П.И., Зиновьева Н.А. Генетическая архитектура признаков воспроизводства свиней породы ландрас российской репродукции. *Аграрная наука*. 2023; (7): 31–39. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-31-39>
11. Евдокимов Н.В. Продуктивные качества и эффект гетерозиса свиней при промышленном скрещивании. Профессионал года – 2018. Сборник статей X Международного научно-практического конкурса. Пенза: Наука и просвещение. 2018; 28–32. <https://elibrary.ru/xwhukl>
12. Чалова Н.А., Плешков В.А., Гриценко С.А. Продуктивность свиней импортных пород в условиях индустриального производства. *АПК России*. 2018; 25(2): 325–329. <https://elibrary.ru/xqoutj>
13. Гриценко С.А., Дерхо М.А., Ребезов М.Б., Соломаха С.В. Характеристика изменчивости показателей крови свинок родительских пород, используемых для промышленного скрещивания. *Аграрная наука*. 2023; (5): 42–48. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-42-48>
14. Кутякова А.А., Плотников К.И., Емельянова В.Г., Черебедов М.В. Развитие свиноводства в условиях интенсификации отрасли: вызовы и перспективы. Актуальные вопросы общества, науки и образования. Сборник статей IX Международной научно-практической конференции. Пенза: Наука и просвещение. 2023; 55–57. <https://elibrary.ru/amilgp>
15. Рудишин О.Ю., Клемин В.П., Паутова Л.Н., Бурцева С.В. Убойные и мясные качества чистопородного и гибридного молодняка свиней. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015; (2): 45–49. <https://elibrary.ru/thksdr>
16. Попова Д.Д., Чепуштanova О.В. Основные селекционные признаки в свиноводстве. Технологии животноводства: проблемы и перспективы. Материалы круглого стола. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2023; 2: 136–137. <https://elibrary.ru/velgqx>
17. Чепуштanova О.В. Оценка свиней по экстерьеру. Современные технологии птицеводства и мелкого животноводства. Сборник материалов круглого стола. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2023; 1: 165–166. <https://elibrary.ru/cxnleo>
18. Багрий Б., Сидорова В., Гришуткина С. Оценка экстерьера животных и метод линейного описания. Сельскохозяйственная биология. 1993; 28(2): 56–57. <https://elibrary.ru/wigbfh>
19. Столов С.С., Белоуров А.А., Белоурова О.В., Гриценко С.А., Ребезов М.Б. Оценка влияния хряков-производителей различной селекции на показатели свиноматок и помесей первого поколения. *Аграрная наука*. 2023; (2): 65–69. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-65-69>
20. Косилов В.И. и др. Эффективность скрещивания свиней крупной белой породы и ландрас. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2024; (1): 264–271. [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1\(6\)_36](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1(6)_36)
21. Неклюдова О.В. Продуктивность молодняка свиней при двух- и трехпородном скрещивании. Перспективное свиноводство: теория и практика. 2012; (1): 25. <https://elibrary.ru/pkmgkb>
22. Белоуров А.А., Белоурова О.В., Ребезов М.Б. Влияние хряков-производителей различной селекции на экономические показатели использования свиноматок. *Аграрная наука*. 2024; (8): 96–100. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-96-100>
23. Березовский Н.Д. Гибридизация с учетом генотипа материнских форм. Перспективы развития свиноводства стран СНГ. Сборник научных трудов по материалам XXV Международной научно-практической конференции. Жодино: Беларусская наука. 2018; 13–18. <https://elibrary.ru/zbtqgd>
24. Косилов В.И. и др. Убойные качества и морфологический состав туши молодняка свиней разных генотипов. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2024; (1): 249–256. [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1\(6\)_34](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1(6)_34)
25. Косилов В.И. и др. Пищевая ценность мясной продукции чистопородного и помесного молодняка свиней. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2024; (1): 200–206. [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1\(6\)_27](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1(6)_27)
26. Павлова С.В., Щавликова Т.Н., Ромась М.А., Николаева И.В. Анализ племенной продукции свиноводства, импортированной в Российскую Федерацию в 2021–2022 гг. Племенное животноводство, кормопроизводство и механизация сельского хозяйства в Российской Федерации. Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия. 2023; 70–73. <https://elibrary.ru/gxnhav>
10. Belous A.A., Volkova V.V., Reshetnikova A.A., Otradnov P.I., Zinov'eva N.A. Genetic architecture of reproductive traits in Russian Landrace pigs. *Agrarian science*. 2023; (7): 31–39 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-31-39>
11. Evdokimov N.V. Productive qualities and the effect of heterosis of pigs in commercial crossing. *Professional of the Year 2018. Collection of articles of the X International Scientific and Practical Competition*. Penza: Nauka i Prosveshcheniye. 2018; 28–32 (in Russian). <https://elibrary.ru/xwhukl>
12. Chalova N.A., Pleshkov V.A., Gritsenko S.A. Productivity of pigs of imported breeds in industrial production conditions. *Agro-industrial complex of Russia*. 2018; 25(2): 325–329 (in Russian). <https://elibrary.ru/xqoutj>
13. Gritsenko S.A., Derkho M.A., Rebezov M.B., Solomakha S.V. Characteristics of variability of blood parameters of pigs of parent breeds used for industrial crossing. *Agrarian science*. 2023; (5): 42–48 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-42-48>
14. Kutyakova A.A., Plotnikov K.I., Emelyanova V.G., Cherebedov M.V. Development of pig breeding under conditions of industry intensification: challenges and prospects. *Current issues of society, science and education. Collection of articles of the IX International scientific and practical conference*. Penza: Nauka i Prosveshcheniye. 2023; 55–57 (in Russian). <https://elibrary.ru/amilgp>
15. Rudishin O.Yu., Klyomin V.P., Pautova L.N., Burtseva S.V. Slaughter and meat qualities of purebred and crossbred young pigs. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015; (2): 45–49 (in Russian). <https://elibrary.ru/thksdr>
16. Popova D.D., Chepushtanova O.V. Main selection traits in pig farming. *Livestock technologies: problems and prospects. Round table materials*. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2023; 2: 136–137 (in Russian). <https://elibrary.ru/velgqx>
17. Chepushtanova O.V. Evaluation of pigs by exterior. *Modern technologies of poultry farming and small animal husbandry. Collection of materials of the round table*. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2023; 1: 165–166 (in Russian). <https://elibrary.ru/cxnleo>
18. Bagri B., Sidorova V., Grishutkina S. Evaluation of animal exterior and the linear description method. *Agricultural Biology*. 1993; 28(2): 56–57 (in Russian). <https://elibrary.ru/wigbfh>
19. Stvolov S.S., Belookov A.A., Belookova O.V., Gritsenko S.A., Rebezov M.B. Assessment of the influence of boars of different breeding on the indicators of sows and first generation mixeds. *Agrarian science*. 2023; (2): 65–69 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-65-69>
20. Kosilov V.I. et al. The effectiveness of crossing large white pigs and landrace. *Journal of Osh State University. Agriculture: Agronomy, Veterinary and Zootechnics*. 2024; (1): 264–271 (in Russian). [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1\(6\)_36](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1(6)_36)
21. Neklyudova O.V. Productivity of young pigs in two- and three-breed crossing. *Perspektivnoye svinovodstvo: teoriya i praktika*. 2012; (1): 25 (in Russian). <https://elibrary.ru/pkmgkb>
22. Belookov A.A., Belookova O.V., Rebezov M.B. The influence of boars of producers of various breeding on the economic indicators of the use of sows. *Agrarian science*. 2024; (8): 96–100 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-96-100>
23. Berezovsky N.D. Hybridization taking into account the genotype of maternal forms. *Prospects for the development of pig farming in the CIS countries. Collection of scientific papers based on the materials of the XXV International scientific and practical conference*. Zhodino: Belarusskaya navuka. 2018; 13–18 (in Russian). <https://elibrary.ru/zbtqqd>
24. Kosilov V.I. et al. Slaughter qualities and morphological composition of carcasses of young pigs of different genotypes. *Journal of Osh State University. Agriculture: Agronomy, Veterinary and Zootechnics*. 2024; (1): 249–256 (in Russian). [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1\(6\)_34](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1(6)_34)
25. Kosilov V.I. et al. Nutritional value of meat products of purebred and crossbred young pigs. *Journal of Osh State University. Agriculture: Agronomy, Veterinary and Zootechnics*. 2024; (1): 200–206 (in Russian). [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1\(6\)_27](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1(6)_27)
26. Pavlova S.V., Shchavlikova T.N., Romas M.A., Nikolayeva I.V. Analysis of pig breeding products imported to the Russian Federation in 2021–2022 g. *Livestock breeding, forage production and agricultural mechanization in the Russian Federation*. Tver: Tver State Agricultural Academy. 2023; 70–73 (in Russian). <https://elibrary.ru/gxnhav>

27. Косилов В., Никонова Е., Рахимжанова И. Мясность молодняка свиней разных генотипов. *Животноводство России.* 2024; (6): 35–36.
<https://doi.org/10.25701/ZZR.2024.06.013>
28. Михайлова Л.Р., Германов В.В. Влияние живой массы поросят при рождении на их дальнейший рост и развитие. *Инновационное развитие животноводства в современных условиях. Сборник трудов Международной конференции, посвященной 75-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы РФ, почетного работника высшего профессионального образования РФ, почетного профессора Брянского ГАУ Нуриева Г.Г.* Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2021; 1: 91–97.
<https://elibrary.ru/uvcoby>
29. Удалова Т.А., Ефимова Л.В. Современное состояние свиноводства и темпы роста производства свинины в России за последние 3 года. *Научное обеспечение животноводства Сибири. Материалы VII Международной научно-практической конференции.* Красноярск: Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук. 2023; 224–227.
<https://elibrary.ru/hvmxxa>
30. Белооков А.А., Белоокова О.В., Столов С.С., Гриценко С.А., Ребезов М.Б., Зяблицева М.А. Оценка мясных качеств помесного молодняка свиней разной селекции. *Аграрная наука.* 2023; (4): 70–74.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-70-74>
31. Пономарева И.С., Попова П.В., Пилипенко С.И., Володарская В.С., Макарова А.О. Вопросы биобезопасности в развитии отраслей агропромышленного комплекса Оренбургья (свиноводство). От науки к обществу: приоритетные направления преобразований и инструменты их реализации. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. М.: Профессиональная наука. 2023; 5–9.
<https://elibrary.ru/rxijk>
32. Вовченко Е.В., Третьякова О.Л., Пирожков Д.А., Крючкова Н.С. Анализ мясной продуктивности свиней. *Вестник Курганской ГСХА.* 2020; (1): 30–33.
<https://elibrary.ru/kxovin>
33. Фуников Г.А. Убойная и мясная продуктивность молодняка свиней отечественной, канадской и французской селекций. *Аграрная наука.* 2020; (5): 60–64.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-60-64>
34. Гриценко С.А., Верещага О.С., Корюхов Д.А. Оценка взаимосвязей между показателями крови и продуктивными качествами ремонтных свинок различной породной принадлежности. *БИО.* 2019; (10): 8–16.
<https://elibrary.ru/jukcpa>
35. Бальников А.А. Сочетаемость свиноматок новых генотипов с хряками специализированных пород зарубежной селекции. *Молодежь в науке – 2016. Сборник материалов Международной конференции молодых ученых.* Минск: Белорусская наука. 2017; 1: 281–292.
<https://elibrary.ru/uryxzr>
36. Кудинова М.Г., Козлов В.В., Данилова Л.В., Павлов Р.В., Горбатко Е.С. Повышение экономической эффективности производства продукции свиноводства в сельскохозяйственных организациях региона. *Инновации и инвестиции.* 2023; (5): 497–502.
<https://elibrary.ru/kjcmzg>
27. Kosilov V., Nikonova E., Rakhimzhanova I. Meatness of young pigs of different genotypes. *Animal Husbandry of Russia.* 2024; (6): 35–36 (in Russian).
<https://doi.org/10.25701/ZZR.2024.06.013>
28. Mikhailova L.R., Germanov V.V. The influence of the live weight of piglets at birth on their further growth and development. *Innovative development of animal husbandry in modern conditions. Proceedings of the International Conference dedicated to the 75th anniversary of the birth of Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Professor of Bryansk State Agrarian University Nuriev G.G.* Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2021; 1: 91–97 (in Russian).
<https://elibrary.ru/uvcoby>
29. Udalova T.A., Efimova L.V. Current state of pig breeding and growth rate of pork production in Russia over the last 3 years. *Scientific support for animal husbandry in Siberia. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference.* Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2023; 224–227 (in Russian).
<https://elibrary.ru/hvmxxa>
30. Belookov A.A., Belookova O.V., Stvolov S.S., Gritsenko S.A., Rebezov M.B., Zyablitseva M.A. Evaluation of meat qualities of crossbred young pigs of different selections. *Agrarian science.* 2023; (4): 70–74 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-70-74>
31. Ponomareva I.S., Popova P.V., Pilipenko S.I., Volodarskaya V.S., Makarova A.O. Biosafety issues in the development of the agro-industrial complex of Orenburg region (pig breeding). *From science to society: priority areas of transformation and tools for their implementation. Collection of scientific papers based on the materials of the International scientific and practical conference.* Moscow: Professional'naya nauka. 2023; 5–9 (in Russian).
<https://elibrary.ru/rxijk>
32. Vovchenko E.V., Tretyakova O.L., Pirozhkov D.A., Kryuchkova N.S. Analysis of pig meat productivity. *Vestnik Kurganskoy GSKKa.* 2020; (1): 30–33 (in Russian).
<https://elibrary.ru/kxovin>
33. Funikov G.A. Slaughter and meat productivity of young pigs of domestic, Canadian and French selections. *Agrarian science.* 2020; (5): 60–64 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-60-64>
34. Gritsenko S.A., Vereshchaga O.S., Koryukhov D.A. Evaluation of the relationships between blood parameters and productive qualities of gilts of different breeds. *BIO.* 2019; (10): 8–16 (in Russian).
<https://elibrary.ru/jukcpa>
35. Balnikov A.A. Compatibility of the sows of the new genotypes with boars of specialized breeds of foreign selection. *Youth in Science – 2016. Collection of materials of the International conference of young scientists.* Minsk: Belorusskaya nauka. 2017; 1: 281–292 (in Russian).
<https://elibrary.ru/uryxzr>
36. Kudinova M.G., Kozlov V.V., Danilova L.V., Pavlov R.V., Gorbatko E.S. Improving the economic efficiency of pig production in agricultural organizations of the region. *Innovation & Investment.* 2023; (5): 497–502 (in Russian).
<https://elibrary.ru/kjcmzg>

ОБ АВТОРАХ

Светлана Анатольевна Гриценко¹

доктор биологических наук, доцент, завкафедрой кормления, гигиены животных, технологии производства и переработки с.-х. продукции
zf.usavm@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2334-4925>

Алексей Анатольевич Белооков¹

доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
belookov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1083-5832>

Сергей Михайлович Ермолов¹

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры птицеводства
sergey.ermolov@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4600-7908>

ABOUT THE AUTHORS

Svetlana Anatolyevna Gritsenko¹

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Feeding, Animal Hygiene, Production Technology and Processing of Agricultural Products
zf.usavm@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2334-4925>

Alexey Anatolyevich Belookov¹

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
belookov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1083-5832>

Sergey Mikhailovich Ermolov¹

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Poultry Farming Department
sergey.ermolov@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4600-7908>

Максим Борисович Ребезов^{2,3}

главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор²;
профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, доктор сельскохозяйственных наук³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Михаил Дмитриевич Гриценко¹

студент
miha07448@gmail.com

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет,
ул. им. Ю.А. Гагарина, 13, Троицк, 457100, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук,
ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

³Уральский государственный аграрный университет,
ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075,
Россия

Maksim Borisovich Rebezov^{2,3}

Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences,
Professor²;
Professor of the Department of Biotechnology
and Food Products, Doctor of Agricultural Sciences³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Mikhail Dmitrievich Gritsenko¹

Student
miha07448@gmail.com

¹South Ural State Agrarian University,
13 Gagarin Str., Troitsk, Russia

²V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems
of the Russian Academy of Sciences,
26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

³Ural State Agrarian University,
42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075,
Russia



- ЖИВОТНОВОДСТВО
- ЗЕМЛЕДЕЛИЕ
- РАСТЕНИЕВОДСТВО
- КОРМОПРОИЗВОДСТВО
- ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
- ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ. НАПИТКИ. ОБОРУДОВАНИЕ. НоReCa
- СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА
- ПЕРЕРАБОТКА И ЭКСПОРТ
- ВЕТЕРИНАРНЫЙ КОНГРЕСС
- СЪЕЗД ФЕРМЕРОВ

НАСЫЩЕННАЯ ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА

Место проведения: г. Новокузнецк, ул. Автотранспортная, 51,
ВК «Кузбасская ярмарка», тел: +7 (3843) 32-11-16, 8-951-587-9690
www.kuzbass-fair.ru



Л.Д. Самусенко**А.В. Мамаев****С.Н. Химичева****Н.Д. Родина****Е.Ю. Сергеева**

Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, Орел,
Россия

✉ ldsamusenko@mail.ru

Поступила в редакцию: 14.04.2025

Одобрена после рецензирования: 11.08.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

© Самусенко Л.Д., Мамаев А.В.,
Химичева С.Н., Родина Н.Д., Сергеева Е.Ю.

Модель биоэнергетической оценки и прогнозирования шерстной продуктивности в овцеводстве

РЕЗЮМЕ

Чем больше у особи доминантных генов, тем выше степень выраженности признака, а следовательно, выше активность процессов обмена веществ в организме, напряженность деятельности центральной нервной системы, особенно в части гомеостатирования, возникновения и распространения электрических импульсов в живых клетках, органах и системах органов.

Цель исследований — разработка цифровой модели прогнозирования наследуемости уровня шерстной продуктивности потомством овец на основе биоэнергетического параметрирования поверхностно локализованных биологически активных центров.

Объектом исследований являлись ярки и баранчики, полученные от воспроизводящего поголовья овец северокавказской породы методом гетерогенного разновозрастного подбора с биоэлектрическими потенциалами поверхностно локализованных биологически активных центров различной величины.

В опытах установлены пределы коэффициентов наследуемости тонины, настрига шерсти, естественной длины шерсти, живой массы животных. Уровень биоэлектрических потенциалов (УБП) поверхностно локализованного биологически активного центра (ПЛБАЦ) овец может успешно применяться в качестве дополнительного критерия при отборе и подборе родительских пар и прогнозировании продуктивности будущего потомства. При гетерогенном подборе по биоэнергетической сочетаемости родительских пар разного возраста установлено, что лучшим был молодняк, полученный от сочетания баранов-производителей с УБП ПЛБАЦ 43,9 мкА в возрасте 1,5 лет и маток с УБП ПЛБАЦ 41,2 мкА в возрасте 3,5 лет, а также баранов-производителей с УБП ПЛБАЦ 49,6 мкА в возрасте 2,5 лет и маток с УБП ПЛБАЦ 35,5 мкА в возрасте 1,5 лет.

Ключевые слова: овцы, молодняк, биоэлектрический потенциал, поверхностно локализованные биологически активные центры (ПЛБАЦ), подбор, наследуемость, корреляция

Для цитирования: Самусенко Л.Д., Мамаев А.В., Химичева С.Н., Родина Н.Д., Сергеева Е.Ю. Модель биоэнергетической оценки и прогнозирования шерстной продуктивности в овцеводстве. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 54–61.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-54-61>

Lyudmila D. Samusenko**Andrey V. Mamaev****Svetlana N. Khimicheva****Natalia D. Rodina****Ekaterina Yu. Sergeeva**

Orel State Agrarian University named after N.V. Parakin, Orel, Russia

✉ ldsamusenko@mail.ru

Received by the editorial office: 14.04.2025

Accepted in revised: 11.08.2025

Accepted for publication: 26.08.2025

© Самусенко Л.Д., Мамаев А.В.,
Химичева С.Н., Родина Н.Д., Сергеева Е.Ю.

A model of bioenergetic assessment and forecasting of wool productivity in sheep breeding

ABSTRACT

The more dominant genes an individual has, the higher the degree of expression of the trait, and therefore the higher the activity of metabolic processes in the body, the intensity of the central nervous system, especially in terms of homeostasis, the emergence and propagation of electrical impulses in living cells, organs and organ systems.

The aim of the research is to develop a digital model for predicting the heritability of the level of wool productivity in the offspring of sheep based on bioenergetic parameterization of superficially localized biologically active centers.

The object of the research was yarkas and sheep, obtained from reproducing sheep of the North Caucasian breed by the method of heterogeneous age-diverse selection with bioelectric potentials of superficially localized biologically active centers of various sizes.

In the experiments, the limits of the coefficients of heritability of tonin, shearing of wool, natural length of wool, and live weight of animals were established. The level of bioelectric potentials (UBP) of sheep sheep can be successfully used as an additional criterion in the selection and selection of parental pairs and forecasting the productivity of future offspring. With a heterogeneous selection of bioenergetic compatibility of parent pairs of different ages, it was found that the best young were obtained from a combination of breeding rams with UBP PLBAC 43.9 mKA at the age of 1.5 years and queens with UBP PLBAC 41.2 mKA at the age of 3.5 years, as well as breeding rams with UBP PLBAC 49.6 mKA at the age of 2.5 years and queens with a 35.5 MK swimmer at the age of 1.5 years.

Key words: sheep, young animals, bioelectric potential, superficially localized biologically active centers, selection, heritability, correlation

For citation: Самусенко Л.Д., Мамаев А.В., Химичева С.Н., Родина Н.Д., Сергеева Е.Ю. Модель биоэнергетической оценки и прогнозирования шерстной продуктивности в овцеводстве. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 54–61 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-54-61>

Введение/Introduction

Комплексное решение задач, поставленных в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации до 2030 года, Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, в Стратегии развития производства органической продукции в РФ, требует тесного взаимодействия драйверов отраслевого развития АПК¹.

Особую актуальность приобретают разработка и внедрение в практическую селекцию объективных методов диагностики и прогнозирования продуктивности [1–3], племенной ценности продуктивных сельскохозяйственных животных в раннем возрасте, к числу которых относятся и цифровые технологии [4, 5].

Современные генетические исследования указывают, что большинство количественных хозяйствственно полезных признаков овец — это сложный полигенный наследственно обусловленный комплекс, зависящий от большого количества генов. Эти представления в определенной степени объясняют картину промежуточного наследования потомством любого количественного признака от родителей.

Важной особенностью полимерии является суммарное действие неаллельных аддитивных генов на развитие количественных признаков, суммирование «доз» которых в конечном итоге обуславливает существование непрерывных рядов количественных изменений у животных [6, 7]. Аддитивные гены имеют свойства, дающие кумулятивный эффект по шерстной продуктивности овец [8–10].

Принято считать, что чем больше у особи доминантных генов, тем выше степень выраженности признака, а следовательно, выше активность процессов обмена веществ в организме, напряженность деятельности центральной нервной системы, особенно в части гомеостатирования, возникновения и распространения электрических импульсов в живых клетках, органах и системах органов. Такой путь передачи информации в живых организмах является самым быстрым, а работоспособность этих путей может быть оценена через отдельные сенсорные регуляторные элементы — поверхностью локализованные биологически активные центры, которые являются энергоаккумуляторами животного организма. Центры рассматриваются как датчики, позволяющие оценивать продуктивный потенциал животных и могут служить элементами цифровых технологий [11, 12].

Рабочей гипотезой серии опытов явилось положение о том, что сформированная, генетически детерминированная продуктивность родителей и УБП их ПЛБАЦ взаимосвязаны, наследуются потомством, а УБП ПЛБАЦ животных может служить одним из достоверных критериев оценки эффективности селекционного процесса в овцеводстве.

Цель исследований — разработка цифровой модели прогнозирования наследуемости уровня шерстной продуктивности потомством овец на основе биоэнергетического параметрирования поверхности локализованных биологически активных центров.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили с 2017 по 2020 год в «СельхозИнвест (СП «Навесное»), ООО «Ливны-ИнтерТехнологии (СП «Михайловское») Орловской области Российской Федерации.

Объект исследований — ягнята северокавказской породы, полученные методом гетерогенного разновозрастного подбора родительских форм.

Опытные группы родительских пар формировали методом возрастного гетерогенного подбора (табл. 1).

Все животные находились в одинаковых условиях кормления и содержания.

Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза о защите животных, использующихся для научных целей (Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 года № 2010/63/EС по охране животных, используемых в научных целях²), и принципов обращения с животными, согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ (Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»)³.

Предлагаемая система основана на интеграции физиологических и биоэнергетических данных и ориентирована на создание единой информационной платформы для оперативной и точной оценки состояния животных.

Таблица 1. Схема гетерогенного возрастного подбора родительских форм овец
Table 1. Scheme of heterogeneous age selection of sheep parent forms

Показатель	Вариант подбора					
	1-й вариант (к)		2-й вариант		3-й вариант	
Половая группа	баран♂	матка♀	баран♂	матка♀	баран♂	матка♀
Возраст, лет	1,5	3,5	2,5	1,5	3,5	2,5
УБП ПЛБАЦ родителей, мКА	43,9 ± 1,0	41,2 ± 0,7	49,6 ± 0,8	35,5 ± 0,3	48,7 ± 0,5	38,8 ± 0,4

¹ Указ Президента РФ от 21 января 2020 года № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» —

URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106/page/1>

² Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях.
https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

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

Получение биоинформационных данных основано на проведении биоэнергетического параметрирования в ПЛБАЦ № 13, 15, 64, 65, 80. Исследованиями Л.Д. Самусенко, А.В. Мамаева [13, 14] установлено, что расположение отдельных групп биологически активных центров, их архитектоника обеспечивает постоянную связь организма с окружающей средой посредством сенсорных механизмов, центральной и периферической нервной системы. Группы центров находятся в постоянной взаимосвязи между собой и участвуют в регуляторной деятельности отдельных групп органов в основном через сегменты спинного мозга и в целом соответствуют главным нервным стволам, иннервирующими отдельные органы, связанны с ними и могут быть использованы для получения той или иной прагматической информации, регулирования деятельности отдельных органов и систем, чем и обоснован выбор параметрируемых центров.

Нумерация и локализация ПЛБАЦ на теле овец приняты в соответствии с патентом РФ 257025⁴:

№ 13 — локализация: на дорсомедиальной линии тела в углублении между остистым отростком последнего поясничного позвонка и первым крестцовым позвонком;

№ 15 — локализация на дорсомедиальной линии тела между остистыми отростками последнего крестцового и первого хвостового позвонков;

№ 64 — локализация билатерально, каудально 13-го ребра на одну ширину ладони и два попечника пальца и дорсально БАЦ 63 на два попечника пальца;

№ 65 — локализация билатерально на один попечник пальца, каудально БАЦ 64 и на один попечник пальца дорсально БАЦ 64;

№ 80 — локализация билатерально на 2–4 попечника пальцев ниже медиального края коленной чашечки и 1–2 попечника пальцев с латеральной стороны большеберцовой кости каудально.

Измерения уровней биоэлектрических потенциалов в ПЛБАЦ № 13, 15, 64, 65, 80 проводили в течение трех смежных дней с последующим расчетом средних арифметических значений и их ошибок.

Для идентификации поверхностно локализованных биологически активных центров и снятия биоэнергетических параметров поверхностно локализованных биологически активных центров может быть использован любой прибор, предназначенный для проведения электропунктуры или снятия показаний биоэлектрических потенциалов в коже человека и животных, например типа ЭЛАП (Россия).

Биоэнергетическое параметрирование проводили как у родительских форм (овцематки и бараны-производители в возрасте от 1,5 до 3,5 лет), так и у ягнят до 12-месячного возраста один раз в неделю трехкратно. Параметрирование проводили в утренние часы, что обеспечивало наибольшую точность получения биоэнергетической информации из мест локализации поверхностно локализованных биологически активных центров и рассчитывали средние показатели.

В возрасте 12 месяцев проводили оценку шерстной продуктивности⁵.

Расчет коэффициента наследуемости проводили по формуле:

$$h^2 = 2r_{m,d},$$

где: h^2 — коэффициент наследуемости; r — коэффициент корреляции; m — продуктивность матерей; d — продуктивность дочерей.

Живую массу потомков определяли в возрасте 12 месяцев⁶.

Полученные данные обрабатывали методом вариационной статистики с вычислением критерия достоверности по Стьюденту с использованием Microsoft Office Excel 2010 и IBM SPSS Statistics V.18 (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Известно, что при разведении овец важно правильно и рационально организовать племенной подбор — ключевой процесс селекционного совершенствования овец.

Получение более продуктивного потомства с высокими показателями наследуемости и изменчивости хозяйственно полезных признаков — главная цель в селекции [15–20]. Внедрение цифровых технологий в этот процесс будет способствовать совершенствованию существующих методов подбора с более объективной оценкой качества получаемого потомства.

Полученные опытные данные рассматривали в системе «возраст — УБП ПЛБАЦ — продуктивность маток и баранов-производителей».

Установлено, что у дочерей, полученных в первом варианте подбора, УБП ПЛБАЦ был на 5,42 мкА и 1,77 мкА достоверно выше УБП ПЛБАЦ дочерей, полученных во втором и третьем вариантах подбора соответственно ($p < 0,01$, $p < 0,001$) (табл. 2).

Дочери, полученные во втором и третьем вариантах подбора, отличались большей (на 2,7–1,6 кг) величиной живой массы, большим (на

⁴ Патент № 2570325 Российской Федерации. Мамаев А.В., Самусенко Л.Д., Родин О.Ю. Способ идентификации поверхностно локализованных биологически активных центров тела овец. Заявка: 2014116353/13 от 22.04.2014. Патентообладатель: Орловский государственный аграрный университет. Статус: не действует (последнее изменение статуса: 02.07.2021).

⁵ Траисов Б.Б., Селионова М.И., Скорых Л.Н., Есенгалиев К.Г. Практикум по овцеводству. Ставрополь; Уральск. 2015; 119.

⁶ Овцеводство: учебно-методическое пособие к лабораторно-практическим занятиям для обучающихся по направлению 36.03.02 Зоотехния. Сост. В.Ц. Нимаева. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного государственного аграрного университета. 2019; 83.

0,5–0,4 кг) настригом немытой шерсти и большей (на 1,7–0,7 см) длиной естественной шерсти. По качественному признаку руна (тонине) дочери — потомки всех вариантов подбора имели показатель, в среднем равный 28,4 мкм. Коэффициент изменчивости (Cv) УБП ПЛБАЦ у дочерей — потомков от первого варианта подбора составил 14,81%, от второго и третьего — 8,1% и 9,1% соответственно.

Аналогичная тенденция отмечена и в отношении количественных показателей. При первом варианте подбора по живой массе Cv 6,8–19,1%, при втором и третьем — 5,4–17,8%. Cv тонины шерсти в первом варианте 5,6%, Cv во втором и третьем — 6,5–6,8% соответственно.

Организм представляет собой целостную саморегулирующуюся систему, в которой всё взаимосвязано и взаимообусловлено, а изменение одного признака вызывает изменение других. Эта зависимость называется корреляцией, являющейся важным генетическим параметром, использование которого позволяет осуществлять желаемого рода преобразования хозяйственно полезных признаков [8].

С целью обоснования использования в селекции овец УБП ПЛБАЦ, как одного из критериев отбора и подбора воспроизводящего поголовья, были определены показатели корреляции по принципу «мать — дочь» (табл. 3).

Установлено, что у потомков дочерей, полученных от баранов-производителей с УБП ПЛБАЦ 43,9 мкА в возрасте 1,5 лет и маток с УБП ПЛБАЦ 41,2 мкА в возрасте 3,5 лет, умеренная величина корреляции УБП ПЛБАЦ (+0,367), слабые значения корреляции (от +0,138 до +0,243) по признакам, находящимся под селекционным давлением: живой массе, диаметру шерстных волокон, настригу шерсти.

Наследуемость — доля фенотипической изменчивости, обусловленная генетическими различиями между особями. Показатель наследуемости (h^2) представляет собой долю участия генетических факторов в общей (фенотипической) изменчивости признака. Показатель наследуемости для количественных признаков (роста, массы тела) может иметь значение от 0 до 1,0, что свидетельствует о полной генетической детерминации признака [9, 10].

Установленная взаимосвязь УБП ПЛБАЦ с продуктивностью животных позволила выяснить степень генетической детерминации УБП ПЛБАЦ у дочерей (табл. 4).

Таблица 2. УБП ПЛБАЦ и продуктивность ярок при разных вариантах биоэнергетического подбора родительских пар
Table 2. LBP SLBAC and bright productivity in different options for bioenergy selection of parental pairs

Показатель	Вариант подбора					
	1-й (к)		2-й		3-й	
	$M \pm m$	$Cv, \%$	$M \pm m$	$Cv, \%$	$M \pm m$	$Cv, \%$
Количество голов, п	41		45		43	
УБП ПЛБАЦ, мкА	44,2 ± 0,7	14,8	38,7 ± 0,7 ***	8,1	42,4 ± 0,5 *	9,1
Живая масса, кг	41,3 ± 0,4	6,8	38,6 ± 0,4 ***	6,3	39,7 ± 0,4 ***	5,4
Настриг шерсти в одну линию, кг	3,9 ± 0,1	19,1	3,4 ± 0,1 ***	13,9	3,5 ± 0,1 ***	16,1
Естественная длина шерсти, см	11,6 ± 0,2	15,3	9,9 ± 0,2 ***	17,8	10,9 ± 0,3 ***	13,4
Тонина шерсти, мкм	28,4 ± 0,3	5,6	28,4 ± 0,2	6,5	28,4 ± 0,3	6,8

Примечание: разница статистически достоверна по сравнению с контролем: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Таблица 3. Корреляция УБП ПЛБАЦ, продуктивных и качественных признаков опытных овец

Table 3. Correlation of LBP SLBAC, productive and qualitative features of experienced sheep

Показатель	Вариант подбора		
	1-й (к) $\delta 1,5 \times \varphi 3,5$		2-й $\delta 2,5 \times \varphi 1,5$
	r	r	r
Число пар «мать — дочь»	41	45	43
УБП ПЛБАЦ, мкА	+0,367	+0,361	+0,302
Живая масса, кг	+0,233	+0,243	+0,216
Настриг шерсти, кг	+0,230	+0,193	+0,138
Длина шерсти, см	+0,198	+0,130	+0,187
Тонина, мкм	+0,248	+0,195	+0,102

Таблица 4. Наследуемость УБП ПЛБАЦ и продуктивности дочерей
Table 4. Heritability of LBP SLBAC and daughters productivity

Показатель	Вариант подбора		
	1-й (к) $\delta 1,5 \times \varphi 3,5$		2-й $\delta 2,5 \times \varphi 1,5$
	r	r	r
Число пар «мать — дочь»	41	45	43
УБП ПЛБАЦ, мкА	+0,74	+0,72	+0,60
Живая масса, кг	+0,46	+0,48	+0,43
Настриг шерсти, кг	+0,46	+0,38	+0,27
Длина шерсти, см	+0,39	+0,26	+0,37
Тонина, мкм	+0,49	+0,39	+0,20

Таблица 5. Степень наследуемости УБП ПЛБАЦ дочерьми от отцов

Table 5. Degree of heritability of LBP SLBAC by daughters from fathers

Бараны-производители	Показатели			
	h^2		факторный анализ	
	%	F	p	
	0,02	20,0	3,95	0,05

Полученный коэффициент наследуемости УБП ПЛБАЦ 0,74 демонстрирует, что уровень биоэлектрического потенциала ПЛБАЦ матерей на 0,74 обусловлен наследственностью и в той же мере унаследован их дочерьми. Дисперсионным анализом установлен коэффициент наследуемости УБП ПЛБАЦ дочерей от баранов-производителей разного возраста (табл. 5).

Наследственные свойства будущих производителей прогнозируются в раннем возрасте с учё-

том происхождения. В опытах установлена продуктивность баранчиков, полученных при разных вариантах биоэнергетического подбора родительских пар (табл. 6).

При анализе установлено, что сыновья, полученные от родителей второго варианта подбора, отличались повышенным (на 8,9 мкА и 5,9 мкА) УБП ПЛБАЦ относительно аналогов первого и третьего вариантов подбора. В определенной зависимости от УБП ПЛБАЦ баранчиков находились количественные и качественные показатели шерсти. Так, опытные баранчики с большим УБП ПЛБАЦ отличались достоверно большей (на 4,60 кг) живой массой относительно баранчиков от первого варианта подбора, а разница с животными третьего варианта подбора была недостоверной.

По настригу немытой шерсти преимущество было за баранчиками с повышенным УБП ПЛБАЦ: отличия относительно первого варианта составили 0,6 кг ($p < 0,05$), относительно третьего — 0,3 кг. Естественная длина шерсти — показатель, который зависит от функционального состояния как самого организма, так и влияния патогенетических и средовых факторов. Сыновья всех вариантов подбора не имели достоверной разницы в опытных группах по данному показателю.

Тонина шерсти соответствовала требованиям породы. Во втором биоэнергетическом варианте подбора у опытных животных было получено волокно меньшего диаметра — 28,6 мкм, что на 0,7 мкм меньше, чем у баранчиков первого варианта подбора, и на 2,4 мкм ниже, чем у потомков от третьего варианта подбора, при недостоверной разнице.

Таким образом, установлено, что сыновья, полученные от подбора баранов с УБП ПЛБАЦ 49,6 мкА в возрасте 2,5 лет и маток с УБП ПЛБАЦ 35,5 мкА, превосходили по живой массе и шерстной продуктивности сверстников из других биоэнергетических вариантов подбора. Отсюда биоэнергетические оценки ПЛБАЦ овец могут служить селекционным критерием при ведении внутрипородной селекции на повышение продуктивных качеств овец северокавказской мясошерстной породы и разновозрастном подборе родительских пар.

Для изучения степени наследуемости УБП ПЛБАЦ от отцов к сыновьям был рассчитан эффект гетерозиса (табл. 7).

Высокий эффект гетерозиса был отмечен у сыновей, полученных от спаривания баранов-про-

Таблица 6. Продуктивность сыновей, полученных при разных вариантах биоэнергетического подбора родительских пар
Table 6. Productivity of sons obtained from different options for bioenergy selection of parental pairs

Показатель	Вариант подбора		
	♂ 1,5×♀ 3,5	♂ 2,5×♀ 1,5	♂ 3,5×♀ 2,5
	M ± m	M ± m	M ± m
Количество голов, п	5	5	5
УБП ПЛБАЦ, мкА	42,9±0,7	51,8±3,2*	48,8±0,5***
Живая масса, кг	43,2±1,5	47,8±1,6	45,2±4,0*
Настриг немытой шерсти, кг	4,3±0,2	4,9±0,1*	4,6±0,5
Естественная длина шерсти, см	9,4±0,2	9,8±1,6	10,3±0,9
Тонина шерсти, мкм	29,3±0,4	28,6±1,9	31,0±1,5

Примечание: разница статистически достоверна по сравнению с контролем: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Таблица 7. Эффект гетерозиса у сыновей при разных вариантах биоэнергетического подбора родительских пар, %
Table 7. Heterosis effect in sons with different options for bioenergetic selection of parental couples, %

Значение эффекта гетерозиса, %	Вариант подбора					
	1-й (к) ♂ 1,5×♀ 3,5		2-й ♂ 2,5×♀ 1,5		3-й ♂ 3,5×♀ 2,5	
	Форма гетерозиса					
истин.	относит.	истин.	относит.	истин.	относит.	
98,2	121,4	104,0	132,9	100,6	118,9	

изводителей с УБП ПЛБАЦ 49,6 мкА в возрасте 2,5 лет и маток с УБП ПЛБАЦ 35,5 мкА в возрасте 1,5 лет. Истинный эффект гетерозиса составил 104,0% а относительный — 132,9%, что превысило показатели первого и третьего вариантов гетерогенного возрастного подбора.

Любой вид продуктивности определяется сложным взаимодействием наследственности с условиями внешней среды и внутреннего состояния организма. Выявление генетических параметров наследования показателей продуктивности позволяет разрабатывать эффективные приемы селекционного совершенствования популяции и отдельно взятых групп животных, что является одной из стратегических задач овцеводческого сектора агропромышленного комплекса страны.

Наследуемость считается не только свойством самого признака, но и популяции, и среды ее обитания. Поэтому наследуемость целесообразно определять для каждого конкретного стада и периода его совершенствования. При этом, как отмечает А.И. Ерохин [21], при коэффициенте наследуемости признака 0,30 и выше массовая селекция по фенотипу будет эффективной. В то же время низкая наследуемость (ниже 0,30) означает, что на изменчивость селекционных признаков большее влияние оказывают условия среды, и работа с такой популяцией по изменению ее генетической структуры отбором животных только по фенотипу будет малорезультативной. Значение коэффициентов наследуемости колеблется в широких пределах: по живой массе — от 0,17 до 0,54, по настригу шерсти в оригинал — от 0,10 до 0,62, по длине ее — от 0,2 до 0,74.

Большие различия в величине показателей наследуемости, обусловленные их тесной связью с породой, условиями кормления и содержания, уровнем и направлением племенной работы, указывают на возможность использования коэффициента только для определенных признаков и конкретного стада.

В исследованиях с применением гетерогенного возрастного подбора родительских пар и УБП ПЛБАЦ родителей получено потомство с высокой наследуемостью УБП ПЛБАЦ и шерстной продуктивности. Так, дочери, полученные от баранов-производителей в возрасте 1,5 лет со средними УБП ПЛБАЦ (43,9 мкА) и маток в возрасте 3,5 лет со средними УБП ПЛБАЦ (41,2 мкА), имели наследуемость 0,74, показывающую, что уровень биоэлектрических потенциалов ПЛБАЦ матерей на 0,74 обусловлен их наследуемостью и в той же мере унаследован их дочерьми.

У баранчиков наиболее высокий эффект гетерозиса от применения биоэнергетического подбора пар был получен от сыновей баранов-производителей с УБП ПЛБАЦ 49,6 мкА в возрасте 2,5 лет и маток с УБП ПЛБАЦ 35,5 мкА в возрасте 1,5 лет. Истинный эффект гетерозиса составил 104,0% а относительный — 132,9%. Следовательно, полученные показатели коэффициента наследуемости у дочерей и эффекта гетерозиса у сыновей отражают в большей степени изменчивость УБП ПЛБАЦ, определяемую наследственными различиями и, соответственно, уровнем их будущей продуктивности.

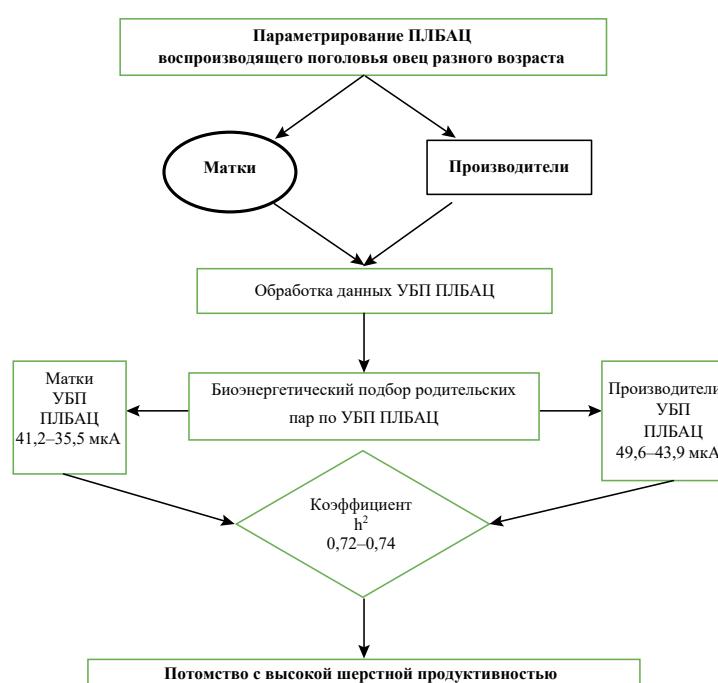
Установленные закономерности могут служить тестом для прогнозирования шерстной продуктивности овец. На основании проведенных опытов установлены пределы биоэнергетических параметров ПЛБАЦ воспроизводящего поголовья овец, позволяющие с высокой долей достоверности прогнозировать высокую наследуемость шерстной продуктивности потомством овец.

Полученные данные позволили создать алгоритм цифровой модели прогнозирования наследуемости уровня шерстной продуктивности потомством овец (рис. 1).

Предлагаемая блок-схема оценки и прогнозирования состояния животных на основе параметрирования ПЛБАЦ способна значительно повысить точность отбора высокопродуктивных особей, повысить адаптивность стада и сократить

Рис. 1. Блок-схема получения потомства с высокой шерстной продуктивностью

Fig. 1. The block diagram for obtaining offspring with high wool productivity



издержки за счет своевременного реагирования на физиологические нарушения.

Таким образом, использование ПЛБАЦ как диагностического инструмента представляет собой эффективное дополнение к существующим подходам в селекции овцеводства и открывает перспективы для формирования более совершенных систем управления продуктивностью и здоровьем сельскохозяйственных животных.

Выводы/Conclusions

По результатам проведенных исследований выявленные закономерности могут служить дополнительным объективным критерием для эффективного отбора и подбора родительских пар с прогнозированием высокой продуктивности будущего потомства при следующих биоэнергетических сочетаниях: баранов-производителей с уровнем биоэлектрических потенциалов 43,9 мкА в возрасте 1,5 лет и овцематки с уровнем биоэлектрических потенциалов 41,2 мкА в возрасте 3,5 лет; баранов-производителей с уровнем биоэлектрических потенциалов 49,6 мкА в возрасте 2,5 лет и овцематок с уровнем биоэлектрических потенциалов 35,5 мкА в возрасте 1,5 лет.

Полученные данные легли в основу разработки нового способа прогнозирования шерстной продуктивности потомства овец (патент РФ № 2759339⁷).

⁷ Патент № 2759339 Российской Федерации «Способ прогнозирования шерстной продуктивности потомства овец». Заявка от 27.04.2021 № 2021112312. Патентообладатель: Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Паракина. Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса 22.12.2023).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Никонова Е.А., Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И. Влияние двух-трехпородного скрещивания молодняка разного пола и направления продуктивности на потребление и использование питательных веществ рационов. *Аграрная наука*. 2022; (9): 59–64. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-59-64>
- Косилов В.И. и др. Показатели белкового и углеводного обменов сыворотки крови чистопородных и помесных волушков по сезонам года. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2025; 2(112): 197–201. <https://elibrary.ru/bqyovo>
- Герасимова Т.Г., Ребезов М.Б., Лукин Е.В. Шерстная продуктивность овец разного генотипа. Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. Сборник трудов по материалам Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора биологических наук, профессора, заслуженного работника Высшей школы РФ, почетного работника высшего профессионального образования РФ, почетного гражданина Брянской области Е.П. Ващекина. Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2022; 300–303. <https://elibrary.ru/fkpdfx>
- Чернобай Е.Н., Резун Н.А., Онищенко О.Н., Исмаилов И.С. Современное состояние и методы повышения продуктивности овец. Геномика и биотехнологии в сельском хозяйстве. Сборник научных статей по материалам пленарного заседания 88-й научно-практической конференции ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ» «Аграрная наука – Северо-Кавказскому федеральному округу». Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет. 2023; 48–52. <https://elibrary.ru/crjwgf>
- Колосов Ю.А., Дегтярь А.С., Головнев А.Н., Соков В.В. Перспективные направления совершенствования тонкорунных овец Ростовской области. *Вестник аграрной науки Дона*. 2009; (1): 66–68.
- Гаглоев А.Ч., Негреева А.Н., Мусаев Ф.А. Использование подбора овец для улучшения питательной ценности бааранины. *Аграрная наука*. 2021; (11–12): 63–67. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-63-67>
- Кравченко Н.И. Некоторые результаты скрещивания овец южной мясной и романовской пород. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2019; (1): 10–12. <https://doi.org/10.34677/gtmy-rz48>
- Колосов Ю.А., Абонеев В.В., Гаглоев А.Ч. Шерстная продуктивность мериносовых овец улучшенных генотипов. *Вестник Курганской ГСХА*. 2024; (1): 35–40. <https://elibrary.ru/rjakky>
- Гаглоев А.Ч., Щугарева Т.Э., Мусаев Ф.А. Повышение мясной продуктивности цигайских овец. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2023; (1): 122–129. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2023-1-122-129>
- Кравченко Н.И. Характеристика шерстного покрова мериносов, романовских овец и их помесей. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2016; (3): 60–63. <https://elibrary.ru/pwchfn>
- Колосов Ю.А., Чамурлиев Н.Г., Абонеев В.В., Гаглоев А.Ч., Шперов А.С. Характер наследования шерстной продуктивности у мериносовых овец улучшенных генотипов. *Известия Нижневолжского агрониверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2024; (2): 194–201. <https://elibrary.ru/rkianh>
- Дунин И.М., Павлов М.Б., Белик Н.И., Сердюков И.Г., Павлов А.М. Возрастные изменения тонаины шерсти. *Зоотехния*. 2021; (2): 36–38. <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.85.22.011>
- Самусенко Л.Д., Мамаев А.В., Химичева С.Н. Использование научных разработок в оценке физических показателей качества шерстного сырья овец. *Зоотехния*. 2022; (8): 38–40. <https://elibrary.ru/lvbphe>
- Самусенко Л.Д., Мамаев А.В., Химичева С.Н., Соловьева А.О. Модель биоэнергетического параметрирования воспроизводящего поголовья овец при оценке шерстной продуктивности. *Аграрный вестник Урала*. 2025; 25(1): 83–93. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-83-93>
- Колосов Ю.А. (ред.). Использование потенциала интенсивных пород овец для увеличения производства продукции овцеводства. Персиановский: Донской ГАУ. 2020; 234. ISBN 978-5-98252-371-6 <https://elibrary.ru/yhemqb>
- Ерохин А.И. (ред.). Прогнозирование производительности, воспроизводства и резистентности овец. М.: Россельхозакадемия. 2010; 351. ISBN 978-5-85941-374-4 <https://elibrary.ru/tkfjav>

REFERENCES

- Nikonova E.A., Yuldashbaev Yu.A., Kosilov V.I. The influence of two- or three-breed crossing of young animals of different sexes and directions of productivity on the intake and use of dietary nutrients. *Agrarian science*. 2022; (9): 59–64 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-59-64>
- Kosilov V.I. et al. Protein and carbohydrate metabolism indices in the blood of purebred and crossbred wethers by seasons of the year. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2025; 2(112): 197–201 (in Russian). <https://elibrary.ru/bqyovo>
- Gerasimova T.G., Rebezov M.B., Lukin E.V. Wool productivity of sheep of different genotypes. *Actual problems of intensive development of animal husbandry. Collection of works based on the materials of the National scientific and practical conference with international participation, dedicated to the memory of Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Citizen of the Bryansk Region E.P. Vashchekin*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2022; 300–303 (in Russian). <https://elibrary.ru/fkpdfx>
- Chernobay E.N., Rezun N.A., Onishchenko O.N., Ismailov I.S. The current state and methods of increasing sheep productivity. *Genomics and biotechnology in agriculture. Collection of scientific articles based on the materials of the plenary session of the 88th scientific and practical conference of the Stavropol State Agrarian University "Agrarian Science for the North Caucasus Federal District"*. Stavropol: Stavropol State Agrarian University. 2023; 48–52 (in Russian). <https://elibrary.ru/crjwgf>
- Kolosov Yu.A., Degtyar A.S., Golovnev A.N., Sovkov V.V. Promising areas of improvement of fine-fleeced sheep of the Rostov region. *Don agrarian science bulletin*. 2009; (1): 66–68 (in Russian).
- Gagloev A.Ch., Negreeva A.N., Musaev F.A. Using sheep selection to improve the nutritional value of lambmeat. *Agrarian science*. 2021; (11–12): 63–67 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-63-67>
- Kravchenko N.I. Some results of crossing sheep of southern meat and Romanov breeds. *Sheep, goats, wool business*. 2019; (1): 10–12 (in Russian). <https://doi.org/10.34677/gtmy-rz48>
- Kolosov Yu.A., Aboneev V.V., Gagloev A.Ch. Wool productivity of merino sheep of improved genotypes. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2024; (1): 35–40. <https://elibrary.ru/rjakky> (in Russian)
- Gagloev A.Ch., Sugareva T.E., Musaev F.A. Increasing the meat productivity of Qigai sheep. *Technologies for the food and processing industry of AIC – healthy food*. 2023; (1): 122–129 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2023-1-122-129>
- Kravchenko N.I. Characteristics of the wool coat of Merino sheep, Romanov sheep, and their crosses. *Sheep, goats, wool business*. 2016; (3): 60–63 (in Russian). <https://elibrary.ru/pwchfn>
- Kolosov Yu.A., Chamurliev N.G., Aboneev V.V., Gagloev A.Ch., Shperov A.S. The nature of inheritance of wool productivity in merino sheep of improved genotypes. *Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2024; (2): 194–201 (in Russian). <https://elibrary.ru/rkianh>
- Dunin I.M., Pavlov M.B., Belik N.I., Serdyukov I.G., Pavlov A.M. Age-related changes in wool fineness. *Zootechniya*. 2021; (2): 36–38 (in Russian). <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.85.22.011>
- Samusenko L.D., Mamaev A.V., Khimicheva S.N. The use of scientific developments in assessment of physical indicators of the sheep wool quality. *Zootechniya*. 2022; (8): 38–40 (in Russian). <https://elibrary.ru/lvbphe>
- Samusenko L.D., Mamaev A.V., Khimicheva S.N., Solovyova A.O. A model of bioenergetic parameterization of a reproducing sheep population in assessing wool productivity. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25(1): 83–93 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-83-93>
- Kolosov Yu.A. (ed.). Using the potential of intensive sheep breeds to increase sheep production. Persianovsky: Don State Agrarian University. 2020; 234 (in Russian). ISBN 978-5-98252-371-6 <https://elibrary.ru/yhemqb>
- Erokhin A.I. (ed.). Forecasting productivity, reproduction and resistance of sheep. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences. 2010; 351 (in Russian). ISBN 978-5-85941-374-4 <https://elibrary.ru/tkfjav>

17. Чернобай Е.Н., Суров А.И., Резун Н.А., Онищенко О.Н., Олейник С.А. Шерстная продуктивность и качество шерсти овец породы российский мясной меринос от внутри- и межлинейного подбора. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023; 15(1): 179–207.
<https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-179-207>
18. Владимиров Н.И., Косарев А.П., Владимира Н.Ю. Подбор родительских пар и продуктивность потомства в овцеводстве. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015; (3): 85–89.
<https://elibrary.ru/tnhewj>
19. Ефимова Н.И., Шумяенко С.Н., Омаров А.А. Взаимосвязь между основными селекционируемыми признаками овец пород российский мясной меринос и советский меринос. *Аграрная наука*. 2022; (12): 71–75.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-365-12-71-75>
20. 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>
21. Ерохин А.И., Юлдашбаев Ю.А., Усманов А.К. Свойства тонкой шерсти овец разных генотипов: сравнительная оценка шерсти овец пород австралийский меринос, южно-казахский меринос и киргизская тонкорунная. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 1999; (3): 32–36.
17. Chernobai E.N., Surov A.I., Rezun N.A., Onishchenko O.N., Oleinik S.A. Wool Productivity and Quality of Russian Meat Merino Sheep from Intra- and Interline Selection. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023; 15(1): 179–207 (in Russian).
<https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-179-207>
18. Vladimirov N.I., Kosarev A.P., Vladimirova N.Yu. Age selection of parents and progeny performance in sheep breeding. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015; (3): 85–89 (in Russian).
<https://elibrary.ru/tnhewj>
19. Efimova N.I., Shumayenko S.N., Omarov A.A. The relationship between the main Sheep breeding traits of the Russian meat merino and Soviet merino breeding. *Agrarian science*. 2022; (12): 71–75 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-365-12-71-75>
20. Traisov B.B., Yuldashbaev Yu.A., Yesengaliev 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>
21. Erokhin A.I., Yuldashbayev Yu.A., Usmanov A.K. Properties of fine wool of sheep of different genotypes: comparative evaluation of wool of sheep breeds Australian merino, South Kazakh merino and Kyrgyz fine wool. *Sheep, goats, wool business*. 1999; (3): 32–36 (in Russian)

ОБ АВТОРАХ

Людмила Дмитриевна Самусенко

кандидат биологических наук, доцент
 ldsamusenko@mail.ru
<https://orcid.org.0000-0001-6243-3088>

Андрей Валентинович Мамаев

доктор биологических наук, профессор
 shatone@mail.ru
<https://orcid.org.000-0003-4864-086X>

Светлана Николаевна Химичева

кандидат биологических наук, доцент
 himichevasvetlana@yandex.ru
<https://orcid.org.0000-00018478-1024>

Наталья Дмитриевна Родина

кандидат биологических наук, доцент
 natalia_rodina_6@mail.ru
<https://orcid.org.0000-0008973-2950>

Екатерина Юрьевна Сергеева

кандидат технических наук, доцент
 katy31051979@rambler.ru
<https://orcid.org.0000-0003017-6072>
 Орловский государственный аграрный университет
 им. Н.В. Парахина,
 ул. Генерала Родина, 69, Орел, 302019, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Lyudmila Dmitrievna Samusenko

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
 ldsamusenko@mail.ru
<https://orcid.org.0000-0001-6243-3088>

Andrey Valentinovich Mamaev

Doctor of Biological Sciences, Professor
 shatone@mail.ru
<https://orcid.org.000-0003-4864-086X>

Svetlana Nikolaevna Khimicheva

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
 himichevasvetlana@yandex.ru
<https://orcid.org.0000-00018478-1024>

Natalia Dmitrievna Rodina

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
 natalia_rodina_6@mail.ru
<https://orcid.org.0000-0008973-2950>

Ekaterina Yurievna Sergeeva

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
 katy31051979@rambler.ru
<https://orcid.org.0000-0003017-6072>
 Oryol State Agrarian University named
 after N.V. Parakin,
 69 General Rodina Str., Orel, 302019, Russia

О.А. Кошкина

Т.Е. Деникова ✉

А.С. Абдельманова

Н.А. Чурбакова

А.Д. Соловьева

А.В. Доцев

Н.А. Зиновьева

Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, Московская обл., Россия

✉ horarka@yandex.ru

Поступила в редакцию: 15.03.2025

Одобрена после рецензирования: 11.08.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

© Кошкина О.А., Деникова Т.Е.,
Абдельманова А.С., Чурбакова Н.А.,
Соловьева А.Д., Доцев А.В., Зиновьева Н.А.

Research article

Olga A. Koshkina

Tatiana E. Deniskova ✉

Alexandra S. Abdelmanova

Nadezhda A. Churbakova

Anastasia D. Solovyova

Arsen V. Dotsev

Natalia A. Zinovieva

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow Region, Russia

✉ horarka@yandex.ru

Received by the editorial office: 15.03.2025

Accepted in revised: 11.08.2025

Accepted for publication: 26.08.2025

© Koshkina O.A., Deniskova T.E.,
Abdelmanova A.S., Churbakova N.A.,
Solovyova A.D., Dotsev A.V., Zinovieva N.A.

Идентификация полиморфных SNP в генах *IGF2BP2* и *BMPR1B* у оренбургской и карачаевской пород коз

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Репродуктивные качества коз имеют высокую экономическую ценность. В качестве генов-кандидатов, ассоциированных с репродуктивными способностями коз, были предложены гены *IGF2BP2* и *BMPR1B*. Однако их роль в формировании многоплодия у коз малоизучена. В связи с этим более детальное изучение полиморфизма в генах *IGF2BP2* и *BMPR1B* может углубить знания о генетических механизмах, лежащих в основе многоплодия коз, поэтому были выбраны эти гены как целевые для проведения эксперимента.

Методы. Полногеномное секвенирование методом NGS позволило получить последовательности полных геномов коз оренбургской ($n = 15$) и карачаевской ($n = 15$) пород коз. Из полных геномов были извлечены полные последовательности генов-кандидатов, влияющих на репродуктивные способности коз (*IGF2BP2* и *BMPR1B*), в которых был осуществлен поиск однонуклеотидных полиморфизмов (SNP). Наиболее различающиеся SNPs в анализируемых генах выбирали на основании расчета значений F_{ST} для каждого SNP внутри каждого гена, выполненного с использованием программного обеспечения PLINK 2.

Результаты. При сравнении нуклеотидной последовательности генов *IGF2BP2* и *BMPR1B* у коз карачаевской и оренбургской пород были выявлены наиболее различающиеся SNPs на основании расчета значений F_{ST} . Наибольшие различия в последовательностях были выявлены в гене *BMPR1B*: 11 SNPs со значениями F_{ST} от 0,513305 до 0,596852. В то время как в гене *IGF2BP2* было выявлено всего 2 SNPs ($F_{ST} = 0,453078$).

Ключевые слова: ДНК-маркеры, SNP, гены-кандидаты, полные геномы, полиморфизм

Для цитирования: Кошкина О.А. и др. Идентификация полиморфных SNP в генах *IGF2BP2* и *BMPR1B* у оренбургской и карачаевской пород коз. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 62–68.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-62-68>

Identification of polymorphic SNPs in *IGF2BP2* and *BMPR1B* genes in Orenburg and Karachaev breeds of goats

ABSTRACT

Relevance. Reproductive traits of goats are of high economic value. *IGF2BP2* and *BMPR1B* genes were proposed as candidate genes associated with reproductive traits of goats. However, their role in the formation of multiple pregnancy in goats is poorly understood. In this regard, a more detailed study of polymorphism in the *IGF2BP2* and *BMPR1B* genes may deepen the knowledge of the genetic mechanisms underlying multiple pregnancy in goats, so we chose these genes as targets for the experiment.

Methods. Complete genomes of goats of Orenburg ($n = 15$) and Karachaev ($n = 15$) breeds were obtained by whole genome sequencing performed by NGS. From whole genomes we extracted the complete sequences of candidate genes affecting the reproductive abilities of goats (*IGF2BP2* and *BMPR1B*), in which a search for single nucleotide polymorphisms (SNP) was performed. The most different SNPs in the analyzed genes were selected based on the calculation of F_{ST} values for each SNP within each gene, performed using PLINK 2 software.

Results. Comparison of the nucleotide sequence of the *IGF2BP2* and *BMPR1B* genes in Karachaev and Orenburg goats, the most different SNPs were identified based on the calculation of F_{ST} values. The greatest differences in sequences were found in the *BMPR1B* gene: 11 SNPs with F_{ST} values from 0.513305 to 0.596852. While in the *IGF2BP2* gene, only 2 SNPs were identified ($F_{ST} = 0.453078$).

Keywords: DNA markers, SNPs, candidate genes, whole-genome sequencing, polymorphism, genotype

For citation: Koshkina O.A. et al. Identification of polymorphic SNPs in *IGF2BP2* and *BMPR1B* genes in Orenburg and Karachaev breeds of goats. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 62–68 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-62-68>

Введение/Introduction

С момента одомашнивания козы распространились по всему миру благодаря своим биологическим особенностям. Высокая адаптивность к различным климатическим условиям позволяет козам выживать в высокогорных и полупустынных районах со скучной растительностью и при этом производить уникальную продукцию, такую как козий пух, молоко, козье молоко и козлятина. В современном мире наблюдается глобальная тенденция на увеличение спроса на козоводческую продукцию, в связи с чем происходит рост их численности [1].

Высокую экономическую ценность в козоводстве имеют репродуктивные способности коз. Целесообразно проводить повышение плодовитости самок путем увеличения размера приплода для создания предпосылок повышения селекции [2]. Однако размер приплода является признаком с низкой наследуемостью у коз, поэтому традиционный прямой отбор неэффективен [1, 3].

Для улучшения признаков с низкой наследуемостью на помощь приходит маркер-ориентированная селекция (marker-assisted selection, MAS), основанная на соответствующих генетических вариантах [4]. Чтобы упростить применение MAS для увеличения размера приплода в козоводстве, необходимо обнаружить и проверить важные генетические варианты, обеспечивающие фенотипическое преимущество [3, 5].

Для поиска новых генетических вариантов в настоящее время используются полигеномное секвенирование и полигеномные исследования ассоциаций (genome-wide association study, GWAS). В предыдущих работах сообщалось о влиянии генов *IGF2BP2* и *BMPR1B* на репродуктивные способности коз [3, 6–9].

Полигеномный анализ ассоциаций, проведенный в 2019 году, выявил белок 2, связывающий мРНК инсулиноподобного фактора роста 2 (*IGF2BP2*) в качестве гена-кандидата, связанного с плодовитостью коз [3]. Этот ген кодирует белок, который связывается с 5'-нетранслируемой (5'UTR) областью мРНК инсулиноподобного фактора роста 2 (*IGF2*) и регулирует ее трансляцию.

В недавнем исследовании была подтверждена важнейшая роль гена *IGF2BP2* в регулировании функции эндометрия путем модуляции пролиферации и миграции эмбриональных стволовых клеток овец [7]. К тому же в другой работе было показано, что белок, образующийся в результате экспрессии гена *IGF2BP2*, играет важную роль в регулировании восприимчивости эндометрия к эмбриону у молочных коз породы *Guanzhong* [8].

Позднее *Xin D. и соавт.* обнаружили вставку (делецию) размером 13 п. о. в гене *IGF2BP2*, которая оказывала достоверное влияние на многоплодие коз породы *Shaanbei White Cashmere*. В результате проведенной работы авторами был выявлен предпочтительный гомозиготный генотип DD — делеция [9].

В качестве гена-кандидата, влияющего на размер помета, был предложен ген *BMPR1B*, который является членом семейства рецепторов костного морфогенетического белка и играет важную роль в регулировании роста фолликулов, развития эмбрионов и размера помета [10]. Впервые взаимосвязь полиморфизма гена *BMPR1B* со скоростью овуляции и размером приплода была выявлена у овец [11].

Однако проведенные ранее исследования коз не выявили наличия в популяциях мутации *FecB* (Booroola) у ассамского горного козла [12] иранской породы Мархоз [13] и тибетской кашемиро-вой козы [14]. Другие исследования не обнаружили достоверных ассоциаций мутации *FecB* с размером помета у иранской и семи индийских пород [15, 16], лишь в одной индийской породе черных бенгальских коз было выявлено существенное влияние мутации *FecB* на размер гнезда [17].

При этом в исследованиях у коз были обнаружены новые SNPs: уникальная для ассамских горных козлов мутация (с. 773G > C) [12], два SNP в 8-м экзоне у коз породы Мархоз (с. 775A > G и с. 777G > A) [13].

В 2024 году *Ullah I. и соавт.* обнаружили 3 новых SNP в промоторной области гена *BMPR1B*, среди которых один (г. 67A > C) был достоверно связан с размером помета у коз породы Дамани [18].

На сегодняшний день роль генов *IGF2BP2* и *BMPR1B* в формировании многоплодия у коз малоизучены. В связи с этим актуально проводить исследования полиморфизма вышеназванных генов у коз малоплодных и многоплодных пород.

Среди разнообразия отечественных пород коз оренбургская пуховая порода является одной из наиболее многоплодных. Плодовитость в среднем составляет 140 козлят на 100 маток. У 52,6% маток рождаются двойни, встречаются случаи (около 2%) рождения троен [19]. Известно, что карачаевские козы относятся к относительно малоплодным животным. По данным литературных источников, плодовитость карачаевских коз находится в пределах 1,19–1,26 [20, 21].

Цель данной работы — изучение полиморфизма генов-кандидатов репродуктивных качеств (*IGF2BP2* и *BMPR1B*) у оренбургской пуховой породы коз в сравнении с карачаевской.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследование проводили в 2024 году. Животных, использованных в исследовании, содержали в соответствии с этическими рекомендациями, утвержденными Комиссией по этике экспериментов на животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (протокол от 24 февраля 2025 года № 2).

В качестве биологического материала для молекулярно-генетического исследования использовали биопробы ткани с ушной раковиной площадью 1 см² (ушные выщипы) у козочек карачаевской

Рис. 1. Козы карачаевской породы (ПЗ «Ладожский»), март 2023 г. Фото предоставлено И.В. Гусевым
Fig. 1. Goats of the Karachaev breed (“Ladozhsky” breeding farm), March 2023. Photo provided by I.V. Gusev



($n = 15$) и оренбургской пуховой ($n = 15$) пород возрастом от 1,5 до 2,2 года.

Образцы ткани коз карачаевской породы были отобраны в племенном заводе «Ладожский» (Усть-Лабинский р-н, Краснодарский край, Россия) в ходе экспедиции сотрудников ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста в 2024 году. Образцы отбирали в соответствии с действующими правилами проведения лабораторных исследований (испытаний) при осуществлении ветеринарного контроля (надзора), утвержденными Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 10 ноября 2017 года № 80¹. Транспортировку образцов осуществляли в пробирках типа эппendorф в 96%-ном спиртовом растворе (рис. 1).

Образцы ткани коз оренбургской пуховой породы (рис. 2) были получены из биоресурсной коллекции «Банк генетического материала домашних и диких видов животных и птицы» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, входящей в состав биологических коллекций национального Центра генетических ресурсов сельскохозяйственных животных, образованного на базе ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Биопробы коз оренбургской пуховой породы были отобраны в Государственном козоводческом племенном хозяйстве «Губерлинский» в 2017 году.

ДНК из ткани выделяли с использованием набора «ДНК-Экстран-2» (ЗАО «Синтол», Россия) по протоколу производителя. Целостность полученных растворов геномной ДНК определяли в 1%-ом агарозном геле.

Рис. 2. Козы оренбургской пуховой породы. Фото автора Т.Е. Денисовой

Fig. 2. Goats of the Orenburg breed. Photo provided by T.E. Deniskova



Качество и количество определяли с использованием спектрофотометра NanoDrop™ 8000 (ThermoFisher Scientific, Inc., США) и Quibit 4.0 (Invitrogen/Life Technologies, США). К дальнейшему исследованию были отобраны пробы высокого качества (соотношение $OD_{260/280} > 1,8$) и с концентрацией 30 нг/мкл при объеме не менее 100 мкл.

Полногеномное секвенирование проведено по технологии NGS (next generation sequencing) на секвенаторе NovaSeq 6000 (Illumina, Inc., США). Подготовка библиотек для секвенирования была выполнена с использованием наборов TruSeq DNA Nano Library Prep Kit (Illumina, Inc., США)

¹ Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 10 ноября 2017 года № 80 «Об утверждении правил организации проведения лабораторных исследований (испытаний) при осуществлении ветеринарного контроля (надзора)». 2017; 27.

и Accel-NGS® 2S Plus DNA Library Kit (IDT) for Illumina® Platforms (Swift Biosciences, Inc., США).

Выравнивание на референсный геном *Capra_hircus.ARS1.dna_sm.toplevel.fa.gz* (https://ftp.ensembl.org/pub/release-113/fasta/capra_hircus/dna/) проводили с помощью инструментов bwa-mem2 [22] и SAMtools [23]. Из полных геномов были извлечены полные последовательности генов-кандидатов, влияющих на репродуктивные способности коз (*IGF2BP2* и *BMPR1B*), в которых был осуществлен поиск однонуклеотидных полиморфизмов. Гены были найдены согласно их координатам в референсном геноме *Capra_hircus.ARS1.dna_sm.toplevel.fa.gz*.

Координаты включали номер хромосомы, нуклеотидную позицию начала гена, нуклеотидную позицию конца гена, указание цепи ДНК (1 — прямая, -1 — обратная). Были использованы следующие координаты для исследуемых генов: 1:81080594-81243253:1 для гена *IGF2BP2* (запись в Ensembl ENSCHIG00000015258); 6:29894143-30259719:-1 для гена *BMPR1B* (запись в Ensembl ENSCHIG00000017761).

Непосредственное извлечение полных последовательностей изучаемых генов проводили с использованием инструментов bwa-mem2 и SAMtools по авторским скриптам.

Наиболее различающиеся SNPs в анализируемых генах выбирали на основании расчета значений F_{ST} для каждого SNP внутри каждого гена, выполненного с использованием программного обеспечения PLINK 2.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

При сравнении нуклеотидной последовательности генов *IGF2BP2* и *BMPR1B* у коз карачаевской и оренбургской пуховой пород были выявлены наиболее различающиеся SNPs на основании расчета значений F_{ST} . Наибольшие различия в последовательностях были выявлены в гене *BMPR1B*: 11 SNPs со значениями F_{ST} от 0,513305 до 0,596852. В то время как в гене *IGF2BP2* было выявлено всего 2 SNPs ($F_{ST} = 0,453078$).

В таблице 1 представлены наиболее различающиеся SNPs у коз карачаевской и оренбургской пуховой пород по исследованным генам.

Все обнаруженные SNPs находились в инtronных последовательностях генов. В гене *IGF2BP2* были обнаружены два SNPs в 13-м интроне; в гене *BMPR1B* один SNP находился в 1-м интроне и 10 SNPs — во 2-м.

В предыдущих исследованиях у разных видов сельскохозяйственных животных была выявлена взаимосвязь некодирующих областей генома с экспрессией генов посредством изменения связывания факторов транскрипции (TFs). К примеру,

Таблица 1. SNPs в генах-кандидатах репродуктивной функции, наиболее различающиеся у коз карачаевской и оренбургской пуховой пород

Table 1. SNPs in candidate genes of meat productivity of goats, most different in Karachaev and Orenburg breeds of goats

Ген	SNP	Позиция	F_{ST}
<i>IGF2BP2</i>	rs669269012	1:81234396	0,453078
	rs646079011	1:81235213	0,453078
	rs635883131	6:29940607	0,554622
	rs651098910	6:30167969	0,513305
	rs268290490	6:30170250	0,513305
	6_30181500	6:30181500	0,513305
	6_30182340	6:30182340	0,513305
<i>BMPR1B</i>	6_30183259	6:30183259	0,513305
	rs637357425	6:30189837	0,596852
	rs661196106	6:30193362	0,596852
	rs639817855	6:30200364	0,513305
	rs656725211	6:30201731	0,513305
	rs640625792	6:30205158	0,513305

однонуклеотидный полиморфизм (с. 2366G > A) в 3'UTR области костного морфогенетического белка 15 (*BMP15*) существенно влияет на репродуктивные признаки крупных белых свиней [24]. К тому же делеция во 2-м интроне размером 13 п. о., обнаруженная в 2021 году в гене *IGF2BP2*, оказывала достоверное влияние на размер помета у коз [9].

В связи с этим возможно предположить, что выявленные SNPs в данном исследовании влияют на репродуктивные способности у коз. Затем были выявлены генотипы в найденных позициях в исследуемых генах.

В таблице 2 представлены частоты генотипов и аллелей, встречающихся в наиболее различающихся SNPs у оренбургских пуховых и карачаевских коз в гене *IGF2BP2*.

Примечательно, что у карачаевской породы коз по обоим SNPs преобладал один аллельный вариант с частотой встречаемости 0,967 (G и A). Второй аллель присутствовал в популяции лишь в гетерозиготном состоянии у одного животного. Коз с гомозиготным генотипом по второму аллелю у карачаевской породы не встречали.

Таблица 2. Генотипы и частоты встречаемости гена *IGF2BP2* в позициях SNPs в изучаемых выборках коз карачаевской и оренбургской пуховой пород

Table 2. Genotypes and frequencies of gene *IGF2BP2* of SNPs in the studied samples of Karachaev and Orenburg breeds of goats

SNP	Породы	Частоты встречаемости генотипов			Частоты встречаемости аллелей	
		AA (0,267)	AG (0,533)	GG (0,200)	A (0,533)	G (0,467)
rs669269012	OREN	AA (0)	AG (0,067)	GG (0,933)	A (0,033)	G (0,967)
	KRCH	AA (0,200)	AC (0,533)	CC (0,267)	A (0,467)	C (0,533)
rs646079011	OREN	AA (0,933)	AC (0,067)	CC (0)	A (0,967)	C (0,033)
	KRCH	AA (0,267)	AC (0,533)	CC (0,200)	A (0,533)	C (0,467)

Примечание: OREN — оренбургская пуховая порода, KRCH — карачаевская.

В таблице 3 представлены частоты генотипов и аллелей, встречающихся в наиболее различающихся SNPs у оренбургских пуховых и карачаевских коз в гене *BMPR1B*.

В гене *BMPR1B* были обнаружены 11 наиболее различающихся SNPs между оренбургской пуховой и карачаевской породами коз, из которых 3 SNPs были обнаружены впервые (позиции: 6:30181500; 6:30182340; 6:30183259). Один SNP (rs635883131) у коз оренбургской пуховой породы представлен лишь одним аллельным вариантом (A), в то время как у карачаевских коз встречались все три генотипа (AA, AG, GG).

Таблица 3. Генотипы и частоты встречаемости гена *BMPR1B* в позициях SNPs в изучаемых выборках коз карачаевской и оренбургской пуховой пород

Table 3. Genotypes and frequencies of gene *BMPR1B* of SNPs in the studied samples of Karachaev and Orenburg breeds of goats

SNP	Породы	Частоты встречаемости генотипов			Частоты встречаемости аллелей	
		AA (1)	AG (0)	GG (0)	A (1)	G (0)
rs635883131	OREN	AA (1)	AG (0)	GG (0)	A (1)	G (0)
	KRCH	AA (0,133)	AG (0,6)	GG (0,267)	A (0,433)	G (0,567)
rs651098910	OREN	CC (0)	TC (0,4)	TT (0,6)	C (0,2)	T (0,8)
	KRCH	CC (0,667)	TC (0,267)	TT (0,066)	C (0,8)	T (0,2)
rs268290490	OREN	TT (0,6)	CT (0,4)	CC (0)	T (0,8)	C (0,2)
	KRCH	TT (0,066)	CT (0,267)	CC (0,667)	T (0,2)	C (0,8)
6_30181500	OREN	CC (0,6)	GC (0,4)	GG (0)	C (0,8)	G (0,2)
	KRCH	AA (0,066)	AC (0,267)	CC (0,667)	A (0,2)	C (0,8)
6_30182340	OREN	CC (0,6)	CT (0,4)	TT (0)	C (0,8)	T (0,2)
	KRCH	CC (0,066)	CT (0,267)	TT (0,667)	C (0,2)	T (0,8)
6_30183259	OREN	AA (0,6)	AG (0,4)	GG (0)	A (0,8)	G (0,2)
	KRCH	AA (0,066)	AG (0,267)	GG (0,667)	A (0,2)	G (0,8)
rs637357425	OREN	GG (0,933)	AG (0,067)	AA (0)	G (0,967)	A (0,033)
	KRCH	GG (0,133)	AG (0,4)	AA (0,467)	G (0,333)	A (0,667)
rs6611196106	OREN	AA (0,933)	AT (0,067)	TT (0)	A (0,967)	T (0,033)
	KRCH	AA (0,133)	AT (0,4)	TT (0,467)	A (0,333)	T (0,667)
rs639817855	OREN	AA (0,6)	AG (0,4)	GG (0)	A (0,8)	G (0,2)
	KRCH	AA (0,066)	AG (0,267)	GG (0,667)	A (0,2)	G (0,8)
rs656725211	OREN	CC (0,6)	AC (0,4)	AA (0)	C (0,8)	A (0,2)
	KRCH	CC (0,066)	AC (0,267)	AA (0,667)	C (0,2)	A (0,8)
rs640625792	OREN	AA (0,6)	AG (0,4)	GG (0)	A (0,8)	G (0,2)
	KRCH	AA (0,066)	AG (0,267)	GG (0,667)	A (0,2)	G (0,8)

Примечание: OREN — оренбургская пуховая порода, KRCH — карачаевская.

Что касается остальных SNPs, оренбургские пуховые козы характеризовались меньшим полиморфизмом в сравнении с карачаевскими. Во всех SNPs у представителей оренбургской пуховой породы отсутствовал второй гомозиготный генотип, в то время как у карачаевских коз он был преобладающим.

Плодовитость коз является важнейшим признаком, влияющим на рентабельность козоводства, в связи с этим большой интерес ученых вызывает идентификация генов, влияющих на размер приплода коз. В настоящей работе были исследованы два перспективных гена-кандидата *IGF2BP2* и *BMPR1B*, которые влияют на репродуктивные способности коз. Впервые был изучен полиморфизм полных последовательностей генов *IGF2BP2* и *BMPR1B* у коз, что позволило обнаружить новые SNPs, наиболее различающиеся у многоплодных и малоплодных пород коз.

Предыдущие исследования гена *IGF2BP2* позволили обнаружить делецию во 2-м инtronе, оказывающую достоверное влияние на многоплодие коз породы Shaanbei White Cashmere [9].

В дополнение к известной мутации авторами были обнаружены два SNPs, наиболее различающиеся у многоплодной и малоплодной пород коз.

Больший интерес исследователей вызвал ген *BMPR1B* [12–18]. Однако не было выявлено достоверных ассоциаций известной мутации *FecB* с размером приплода у большинства исследованных пород коз, при этом были обнаружены новые SNPs.

Найденные 11 SNPs в данном исследовании не были изучены ранее у коз.

Выводы/Conclusions

Таким образом, авторами был изучен полиморфизм в генах-кандидатах репродуктивной функции (*IGF2BP2* и *BMPR1B*) у более многоплодной оренбургской пуховой породы коз в сравнении с менее многоплодной карачаевской породой коз.

В ходе проведенной работы были выявлены SNPs, которые наиболее различались у оренбургской пуховой и карачаевской пород коз. Поскольку ген *IGF2BP2* — это основной кандидат, связанный с увеличением рождаемого потомства у коз, были определены всего 2 различающихся SNP в этом гене.

В обоих SNP у коз оренбургской пуховой породы было отмечено преобладание гетерозиготных генотипов над гомозиготными, но, основываясь на этом, авторы не могут пока еще рекомендовать эти SNP как целевые для внедрения в маркерную селекцию. Безусловно, необходимо продолжать изучение гена *IGF2BP2* в аспекте анализа иных типов полиморфизма — структурных вариантов (делеции и дупликации).

Таким образом, ген *BMPR1B* был более перспективным для включения в программы селекционных работ в качестве потенциального генетического

маркера многоплодия. Генотип AA в SNP rs635883131 был фиксированным, а частоты встречаемости генотипов AA и GG в SNP rs661196106 и SNP rs637357425, соответственно, преобладали в выборке коз оренбургской

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 plagiat. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта № 24-46-02012 Российского научного фонда.
<https://rscf.ru/project/24-46-02012/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Селионова М.И., Трухачев В.И., Айбазов А.-М.М., Столповский Ю.А., Зиновьевна Н.А. Генетические маркеры в козоводстве (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2021; 56(6): 1031–1048. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1031rus>
- Ерохин А.И., Карапев Е.А., Юлдашбаев Ю.А., Ерохин С.А., Сычева И.Н. Генетические основы многоплодия овец, Овцы, козы, шерстяное дело. 2022; (4): 11–16. <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2022-4-11-16>
- E G.-X., Zhao Y.-J., Huang Y.-F. Selection signatures of litter size in Dazu black goats based on a whole genome sequencing mixed pools strategy. *Molecular Biology Reports*. 2019; 46(5): 5517–5523. <https://doi.org/10.1007/s11033-019-04904-6>
- Зиновьевна Н.А. и др. Роль ДНК-маркеров признаков продуктивности сельскохозяйственных животных, *Зоотехния*. 2010; (1): 8–10. <https://elibrary.ru/jwjhprv>
- Liu Y. et al. Effect of Upregulation of Transcription Factor TFPD1 Binding Promoter Activity Due to RBP4 g.36491960G>C Mutation on the Proliferation of Goat Granulosa Cells. *Cells*. 2022; 11(14): 2148. <https://doi.org/10.3390/cells11142148>
- Кошкина О.А., Деникова Т.Е., Романов М.Н., Зиновьевна Н.А. Геномные исследования домашних коз (*Capra hircus L.*): современное состояние и перспективы (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2024; 59(4): 587–604. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.4.587rus>
- Deng K. et al. *IGF2BP2* regulates the proliferation and migration of endometrial stromal cells through the PI3K/AKT/mTOR signaling pathway in Hu sheep. *Journal of Animal Science*. 2024; 102: skae129. <https://doi.org/10.1093/jas/skae129>
- Song Y., Han J., Cao F., Ma H., Cao B., An X. Endometrial genome-wide DNA methylation patterns of Guanzhong dairy goats at days 5 and 15 of the gestation period. *Animal Reproduction Science*. 2019; 208: 106124. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106124>
- Xin D. et al. Insertion/deletion variants within the *IGF2BP2* gene identified in reported genome-wide selective sweep analysis reveal a correlation with goat litter size. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 2021; 22(9): 757–766. <https://doi.org/10.1631/jzus.B2100079>
- Yang J. et al. Structural variant landscapes reveal convergent signatures of evolution in sheep and goats. *Genome Biology*. 2024; 25: 148. <https://doi.org/10.1186/s13059-024-03288-6>
- Piper L.R., Bindon B.M., Davis G.H. The single gene inheritance of the high litter size of the Booroola Merino. Land R.B., Robinson D.W. (eds.). *Genetics of reproduction in Sheep*. London: Butterworths. 1985; 115–125.
- Dutta R. et al. Polymorphism and nucleotide sequencing of *BMPR1B* gene in prolific Assam hill goat. *Molecular Biology Reports*. 2014; 41(6): 3677–3681. <https://doi.org/10.1007/s11033-014-3232-4>
- Pourali Dogaheh S. et al. Investigating the Polymorphism of Bone Morphogenetic Protein Receptor-1B (*BMPR1B*) Gene in Markhuz Goat Breed. *Animals*. 2020; 10(9): 1582. <https://doi.org/10.3390/ani10091582>
- Song T. et al. Polymorphisms Analysis of *BMP15*, *GDF9* and *BMPR1B* in Tibetan Cashmere Goat (*Capra hircus*). *Genes*. 2023; 14(5): 1102. <https://doi.org/10.3390/genes14051102>
- Ahlawat S., Sharma R., Roy M., Mandakmale S., Prakash V., Tantia M.S. Genotyping of Novel SNPs in *BMPR1B*, *BMP15*, and *GDF9* Genes for Association with Prolificacy in Seven Indian Goat Breeds. *Animal Biotechnology*. 2016; 27(3): 199–207. <https://doi.org/10.1080/10495398.2016.1167706>
- пуховой породы. В связи с этим после проведения валидации генотипов в этих SNP путем анализа ассоциации с конкретными показателями многоплодия можно рекомендовать эти SNP как целевые маркеры.

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.

FUNDING

The study was supported by grant No. 24-46-02012 of the Russian Science Foundation.
<https://rscf.ru/project/24-46-02012/>

REFERENCES

- Selionova M.I., Trukhachev V.I., Aybazov A.-M.M., Stolpovsky Yu.A., Zinovieva N.A. Genetic markers of goats (review). *Agricultural Biology*. 2021; 56(6): 1031–1048. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1031eng>
- Erokhin A.I., Karasev E.A., Yuldashbayev Yu.A., Erokhin S.A., Sycheva I.N. Genetic bases of sheep multiplicity. *Sheep, goats, wool business*. 2022; (4): 11–16 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2022-4-11-16>
- E G.-X., Zhao Y.-J., Huang Y.-F. Selection signatures of litter size in Dazu black goats based on a whole genome sequencing mixed pools strategy. *Molecular Biology Reports*. 2019; 46(5): 5517–5523. <https://doi.org/10.1007/s11033-019-04904-6>
- Zinovieva N.A. et al. The role of DNA markers of productivity traits in farm animals. *Zootechniya*. 2010; (1): 8–10 (in Russian). <https://elibrary.ru/jwjhprv>
- Liu Y. et al. Effect of Upregulation of Transcription Factor TFPD1 Binding Promoter Activity Due to RBP4 g.36491960G>C Mutation on the Proliferation of Goat Granulosa Cells. *Cells*. 2022; 11(14): 2148. <https://doi.org/10.3390/cells11142148>
- Koshkina O.A., Deniskova T.E., Romanov M.N., Zinovieva N.A. Genomic studies in domestic goats (*Capra hircus L.*): current advances and prospects (review). *Agricultural Biology*. 2024; 59(4): 587–604. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.4.587eng>
- Deng K. et al. *IGF2BP2* regulates the proliferation and migration of endometrial stromal cells through the PI3K/AKT/mTOR signaling pathway in Hu sheep. *Journal of Animal Science*. 2024; 102: skae129. <https://doi.org/10.1093/jas/skae129>
- Song Y., Han J., Cao F., Ma H., Cao B., An X. Endometrial genome-wide DNA methylation patterns of Guanzhong dairy goats at days 5 and 15 of the gestation period. *Animal Reproduction Science*. 2019; 208: 106124. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106124>
- Xin D. et al. Insertion/deletion variants within the *IGF2BP2* gene identified in reported genome-wide selective sweep analysis reveal a correlation with goat litter size. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 2021; 22(9): 757–766. <https://doi.org/10.1631/jzus.B2100079>
- Yang J. et al. Structural variant landscapes reveal convergent signatures of evolution in sheep and goats. *Genome Biology*. 2024; 25: 148. <https://doi.org/10.1186/s13059-024-03288-6>
- Piper L.R., Bindon B.M., Davis G.H. The single gene inheritance of the high litter size of the Booroola Merino. Land R.B., Robinson D.W. (eds.). *Genetics of reproduction in Sheep*. London: Butterworths. 1985; 115–125.
- Dutta R. et al. Polymorphism and nucleotide sequencing of *BMPR1B* gene in prolific Assam hill goat. *Molecular Biology Reports*. 2014; 41(6): 3677–3681. <https://doi.org/10.1007/s11033-014-3232-4>
- Pourali Dogaheh S. et al. Investigating the Polymorphism of Bone Morphogenetic Protein Receptor-1B (*BMPR1B*) Gene in Markhuz Goat Breed. *Animals*. 2020; 10(9): 1582. <https://doi.org/10.3390/ani10091582>
- Song T. et al. Polymorphisms Analysis of *BMP15*, *GDF9* and *BMPR1B* in Tibetan Cashmere Goat (*Capra hircus*). *Genes*. 2023; 14(5): 1102. <https://doi.org/10.3390/genes14051102>
- Ahlawat S., Sharma R., Roy M., Mandakmale S., Prakash V., Tantia M.S. Genotyping of Novel SNPs in *BMPR1B*, *BMP15*, and *GDF9* Genes for Association with Prolificacy in Seven Indian Goat Breeds. *Animal Biotechnology*. 2016; 27(3): 199–207. <https://doi.org/10.1080/10495398.2016.1167706>

16. Shokrollahi B., Morammazi S. Polymorphism of *GDF9* and *BMPR1B* genes and their association with litter size in Markhoz goats. *Reproduction in Domestic Animals*. 2018; 53(4): 971–978. <https://doi.org/10.1111/rda.13196>
17. Polley S. et al. Polymorphism of fecundity genes (*BMPR1B*, *BMP15* and *GDF9*) in the Indian prolific Black Bengal goat. *Small Ruminant Research*. 2009; 85(2–3): 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.08.004>
18. Ullah I. et al. Association of polymorphism in the promoter area of the caprine *BMPR1B* gene with litter size and body measurement traits in Damani goats. *Tropical Animal Health and Production*. 2024; 56(4): 137. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-03991-3>
19. Петров Н.И. Продуктивность и наследование масти потомством оренбургских коз. *Вестник мясного скотоводства*. 2015; (4): 47–50. <https://elibrary.ru/vhjbx>
20. Мамонтова Т.В., Гаджиев З.К., Айбазов А.-М.М. Продуктивные и воспроизводительные особенности местных карачаевских коз. *Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства*. 2011; 4(1): 15–17. <https://elibrary.ru/oolwfn>
21. Селионова М.И., Мамонтова Т.В., Айбазов А.-М.М. Особенности репродуктивной функции карачаевских коз в зависимости от разных географических районов разведения. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2021; (2): 114–122. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-114-122>
22. Vasimuddin M., Misra S., Li H., Aluru S. Efficient Architecture-Aware Acceleration of BWA-MEM for Multicore Systems. *2019 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS)*. IEEE. 2019; 314–324. <https://doi.org/10.1109/IPDPS.2019.00041>
23. Danecek P. et al. Twelve years of SAMtools and BCFtools. *GigaScience*. 2021; 10(2): giab008. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giab008>
24. Yin H. et al. Variants in *BMP7* and *BMP15* 3'-UTRs Associated with Reproductive Traits in a Large White Pig Population. *Animals*. 2019; 9(11): 905. <https://doi.org/10.3390/ani9110905>
16. Shokrollahi B., Morammazi S. Polymorphism of *GDF9* and *BMPR1B* genes and their association with litter size in Markhoz goats. *Reproduction in Domestic Animals*. 2018; 53(4): 971–978. <https://doi.org/10.1111/rda.13196>
17. Polley S. et al. Polymorphism of fecundity genes (*BMPR1B*, *BMP15* and *GDF9*) in the Indian prolific Black Bengal goat. *Small Ruminant Research*. 2009; 85(2–3): 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.08.004>
18. Ullah I. et al. Association of polymorphism in the promoter area of the caprine *BMPR1B* gene with litter size and body measurement traits in Damani goats. *Tropical Animal Health and Production*. 2024; 56(4): 137. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-03991-3>
19. Petrov N.I. Productivity and inheritance of color type by the progeny of Orenburg goats. *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2015; (4): 47–50 (in Russian). <https://elibrary.ru/vhjbx>
20. Mamontova T.V., Gadzhiev Z.K., Aybazov A.-M.M. Productive and reproductive features of local Karachay goats. *Sbornik nauchnykh trudov Stavropolskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoprovizvodstva*. 2011; 4(1): 15–17 (in Russian). <https://elibrary.ru/oolwfn>
21. Selionova M.I., Mamontova T.V., Aybazov A.-M.M. Features of the reproductive function of Karachay goats depending on different geographical areas of breeding. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021; (2): 114–122 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-114-122>
22. Vasimuddin M., Misra S., Li H., Aluru S. Efficient Architecture-Aware Acceleration of BWA-MEM for Multicore Systems. *2019 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS)*. IEEE. 2019; 314–324. <https://doi.org/10.1109/IPDPS.2019.00041>
23. Danecek P. et al. Twelve years of SAMtools and BCFtools. *GigaScience*. 2021; 10(2): giab008. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giab008>
24. Yin H. et al. Variants in *BMP7* and *BMP15* 3'-UTRs Associated with Reproductive Traits in a Large White Pig Population. *Animals*. 2019; 9(11): 905. <https://doi.org/10.3390/ani9110905>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Андреевна Кошкина

кандидат биологических наук, научный сотрудник
olechka1808@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4830-6626>

Татьяна Евгеньевна Денискова

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
horarka@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5809-1262>

Александра Сергеевна Абдельманова

доктор биологических наук, старший научный сотрудник
abdelmanova@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4752-0727>

Надежда Александровна Чурбакова

аспирант
nadushik95@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-1061-2715>

Анастасия Дмитриевна Соловьева

младший научный сотрудник
anastastasiya93@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2628-9554>

Арсен Владимирович Доцев

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
arsendotsev@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3418-2511>

Наталия Анатольевна Зиновьева

доктор биологических наук, профессор, академик
Российской академии наук
n_zinovieva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

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

ABOUT THE AUTHORS

Olga Andreevna Koshkina

Candidate of Biological Sciences, Researcher
olechka1808@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4830-6626>

Tatiana Evgenievna Deniskova

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
horarka@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5809-1262>

Alexandra Sergeevna Abdelmanova

Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher
abdelmanova@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4752-0727>

Nadezhda Aleksandrovna Churbakova

Graduate Student
nadushik95@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-1061-2715>

Anastasia Dmitrievna Solovyova

Junior Researcher
anastastasiya93@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2628-9554>

Arsen Vladimirovich Dotsev

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
arsendotsev@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3418-2511>

Natalia Anatolyevna Zinov'eva

Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician
of the Russian Academy of Sciences
n_zinovieva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

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

УДК 636.082.12:636.39.034

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-69-81

А.И. Суров**В.А. Степаненко****Е.С. Галанова****Е.В. Синякина****Е.Д. Карпова**

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия

✉ stepanenko-lera@mail.ru

Поступила в редакцию: 26.03.2025

Одобрена после рецензирования: 11.08.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

© Суров А.И., Степаненко В.А., Галанова Е.С., Синякина Е.В., Карпова Е.Д.

Перспективные гены-кандидаты ассоциированные с продуктивностью молочных коз

РЕЗЮМЕ

Понимание генетических факторов, определяющих качественные и количественные характеристики молока, играет ключевую роль в формировании высокопродуктивных популяций коз молочного направления. В последние годы использование генетических маркеров становится неотъемлемой частью селекционного процесса, позволяя существенно ускорить отбор животных с ценными хозяйственными признаками. Настоящая работа представляет аналитический обзор актуальных отечественных и зарубежных исследований, направленных на поиск и изучение генов-кандидатов, ассоциированных с молочной продуктивностью коз. Особое внимание уделяется маркерам, связанным с удоем, составом и технологическими свойствами молока, а также длительностью лактации. Среди наиболее значимых генов выделяются *CSN1S1*, *CSN2* и *CSN3*, кодирующие казеиновые белки и определяющие уровень белка и качество молока. Большую роль играют *DGAT1* и *DGAT2*, влияющие на синтез триглицеридов и содержание жира, а также *POU1F1*, *IGF-1* и *PPARG*, регулирующие эндокринные механизмы роста, обмена веществ и лактации. Помимо них, в разных исследованиях идентифицирован широкий спектр других потенциальных генов-кандидатов, вовлеченных в регуляцию липидного и белкового обмена, клеточных сигнальных путей и физиологических процессов, связанных с молочной продуктивностью. Анализ данных, полученных на различных породах коз (запаненской, альпийской, тоггенбургской, нубийской, карачаевской, китайской и др.), подтверждает значимость молекулярно-генетических подходов для совершенствования селекционных программ. Использование маркеров в практическом козоводстве позволит не только увеличить объемы производства молока, но и обеспечить его высокое качество, что имеет важное значение для устойчивого развития отрасли.

Ключевые слова: молочные козы, гены-кандидаты, генетические маркеры, гены, молочная продуктивность, качество молока

Для цитирования: Суров А.И., Степаненко В.А., Галанова Е.С., Синякина Е.В., Карпова Е.Д. Перспективные гены-кандидаты ассоциированные с продуктивностью молочных коз. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 69–81.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-69-81>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-69-81

Alexander I. Surov**Valeria A. Stepanenko****Ekaterina S. Galanova****Elena V. Sinyakina****Ekaterina D. Karpova**

North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, Mikhaylovsk, Stavropol region, Russia

✉ stepanenko-lera@mail.ru

Received by the editorial office: 26.03.2025

Accepted in revised: 11.08.2025

Accepted for publication: 26.08.2025

© Суров А.И., Степаненко В.А., Галанова Е.С., Синякина Е.В., Карпова Е.Д.

Promising candidate genes associated with dairy goat productivity

ABSTRACT

Understanding the genetic factors that determine the qualitative and quantitative characteristics of milk plays a crucial role in the development of highly productive dairy goat populations. In recent years, the use of genetic markers has become an integral part of breeding programs, allowing for a significant acceleration in the selection of animals with valuable production traits. This article provides an analytical review of current national and international studies aimed at identifying and characterizing candidate genes associated with dairy performance in goats. Particular attention is given to genetic markers linked to milk yield, composition, technological properties, and lactation persistency. Among the most significant genes are *CSN1S1*, *CSN2*, and *CSN3*, encoding casein proteins that strongly influence protein content and milk quality. Equally important are *DGAT1* and *DGAT2*, which regulate triglyceride synthesis and fat content, as well as *POU1F1*, *IGF-1*, and *PPARG*, which control endocrine mechanisms of growth, metabolism, and lactation. In addition, a wide range of other candidate genes has been identified, involved in lipid and protein metabolism, cellular signaling pathways, and physiological processes underlying milk production. The analysis of data obtained in various breeds, including Saanen, Alpine, Toggenburg, Nubian, Karachai, and Chinese goats, highlights the relevance of molecular-genetic approaches in improving breeding programs. The implementation of marker-assisted selection in dairy goat husbandry will not only increase milk yield but also ensure high product quality, which is essential for the sustainable development of the industry.

Key words: dairy goats, candidate genes, genetic markers, genes, milk production, milk quality

For citation: Суров А.И., Степаненко В.А., Галанова Е.С., Синякина Е.В., Карпова Е.Д. Promising candidate genes associated with dairy goat productivity. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 69–81 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-69-81>

Введение/Introduction

Козоводство является одной из крупных отраслей сельского хозяйства, которая обеспечивает население молоком, мясом, шерстью, пухом и шкурами. Козы (*Capra hircus*) были одомашнены еще в эпоху позднего неолита, примерно 10,5 тыс. лет назад, и с тех пор ведется активная селекционная работа по улучшению их хозяйствственно полезных качеств [1]. К основным преимуществам коз можно отнести хорошую адаптационную пластичность к природно-климатическим условиям среды, неприхотливость при содержании, высокую резистентность к заболеваниям, что способствует их разведению в регионах со скучной кормовой базой и разными схемами ведения хозяйства [2–4].

Одним из важных продуктов, получаемых от коз, является молоко, которое высоко ценили во все времена. В первую очередь это объясняется его схожестью по составу с женским грудным молоком, богатым витаминным составом, а также лучшей перевариваемостью протеинов и меньшей аллергенностью в сравнении с коровьим [5, 6].

В последние десятилетия наблюдается рост интереса к молочному козоводству как к эффективному и устойчивому источнику получения молочной продукции [7, 8]. Вместе с тем, по данным официальной статистики, численность коз в России сокращается: с 1748,2 тыс. голов на начало 2023 года до 1632,0 тыс. на начало 2024-го, что соответствует снижению на 6,6%. В сельскохозяйственных организациях содержатся 129,4 тыс. коз, из которых 49,3 тыс., или около 38%, относятся к специализированным молочным породам: зааненской, альпийской, тоггенбургской, нубийской и мурсиано-гранадской [9].

Сокращение поголовья при одновременном росте спроса на козье молоко и продукты его переработки указывает на необходимость повышения продуктивности и эффективности разведения животных. Одним из наиболее перспективных инструментов решения этой задачи является геномная селекция, основанная на выявлении и использовании генетических маркеров, связанных с молочной продуктивностью. Выработка молока и его компонентов во многом зависит от генетических механизмов наследования, а также от работы генов, на экспрессию которых может оказывать влияние взаимодействие животного с окружающей средой [10, 11]. При использовании современных методов селекции становится возможным улучшение природного потенциала молочных коз, что позволяет не только увеличить объемы производства, но и сбалансированно преобразовать качество молока, которое важно как с точки зрения питательной ценности, так и в контексте технологических характеристик [12, 13].

Понимание генетических факторов, влияющих на количественные и качественные характеристики молока, является ключевым шагом к созданию более продуктивных популяций коз молочного

направления, что в конечном счете способствует укреплению продовольственной безопасности и повышению качества жизни населения [14].

В настоящей статье представлены современные данные о поиске новых генов-кандидатов, ассоциированных с экономически значимыми признаками у коз молочных пород.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В качестве материала исследования были использованы научные публикации отечественных и зарубежных авторов за 2017–2025 годы, затрагивающие тему данной работы. Поиск публикаций осуществляли при помощи научных электронных библиотек и баз данных eLIBRARY.RU, ScienceDirect, PubMed, Scopus, WOS и ResearchGate, применяли теоретические методы исследования (анализ, классификацию и обобщение).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В последние десятилетия генетические маркеры всё шире используют в козоводстве для ускорения селекции высокопродуктивных животных. Особый интерес представляют гены-кандидаты, полиморфизмы которых связаны с важнейшими хозяйственными признаками — удоем, составом и качеством молока, а также длительностью лактации. Большую часть работ проводили на животных зааненской породы, так как они являются наиболее многочисленными и разводятся во многих странах для получения козьего молока [7, 15–17]. Кроме того, исследования охватывали и другие породы, включая чешскую, альпийскую, новозеландскую, тоггенбургскую, нубийскую, карачаевскую и китайские породы коз.

Зааненская порода является наиболее распространенной во всем мире благодаря своей неприхотливости в содержании, высокой удойности и питательности молока. В связи с этим именно на ее примере чаще всего проводят исследования, посвященные изучению влияния генетических полиморфизмов на показатели молочной продуктивности коз [7, 16, 17].

В совместной научной работе китайских и иранских авторов приводятся результаты исследования, выполненного на козах зааненской породы с целью выявления новых генов-кандидатов, влияющих на морфологические параметры вымени. Известно, что форма и размер вымени напрямую влияют на пригодность животных к машинному доению и на количество удоя [18].

Полученные данные X. Yao *et al.* (2025) свидетельствуют о значимом влиянии генов *GJB5* (gap junction protein beta 5), *PKN2* (protein kinase N2), *KTN1* (kinectin 1) и *NAV3* (neuron navigator 3) на форму вымени. Была определена наиболее достоверная связь SNP rs637762786 (G/A) с показателями ширины и глубины вымени. Данный полиморфизм выявлен на хромосоме 3 в межгенной

области гена *GJB5* и находится в положении 9872130 п. н. Два потенциальных гена-кандидата *PKN2* и *NAV3*, работа которых может оказывать влияние на расстояние между сосками, расположены на хромосомах 3 и 5. В то же время полиморфизмы в генах *PKN2* и *KTN1* показали достоверную связь с шириной вымени [19].

В исследованиях E. Talouarn *et al.* (2020) была обнаружена ассоциативная связь между объемом надоев и однонуклеотидными заменами в генах *SCIMP* (SLP adaptor and CSK interacting membrane protein) и *ZNF232* (zinc finger protein 232) у зааненских коз. Авторы утверждают, что полученные данные могут только предположительно указывать на взаимосвязь между вышеописанными генами и молочной продуктивностью коз, но при этом известно, что гены *SCIMP* и *ZNF232* участвуют в метаболизме липидов. Это дает основание для их дальнейшего изучения [20].

Исследования канадских и швейцарских авторов, проведенные на козах зааненской и альпийской пород, указывают на достоверное влияние полиморфизмов в генах из группы zinc finger protein на молочную продуктивность. Конкретно в рамках данного исследования это SNP в генах *ZNF16* (zinc finger protein 16), *ZNF34* (zinc finger protein 34) и *ZNF250* (zinc finger protein 250) с локализацией на 14-й хромосоме в положениях 81658383 п. н., 80928058 п. н. и 80964881 п. н. Кроме того, в работе описано влияние гена *DGAT1* (diacylglycerol O-acyltransferase 1) на содержание жира в молоке в период первой лактации [21].

О значимости гена *DGAT1* в селекции молочных коз утверждается и в более ранней работе — у коллектива P. Martin *et al.* (2017), где были обнаружены 2 экзонические мутации — R251L(G/T) и R396W(C/T), которые приводят к заменам в аминокислотной последовательности белка. Животные — носители данных мутаций — имели более низкие показатели жира в молоке, в отличие от коз с диким типом аллеля [22].

В другом исследовании, проведенном на козах зааненской, альпийской пород и их помесях, авторами Ferreira L. *et al.* (2020) было изучено влияние полиморфизмов генов *UCP2* (uncoupling protein 2) и *PPARG* (peroxisome proliferator-activated receptor gamma) на молочную продуктивность. Ген *UCP2*, расположенный на 15-й хромосоме, играет важную роль в регуляции энергетического метabolизма клеток. Обнаруженный в нем SNP, локализованный в положении 29614171 п. н. (G/A), был ассоциирован с изменением белка, жира и сухого вещества в молоке. Так, животные — носители GG-генотипа имели более высокие вышеуказанные показатели в сравнении с другими генотипами. Второй исследуемый полиморфизм гена *UCP2* локализовался в положении 29615319 п. н. (G/A). Животные — носители GG-генотипа имели достоверно большие значения белка и сухого вещества, а носители AA-генотипа превосходили другие генотипы по показателю лактозы.

Оценивая результаты проведенных исследований в отношении гена *PPARG*, авторы обнаружили как одиночную замену, локализованную на 22-й хромосоме в положении 56726759 п. н. (C/A), так и делецию трех пар оснований, находящихся между 56126835 п. н. и 56126837 п. н. (GAG). В работе указывается влияние комбинации данных мутаций на молочную продуктивность коз, проявившееся в достоверных различиях в объеме удоя, содержании белка, лактозы и сухого вещества [23].

О значимости генов *APOB* (apolipoprotein B), *SLC27A6* (solute carrier family 27 member 6) *AGPAT6* (1-acylglycerol-3-phosphate O-acyltransferase 6), играющих ключевую роль в липидном обмене, транспорте жиров и жирных кислот в организме, и *PRLR* (prolactin receptor), участвующего в регуляции гормона пролактина, на показатели молочной продуктивности указывается в исследовании A. Bagatoli *et al.* (2021), проведенном на козах зааненской и альпийской пород. Для генотипирования авторы использовали метод PCR-RFLP, в котором мутации выявлялись по изменению рестрикционных сайтов определенных ферментов (HaeIII, SmaI, TspRI и др.). Так как точные позиции SNP или rs-идентификаторы не были представлены, полиморфизмы обозначали по названию гена и фермента. При изучении полиморфизма *APOB*/HaeIII было обнаружено, что животные — носители AB-генотипа имели более длительную лактацию, высокое содержание лактозы и сниженный соматический клеточный индекс в сравнении с другими генотипами. По *APOB*/SmaI лучшие показатели по объему удоя, содержанию белка, лактозы и жира показал AA-генотип. В гене *SLC27A6* полиморфизм *SLC27A6*/TspRI ассоциировали с содержанием лактозы, а полиморфизм *AGPAT6*/NcoI в гене *AGPAT6* связали с влиянием на содержание белка, жира и лактозы в молоке. Влияние гена *PRLR* на молочную продуктивность при использовании как фермента SmaI, так и SfcIc выявлено не было [24].

Однако в исследовании Wu Y. *et al.* (2022), проводимом на козах ляонинской породы, были идентифицированы два однонуклеотидных полиморфизма — C442T (C/T) в кодирующей последовательности гена *PRL* (prolactin) и G168061A в гене *PRLR*, которые имели достоверное влияние на показатели молочности животных. Так, животные — носители TT- и CC-генотипов в локусе *PRL*:C442T продемонстрировали достоверно более высокие показатели жирности, белка, уровня мочевины, азота и общего содержания сухих веществ в молоке. В локусе *PRLR*:G168061A животные — носители GG-генотипа имели более высокие значения белка молока в сравнении с CC- и AG-генотипами, при этом носители гетерозиготы AG отличались более высоким содержанием жира и лактозы, но сниженным уровнем белка [25].

Авторами J. Xiong *et al.* (2023) в работе, проведенной на зааненских, альпийских и нубийских козах, были идентифицированы гены, потенциально

связанные с молочной продуктивностью, такие как: *EIF4B* (eukaryotic translation initiation factor 4B) — SNP в этом гене могут влиять на инициацию трансляции, что может изменить эффективность синтеза молочных белков; *ELF5* (E74-like ETS transcription factor 5) — мутации в этом гене могут влиять на регуляцию экспрессии генов, участвующих в развитии молочных желез и синтезе молочных белков; *IGF2R* (insulin like growth factor 2 receptor); *IGFBP6* (insulin-like growth factor binding protein 6) — их полиморфизмы могут изменять связывание инсулиноподобных факторов роста, что может повлиять на рост и развитие тканей молочной железы. А также гены, связанные с молочным жиром, играющие ключевую роль в синтезе и транспорте жирных кислот: *EGFR* (epidermal growth factor receptor) — участвует в регуляции сигнальных путей, опосредованных синтезом жирных кислот в клетках молочной железы; *ACSS2* (acetyl-CoA synthetase 2) — SNP могут изменять активность фермента, участвующего в синтезе ацетил-KoA; *DGAT2* (diacylglycerol O-acyltransferase 2) — полиморфизмы могут влиять на катализ триацилглицеридов, что может изменить содержание жира в молоке и его качество [26].

Новозеландские молочные козы представлены в основном зааненской породой и (в меньшем количестве) помесями тоггенбургской, британской альпийской и нубийской коз. В исследовании M. Scholtens *et al.* (2020) было установлено влияние SNP в генах *RNASEK* (ribonuclease K), *ASGR2* (asialoglycoprotein receptor 2), *DLG4* (discs large MAGUK scaffold protein 4), *ELP5* (elongator acetyltransferase complex subunit 5), *ALOXE3* (arachidonate epidermal lipoxygenase 3), *KIF1C* (kinesin family member 1C), *MYH10* (myosin heavy chain 10), *PTPN5* (protein tyrosine phosphatase non-receptor type 5), *LDHC* (lactate dehydrogenase C), *OR8B4* (olfactory receptor family 8 subfamily B member 4), *ZDHHC13* (zinc finger DHHC-type palmitoyltransferase 13) на показатели надоя молока, жира, белка и количество соматических клеток у новозеландских молочных коз. Большинство этих генов участвуют в регуляции синтеза белков и транспорта триглицеридов, поэтому их мутации могут напрямую влиять на проявлениях физиологических особенностей у животных [27].

Значимость влияния полиморфизмов в генах *ASGR2*, *ALOXE3* и *ALOX12* на показатели удоя, а также на морфологию вымени и сосков подтверждена в исследовании Mucha S. *et al.* (2018), выполненном на козах зааненской, тоггенбургской и альпийской пород. Большинство значимых SNP были обнаружены на 19-й хромосоме — это *snp23997-scaffold244-438286* в гене *ASGR2* в положении 26150581 п. н., *snp24012-scaffold244-1259949* в гене *ALOXE3* в положении 26972244 п. н., *snp23995-scaffold244-354162* в гене *ALOX12* (arachidonate 12-lipoxygenase, 12S type) в положении 26066457 п. н., а также один

SNP был обнаружен на 8-й хромосоме в гене *SLC1A1* (solute carrier family 1 member 1) в положении 38821852 п. н. Наибольшее влияние на объем удоя имели полиморфизмы в генах *ALOX12* и *SLC1A1*. Полиморфизмы в генах *ASGR2* и *ALOXE3* были ассоциированы с формой вымени и его глубиной [28].

Нубийская порода коз отличается высокой требовательностью к условиям содержания и более низким удоем за лактацию по сравнению с зааненской, одной из наиболее распространенных в мире. Тем не менее нубийских коз активно используют в межпородной гибридизации для улучшения молочной продуктивности потомства [29, 30]. Поиск генов-кандидатов и изучение влияния их полиморфизмов открывают новые возможности для селекционной работы [31]. Так, в работе М.И. Селионовой и др. (2023 г.) проводили исследование на козах нубийской породы по гену *CSN3* (casein kappa) с однонуклеотидной заменой T > C в позиции CHR6:86209207. В результате было обнаружено, что животные — носители мутантного TT-генотипа имели более высокие показатели удоя и наименьшее количество соматических клеток в молоке. Однако козы — носители гомозиготного варианта CC-генотипа превосходили других животных по показателям содержания казеина, моно-, полиненасыщенных жирных кислот и насыщенных жирных кислот, но при этом имели наибольшее содержание соматических клеток [32].

Другая работа М.И. Селионовой и др. (2024 г.) включает результаты исследований по влиянию полиморфизмов в генах *CSN1S1* (casein alpha S1) и *CSN1S2* (casein alpha S2) на молочную продуктивность коз нубийской породы. Животные — носители комбинации CC-генотипа по *CSN1S1* и AA-генотипа по *CSN1S2* имели достоверно большее содержание белка и насыщенных жирных кислот в молоке [33]. Изучение влияния генов на процентное содержание белка и жира, а также на изменение белковой фракции важно для технологических характеристик молока. Например, при высоких показателях α s1-казеина снижается вероятность разрыхления сырчужного сгустка, но увеличивается время его свертываемости [34].

Помимо изучения влияния однонуклеотидных полиморфизмов на хозяйственno полезные признаки коз, значительно реже встречаются работы, посвященные выявлению вариаций числа копий ДНК (CNV) — одного из типов структурных изменений генома наряду с инверсиями, транслокациями и крупными делециями или дупликациями. В совместном исследовании китайских и американских ученых были идентифицированы значимые CNV в генах *ADAMTS20* (a disintegrin and metalloproteinase with thrombospondin motifs 20) и *PAPPA2* (pregnancy-associated plasma protein A2), ассоциированные с содержанием жира и белка в молоке коз альпийской, зааненской, ламанчской, нубийской и тоггенбургской пород. По данным

Kang X. et al. (2020), наиболее достоверная ассоциация установлена для CNV в гене *ADAMTS20*, локализованной на 5-й хромосоме (36548646–36653606 п. н.), и CNV в гене *PAPPA2* — на 16-й хромосоме (56489892–56590752 п. н.) [35].

В отличие от широко распространенных и хорошо изученных зааненской, альпийской, тоггенбургской и нубийской пород, локальные породы коз с меньшей численностью реже становятся объектом геномных исследований. Тем не менее выявление потенциальных генов, ассоциированных с их продуктивностью, представляет ценность, поскольку такие данные могут быть использованы в селекционных программах для повышения хозяйственными полезных качеств животных, а также при разработке схем межпородной гибридизации.

В работе J. Zhao et al. (2025) приводятся данные ассоциативного поиска новых генов-кандидатов молочной продуктивности, выполненного на козах нубийской, альпийской, тоггенбургской, лаошаньской, гуаньчжунской, юньнаньской черной и других пород, разводимых в Китае. В результате исследования авторами были обнаружены 3 несинонимичные мутации — rs641134935 (T > C), rs650543261 (A > G), rs651036087 (C > T), которые локализованы в гене *LAMA3* (laminin subunit alpha 3), показавшие наиболее достоверную связь с объемом надоев. В ходе дальнейших исследований было установлено, что животные — носители гомозиготы TT по SNP rs641134935 имели более высокую молочную продуктивность. Прямое или косвенное влияние оказывали гены *MPP7* (membrane palmitoylated protein 7), *PRPF6* (pre-mRNA processing factor), *DNAJC5* (dnaJ heat shock protein family (Hsp40) member C5), *TPD52L2* (tumor protein D52-like 2), *HNF4G* (hepatocyte nuclear factor 4 gamma), *FAM13A* (family with sequence similarity 13 member A) и *EPHA5* (EPH receptor A5) [36].

Авторы M. Brzáková et al. (2021) указывают на значимую роль *SCD* (stearoyl-CoA desaturase), *LPL* (lipoprotein lipase), *ACACA* (acetyl-CoA carboxylase alpha), *BTN1A1* (butyrophilin subfamily 1 member A1) на показатели белка, жира, суточного удоя и содержание соматических клеток в молоке у коз чешской породы и их помесей. Полиморфизмы в генах *LPL* (G50C/rs665397241) и *SCD* (EX3_15G > A/rs155505579), локализованные на 8-й и 26-й хромосомах соответственно, были ассоциированы с содержанием жира. Все гены продемонстрировали связь с содержанием белка, но наибольшая зависимость отмечена с однонуклеотидными заменами в генах *BTN1A1* (g. 599A > G) и *LPL* (g. 185G > T). При этом два SNP были связаны с показателями суточного надоя, а именно g. 1322T > C в гене *ACACA* и g. 300G > A в гене *LPL*. Была установлена связь полиморфизма g. 599A > G в гене *BTN1A1* с наибольшим количеством соматических клеток в молоке [37].

Помимо положительного влияния генов-кандидатов на продуктивные признаки молочных коз,

важно учитывать их взаимное ингибирующее действие. В статье M. Ni et al. (2025) впервые была изучена роль гена *BDH1* (3-hydroxybutyrate dehydrogenase 1) в регуляции синтеза молочного жира и кетоновых тел в эпителиальных клетках молочной железы у коз. Переэкспрессия гена *BDH1* снижает работу генов, связанных с липидным метаболизмом (*SREBF1* (sterol regulatory element binding transcription factor 1) и *GPAM* (glycerol-3-phosphate acyltransferase, mitochondrial)), и уменьшает уровни миристиновой (C14:0) и гептадеценовой (C17:1) жирных кислот, но при этом увеличивает экспрессию *FABP3* (fatty acid binding protein 3, muscle and heart) и концентрацию каприновой (C10:0). При подавлении *BDH1* наблюдается увеличение экспрессии *SREBF1* и *GPAM*, а также повышение концентраций миристиновой (C14:0), пентадеценовой (C15:1) и гадолеиновой (C20:1) жирных кислот, однако при этом снижается экспрессия *FABP3* и стеариновой жирной кислоты (C18:0) [38].

В исследованиях В.И. Трухачева и др. (2023 г.) приводятся данные по поиску генов-кандидатов, ассоциированных с показателями молочной продуктивности карачаевской породы коз. Всего были обнаружены 34 полигеномных и 113 суггестивных SNP, связанных с параметрами молока карачаевских коз. Наиболее значимые полиморфизмы находились на 2-й, 8-й, 10-й, 13-й, 16-й, 23-й, 25–27-й хромосомах в генах *ADRA1A* (α 1A adrenoreceptor), *DPYSL2* (dihydropyrimidinase like 2), *NKX3-1* (NK3 homeobox 1), *NKX2-6* (NK2 homeobox 6), *TNN* (tenascin N), *ABCA3* (ATP binding cassette subfamily A member 3), *ODAD2* (outer dynein arm docking complex subunit 2), *CASP7* (caspase 7), *HABP2* (hyaluronan binding protein 2), *PHACTR1* (phosphatase and actin regulator 1), *MFHAS1* (multifunctional ROCO family signaling regulator 1), *FMO2* (flavin containing dimethylaniline monooxygenase 2), *ECI1* (enoyl-CoA delta isomerase 1), *FMO1* (flavin containing dimethylaniline monooxygenase 1), *BAG2* (BCL2-associated athanogene 2), *PGP* (phosphoglycolate phosphatase), *AMDHD2* (amidohydrolase domain containing 2) и *PDZD8* (PDZ domain containing 8). Дополнительно были отмечены гены *METTL8* (methyltransferase 8), *STC1* (stanniocalcin 1), *PDPK1* (3-phosphoinositide dependent protein kinase 1), *AGTPBP1* (ATP/GTP binding protein 1), *NRAP* (nebulin related anchoring protein). Данные гены вовлечены в механизмы формирования физиологических особенностей, метаболизма, нервой регуляции и процесса ангиогенеза. Авторы указывают, что влияние полиморфизмов.snp997-scaffold1026-378556, .snp43681-scaffold585-2255525 и .snp33285-scaffold391-913110, расположенных на 8-й хромосоме в позициях 70684382 п. н., 78496104 п. н. и 6144247 п. н., соответственно, было значимым для показателей массовой доли белка, лактозы, массовой доли жира и насыщенных жирных кислот. На 2-й хромосоме были выявлены три

значимых SNP — *snp18646-scaffold1882-539299*, *snp8325-scaffold130-2860751* и *snp8326-scaffold130-2909971* в позициях 111052769 п. н., 6443953 п. н. и 6394722 п. н., соответственно, ассоциированных с показателями сухого вещества, насыщенных жирных кислот, массовой доли белка и содержания казеина [39].

В другом исследовании, проводимом на козах карачаевской породы, авторами M. Selionova *et al.* (2024) были выявлены 66 значимых генов-кандидатов на 15 хромосомах, функции которых связаны с содержанием белка β-казеина, жира, составом жирных кислот, концентрацией ацетона, β-гидроксибутиратом натрия и мочевины в молоке. Наибольшую значимость продемонстрировали гены: *INSIG1* (insulin induced gene 1) с SNP *snp1935-scaffold1053-1528396* на 4-й хромосоме и *FUT8* (fucosyltransferase 8) на 10-й хромосоме, ассоциированные с жирностью и составом жирных кислот; *ATF2* (activating transcription factor 2) и *SULT2B1* (sulfotransferase family 2B member 1) на 2-й и 18-й хромосомах, соответственно, показавшие связь с содержанием ацетона, β-гидроксибутиратом натрия и мочевины. В исследовании были упомянуты гены, описанные ранее В.И. Трухачевым и др. (2023 г.): *DYPSL2*, связанный с содержанием белка и β-казеина, *ECI1*, *PGP*, *FMO2*, и *RHACTR1*, влияющие на жирность молока и состав жирных кислот [39, 40].

Дамасская коза является важной породой для молочного производства, особенно в регионах с жарким и засушливым климатом (например, таким, как в Сирии, Ливии, Турции, Иране). В статье турецких авторов Yakan A. *et al.* (2018) были

исследованы экспрессия и потенциальная функциональная значимость шести генов-кандидатов у дамасских коз, связанных с устойчивостью к маститу, удою и качеством молока в двух типах кормления — пастбищном и загонном. Полученные данные свидетельствовали о значимости гена *LTF* (lactoferrin) в качестве кандидата на роль маркера устойчивости к маститу, его экспрессия повысилась более чем в 3 раза на 7-м месяце лактации, ген *LTF* напрямую регулирует выработку лактоферина, который обладает антимикробными, антивирусными и антигрибковыми свойствами, а также ингибитирует провоспалительные цитокины. Экспрессия *CSN2* (casein beta) повышалась на 7-м месяце лактации и имела корреляционную зависимость с содержанием β-казеина в молоке, но при этом общий показатель белка не изменился. Ген *IGF-1* (insulin-like growth factor 1) показал повышение экспрессии в 3-м и 5-м месяцах лактации, что сопрягалось с увеличением объема удоя молока. В данном исследовании в отношении генов *POU1F1* (POU class 1 homeobox 1) и *BRCA1* (breast cancer type 1 susceptibility protein), которые могли бы служить маркерами устойчивости к маститу, не было обнаружено достоверного влияния на показатели молочной продуктивности [41].

В совокупности проведенные исследования охватывают широкий спектр генов-кандидатов, связанных с молочной продуктивностью коз.

В таблице 1 систематизированы сведения обо всех генах, упомянутых в литературе, включая их принадлежность к основным биологическим процессам согласно Gene Ontology (GO).

Таблица 1. Обобщение данных о генах-кандидатах молочной продуктивности коз

Table 1. Summary of data on candidate genes for milk production in goats

Ген	Полное название	Локализация (Chr:pos)	Функция	GO	Породы, где исследовался	Источник
1	2	3	4	5	6	7
ABCA3	ATP binding cassette subfamily A member 3	25:1701870–1743075	Транспортер липидов, участие в формировании сурфактанта	GO:0042626 — АТФ-зависимый транспорт	карачаевская	[39]
ACACA	Acetyl-CoA carboxylase alpha	19:13063977–13351894	Ацетил-КоА-карбоксилаза, ключевой фермент липогенеза	GO:0006633 — метаболизм жирных кислот	чешская	[37]
ACSS2	Acetyl-CoA synthetase 2	13:63760207–63804609	Активация ацетата, преобразование ацетил-КоА	GO:0003987 — ацетил-КоА синтетазная активность	зааненская, альпийская, нубийская	[26]
ADAMTS20	A disintegrin and metalloproteinase with thrombospondin motifs 20	5:36409817–36611393	Ремоделирование внеклеточного матрикса, влияет на развитие молочной железы	GO:0004222 — металло-протеазная активность; GO:0030198 — организация внеклеточного матрикса	зааненская, альпийская, ламанская, нубийская, тоггенбургская	[35]
ADRA1A	Acetyl-CoA synthetase 2	8:73747397–73862840	Передача сигналов адреналина и норадреналина	GO:0004935 — α1-адreno-рецепторная активность	карачаевская	[39]
AGPAT6	1-acylglycerol-3-phosphate O-acyltransferase 6	27:9070924–9101551	Ацилтрансфераза — ключевой фермент синтеза триглицеридов и фосфолипидов	GO:0006633 — метаболизм жирных кислот; GO:0008610 — биосинтез липидов	зааненская, альпийская	[24]
AGTPBP1	ATP/GTP Binding Protein 1	8:78600749–78791306	Регуляция микротрубочек, нейрональные функции	GO:0006508 — протеолиз	карачаевская	[39]
ALOX12	Arachidonate 12-lipoxygenase, 12s type	19:26593234–26607391	Метаболизм арахидоновой кислоты, воспаление	GO:0004051 — липоксигеназная активность	зааненская, альпийская, тоггенбургская	[28]
ALOXE3	Arachidonate epidermal lipoxygenase 3	19:27475881–27496573	Эпидермальная дифференцировка, липидный метаболизм	GO:0004051 — липоксигеназная активность	зааненская, альпийская, тоггенбургская	[27, 28]

(Продолжение табл. 1)

1	2	3	4	5	6	7
AMDHD2	Amidohydrolase domain containing 2	25:1915270–1921956	Метаболизм гистидина и аминов	GO:0016810 — гидролазная активность	карачаевская	[39]
APOB	Apolipoprotein B	11:77590208–77630122	Аполипопротеин В — перенос липидов в составе ЛПНП, влияет на состав молока	GO:0006869 — транспорт липидов; GO:0006629 — липидный метаболизм	зааненская, альпийская	[24]
ASGR2	Asialoglycoprotein receptor 2	19:26661010–26671789	Очистка крови от гликопротеинов печени	GO:0009986 — рецептор-опосредованный эндоцитоз	новозеландские, зааненская, альпийская, тоггенбургская	[27, 28]
ATF2	Activating transcription factor 2	2:114518050–114597771	Транскрипционный фактор, регулирует стресс-ответ и метаболизм	GO:0006355 — регуляция транскрипции; GO:0031328 — отрицательная регуляция транскрипции	карачаевская	[40]
BAG2	BCL2-associated athanogene 2	23:45658115–45668381	Ко-шаперон Hsp70/Hsc70, защита белков от деградации	GO:0031072 — связывание Hsp70	карачаевская	[39]
BDH1	3-hydroxybutyrate dehydrogenase 1	1:71702243–71739306	Метаболизм кетоновых тел и липидов	GO:0004396 — 3-гидрокси-бутиратдегидрогеназная активность; GO:0046951 — катаболизм кетоновых тел	зааненская	[38]
BRCA1	Breast cancer type 1 susceptibility protein	19:42742613–42809204	Репарация ДНК, регуляция клеточного цикла, может влиять на устойчивость к маститу	GO:0005515 — связывание белка; GO:0006281 — репарация ДНК	дамасская	[41]
BTN1A1	Butyrophilin subfamily 1 member A1	23:18384020–18391213	Регуляция формирования жировых глобул молока	GO:0016021 — интегральный компонент мембрany	чешская	[37]
CASP7	Caspase 7	26:17808414–17850585	Апоптоз и воспалительный ответ	GO:0006915 — апоптоз; GO:0004197 — цистеин-протеазная активность	карачаевская	[39]
CSN1S1	Casein alpha S1	6:85978463–85995270	Кодирует α s1-казеин, влияет на содержание белка и качество сыропригодности молока	GO:0007595 — свертывание молока; GO:0006412 — трансляция	нубийская, зааненская, альпийская	[33]
CSN1S2	Casein alpha S2	6:86076845–86093539	Кодирует α s2-казеин; участвует в формировании белковой фракции молока	GO:0007595 — свертывание молока	нубийская	[33]
CSN2	Casein beta	6:86006250–86015321	Кодирует β -казеин, влияет на белковую фракцию и свертываемость молока	GO:0007595 — свертывание молока	дамасская, зааненская	[41]
CSN3	Casein kappa	6:86197263–86211376	Кодирует κ -казеин, ключевой для свертывания молока и структуры мицелл	GO:0007595 — свертывание молока	нубийская, зааненская	[32]
DGAT1	Diacylglycerol O-acyltransferase 1	14:81329989–81338811	Кодирование фермента синтеза триглицеридов, влияет на жирность молока	GO:0019432 — триацилглицеридный биосинтез	зааненская, альпийская	[21, 22]
DGAT2	Diacylglycerol O-acyltransferase 2	15:27720879–27753736	Аналогично DGAT1, катализ липидов	GO:0019432 — триацилглицеридный биосинтез	зааненская, альпийская, нубийская	[26]
DLG4	Discs large MAGUK scaffold protein 4	19:26720687–26743872	Участие в формировании синаптических комплексов	GO:0007268 — синаптическая передача	новозеландские	[27]
DNAJC5	Dnaj heat shock protein family (Hsp40) member C5	13:53228440–53257795	Шаперон; участие в регуляции экзоцитоза в нейронах	GO:0031072 — связывание белков теплового шока; GO:0006887 — транспорт везикул	нубийская, альпийская, тоггенбургская, лаошаньская, гуаньчжунская, юньнаньская	[36]
DPYSL2	Dihydropyrimidinase like 2	8:73547764–73663711	Регуляция роста аксонов, нейрональной дифференцировки	GO:0007010 — организация цитоскелета; GO:0042995 — клеточная морфогенез	карачаевская	[39, 40]
ECI1	Enoyl-CoA delta isomerase 1	25:1672290–1685556	Фермент β -окисления ненасыщенных жирных кислот	GO:0006631 — метаболизм жирных кислот	карачаевская	[39, 40]
EGFR	Epidermal growth factor receptor	22:769419–982124	Рецептор эпидерmalного фактора роста — регуляция пролиферации клеток молочной железы	GO:0007169 — трансдукция сигнала; GO:0008283 — регуляция клеточной пролиферации	зааненская, альпийская, нубийская	[26]
EIF4B	eukaryotic translation initiation factor 4B	5:26654208–26680138	Стимуляция связывания рибосомы и мРНК	GO:0003746 — фактор инициации трансляции; GO:0006412 — трансляция мРНК	зааненская, альпийская, нубийская	[26]
ELF5	E74-like ETS transcription factor 5	15:17861190–17911966	ETS-транскрипционный фактор, контролирует развитие молочной железы и синтез молочных белков	GO:0006355 — регуляция транскрипции; GO:0045893 — положительная регуляция транскрипции	зааненская, альпийская, нубийская	[26]

(Продолжение табл. 1)

1	2	3	4	5	6	7
<i>EPHA5</i>	EPH receptor A5	15:17861190–17911966	Рецептор тирозинкиназы; участие в формировании нейронных сетей	GO:0005003 — рецепторная тирозинкиназная активность; GO:0048013 — сигнальный путь рецептора эферины	нубийская, альпийская, тоггенбургская, лаошаньская, гуаньчжунская, юньнанская	[36]
<i>FABP3</i>	Fatty acid binding protein 3, muscle and heart	2:13664760–13673332	Белок связывания жирных кислот, регулирует транспорт и метаболизм	GO:0006869 — транспорт липидов	зааненская	[38]
<i>FAM13A</i>	Family with sequence similarity 13 member A	6:36209182–36551226	Регулятор сигнальных путей Wnt и Rho; ассоциирован с метаболизмом жиров и дыхательной функцией	GO:0005525 — GTP-связывающая активность; GO:0007165 — сигнализация через белки	нубийская, альпийская, тоггенбургская, лаошаньская, гуаньчжунская, юньнанская	[36]
<i>FMO1</i>	Flavin containing dimethylaniline monooxygenase 1	16:37336303–37376884	Катализ окисления ксенобиотиков и эндогенных субстратов	GO:0006629 — липидный метаболизм	карачаевская	[39]
<i>FMO2</i>	Flavin containing dimethylaniline monooxygenase 2	16:37286455–37330116	Метаболизм лекарственных соединений и аминов	GO:0004499 — монооксигеназная активность; GO:0005506 — связывание кислорода	карачаевская	[39, 40]
<i>FUT8</i>	Fucosyltransferase 8	10:25310706–25629694	Фукозилтрансфераза, влияет на гликозилирование белков молочной железы	GO:0000030 — активность фукозилтрансферазы; GO:0006486 — гликозилирование белков	карачаевская	[40]
<i>GJB5</i>	Gap junction protein beta 5	3:9888966–9892241	Белок межклеточных контактов, влияет на координацию клеточной активности в молочной железе	GO:0005921 — щелевые контакты; GO:0015267 — активность канала	зааненская	[19]
<i>GPAM</i>	Glycerol-3-phosphate acyltransferase, mitochondrial	26:19247024–19317263	Синтез триглицеридов; начальная стадия глицерофосфолипидного пути	GO:0006633 — метаболизм жирных кислот	зааненская	[38]
<i>HABP2</i>	Hyaluronan binding protein 2	26:17935249–17970574	Протеаза, участвующая в фибринолизе и ангиогенезе	GO:0001501 — регуляция образования коллагена; GO:0004252 — серин-протеазная активность	карачаевская	[39]
<i>HNF4G</i>	Hepatocyte nuclear factor 4 gamma	14:43256972–43393984	Транскрипционный фактор; регуляция метаболизма липидов и углеводов	GO:0043565 — регуляция транскрипции	нубийская, альпийская, тоггенбургская, лаошаньская, гуаньчжунская, юньнанская	[36]
<i>IGF-1</i>	Insulin-like growth factor 1	5:64862983–64943172	Регуляция роста, пролиферации и дифференцировки клеток	GO:0008083 — рост клеток; GO:0005179 — связывание гормонов	дамасская	[41]
<i>IGF2R</i>	Insulin like growth factor 2 receptor	9:83501097–83604791	Транспорт IGF2, участие в деградации лизосомальных ферментов	GO:0005520 — связывание IGF; GO:0048009 — сигналинг IGF	зааненская, альпийская, нубийская	[26]
<i>IGFBP6</i>	Insulin-like growth factor binding protein 6	5:26609942–26613572	Белок-связыватель IGF — регуляция биодоступности IGF	GO:0005520 — связывание IGF; GO:0031994 — регуляция IGF сигнального пути	зааненская, альпийская, нубийская	[26]
<i>INSIG1</i>	Insulin induced gene 1	4:2747017–2757803	Регуляция липидного обмена, влияет на жирность молока	GO:0006633 — метаболизм жирных кислот; GO:0033504 — регуляция биосинтеза липидов	карачаевская	[40]
<i>KIF1C</i>	Kinesin family member 1C	19:26195926–26217805	Моторный белок, участвующий во внутриклеточном транспорте везикул	GO:0003777 — моторная активность (микротрубочки); GO:0007018 — движение микротрубочек	новозеландские	[27]
<i>KTN1</i>	Kinetin 1	10:35112081–35217880	Белок-якорь для кинезинов; регуляция эндоплазматического транспорта	GO:0007017 — организация микротрубочек; GO:0046907 — транспорт внутри клетки	зааненская	[19]
<i>LAMA3</i>	Laminin subunit alpha 3	24:33026004–33281542	Компонент внеклеточного матрикса, влияет на прикрепление и развитие клеток молочной железы	GO:0005201 — связывание внеклеточного матрикса; GO:0030198 — организация внеклеточного матрикса	нубийская, альпийская, тоггенбургская, лаошаньская, гуаньчжунская, юньнанская черная	[36]
<i>LDHC</i>	Lactate dehydrogenase C	29:25639944–25680453	Фермент гликолиза, специфичный для половых клеток	GO:0004459 — лактатдегидрогеназная активность; GO:0006096 — гликолиз	новозеландские	[27]
<i>LPL</i>	Lipoprotein lipase	8:666597910–66623251	Липопротеинлипаза; гидролиз триглицеридов, влияет на жирность молока	GO:0006629 — липидный метаболизм	чешская зааненская	[37]
<i>LTF</i>	Lactoferrin	22:52976995–53007415	Лактоферрин, антибактериальная защита, устойчивость к маститу	GO:0005615 — внеклеточное пространство; GO:0042742 — защита от бактерий	дамасская	[41]

(Продолжение табл. 1)

1	2	3	4	5	6	7
<i>METTL8</i>	Methyltransferase 8	2:111185392–111270066	Потенциальный РНК-метилтрансферазный фермент	GO:0008168 — метилтрансферазная активность; GO:0032259 — метилирование	карачаевская	[39]
<i>MFHAS1</i>	Multifunctional ROCO family signaling regulator 1	27:20648690–20757838	Белоксигнальный регулятор, участвует в иммунном ответе	GO:0005515 — связывание белков; GO:0035556 — внутриклеточная сигнализация	карачаевская	[39]
<i>MPP7</i>	Membrane palmitoylated protein 7	13:35681595–35915475	Участие в формировании полярности клеток (комплекс Crumbs) и адгезии	GO:0007160 — клеточная адгезия; GO:0035088 — установление полярности клеток	нубийская, альпийская, тоггенбургская, лаошаньская, гуаньчжунская, юньнаньская черная	[36]
<i>MYH10</i>	Myosin heavy chain 10	19:27799562–27921178	Цитоскелетный моторный белок; миграция клеток	GO:0003779 — актиновая моторная активность; GO:0030048 — актиновый цитоскелет	новозеландские	[27]
<i>NAV3</i>	Neuron navigator 3	5:6848221–7467243	Регуляция роста аксонов и клеточной миграции, косвенно влияет на развитие тканей	GO:0007010 — организация цитоскелета; GO:0048812 — развитие нейронов	зааненская	[19]
<i>NKX2-6</i>	NK2 homeobox 6	8:70639383–70643794	Транскрипционный фактор, регуляция развития сердца	GO:0003700 — транскрипционный фактор; GO:0007420 — развитие сердца	карачаевская	[39]
<i>NKX3-1</i>	NK3 homeobox 1	8:70600953–70606837	Транскрипционный фактор, необходим для развития предстательной железы	GO:0003700 — транскрипционный фактор; GO:0045893 — регуляция транскрипции	карачаевская	[39]
<i>NRAP</i>	Nebulin related anchoring protein	26:17860274–17935987	Структурный белок, участвующий в организации миофибрилл	GO:0030018 — саркомер; GO:0051015 — связывание актина	карачаевская	[39]
<i>ODAD2</i>	Outer dynein arm docking complex subunit 2	13:35971967–36143096	Участие в сборке жгутиков и ресничек	GO:0007018 — движение микротрубочек	карачаевская	[39]
<i>OR8B4</i>	Olfactory receptor family 8 subfamily B member 4	29:27124077–27125024	Обонятельный рецептор, GPCR	GO:0004930 — обонятельный рецептор; GO:0007608 — восприятие запахов	новозеландские	[27]
<i>PAPPA2</i>	Pregnancy-associated plasma protein A2	16:56247922–56577694	Протеаза, регулирующая IGF-систему, влияет на рост и лактацию	GO:0004222 — металлопротеазная активность; GO:0006508 — протеолиз	зааненская, альпийская, ламанчская, нубийская, тоггенбургская	[35]
<i>PDPK1</i>	3-phosphoinositide dependent protein kinase 1	25:1932902–1996678	Регулятор клеточного метаболизма	GO:0004674 — протеинкиназная активность; GO:0016310 — фосфорилирование	карачаевская	[39]
<i>PDZD8</i>	PDZ domain containing 8	26:14290884–14368219	Связь ЭПР и митохондрий; регуляция кальция	GO:0005515 — связывание белков	карачаевская	[39]
<i>PGP</i>	Phosphoglycolate phosphatase	25:1649864–1652731	Фермент гликозидазы; удаление фосфогликолата	GO:0052725 — фосфогликолат фосфатазная активность; GO:0008152 — метаболизм	карачаевская	[39, 40]
<i>PHACTR1</i>	Phosphatase and actin regulator 1	23:6556030–7073500	Регуляция актинового цитоскелета и сосудистой функции	GO:0004721 — фосфатазная активность	карачаевская	[39, 40]
<i>PKN2</i>	Protein kinase N2	3:65991819–66133902	Серин/треонин-киназа, регулирует цитоскелет и морфогенез	GO:0004674 — активность протеинкиназы; GO:0030036 — организация актинового цитоскелета	зааненская	[19]
<i>POU1F1</i>	POU class 1 homeobox 1	1:34235896–34251973	Транскрипционный фактор гипофиза, регуляция гормона роста, пролактина	GO:0003700 — транскрипционный фактор; GO:0008283 — регуляция роста клеток	дамасская	[41]
<i>PPARG</i>	Peroxisome proliferator-activated receptor gamma	22:56681415–56726563	Ядерный рецептор, контролирует адипогенез, метаболизм липидов и углеводов	GO:0003707 — активность ядерного рецептора; GO:0006631 — катаболизм жирных кислот	зааненская, альпийская	[23]
<i>PRL</i>	Prolactin	23:32548836–32559022	Пролактин — гормон, регулирующий лактацию	GO:0007595 — лактация	ляонинская	[25]
<i>PRLR</i>	Prolactin receptor	20:38891738–39090307	Рецептор пролактина — передача сигнала гормона	GO:0007165 — трансдукция сигнала	ляонинская, зааненская, альпийская	[24, 25]
<i>PRPF6</i>	pre-mRNA processing factor	13:53156897–53192582	Сплайсосомный белок	GO:0005681 — сплайсосома; GO:0006397 — процессинг МРНК	нубийская, альпийская, тоггенбургская, лаошаньская, гуаньчжунская, юньнаньская черная	[36]

(Продолжение табл. 1)

1	2	3	4	5	6	7
<i>PTPN5</i>	Protein tyrosine phosphatase non-receptor type 5	29:25364835–25423326	Фосфатаза нервной ткани	GO:0004725 — белковая тирозинфосфатазная активность; GO:0007165 — внутриклеточная сигнализация	новозеландские	[27]
<i>RNASEK</i>	Ribonuclease K	19:26609172–26610915	Участие в эндоцитозе и вирусном проникновении	GO:0004521 — рибонуклеазная активность; GO:0006396 — процессинг РНК	новозеландские	[27]
<i>SCD</i>	Stearoyl-CoA desaturase	26:30404780–30415917	Регуляция синтеза мононенасыщенных жирных кислот	GO:0006633 — метаболизм жирных кислот	чешская, зааненская	[37]
<i>SCIMP</i>	SLP adaptor and CSK interacting membrane protein	19:26087736–26108683	Трансмембранный адаптер иммунных клеток	GO:0030215 — адапторная активность; GO:0007165 — передача сигнала	зааненская	[20]
<i>SLC1A1</i>	Solute carrier family 1 member 1	8:38718359–38824726	Транспорт глутамата	GO:0005325 — транспорт глутамата; GO:0016021 — мембранный белок	зааненская, альпийская, тоггенбургская	[28]
<i>SLC27A6</i>	Solute carrier family 27 member 6	7:21449491–21520669	Транспортер длинноцепочечных жирных кислот	GO:0015909 — транспорт длинноцепочечных жирных кислот	зааненская, альпийская	[24]
<i>SREBF1</i>	Sterol regulatory element binding transcription factor 1	19:34288792–34295549	Транскрипционный фактор, регулирует биосинтез жирных кислот и холестерина	GO:0006355 — регуляция транскрипции ДНК-зависимой; GO:0008610 — биосинтез липидов	зааненская	[38]
<i>STC1</i>	Stanniocalcin 1	8:70791218–70806076	Регуляция кальциевого обмена и метаболизма	GO:0006874 — транспорт кальция; GO:0001501 — развитие скелета	карачаевская	[39]
<i>SULT2B1</i>	Sulfotransferase family 2B member 1	18:56239547–56275810	Метаболизм липидов и стероидов, влияет на кетоновые тела	GO:0008146 — активность сульфотрансферазы; GO:0008202 — метаболизм стероидов	карачаевская	[40]
<i>TNN</i>	Tenascin N	16:54831011–54903426	Белок внеклеточного матрикса, регулирует взаимодействие клеток и тканей	GO:0005201 — связывание внеклеточного матрикса; GO:0030198 — организация внеклеточного матрикса	карачаевская	[39]
<i>TPD52L2</i>	Tumor protein D52-like 2	13:53261672–53277835	Участие в везикулярном транспорте и делении клеток	GO:0006886 — транспорт белков; GO:0005515 — связывание белков	нубийская, альпийская, тоггенбургская, лаошаньская, гуаньчжунская, юньнаньская черная	[36]
<i>UCP2</i>	Uncoupling protein 2	15:29614181–29620958	Кодирование белка разобщающего митохондрий, регуляция энергетического обмена	GO:0006119 — окислительное фосфорилирование	зааненская, альпийская	[23]
<i>ZDHHC13</i>	Zinc finger DHHC-type palmitoyltransferase 13	29:25156799–25209022	Палмитоилтрансфераза; посттрансляционные модификации белков	GO:0006497 — белковое липидирование	новозеландские	[27]
<i>ZNF16</i>	Zinc finger protein 16	14:81663127–81679347	Транскрипционный регулятор	GO:0003700 — транскрипционный фактор	зааненская, альпийская	[21]
<i>ZNF34</i>	Zinc finger protein 34	14:81621210–81628144	Транскрипционный регулятор	GO:0003700 — транскрипционный фактор	зааненская, альпийская	[21]
<i>ZNF232</i>	Zinc finger protein 232	19:26138906–26143624	Транскрипционный регулятор	GO:0003700 — транскрипционный фактор	зааненская	[20]
<i>ZNF250</i>	Zinc finger protein 250	14:81683613–81693822	Транскрипционный регулятор	GO:0003700 — транскрипционный фактор	зааненская, альпийская	[21]

Примечание: данные о локализации генов приведены согласно базе данных NCBI (Genome Data Viewer, сборка ARS1, GCF_001704415.1 для *Capra hircus*).

Таким образом, проведенный анализ отражает широкий и разноплановый набор генов, ассоциированных с показателями молочной продуктивности коз по данным современных исследований.

Обобщение сведений показывает, что в формирование молочной продуктивности вовлечены не только классические гены белков молока

(семейство казеинов), но и гены, связанные с регуляцией липидного и энергетического обмена, гормональной регуляцией, ростом и развитием тканей молочной железы, а также иммунным ответом. Это подтверждает многофакторный характер генетической регуляции удоя, состава молока и устойчивости животных к заболеваниям.

Выводы/Conclusions

Современные исследования, охватывающие широкий спектр пород молочных коз, позволили выявить многочисленные гены-кандидаты, ассоциированные с продуктивными признаками, включая убой, состав и качество молока, а также морфологические особенности вымени.

Установлены связи между конкретными однонуклеотидными полиморфизмами и такими показателями, как содержание белка, жира, лактозы, казеина, и уровнем соматических клеток.

Особый интерес представляют не только SNP, но и структурные вариации, такие как вариации числа копий (CNV), а также уровень экспрессии отдельных генов в тканях молочной железы.

Полученные данные подчеркивают ключевую роль генетических механизмов в формировании физиологических и продуктивных характеристик животных.

Практическая значимость проведенного анализа заключается в том, что использование молекулярно-генетических маркеров открывает возможности для селекции высокопродуктивных животных, повышения эффективности

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 пLAGIAT. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zeder M.A., Hesse B. The initial domestication of goats (*Capra hircus*) in the Zagros Mountains 10,000 years ago. *Science*. 2000; 287(5461): 2254–2257. <https://doi.org/10.1126/science.287.5461.2254>
 2. Захарова И.Н., Пупыкина В.В. Исторические аспекты применения козьего молока как продукта питания для детей раннего возраста. *Педиатрия. Consilium Medicum*. 2024; (2): 145–151. <https://doi.org/10.26442/26586630.2024.2.202936>
 3. Селионова М.И., Трухачев В.И., Айбазов А.-М.М., Столповский Ю.А., Зиновьевна Н.А. Генетические маркеры в козоводстве (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2021; 56(6): 1031–1048. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1031rus>
 4. Wan X., Jing J.-N., Wang D.-F., Lv F.-H. Whole-genome selective scans detect genes associated with important phenotypic traits in goat (*Capra hircus*). *Frontiers in Genetics*. 2023; 14: 1173017. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1173017>
 5. Воронина О.А., Колесник Н.С., Савина А.А., Рыков Р.А., Зайцев С.Ю. Антиоксидантная активность козьего молока с вариантами множественной регрессионной модели. *Аграрная наука*. 2024; (1): 81–85. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-81-85>
 6. Sonu K.S., Basavaprabhu H.N. Compositional and therapeutic signatures of goat milk: A review. *International Journal of Chemical Studies*. 2020; 8(2): 1013–1019. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i2p.8902>
 7. Карпова Е.Д., Суров А.И., Евлагина Д.Д., Галанова Е.С., Степаненко В.А., Алимова В.Р. Состояние козоводства в мире и пути увеличения молочной продукции коз (обзор). *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2024; (4): 24–29. <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2024-4-24-29>
 8. Ерохин А.И., Карапев Е.А., Ерохин С.А. Динамика поголовья коз и производства козьего молока и мяса в мире и России. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2020; (4): 22–25. <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2020-4-22-25>
 9. Амерханов Х.А. (рук.). Овцеводство и козоводство Российской Федерации в цифрах. Справочник. Ставрополь: Национальный союз овцеводов. 2024; 120.
 10. Кручинин А.Г., Бигаева А.В., Туровская С.Н., Илларионова Е.Е. Сравнение полиморфизма генов молочных белков козьего и овечьего молока: мировой опыт. *Пищевая промышленность*. 2020; (8): 36–40. <https://elibrary.ru/senomh>
- молочного козоводства и улучшения качества продукции.
- Наибольший интерес представляют гены казинового комплекса (*CSN1S1*, *CSN1S2*, *CSN2*, *CSN3*), регулирующие состав и технологические свойства молока, а также гены липидного обмена (*DGAT1*, *DGAT2*, *SCD*, *LPL*, *ACACA*), влияющие на жирность и жирнокислотный профиль.
- Существенную роль играют регуляторы эндокринной системы лактации (*PRL*, *PRLR*, *IGF1*, *PPARG*, *UCP2*), маркеры устойчивости к маститу (*LTF*), а также структурные варианты, такие как CNV в генах *ADAMTS20* и *PAPPA2*. Данные гены и их полиморфизмы отражают ключевые направления формирования продуктивности — убой, состав и технологические характеристики молока, устойчивость животных к заболеваниям. Их применение наиболее актуально для отечественного козоводства, поскольку они изучены на породах, разводимых в России, могут быть генотипированы с использованием доступных молекулярных методов, а также обеспечат возможность для ускоренного генетического прогресса в условиях импортозамещения.
- 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. Zeder M.A., Hesse B. The initial domestication of goats (*Capra hircus*) in the Zagros Mountains 10,000 years ago. *Science*. 2000; 287(5461): 2254–2257. <https://doi.org/10.1126/science.287.5461.2254>
2. Zakharova I.N., Pupykina V.V. Historical aspects of the use of goat's milk as a food product for young children: a review. *Pediatrics. Consilium Medicum*. 2024; (2): 145–151 (in Russian). <https://doi.org/10.26442/26586630.2024.2.202936>
3. Selionova M.I., Trukhachev V.I., Aybazov A.-M.M., Stolpovsky Yu.A., Zinovieva N.A. Genetic markers of goats (review). *Agricultural biology*. 2021; 56(6): 1031–1048. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1031eng>
4. Wan X., Jing J.-N., Wang D.-F., Lv F.-H. Whole-genome selective scans detect genes associated with important phenotypic traits in goat (*Capra hircus*). *Frontiers in Genetics*. 2023; 14: 1173017. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1173017>
5. Voronina O.A., Kolesnik N.S., Savina A.A., Rykov R.A., Zaitsev S.Yu. Antioxidant activity of goat's milk with variants of multiple regression model. *Agrarian science*. 2024; (1): 81–85 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-81-85>
6. Sonu K.S., Basavaprabhu H.N. Compositional and therapeutic signatures of goat milk: A review. *International Journal of Chemical Studies*. 2020; 8(2): 1013–1019. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i2p.8902>
7. Karpova E.D., Surov A.I., Elagina D.D., Galanova E.S., Stepanenko V.A., Alimova V.R. The state of goat breeding in the world and ways to increase dairy production of goats (review). *Sheep, goats, wool business*. 2024; (4): 24–29 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2024-4-24-29>
8. Erokhin A.I., Karasev E.A., Erokhin S.A. Dynamics of goat population and production goat's milk and meat in the world and in Russia. *Sheep, goats, wool business*. 2020; (4): 22–25 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2020-4-22-25>
9. Amerkhanov Kh.A. (coord.). Sheep and goat breeding in the Russian Federation in figures. Reference book. Stavropol: National Union of Sheep Breeders. 2024; 120 (in Russian).
10. Kruchinin A.G., Bigaeva A.V., Turowskaya S.N., Illarionova E.E. Comparing gene polymorphism of goat and sheep milk proteins: global experience. *Food processing industry*. 2020; (8): 36–40 (in Russian). <https://elibrary.ru/senomh>

11. Санников М.Ю. и др. Современные технологии в молочном козоводстве. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2019; (6): 141–149.
<https://elibrary.ru/yskfkj>
12. Zonaed Siddiki A.M.A.M. et al. Goat Genomic Resources: The Search for Genes Associated with Its Economic Traits. *International Journal of Genomics*. 2020; 2020: 5940205.
<https://doi.org/10.1155/2020/5940205>
13. Федорова Е.Г., Смолин С.Г. Влияние генотипических и параптических факторов на качество и свойства молока коровьего сырого для отрасли сыроделия. *Вестник КрасГАУ*. 2022; (2): 157–163.
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-2-157-163>
14. Криворучко А.Ю., Егорова Т.Ю., Зуев Р.В. Полигеномный поиск ассоциаций как перспективный метод в животноводческой отрасли (обзор). *Сельскохозяйственный журнал*. 2024; (4): 84–97.
<https://elibrary.ru/njsdph>
15. Мирошина Т.А., Чалова Н.А. Состояние молочного козоводства в России и мире (обзор). *Вестник КрасГАУ*. 2022; (10): 123–130.
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-123-130>
16. Карпова Е.Д., Суров А.И., Алимова В.Р., Фирсова А.М. Динамика численности коз зааненской породы в Российской Федерации и их молочная продуктивность. *Сельскохозяйственный журнал*. 2024; (4): 54–63.
<https://elibrary.ru/bojadu>
17. Деникова Т.Е. и др. Геномная архитектура российской популяции зааненских коз в аспекте генофонда породы из пяти стран мира. *Сельскохозяйственная биология*. 2020; 55(2): 285–294.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.285rus>
18. Никитина М.М., Виль Л.Г. Тип телосложения и морфологические показатели вымени коров красно-пестрой породы в Республике Хакасия. *Аграрная наука*. 2024; (8): 107–111.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-107-111>
19. Yao X. et al. Genomic Landscape and Prediction of Udder Traits in Saanen Dairy Goats. *Animals*. 2025; 15(2): 261.
<https://doi.org/10.3390/ani15020261>
20. Talouarn E. et al. Genome wide association analysis on semen volume and milk yield using different strategies of imputation to whole genome sequence in French dairy goats. *BMC Genetics*. 2020; 21: 19.
<https://doi.org/10.1186/s12863-020-0826-9>
21. Massender E. et al. Genome-wide association study for milk production and conformation traits in Canadian Alpine and Saanen dairy goats. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(2): 168–1189.
<https://doi.org/10.3168/jds.2022-22223>
22. Martin P. et al. A genome scan for milk production traits in dairy goats reveals two new mutations in *Dgat1* reducing milk fat content. *Scientific Reports*. 2017; 7: 1872.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-02052-0>
23. Ferreira L. et al. *UCP2* and *PPARG* gene polymorphisms and their association with milk yield and composition traits in goats. *Small Ruminant Research*. 2020; 192: 106210.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106210>
24. Bagatoli A. et al. Association between polymorphisms of *APOB*, *SLC27A6*, *AGPAT6* and *PRLR* genes and milk production and quality traits in goat. *Small Ruminant Research*. 2021; 203: 106484.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106484>
25. Wu Yu. et al. Association analysis of single-nucleotide polymorphism in prolactin and its receptor with productive and body conformation traits in Liaoning cashmere goats. *Archives Animal Breeding*. 2022; 65(2): 145–155.
<https://doi.org/10.5194/aab-65-145-2022>
26. Xiong J., Bao J., Hu W., Shang M., Zhang L. Whole-genome resequencing reveals genetic diversity and selection characteristics of dairy goat. *Frontiers in Genetics*. 2023; 13: 1044017.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1044017>
27. Scholtens M. et al. Genome-wide association studies of lactation yields of milk, fat, protein and somatic cell score in New Zealand dairy goats. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2020; 11: 55.
<https://doi.org/10.1186/s40104-020-00453-2>
28. Mucha S., Mrude R., Coffey M., Kizilaslan M., Desire S., Conington J. Genome-wide association study of conformation and milk yield in mixed-breed dairy goats. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(3): 2213–2225.
<https://doi.org/10.3168/jds.2017-12919>
29. Прытков Ю.А., Иолчев Б.С., Волкова Н.А. Аспекты использования межвидовой гибридизации коз. *Аграрная наука*. 2020; (7–8): 35–38.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-35-38>
30. Санников М.Ю., Новопашина С.И., Хататаев С.А., Кизилова Е.И. Молочная продуктивность помесей коз в зааненском типе при скрещивании с козлами нубийской породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2021; (3): 28–31.
<https://doi.org/10.33943/MMS.2021.94.70.006>
11. Sannikov M.Yu. et al. Modern achievements in dairy goat breeding. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2019; (6): 141–149 (in Russian).
<https://elibrary.ru/yskfkj>
12. Zonaed Siddiki A.M.A.M. et al. Goat Genomic Resources: The Search for Genes Associated with Its Economic Traits. *International Journal of Genomics*. 2020; 2020: 5940205.
<https://doi.org/10.1155/2020/5940205>
13. Fedorova E.G., Smolin S.G. Genotypic and paratypic factors influence on the raw cow's milk quality and properties for the cheese-making industry. *Bulletin of KrasGAU*. 2022; (2): 157–163 (in Russian).
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-2-157-163>
14. Krivoruchko A.Yu., Egorova T.Yu., Zuev R.V. Genome-wide association study as a promising method in the livestock breeding industry (review). *Agricultural journal*. 2024; (4): 84–97 (in Russian).
<https://elibrary.ru/njsdph>
15. Miroshina T.A., Chalova N.A. Dairy goat breeding state in Russia and in the world (review). *Bulletin of KrasGAU*. 2022; (10): 123–130 (in Russian).
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-123-130>
16. Karpova E.D., Surov A.I., Alimova V.R., Firsova A.M. Dynamics of the number of Saanen goats in the Russian Federation and their milk yield. *Agricultural journal*. 2024; (4): 54–63 (in Russian).
<https://elibrary.ru/bojadu>
17. Deniskova T.E. et al. The genomic architecture of the Russian population of Saanen goats in comparison with worldwide Saanen gene pool from five countries. *Agricultural Biology*. 2020; 55(2): 285–294.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.285eng>
18. Nikitina M.M., Vil L.G. Body type and morphological indicators of the udder of red-mottled cows in the Republic of Khakassia. *Agrarian science*. 2024; (8): 107–111 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-107-111>
19. Yao X. et al. Genomic Landscape and Prediction of Udder Traits in Saanen Dairy Goats. *Animals*. 2025; 15(2): 261.
<https://doi.org/10.3390/ani15020261>
20. Talouarn E. et al. Genome wide association analysis on semen volume and milk yield using different strategies of imputation to whole genome sequence in French dairy goats. *BMC Genetics*. 2020; 21: 19.
<https://doi.org/10.1186/s12863-020-0826-9>
21. Massender E. et al. Genome-wide association study for milk production and conformation traits in Canadian Alpine and Saanen dairy goats. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(2): 168–1189.
<https://doi.org/10.3168/jds.2022-22223>
22. Martin P. et al. A genome scan for milk production traits in dairy goats reveals two new mutations in *Dgat1* reducing milk fat content. *Scientific Reports*. 2017; 7: 1872.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-02052-0>
23. Ferreira L. et al. *UCP2* and *PPARG* gene polymorphisms and their association with milk yield and composition traits in goats. *Small Ruminant Research*. 2020; 192: 106210.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106210>
24. Bagatoli A. et al. Association between polymorphisms of *APOB*, *SLC27A6*, *AGPAT6* and *PRLR* genes and milk production and quality traits in goat. *Small Ruminant Research*. 2021; 203: 106484.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106484>
25. Wu Yu. et al. Association analysis of single-nucleotide polymorphism in prolactin and its receptor with productive and body conformation traits in Liaoning cashmere goats. *Archives Animal Breeding*. 2022; 65(2): 145–155.
<https://doi.org/10.5194/aab-65-145-2022>
26. Xiong J., Bao J., Hu W., Shang M., Zhang L. Whole-genome resequencing reveals genetic diversity and selection characteristics of dairy goat. *Frontiers in Genetics*. 2023; 13: 1044017.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1044017>
27. Scholtens M. et al. Genome-wide association studies of lactation yields of milk, fat, protein and somatic cell score in New Zealand dairy goats. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2020; 11: 55.
<https://doi.org/10.1186/s40104-020-00453-2>
28. Mucha S., Mrude R., Coffey M., Kizilaslan M., Desire S., Conington J. Genome-wide association study of conformation and milk yield in mixed-breed dairy goats. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(3): 2213–2225.
<https://doi.org/10.3168/jds.2017-12919>
29. Прытков Ю.А., Иолчев Б.С., Волкова Н.А. Аспекты использования межвидовой гибридизации коз. *Аграрная наука*. 2020; (7–8): 35–38.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-35-38>
30. Санников М.Ю., Новопашина С.И., Хататаев С.А., Кизилова Е.И. Молочная продуктивность помесей коз в зааненском типе при скрещивании с козлами нубийской породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2021; (3): 28–31.
<https://doi.org/10.33943/MMS.2021.94.70.006>

31. Селионова М.И., Айбазов А.-М.М., Гладких М.Ю. Состояние молочного овцеводства и перспективы применения геномных методов для улучшения продуктивности овец и состава молока. Овцы, козы, шерстяное дело. 2024; (1): 3–9.
<https://doi.org/10.26897/2074-0840-2024-1-3-9>
32. Селионова М.И., Жаркова Е.К., Глушенко М.А., Беломестнов К.А. Влияние гена каппа-казеина на молочную продуктивность коз альпийской и нубийской пород. Аграрный вестник Северного Кавказа. 2023; (3): 34–40.
<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2023-3-51-34-40>
33. Селионова М.И., Беломестнов К.А., Гладких М.Ю., Глушенко М.А. Молочная продуктивность коз альпийской и нубийской пород разных генотипов по α 1-казеину и α 2-казеину. Овцы, козы, шерстяное дело. 2024; (4): 3–7.
<https://doi.org/10.26897/2074-0840-2024-4-3-7>
34. Фатиков А.Г., Хаертдинов Р.А. Влияние уровня содержания α_{S1} - и β -казеинов в козьем молоке на его аллергенные, термостабильные и сыродельческие свойства. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2017; 230: 163–167.
<https://elibrary.ru/yusjlr>
35. Kang X. et al. Copy number variation analysis reveals variants associated with milk production traits in dairy goats. *Genomics*. 2020; 112(6): 4934–4937.
<https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2020.09.007>
36. Zhao J. et al. Whole genome and transcriptome analyses in dairy goats identify genetic markers associated with high milk yield. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025; 292: 139285.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.139192>
37. Brzáková M., Rychtářová J., Čítek J., Sztanková Z. A Candidate Gene Association Study for Economically Important Traits in Czech Dairy Goat Breeds. *Animals*. 2021; 11(6): 1796.
<https://doi.org/10.3390/ani11061796>
38. Ni M. et al. *BDH1* identified by transcriptome has a negative effect on lipid metabolism in mammary epithelial cells of dairy goats. *BMC Genomics*. 2025; 26: 66.
<https://doi.org/10.1186/s12864-025-11245-1>
39. Трухачев В.И., Селионова М.И., Зиновьева Н.А., Айбазов А.-М.М., Белоус А.А. Полногеномный поиск ассоциаций одноклеточных замен с показателями молока карабаевских коз. Достижения науки и техники АПК. 2023; 37(12): 17–23.
<https://elibrary.ru/odqabu>
40. Selionova M. et al. Genome-Wide Association Study of Milk Composition in Karachai Goats. *Animals*. 2024; 14(2): 327.
<https://doi.org/10.3390/ani14020327>
41. Yakan A., Özkan H., Şakar A.E., Ünal N., Özbeyaz C. Gene expression levels in some candidate genes for mastitis resistance, milk yield, and milk quality of goats reared under different feeding systems. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 2018; 42(1): 18–28.
<https://doi.org/10.3906/vet-1704-7>
31. Selionova M.I., Aybazov A.-M.M., Gladkikh M.Yu. The state of dairy sheep farming and prospects for the use of genomic methods to improve sheep productivity and milk composition. *Sheep, goats, wool business*. 2024; (1): 3–9 (in Russian).
<https://doi.org/10.26897/2074-0840-2024-1-3-9>
32. Selionova M.I., Zharkova E.K., Glushchenko M.A., Belomestnov K.A. The effect of the kappa-casein gene on the dairy productivity of Alpine and Nubian goats. *Agrarian bulletin of the North Caucasus*. 2023; (3): 34–40 (in Russian).
<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2023-3-51-34-40>
33. Selionova M.I., Belomestnov K.A., Gladkikh M.Yu., Glushchenko M.A. Milk productivity of goats of alpine and nubian breeds of different genotypes for α 1-casein and α 2-casein. *Sheep, goats, wool business*. 2024; (4): 3–7 (in Russian).
<https://doi.org/10.26897/2074-0840-2024-4-3-7>
34. Fatikov A.G., Haertdinov R.A. Influence of the level of content of α_{S1} - and β -casesins in goat milk on its allergenic, thermostable, suitability of cheese properties. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2017; 230: 163–167 (in Russian).
<https://elibrary.ru/yusjlr>
35. Kang X. et al. Copy number variation analysis reveals variants associated with milk production traits in dairy goats. *Genomics*. 2020; 112(6): 4934–4937.
<https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2020.09.007>
36. Zhao J. et al. Whole genome and transcriptome analyses in dairy goats identify genetic markers associated with high milk yield. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025; 292: 139285.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.139192>
37. Brzáková M., Rychtářová J., Čítek J., Sztanková Z. A Candidate Gene Association Study for Economically Important Traits in Czech Dairy Goat Breeds. *Animals*. 2021; 11(6): 1796.
<https://doi.org/10.3390/ani11061796>
38. Ni M. et al. *BDH1* identified by transcriptome has a negative effect on lipid metabolism in mammary epithelial cells of dairy goats. *BMC Genomics*. 2025; 26: 66.
<https://doi.org/10.1186/s12864-025-11245-1>
39. Trukhachev V.I., Selionova M.I., Zinovieva N.A., Aibazov A.-M.M., Belous A.A. Genome-wide search for associations of single-nucleotide substitutions with milk parameters of Karachay goats. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2023; 37(12): 17–23 (in Russian).
<https://elibrary.ru/odqabu>
40. Selionova M. et al. Genome-Wide Association Study of Milk Composition in Karachai Goats. *Animals*. 2024; 14(2): 327.
<https://doi.org/10.3390/ani14020327>
41. Yakan A., Özkan H., Şakar A.E., Ünal N., Özbeyaz C. Gene expression levels in some candidate genes for mastitis resistance, milk yield, and milk quality of goats reared under different feeding systems. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 2018; 42(1): 18–28.
<https://doi.org/10.3906/vet-1704-7>

ОБ АВТОРАХ

- Александр Иванович Суров**
доктор сельскохозяйственных наук,
главный научный сотрудник
surov.stv@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3892-6621>
- Валерия Александровна Степаненко**
младший научный сотрудник
stepanenko-lera@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-7740-450X>
- Екатерина Сергеевна Галанова**
младший научный сотрудник
kate1726@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0004-8466-6092>
- Елена Владимировна Синякина**
младший научный сотрудник
noctuaspei@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-7560-3890>
- Екатерина Дмитриевна Карпова**
кандидат биологических наук, заведующая лабораторией
перспективных молочных ресурсов
karpova@fnac.center
<https://orcid.org/0000-0002-3900-4434>

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр,
ул. Никонова, 49, Михайловск, Ставропольский край,
356241, Россия

ABOUT THE AUTHORS

- Alexander Ivanovich Surov**
Doctor of Agricultural Sciences,
Chief Researcher
surov.stv@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3892-6621>
- Valeria Alexandrovna Stepanenko**
Junior Researcher
stepanenko-lera@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-7740-450X>
- Ekaterina Sergeevna Galanova**
Junior Researcher
kate1726@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0004-8466-6092>
- Elena Vladimirovna Sinyakina**
Junior Researcher
noctuaspei@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-7560-3890>
- Ekaterina Dmitrievna Karpova**
Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory
of Advanced Dairy Resources
karpova@fnac.center
<https://orcid.org/0000-0002-3900-4434>

North Caucasus Federal Agrarian Research Centre,
49 Nikonov Str., Mikhaylovsk, Stavropol Territory, 356241,
Russia

УДК 633.15:631.52

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-82-89

Г.Я. Кривошеев ✉

А.С. Игнатьев

Н.А. Шевченко

В.Л. Газе

И.А. Лобунская

Аграрный научный центр «Донской»,
Зерноград, Ростовская обл., Россия

✉ genadiy.krivosheev@mail.ru

Поступила в редакцию: 15.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Кривошеев Г.Я., Игнатьев А.С.,
Шевченко Н.А., Газе В.Л., Лобунская И.А.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-82-89

Геннадий Я. Кривошеев ✉

Алексей С. Игнатьев

Николай А. Шевченко

Валентина Л. Газе

Ирина А. Лобунская

Agricultural Research Center “Donskoy”,
Zernograd, Rostov Region, Russia

✉ genadiy.krivosheev@mail.ru

Received by the editorial office: 15.05.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

© Krivosheev G.Ya., Ignatiev A.S.,
Shevchenko N.A., Gaze V.L., Lobunskaya I.A.

Оценка засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы методом остаточного водного дефицита

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Селекция на засухоустойчивость — одно из важнейших направлений селекции кукурузы в связи с усилением аридности климата и расположением посевов кукурузы в зонах с неустойчивым и недостаточным увлажнением.

Методы. Полевые и лабораторные опыты проведены в 2011–2013 гг., 2015–2023 гг. в «Аграрном научном центре „Донской“». Полевые опыты заложены согласно Методике проведения полевых опытов с кукурузой. Почва опытного участка — чернозем обыкновенный с мощностью гумусового слоя до 140 см. Климат умеренно-континентальный, зона неустойчивого увлажнения. Годы проведения характеризовались различной степенью засушливости (ГТК 0,32–0,87). Объектом исследований служили 155 новых постоянных самоопыленных линий кукурузы. Определение засухоустойчивости выполнено методом остаточного водного дефицита.

Результаты. Выделено 56 засухоустойчивых самоопыленных линий кукурузы с низкими значениями остаточного водного дефицита (ОВД) в фазе цветения (4,6–13,3%) и в фазе молочно-восковой спелости (6,8–14,2%). Величина ОВД зависела не только от линий, но и от условий года проведения эксперимента. Выявлена тенденция увеличения остаточного водного дефицита в жаркие и засушливые годы. Установлена средняя отрицательная корреляционная связь ($r = -0,44$) между величиной ОВД в фазе цветения и среднесуточной температурой воздуха в июле; между величиной водного дефицита в фазе молочно-восковой спелости и среднесуточными температурами воздуха в августе ($r = -0,65$). Выявлены невысокие, но достоверные коэффициенты корреляции ($r = -0,24 \dots -0,27$) между ОВД и количеством осадков в различные периоды развития кукурузы.

Ключевые слова: кукуруза (*Zea Mays L.*), самоопыленные линии, тесткресные гибриды, засухоустойчивость, остаточный водный дефицит, коэффициент корреляции

Для цитирования: Кривошеев Г.Я., Игнатьев А.С., Шевченко Н.А., Газе В.Л., Лобунская И.А. Оценка засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы методом остаточного водного дефицита. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 82–89.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-82-89>

Estimation of drought resistance of self-pollinated maize lines by the residual water deficit method

ABSTRACT

Relevance. Breeding for drought resistance is one of the most important areas of maize breeding due to the increasing climate aridity and the location of maize crops in areas with unstable and insufficient moisture.

Methods. Field and laboratory trials were conducted at the “Agricultural Research Center “Donskoy” in 2011–2013, 2015–2023. Field trials were laid out according to the Methodology of Field Trials with Maize. The soil of the experimental plot was ordinary blackearth (chernozem), with a 140 cm of humus layer thickness. The climate was moderate continental with unstable moisture. The years of the study were characterized by different degrees of aridity (HTC 0.32–0.87). The objects of the study were 155 new constant self-pollinated maize lines. The estimation of drought resistance was carried out by the residual water deficit method.

Results. There have been identified fifty-six drought-resistant self-pollinated maize lines with low values of residual water deficit (RWD) in the flowering phase (4.6–13.3%) and in the milky-wax ripeness phase (6.8–14.2%). The RWD value depended not only on the lines, but also on the conditions of the year of the trial. There has been established a tendency for residual water deficit to increase in hot and dry years. There has been identified an average negative correlation ($r = -0.44$) between the value of the RWD in the flowering phase and the average daily air temperature in July; between the water deficit value in the milky-wax ripeness phase and the average daily air temperature in August ($r = -0.65$). There have been revealed low but reliable correlation coefficients ($r = -0.24 \dots -0.27$) between the RWD and the amount of precipitation in different periods of maize development.

Key words: maize (*Zea Mays L.*), self-pollinated lines, test-cross hybrids, drought resistance, residual water deficit, correlation coefficient

For citation: Krivosheev G.Ya., Ignatiev A.S., Shevchenko N.A., Gaze V.L., Lobunskaya I.A. Estimation of drought resistance of self-pollinated maize lines by the residual water deficit method. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 82–89 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-82-89>

Введение/Introduction

Происходят нарастающие глобальные изменения климата, влияющие на сельскохозяйственный сектор экономики [1]. Проявляется это прежде всего в усилении аридности климата [2, 3].

Усиление аридности климата и наличие значительных территорий с недостаточным увлажнением обуславливают необходимость ведения работ по селекции на засухоустойчивость [4]. Особенно важно такое направление работ для кукурузы, относящейся к мезофитам — влаголюбивым сельскохозяйственным культурам. Основным фактором стресса, который ограничивает ее урожайность, является засуха [5]. Исследователи подтверждают значительное снижение производства зерна кукурузы в засушливые годы, что отражается на стабильности урожаев этой культуры [6]. Существует большое количество методов определения засухоустойчивости растений [7]. Оценка засухоустойчивости может быть выполнена лабораторными методами на ранних этапах онтогенеза, например по проросткам, полученным в растворах с высоким осмотическим давлением [8]. Однако наиболее эффективны методы изучения растения в полевых условиях. Один из наиболее распространенных — метод остаточного водного дефицита, позволяющий на естественном или искусственном фоне дифференцировать изучаемый материал по устойчивости к недостатку влаги [9].

Эффективность селекции на засухоустойчивость в значительной мере зависит от наличия соответствующего материала. Поиск источников устойчивости к засухе и включение их в селекционный процесс — непременное условие эффективности работы аграриев [10]. Создание и выделение нового селекционного материала, сочетающего высокие значения основных ценных признаков, — важнейшая задача [5, 11]. Генетическому улучшению кукурузы, в том числе устойчивости к водному стрессу, уделяется особое внимание зарубежными [12, 13] и отечественными [14, 15] исследователями. Отмечена эффективность отбора селекционного материала в регионах с засушливым климатом [16–20].

При отсутствии засухи водный дефицит может быть незначительным, что не позволит дифференцировать изучаемые образцы по устойчивости к водному стрессу. Поэтому представляет интерес изучение влияния климатических параметров на величину остаточного водного дефицита (ОВД).

Цель исследований — выделить новые самоопыленные линии кукурузы, устойчивые к водному стрессу, выявить влияние метеоусловий года на величину ОВД.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевые и лабораторные опыты проведены в 2011–2013 гг., 2015–2023 гг. в «Аграрном научном центре „Донской“», расположенном в Зерноградском районе Ростовской области Российской Федерации.

Полевые опыты были заложены согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹.

Почва опытного участка — чернозем обыкновенный с мощностью гумусового слоя до 140 см.

Климат умеренно-континентальный, зона неустойчивого увлажнения.

За период с 2006 по 2021 г. в АНЦ «Донской» селектировано 155 новых самоопыленных линий кукурузы. Новые линии хранятся в коллекции благодаря пересеву и размножению, присвоение номеров или наименований выполнено с учетом номеров делянок в поле или номеров обмолота. По мере завершения создания все линии были изучены по признаку засухоустойчивости. Первая группа линий (41) создавалась в 2006–2010 гг., вторая (41) — в 2009–2014 гг., третья (48) — в 2013–2017 гг., четвертая (25) — в 2016–2020 гг. (табл. 1).

Каждая самоопыленная линия высевалась на площади 20 м². Площадь опытного участка, занимаемого первой группой линий, составила 820 м², второй — 820 м², третьей — 960 м² и четвертой — 500 м².

Новые самоопыленные линии получены стандартным (посевом) методом согласно Методическим указаниям по селекции кукурузы², то

Таблица 1. Новые самоопыленные линии кукурузы, изучаемые на ОВД
Table 1. New self-pollinated maize lines studied at RWD

Годы			
2011–2013	2015–2017	2018–2020	2021–2023
PLS 61 зМ, ДК 47111, СП 200, КВ 399 АМВ, С 255, RD 6, KB 262, СП 1201, СП 202, СП 203, С 13, Тр-1, RD 3, RG 213, С 232, ДК 64/123, С 29, С 86, С 87, С 95, С 160, ГБ 884, С 204 А, , Зр 498, КМ 57, С 163, С 196, KB 204, KC 211, РП 276, KB 399 MB, TB 7331 A, TVA-173, KC 212, KC 213, KC 214, С 204, СП 75/15-1, СП 75/15-2, DC 768/85, С 238, KB 272, KB 357, DC 257/85-1, DC 257/85-2, DC 257/85-3, KB 498 MB, KB 469, Зр 498A, DC 257/85-4, DC 257/85-5, DC 257/85-6, KC 312, KC 313, KC 314, СП 56/57, СП 246/276, СП 280-1, KC 315, KC 316, KC 317, СП 280-2, DC 498/203, DC 498/217-1, KC 318, С 225, С 227, ДК 3511, DC 498/217, DC 498/217-2, DC 498/217-3, 0169 MB, TB 7331, DK 655, DC 498/217-4, KB 334 MB, KB 263, KB 9873B, Р 101 326 MB, KB 397, KB 398	ЛШ 7, ЛШ 10, ЛШ 12, КС 317 А, КС 318, ЛШ 2, ЛШ 3, ЛШ 8, ЛШ 14, ЛШ 15, ЛШ 16, ЛШ 17, KB 240, РГС 246, СП 75/15-23, СП 75/15-13, ГК 26 АЗМ, KB 399, KB 373, DC 257/85-0, DC 768/85-4, DC 768/85-3, СП 246/276-1, СП 246/276-2, СП 280-3, DC 768/85-5, DC 768/85-2A, СП 73/498-1, СП 73/498-2, DC 498/203-3, DC 768/85-2, DC 768/85-3A, DC 498/203-4, ИГ 236, ИГ 443, ИГ 391, ИГ 101, ИГ 225, ИГ 311, ИГ 315, ИГ 250, СП 56/57-0, СП 56/57-2, ИГ 150, ИГ 277, ИГ 238, ИГ 201, ИГ 253, СП 56/57-2/1, СП 56/57-21/1, ИГ 278, ИГ 281, ИГ 242, ИГ 244, ИГ 252, СП 56/57-2, СП 56/57-21/12, ИГ 239, ИГ 273, ИГ 355, ИГ 400, ИГ 401 СП 56/57-21/21, СП 56/57-2/2 и СП 56/57-2/3.	KA111121, KA111111, AP-1, RD 12, СП 75/15-11, СП 75/15-21, RD 12, СП 75/15-11, СП 75/15-21, ГК 26 АЗМ, KB 399, KB 373, DC 257/85-0, DC 768/85-4, DC 768/85-3, СП 246/276-1, СП 246/276-2, СП 280-3, DC 768/85-5, DC 768/85-2A, СП 73/498-1, СП 73/498-2, DC 498/203-3, DC 768/85-2, DC 768/85-3A, DC 498/203-4, ИГ 236, ИГ 443, ИГ 391, ИГ 101, ИГ 225, ИГ 311, ИГ 315, ИГ 250, СП 56/57-0, СП 56/57-2, ИГ 150, ИГ 277, ИГ 238, ИГ 201, ИГ 253, СП 56/57-2/1, СП 56/57-21/1, ИГ 278, ИГ 281, ИГ 242, ИГ 244, ИГ 252, СП 56/57-2, СП 56/57-21/12, ИГ 239, ИГ 273, ИГ 355, ИГ 400, ИГ 401 СП 56/57-21/21, СП 56/57-2/2 и СП 56/57-2/3.	

¹ Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. Вып. 1. 329 с.

² Методические указания по селекции кукурузы. М.: Колос, 1982. 56 с.

есть каждый отобранный самоопыленный початок высевался отдельным рядом, в пределах которого отбирались лучшие растения с лучшими початками, которые на следующий год высевались отдельными рядами, где проводился новый цикл отбора. И так продолжалось в течение 5–6 лет (отбор лучших початков на лучших растениях).

Все созданные линии относились к сортотипу с зубовидным желтым зерном и красным стержнем початка — подвид кукурузы зубовидная (*Zea mays indentata*), они были гомозиготными, принадлежали к среднеранней и среднеспелой группам спелости.

В качестве стандартов взяты известные по устойчивости к водному стрессу самоопыленные линии кукурузы:

- ✓ PLS 61 ЗМ,
- ✓ 0169 МВ,
- ✓ КС 211,
- ✓ С 227,
- ✓ ГК 26 АЗМ,
- ✓ FC 18.

Самоопыленные линии 0169 МВ, КС 211, С 227 созданы в АНЦ «Донской», линии PLS 61 ЗМ, ГК 26 АЗМ, FC 18 относятся к линиям мировой коллекции.

Определение засухоустойчивости выполнено методом остаточного водного дефицита³. Водный дефицит — это недостаток насыщения водой растительных клеток, возникающий в результате интенсивной потери воды растением, невосполнимой поглощением ее из почвы. Чем меньше водный дефицит у растений, тем выше их устойчивость к водному стрессу.

Для изучения образцов по засухоустойчивости в полевых условиях необходимо наличие соответствующего (засушливого) фона. Во все

годы (за исключением 2014 года) исследований — 2011–2013 гг., 2015–2023 гг. — такой фон имелся благодаря погодным факторам (табл. 1).

АНЦ «Донской» и его опытные поля, находящиеся в Южной зоне Ростовской области, расположены в зоне неустойчивого увлажнения, среднемноголетние значения осадков — 225,5 мм, среднесуточные температуры воздуха — 20,5 °C и ГТК — 0,89 за период вегетации кукурузы свидетельствуют о засушливости климата. В годы изучения эти показатели, как правило, еще сильнее ухудшались (количество осадков и ГТК снижались, а температуры воздуха увеличивались). Так, количество осадков по годам варьировало от 93,4 мм до 244,6 мм. Большинство лет испытания характеризовались меньшим количеством осадков, чем в средний год. Все годы эксперимента оказались более жаркими, чем средний год (среднесуточные температуры воздуха за период вегетации — 21,7–23,8%). Гидротермический коэффициент во все годы был ниже (0,32–0,87), чем по среднемноголетним данным (1949–2023 гг.).

Подобные результаты получены по месяцам июнь и август, в которых отмечаются критические периоды развития растений кукурузы (цветение, опыление и налив зерна). Так, ГТК в июле в годы проведения исследований снизился до 0,26–0,76 при среднемноголетних данных 0,81, исключение составили только 2018 и 2019 гг. В августе во все годы (с 2006 по 2012 и с 2015 по 2020), помимо 2013 г., ГТК имел величины (0,06–0,66) меньше среднемноголетних значений (0,67).

Изучено влияние климатических факторов: количество атмосферных осадков, среднесуточная температура воздуха, гидротермический коэффициент на величину остаточного водного дефицита самоопыленных линий. Других факторов влияния

Таблица 2. Климатические параметры в критические периоды развития и период вегетации растений кукурузы, 2011–2013 гг., 2015–2023 гг.

Table 2. Climatic parameters during crucial periods of maize vegetation and development, 2011–2013, 2015–2023

Годы	Климатические параметры								
	Осадки, мм			Среднесуточная температура воздуха, °C			ГТК		
	июль	август	период вегетации	июль	август	период вегетации	июль	август	период вегетации
2011	21,0	35,2	175,5	26,5	22,9	22,1	0,26	0,50	0,65
2012	29,2	47,3	191,1	25,0	24,4	23,3	0,38	0,63	0,67
2013	46,8	59,2	180,1	23,9	23,7	22,9	0,63	0,81	0,64
2015	32,2	14,8	230,7	24,0	24,2	21,7	0,43	0,20	0,86
2016	32,8	28,8	242,2	24,7	26,0	22,2	0,43	0,36	0,87
2017	42,2	45,5	235,6	25,9	24,6	22,6	0,55	0,60	0,85
2018	71,7	4,8	93,4	25,9	24,6	23,4	0,89	0,06	0,32
2019	71,4	48,0	194,1	22,7	23,4	22,6	1,01	0,66	0,70
2020	60,7	44,7	224,1	25,7	23,4	21,9	0,76	0,62	0,83
2021	24,6	51,1	244,6	26,7	28,8	23,8	0,30	0,57	0,84
2022	55,8	47,2	132,1	23,8	26,6	22,1	0,76	0,57	0,43
2023	51,3	19,5	218,2	23,6	25,6	21,8	0,70	0,25	0,83
среднее за 1949 — 2023 гг.	57,7	45,2	225,5	23,1	21,9	20,5	0,81	0,67	0,89

³ Литвинов Л.С. Методы оценки засухоустойчивости. Семеноводство. 1988. 6: 7–12.

не было. Самоопыленные линии изучались в одинаковых условиях (обработка почвы, минеральное питание, сроки посева, нормы высева и др.).

Математическая обработка экспериментальных данных проводилась по Доспехову Б.А.⁴ с использованием программ Statistica 10 и Excel (США). В частности, коэффициенты корреляции были рассчитаны по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \times \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

где:

r_{xy} — коэффициент корреляции; x_i — значения переменной x в выборке; \bar{x} — среднее значение переменной x ; y_i — значения переменной y в выборке; \bar{y} — среднее значение переменной y .

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Все годы проведения эксперимента удалось дифференцировать самоопыленные линии по величине остаточного водного дефицита и его приросту.

Это объясняется значительными различиями самоопыленных линий по засухоустойчивости (табл. 2).

Так, например, в 2011 году в фазе цветения максимальное значение ОВД составило 25,4% (линия С 160), в тот же год минимальное значение в фазе цветения — 6,5% (линия КС 315).

В 2016 году у линии С 237 в фазе молочно-восковой спелости величина остаточного водного дефицита достигала 31,4%, а у линии ДС 257/85-1 — 8,3%. Величина водного дефицита зависела не

только от линий, но и от условий года, в котором проводились исследования.

Наиболее высокие усредненные по линиям значения ОВД в фазу цветения имелись в 2015 году — 14,4%, а самые низкие (4,9%) — в 2023 году.

В фазе молочно-восковой спелости самый высокий уровень водного дефицита отмечен в 2011 году — 16,2%, а самый низкий (8,1%) — в 2021 году.

Подобные результаты получены и по приросту ОВД в фазе молочно-восковой спелости по отношению к фазе цветения. Прирост зависел от самоопыленных линий и от условий года проведения исследований. У некоторых линий был отрицательный прирост (ДС 257/85-1, КВ 204, ТВ 7331 и др.), что связано, по-видимому, с поздним включением механизмов засухоустойчивости и условиями водного стресса.

Новые самоопыленные линии были дифференцированы на основе абсолютных значений ОВД в сравнении со стандартными линиями.

В 2011–2013 гг. в качестве стандарта использована засухоустойчивая линия 0169 МВ. Значения водного дефицита у нее составили: в фазе цветения — 9,4%, в фазе молочно-восковой спелости — 10,1%, прирост — 0,7%.

В качестве дополнительного стандарта была взята линия PLS 61 ЗМ с невысокой засухоустойчивостью, показатели ОВД, соответственно, составили 11,9%; 17,8%; 5,9% (табл. 3).

В 2015–2017 гг. взята засухоустойчивая стандартная линия КС 217 и менее засухоустойчивая — С 227. В 2018–2020 гг. — стандартные линии PLS 61 ЗМ и ГК 26 АЗМ с различной устойчивостью к водному стрессу. Линия FC 18 была

Таблица 3. Остаточный водный дефицит самоопыленных линий кукурузы, 2011–2013 гг., 2015–2023 гг.

Table 3. Residual water deficit of self-pollinated maize lines, 2011–2013, 2015–2023

Годы	ОВД, %								
	в фазу цветения			в фазу молочно-восковой спелости			прирост в фазе молочно-восковой спелости относительно фазы цветения		
	x_{max}	x_{min}	\bar{x}	x_{max}	x_{min}	\bar{x}	x_{max}	x_{min}	\bar{x}
2011	25,4	6,5	11,8	34,2	7,9	16,2	19,3	-5,8	4,3
2012	15,6	4,0	10,0	20,0	4,8	11,6	9,2	-7,1	1,6
2013	17,6	5,1	10,8	31,7	6,2	14,9	18,3	-5,2	4,1
2015	24,2	8,6	14,4	12,7	5,8	15,0	9,2	-6,5	0,5
2016	12,7	5,5	8,4	31,4	8,3	14,0	24,3	0,3	5,6
2017	24,3	5,6	12,2	18,6	8,3	13,9	6,9	-8,1	1,6
2018	14,7	3,5	9,2	24,5	8,0	12,2	12,6	0,2	3,1
2019	13,9	5,2	9,0	22,7	7,8	13,1	14,5	1,0	3,8
2020	26,2	5,1	8,8	48,4	6,9	13,0	28,8	0	4,2
2021	8,0	4,5	6,0	10,8	5,6	8,1	5,9	0,3	2,1
2022	12,1	7,4	9,6	15,4	8,4	11,4	3,4	0,5	1,8
2023	7,1	3,3	4,9	14,5	6,5	9,1	10,9	1,2	4,3

Примечание: x_{max} — максимальные значения, x_{min} — минимальные значения, \bar{x} — средние значения.

⁴ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). — М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

Таблица 4. Значения остаточного водного дефицита стандартных линий кукурузы
Table 4. Residual water deficit values of standard maize lines

Годы изучения	Название стандартных линий	ОВД, %		
		в фазе цветения	в фазе молочно-восковой спелости	прирост в фазе молочно-восковой спелости относительно фазы цветения
2011–2013	PLS 61 ЗМ	11,9	17,8	+5,9
	0169 МВ	9,4	10,1	+0,7
2015–2017	КС 211	9,9	12,7	+2,8
	С 227	11,3	14,2	+2,9
2018–2020	PLS 61 ЗМ	10,6	17,3	+6,7
	ГК 26 АЗМ	9,9	11,9	+2,0
2021–2023	FC 18	6,7	12,0	+5,3

использована в качестве стандартной в 2021–2023 гг.

Все самоопыленные линии кукурузы, использовавшиеся как стандарты, были ранее изучены по засухоустойчивости, что позволило сопоставить с ними значения ОВД у новых самоопыленных линий.

Изучение засухоустойчивости проводилось по мере завершения их создания — достижения гомозиготности (константности). Это, как правило, происходило после 5-го или 6-го самоопыления (I_5 – I_6).

Так, в 2011–2013 гг. была изучена 41 новая константная самоопыленная линия кукурузы. Выделены 14 засухоустойчивых линий (ДК 47111, СП 203, КВ 204, КС 311, С 204 и др.) с низкими и невысокими значениями ОВД в фазе цветения (6,9–13,3%) и незначительным увеличением этих значений в фазе молочно-восковой спелости (9,0–13,4%), прирост водного дефицита составил от -1,0% до 2,1% (табл. 4).

В 2015–2017 гг. изучали новый набор самоопыленных линий, создание которых завершено к 2015 году. Из 41 линии выделено 17, в их числе КВ 334, ДС 498/217-4, RD 6, ДС 257/85-4, ДС 257/85-3 и др. Значения ОВД в фазе цветения у них составили 8,1–12,6%, в фазе молочно-восковой спелости — 9,9–14,2%, прирост — от -1,1% до 3,6%.

К 2018 году завершено создание 48 новых линий. Они изучены в 2018–2020 гг., выделено 12 линий со значениями остаточного водного дефицита в фазе цветения 7,7–10,4%; в фазе молочно-восковой спелости 10,3–12,6%, приростом ОВД 1,4–3,3%.

Новый набор, состоящий из 25 новых самоопыленных линий кукурузы, создание которых завершено в 2020 году, изучен в 2021–2023 гг. В эти годы ОВД ниже по сравнению с другими годами. У выделенных линий кукурузы он составил в фазе цветения 4,6–7,5%, в фазе молочно-восковой спелости — 6,8–10,1%, прирост равнялся 0,9–3,3%.

Данные по ОВД, полученные в течение длительного периода (с 2006 по 2013 гг. и с 2015 по

Таблица 5. Результаты оценки засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы методом остаточного водного дефицита
Table 5. Estimation results of drought resistance of self-pollinated maize lines using the residual water deficit method

Годы изучения	Выделившиеся линии	ОВД у выделенных линий, %		
		в фазе цветения	в фазе молочно-восковой спелости	прирост в фазе молочно-восковой спелости относительно фазы цветения
2011–2013	ДК 47111, СП 203, КВ 204, КС 211, С 204, С 238, ТВ 7331, КВ 357, ДК 655, КВ 498, КС 311, КВ 469, Зр 498 А, КВ 272	6,9...13,3	9,0...13,4	-1,0...+2,1
	КВ 334, ДС 498/217-4, RD 6, ДС 257/85-4, ДС 257/85-3, ДС 257/85-1, ДС 257/85-6, ДС 257/85-4, ДС 498/217-3, ДС 257/85-5, ДС 498/203, КВ 262, КВ 263, ДС 498/217, С 204 А, СП 280-2, ТВ 7331 А, Зр 498	8,1...12,6	9,9...14,2	-1,1...+3,6
2018–2020	КС 317 А, ЛШ 16, КВ 240, ЛШ 17, ЛШ 2, СП 246/276-2, ДС 498/203-4, ДС 498/203-3, ДС 257/85-0, СП 280-3, КВ 273	7,7...10,4	10,3...12,6	+1,4...+3,3
	СП 56/57-2/1, СП 56/57-21/1, СП 56/57-2/3, СП 56/57-2/2, СП 56/57, ДС 257/85-6, СП 56/57-0, ДС 257/85-3, СП 56/57-2/21, ДС 257/85-2, СП 56/57-21/12, СП 75/15-13, СП 75/15-11	4,6...7,5	6,8...10,1	+0,9...+3,3

2020 гг.), а также анализ климатических условий за эти годы позволили установить, что величина остаточного водного дефицита зависела от метеорологических условий лет проведения эксперимента, что подтверждают рассчитанные коэффициенты корреляции (рис. 1).

Выявлена средняя отрицательная корреляционная связь ($r = -0,44$) между величиной ОВД в

фазе цветения и среднесуточными температурами в июле. Низкие, но достоверные отрицательные коэффициенты корреляции получены между величиной ОВД в фазе цветения и количеством осадков в июле ($r = -0,27$), количеством осадков за период вегетации ($r = -0,26$) и величиной ГТК в июле ($r = -0,24$).

Средний отрицательный коэффициент корреляции получен между величиной ОВД в фазе молочно-восковой спелости и среднесуточными температурами воздуха в августе ($r = -0,65$), а также среднесуточной температурой воздуха за период вегетации кукурузы ($r = -0,30$) (рис. 2).

Низкие, но достоверные отрицательные коэффициенты корреляции выявлены между величиной ОВД в фазе молочно-восковой спелости и количеством осадков в июле ($r = -0,24$), ГТК в июле ($r = -0,23$).

Таким образом, имеется тенденция увеличения значений ОВД в более жарких и засушливых условиях, а это означает, что в таких условиях результаты оценки засухоустойчивости более надежны.

Выводы / Conclusions

Недостаточное увлажнение и высокие температуры воздуха в годы проведения эксперимента способствовали созданию фона для оценки исходного материала по засухоустойчивости.

Новые линии (155 шт.) значительно различались по остаточному водному дефициту как в фазе цветения (3,3–26,2%), так и в фазе молочно-восковой спелости (5,6–48,4%).

В 2011–2013 гг. выделено 14 засухоустойчивых линий со значениями ОВД в фазе цветения 6,9–13,3%, в фазе молочно-восковой спелости 9,0–13,4%. В 2015–2017 гг. лучшими по засухоустойчивости отмечены 17 линий: ОВД в фазе цветения — 8,1–12,6%, в фазе молочно-восковой спелости — 9,9–14,2%.

В 2018–2020 гг. высокую устойчивость к водному стрессу проявили 12 линий с величиной ОВД в фазе цветения 7,7–10,4%, в фазе молочно-восковой спелости 10,3–12,6%. В 2021–2023 гг. низкие значения ОВД имели 13 линий в обе фазы развития, соответственно 4,6–7,5% и 6,8–10,1%. Величина ОВД зависела не только от линий, но и от условий года, в котором проводилось исследование. Выявлена тенденция увеличения значений ОВД в годы с более жаркими и засушливыми условиями.

Рис. 1. Коэффициенты корреляции между величинами ОВД в фазе цветения и климатическими параметрами, 2011–2013 гг., 2015–2023 гг.

Примечание: климатические параметры: 1 — осадки за июль, мм, 2 — осадки за август, мм, 3 — осадки за период вегетации, мм, 4 — среднесуточная температура воздуха в июле, °C, 5 — среднесуточная температура воздуха в августе, °C, 6 — среднесуточная температура воздуха за период вегетации, °C, 7 — ГТК в июле, 8 — ГТК в августе, 9 — ГТК за период вегетации.

Fig. 1. Coefficients of correlation between the RWD in the flowering stage and climatic parameters, 2011–2013, 2015–2023

Note: climate parameters: 1 — precipitation in July, mm, 2 — precipitation in August, mm, 3 — precipitation during the growing season, mm, 4 — average daily air temperature in July, °C, 5 — average daily air temperature in August, °C, 6 — average daily air temperature during the growing season, °C, 7 — hydrothermal climatic conditions in July, 8 — hydrothermal climatic conditions in August, 9 — hydrothermal climatic conditions during the growing season.

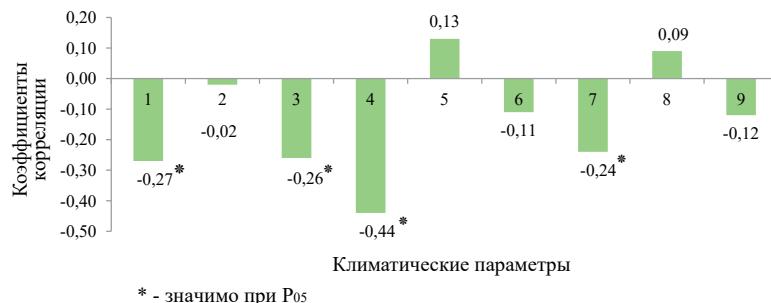
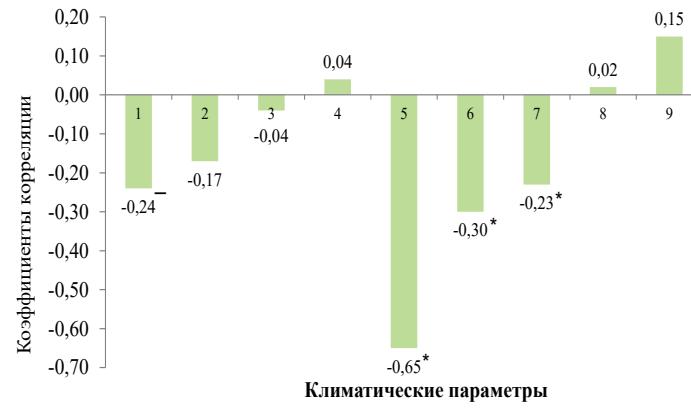


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между величинами ОВД в фазе молочно-восковой спелости и климатическими параметрами, 2011–2013, 2015–2023 гг.

Примечание: климатические параметры: 1 — осадки за июль, мм, 2 — осадки за август, мм, 3 — осадки за период вегетации, мм, 4 — среднесуточная температура воздуха в июле, °C, 5 — среднесуточная температура воздуха в августе, °C, 6 — среднесуточная температура воздуха за период вегетации, °C, 7 — ГТК в июле, 8 — ГТК в августе, 9 — ГТК за период вегетации.

Fig. 2. Coefficients of correlation between the RWD in the milky-wax stage and climatic parameters, 2011–2013, 2015–2023

Climate parameters: 1 — precipitation in July, mm, 2 — precipitation in August, mm, 3 — precipitation during the growing season, mm, 4 — average daily air temperature in July, °C, 5 — average daily air temperature in August, °C, 6 — average daily air temperature during the growing season, °C, 7 — hydrothermal climatic conditions in July, 8 — hydrothermal climatic conditions in August, 9 — hydrothermal climatic conditions during the growing season.



* — значимо при $P \leq 0,05$

Установлена средняя отрицательная корреляционная связь ($r = -0,44$) между величиной ОВД в фазе цветения и среднесуточной температурой воздуха в июле; между величиной ОВД в фазе молочно-восковой спелости и среднесуточными температурами воздуха в августе ($r = -0,65$), а также среднесуточной температурой воздуха за период вегетации кукурузы ($r = -0,30$). Выявлены невысокие, но достоверные коэффициенты корреляции ($r = -0,24 \dots -0,27$) между ОВД и количеством осадков в различные периоды изучаемых линий.

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. Николаев М.В. Климатические изменения и ведение полеводства в зоне осушенных земель Европейского Нечерноземья России: уязвимость и адаптация. *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(1): 60–74. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.60rus>
2. Матищов Г.Г., Дашибекич Л.В., Титов В.В., Кириллова Е.Э. Анализ внутривековой природной изменчивости в Приазовье и на Нижнем Дону: причина маловодья. *Наука Юга России*. 2021; 17(1): 13–23. <https://doi.org/10.7868/S25000640210102>
3. Гудко В.Н., Усатов А.В., Азарин К.В. Сезонная и годовая динамика гидротермических условий в восточной природно-сельскохозяйственной зоне Ростовской области в 1961–2020 гг. *Аридные экосистемы*. 2023; 29(2): 29–35. <https://elibrary.ru/osopen>
4. Кривошеев Г.Я., Шевченко Н.А., Игнатьев А.С. Засухоустойчивость новых самоопыленных линий кукурузы и методы ее оценки. *Таврический вестник аграрной науки*. 2021; (3): 95–106. <https://elibrary.ru/mankwt>
5. Панфилова О.Н., Чугунова Е.В., Дерунова С.Н. Исходный материал для селекции кукурузы на засухоустойчивость. *Аграрный научный журнал*. 2020; (2): 29–37. <https://elibrary.ru/ifepor>
6. Панфилова О.Н., Чугунова Е.В., Дерунова С.Н. Зависимость урожая зерна кукурузы и уборочной влажности от ГТК в условиях Волгоградской области. *Аграрный научный журнал*. 2023; (1): 34–40. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i1pp34-40>
7. Worku M. et al. On-farm performance and farmers' participatory assessment of new stress-tolerant maize hybrids in Eastern Africa. *Field Crops Research*. 2020; 246: 107693. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107693>
8. Гусева С.А., Бочкарева Ю.В., Волков Д.П., Башинская О.С., Носко О.С., Ларина Т.В. Оценка относительной засухоустойчивости сортовообразцов сахарной кукурузы в лабораторных условиях. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023; (5): 7. <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.33.4>
9. Лиховидова В.А., Ионова Е.В. Влияние засушливых условий выращивания на водный дефицит и содержание хлорофилла сортов озимой твердой пшеницы, различающихся по продуктивности. *Аграрная наука*. 2020; (5): 72–75. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-72-75>
10. Капустин С.И., Капустин А.С. Подбор исходного материала и комбинационная способность новых линий кукурузы в условиях степной зоны. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024; (2): 31–36. <https://elibrary.ru/sxtkyg>
11. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. Влияние уровня влагообеспеченности на урожайность и питательную ценность соргоевых культур. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2024; 54(2): 22–30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-2-3>
12. Yadav O.P. et al. Genetic Improvement of Maize in India: Retrospect and Prospects. *Agricultural Research*. 2015; 4(4): 325–338. <https://doi.org/10.1007/s40003-015-0180-8>
13. Sheoran S., Kaur Y., Kumar S., Shukla S., Rakshit S., Kumar R. Recent Advances for Drought Stress Tolerance in Maize (*Zea mays L.*): Present Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 872566. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>
14. Орлянская Н.А., Орлянский Н.А., Чеботарёв Д.С. Сравнительная индексация раннеспелых гибридов кукурузы в экологическом испытании. *Аграрная наука Евро-Севера-Востока*. 2023; 24(4): 581–591. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591>
15. Горбачева А.Г., Кривошеев Г.Я., Игнатьев А.С., Орлянская Н.А. Экологическое изучение простых стерильных гибридов кукурузы — родительских форм. *Зерновое хозяйство России*. 2024; 16(4): 105–112. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-93-4-105-112>
16. Котляров В.В., Котляров Д.В., Яблонская Е.К., Новожилов А.С. Эффективность отбора на засухоустойчивость в популяции кукурузы в различных экологических условиях. *Научный журнал КубГАУ*. 2025; 205: 415–429. <https://elibrary.ru/qveqda>

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. Nikolaev M.V. The impact of climate change on crop farming in the drained lands of the European Non-Chernozem region of Russia: vulnerability and adaptation assessment. *Agricultural Biology*. 2023; 58(1): 60–74. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.60eng>
2. Matishov G.G., Dashkevich L.V., Titov V.V., Kirillova E.E. Analysis of intracentury environmental variability in the Sea of Azov and Lower Don Regions: the cause of low water period. *Science in the South of Russia*. 2021; 17(1): 13–23 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S25000640210102>
3. Gudko V.N., Usatov A.V., Azarin K.V. Seasonal and annual dynamics of hydrothermal conditions in the Eastern natural and agricultural zone of the Rostov region in 1961–2020. *Arid ecosystems*. 2023; 29(2): 29–35 (in Russian). <https://elibrary.ru/osopen>
4. Krivosheev G.Ya., Shevchenko N.A., Ignatiev A.S. Drought tolerance of the new self-pollinated lines of maize and the methods of its estimation. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021; (3): 95–106 (in Russian). <https://elibrary.ru/mankwt>
5. Panfilova O.N., Chugunova E.V., Derunova S.N. Source material for the selection of corn for drought tolerance. *Agrarian Scientific Journal*. 2020; (2): 29–37 (in Russian). <https://elibrary.ru/ifepop>
6. Panfilova O.N., Chugunova E.V., Dergunova S.N. Dependence of the corn grain yield and harvesting humidity on the SCC in the conditions of the north-west of the Volgograd region. *Agrarian Scientific Journal*. 2023; (1): 34–40 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i1pp34-40>
7. Worku M. et al. On-farm performance and farmers' participatory assessment of new stress-tolerant maize hybrids in Eastern Africa. *Field Crops Research*. 2020; 246: 107693. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107693>
8. Guseva S.A., Bochkareva Y.V., Volkov D.P., Bashinskaya O.S., Nosko O.S., Larina T.V. An evaluation of relative drought tolerance of sugar maize varieties under laboratory conditions. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023; (5): 7 (in Russian). <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.33.4>
9. Likhovidova V.A., Ionova E.V. The effect of arid growing conditions on water deficit and chlorophyll content of the winter wheat varieties with various productivity. *Agrarian science*. 2020; (5): 72–75 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-72-75>
10. Kapustin S.I., Kapustin A.S. Selection of source material and combinative ability of new corn lines in the steppe zone. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2024; (2): 31–36 (in Russian). <https://elibrary.ru/sxtkyg>
11. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V. The effect of the moisture availability rate on the productivity and nutritional value of sorghum crops. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2024; 54(2): 22–30 (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-2-3>
12. Yadav O.P. et al. Genetic Improvement of Maize in India: Retrospect and Prospects. *Agricultural Research*. 2015; 4(4): 325–338. <https://doi.org/10.1007/s40003-015-0180-8>
13. Sheoran S., Kaur Y., Kumar S., Shukla S., Rakshit S., Kumar R. Recent Advances for Drought Stress Tolerance in Maize (*Zea mays L.*): Present Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 872566. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>
14. Orlyanskaya N.A., Orlyansky N.A., Chebotarev D.S. Comparative indexing of early-maturing corn hybrids in multi-environment trial. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023; 24(4): 581–591 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591>
15. Gorbacheva A.G., Krivosheev G.Ya., Ignatiev A.S., Orlyanskaya N.A. Ecological study of parental forms of simple sterile maize hybrids. *Grain Economy of Russia*. 2024; 16(4): 105–112 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-93-4-105-112>
16. Kotlyarov V.V., Kotlyarov D.V., Yablonskay H.K., Novozhilov A.S. Effectiveness of selection for drought resistance in corn populations under different ecological conditions. *Scientific Journal of KubSAU*. 2025; 205: 415–429 (in Russian). <https://elibrary.ru/qveqda>

17. Tynykulov M.K., Djemaledinova I.M., Auzhanova M.A., Kuznecova M.A. Ecological examination of corn hybrids in drought conditions in Akmola region. *Science and education*. 2024; (1-2): 93–100.
<https://doi.org/10.52578/2305-9397-2024-1-2-93-100>
18. Гусева С.А., Маслова Г.А., Носко О.С. Оценка исходного материала сахарной кукурузы для селекции в засушливых условиях Саратовской области. *Вестник Омского ГАУ*. 2024; 4(56): 54–65.
<https://elibrary.ru/itcqf>
19. Кравцов А.М. Продуктивность среднеранних гибридов кукурузы иностранной селекции в зоне неустойчивого увлажнения на черноземе типичном Западного Предкавказья. Современные векторы развития науки. Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2023 год. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина. 2024; 28–30.
<https://elibrary.ru/cnczdr>
20. Горбачева А.Г., Дридигер В.В., Ветошкина И.А. Покосные и пожнивные посевы гибридов кукурузы в зоне достаточного увлажнения Ставропольского края. *АПК России*. 2024; 31(4): 509–514.
<https://doi.org/10.55934/2587-8824-2024-31-4-509-514>
17. Tynykulov M.K., Djemaledinova I.M., Auzhanova M.A., Kuznecova M.A. Ecological examination of corn hybrids in drought conditions in Akmola region. *Science and education*. 2024; (1-2): 93–100.
<https://doi.org/10.52578/2305-9397-2024-1-2-93-100>
18. Guseva S.A., Maslova G.A., Nosko O.S. The evaluation of sweet corn basic material for breeding in arid conditions of the Saratov region. *Vestnik of Omsk SAU*. 2024; 4(56): 54–65 (in Russian).
<https://elibrary.ru/itcqf>
19. Kravtsov A.M. Productivity of mid-early hybrids of corn of foreign selection in the zone of unstable moisture on typical chernozem of the Western Ciscaucasia. *Modern vectors of scientific development. Collection of articles based on the materials of the annual scientific and practical conference of teachers on the results of research for 2023*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. 2024; 28–30 (in Russian).
<https://elibrary.ru/cnczdr>
20. Gorbacheva A.G., Dridiger V.V., Vetoshkina I.A. Post-harvest and post-harvest crops of corn hybrids in the zone of sufficient moisture in the Stavropol Territory. *Agro-industrial complex of Russia*. 2024; 31(4): 509–514 (in Russian).
<https://doi.org/10.55934/2587-8824-2024-31-4-509-514>

ОБ АВТОРАХ

Геннадий Яковлевич Кривошеев
 кандидат сельскохозяйственных наук,
 ведущий научный сотрудник
 genadiy.krivosheev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5876-7672>

Алексей Станиславович Игнатьев
 кандидат сельскохозяйственных наук,
 старший научный сотрудник
 ignatev1983@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0319-4600>

Николай Алексеевич Шевченко
 техник-исследователь
 ORCID ID: 0000-0001-5869-367X

Валентина Леонидовна Газе
 младший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-4618-6125>

Ирина Алексеевна Лобунская
 агроном
<https://orcid.org/0000-0003-1537-8498>

Аграрный научный центр «Донской»,
 ул. Научный городок, 3, Зерноград, Ростовская обл.,
 347740, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Gennady Yakovlevich Krivosheev
 Candidate of Agricultural Sciences,
 leading researcher
 genadiy.krivosheev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5876-7672>

Alexey Stanislavovich Ignatiev
 Candidate of Agricultural Sciences,
 senior researcher
 ignatev1983@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0319-4600>

Nikolai Alekseevich Shevchenko
 Technician-researcher
<https://orcid.org/0000-0001-5869-367X>

Valentina Leonidovna Gaze
 junior researcher
<https://orcid.org/0000-0002-4618-6125>

Irina Alekseevna Lobunskaya
 Agronomist
<https://orcid.org/0000-0003-1537-8498>

Agricultural Research Center “Donskoy”,
 3 Nauchny gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740,
 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 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/rassylka-zhurnala/>

» ПОДПИСКА НА АРХИВНЫЕ НОМЕРА
 И ОДНОЛЬНЫЕ СТАТЬИ
 на сайте Научной электронной библиотеки
www.elibrary.ru



А.С. Ступин 

В.И. Левин

Л.А. Антипкина

Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Рязань, Россия

 stupin32@yandex.ru

Поступила в редакцию: 02.06.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Ступин А.С., Левин В.И., Антипкина Л.А.

Влияние пролонгированной стрессозащиты на устойчивость производственного процесса зерновых культур

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В статье представлены результаты пролонгированной стрессозащиты посевов яровой пшеницы и ячменя районированных сортов для третьей агроклиматической зоны Российской Федерации. Исследования выполняли с 2018 по 2022 год, полевые опыты проводили на серых лесных почвах среднего уровня плодородия на сельскохозяйственном предприятии в ОАО «Аграрий» Рязанской области.

Цель исследований — экспериментальное обоснование эффективности применения пролонгированной стрессозащиты на всех этапах подготовки, хранения и предпосевной обработки семенного материала, а также в критически фазы роста и развития растения в зависимости от погодных условий и фитотоксичности (угнетения роста и формирования урожая растениями) почвы.

Результаты. Скрининг стрессоустойчивых партий семян, стрессозащитное послевборочное хранение и предпосевная обработка регулятором роста «Эпин-Экстра» активизировали прорастание семян зерновых культур и повышали полевую всхожесть на 5,3–8,2%. Обработка растений на IV–V и IX–X этапах органогенеза у зерновых культур (в зависимости от варианта опыта) интенсифицировала накопление наземной фитомассы, увеличение листового индекса посевов и чистой продуктивности фотосинтеза, соответственно, на 13,5–16,9%, 17,1–23,1% и 7,1–7,7%. Пролонгированная защита растений за счет стрессоустойчивости способствовала стабильному увеличению урожайности по годам вегетации, которая в среднем за 5 лет опытов на почвах с повышенной фитотоксичностью составила у: яровой пшеницы — 20,0%, ячменя — 15,8%. Рост урожая происходил в результате увеличения продуктивности колоса и массы 1000 зерен и был обусловлен последовательной взаимосвязью применяемых стрессозащитных агроприемов в течение всего периода вегетации.

Ключевые слова: регулятор роста, стрессозащита, пролонгация, урожайность, яровая пшеница, ячмень, фитотоксичность

Для цитирования: Ступин А.С., Левин В.И., Антипкина Л.А. Влияние пролонгированной стрессозащиты на устойчивость производственного процесса зерновых культур. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 90–98.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-90-98>

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-90-98

 Alexander S. Stupin 

Viktor I. Levin

Lyudmila A. Antipkina

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev,
Ryazan, Russia

 stupin32@yandex.ru

Received by the editorial office: 02.06.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

© Ступин А.С., Levin V.I., Antipkina L.A.

The effect of prolonged stress protection on the stability of the production process of grain crops

ABSTRACT

Relevance. The article presents the results of prolonged stress protection of spring wheat and barley crops of zoned varieties for the third agro-climatic zone of the Russian Federation. The research was carried out from 2018 to 2022, field experiments were conducted on gray forest soils of average fertility at an agricultural enterprise in JSC “Agrari” of the Ryazan region.

The purpose of the research is to experimentally substantiate the effectiveness of prolonged stress protection at all stages of preparation, storage and pre-sowing treatment of seed material, as well as during the growth and development phases of the plant, depending on weather conditions and phytotoxicity (inhibition of growth and crop damage by plants) of the soil.

Results. Screening of stress-resistant seed batches, stress-protective post-harvest storage and pre-sowing treatment with the Epin-Extra growth regulator activated germination of grain seeds and increased field germination by 5.3–8.2%. Plant treatment at IV–V and IX–X stages of organogenesis in grain crops (depending on the experimental variant) intensified the accumulation of terrestrial phytomass, the increase in the leaf index of crops and the net productivity of photosynthesis, respectively, by 13.5–16.9%, 17.1–23.1% and 7.1–7.7%. Prolonged plant protection due to stress resistance contributed to a stable increase in yields over the growing season, which averaged 20.0% for spring wheat and 15.8% for barley over an average of 5 years of experiments on soils with increased phytotoxicity. The crop growth occurred as a result of an increase in the productivity of the ear and the weight of 1,000 grains and was due to the consistent interrelation of applied stress-protective agricultural techniques throughout the growing season.

Key words: growth regulator, stress protection, prolongation, yield, spring wheat, barley, and phytotoxicity

For citation: Stupin A.S., Levin V.I., Antipkina L.A. The effect of prolonged stress protection on the stability of the production process of grain crops. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 90–98 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-90-98>

Введение/Introduction

Процесс вегетации у сельскохозяйственных культур протекает в условиях динамично изменяющихся факторов абиотической среды, варьирующихся от оптимальных до экстремально стрессовых значений (резкие перепады температур и выпадающих осадков, засуха, аридность климата, механические повреждения, пестициды), которым они неизбежно подвергаются на том или ином этапе онтогенеза [1–3].

На действие стресс-факторов растительный организм реагирует нарушением функциональной активности, ферментативной и гормональной регуляторных систем [4–6], угнетением процессов роста, снижением посевных качеств семян, продуктивности растений и урожайности сельскохозяйственных культур [7, 8]. Всё это указывает на способность абиотических стресс-факторов оказывать отрицательное влияние на растительный организм на всех этапах жизненного цикла.

В основе реализации продукционного процесса лежит тесная непрерывная взаимосвязь каждого этапа онтогенеза с генетической и физиологической программой развития, с одной стороны, и комплексом экологических факторов — с другой. Блокирование и разрушение данных связей стрессором — базовые причины снижения устойчивости и продуктивности растений [9–11]. Наиболее выраженное угнетающее воздействие на рост, развитие растений и формирование урожая сельскохозяйственных культур оказывает длительный эдафический стресс, обусловленный содержанием в почве загрязняющих веществ или при выращивании на участках земли, ранее занятых монокультурой [11–13], что ведет к формированию у растений хронического стресса.

Одним из приоритетных и наиболее масштабных направлений в системе антистрессовой защиты сельскохозяйственных растений продолжает оставаться применение широкого спектра полифункциональных стрессопротекторов, обеспечивающих нормализацию гормональной регуляции и повышение резистентности растений к повреждающим факторам среды [14–16]. Однако в практике растениеводства применение регуляторов роста носит преимущественно избирательный характер, то есть в отдельные фазы роста и развития растений или для обработки семенного материала. В результате их защитный эффект последействия проявляется только фрагментарно, на том или ином этапе органогенеза.

Но очередная серия абиотических стрессоров способна нивелировать ранее достигнутый кратковременный положительный эффект влияния регулятора роста. Возникает последующее нарушение взаимодействия физиологической

программы продукционного процесса с факторами внешней среды, которое может неоднократно повторяться в течение вегетации.

При всём многообразии экспериментальных данных по изучению механизма влияния повреждающих воздействий и фототоксичных свойств почвы, оказывающих угнетающее воздействие на рост, развитие и формирование урожая сельскохозяйственных культур и приемов их защиты, они главным образом касались вегетирующих растений. Тогда как, согласно научным данным последних лет, у воздушно-сухих семян, находящихся в состоянии стресса, выявлена способность отвечать на повреждающие воздействия изменениями гормонального баланса [17], модифицирующим влиянием на физиологическое состояние и посевные качества неповрежденных семян [18, 19], нарушением генетической стабильности [20] в зависимости от продолжительности и особых условий их хранения [21, 22].

В связи с этим только последовательная и непрерывная взаимосвязанная система антистрессовых приемов в течение всего жизненного цикла организма — от семени до завершения растениями вегетации, то есть пролонгированной защиты, создает предпосылки, обеспечивающие повышение устойчивости и продуктивности растений.

Цель работы — экспериментальное обоснование эффективности пролонгированной защиты зерновых культур от семени до завершения растениями вегетации в зависимости от погодных условий и уровня фитотоксичности почвы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили с 2018 по 2022 год в ОАО «Аграрий» (Рязанская обл., Россия). Объект изучения — семена яровой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Агата и ячменя *Hordeum vulgare* L. сорта Яромир, полученные в данном хозяйстве.

Семена, используемые для посева, отвечали требованиям ГОСТ Р 52325-2005¹ на сортовые и посевные качества семян сельскохозяйственных растений.

Экспериментальную работу выполняли в два этапа: первый — лабораторные исследования, второй — полевые опыты.

На этапе лабораторных исследований в соответствии с оригинальными авторскими методами проводили: а) скрининг-отбор для посева наиболее устойчивых партий семян яровой пшеницы и ячменя на воздействие этилена — гормона «старости» (патент от 15.02.2023 № 2790268²); б) послеборочное хранение семян в течение 9 месяцев, обеспечивающее их пролонгированную стрессозащиту (патент от 10.12.2003 № 2217894³); в) оценку устойчивости семян к термострессу;

¹ ГОСТ Р 52325-2005 Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия.

² Патент РФ № 2790268 Способ проращивания семян зерновых культур для оценки их устойчивости к этиленовому стрессу. Опубл. 15.02.2023. Патентообладатель Рязанский государственный агротехнологический университет им. проф. П.А. Костычева. Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса 15.10.2024).

³ Патент РФ № 2217894 Способ повышения всхожести интактных семян при совместном хранении с семенами, находящимися в состоянии стресса. Опубл. 10.12.2003. Патентообладатель Рязанская государственная сельскохозяйственная академия им. проф. П.А. Костычева. Статус: не действует (последнее изменение статуса 10.04.2022).

г) определение оптимальной глубины посева семян, используя почву участка, на котором планируется проводить их посев.

В полевых опытах пролонгированная антистрессовая защита включала: а) предпосевную обработку семян полифункциональным антистрессовым регулятором роста «Эпин-Экстра» («НЭСТ М», Россия); б) опрыскивание растений ранцевым опрыскивателем Gardena (Husqvarna, Швеция) на IV–V этапах органогенеза, формирование потенциально возможного числа цветков в колосках и на IX–X этапах органогенеза: цветения, оплодотворения, формирования зерновки и активной ассимиляционной деятельности флагового листа.

На всех этапах технологии выращивания зерновых культур, начиная с подготовки, хранения посевного материала и в критически важные фазы роста, развития и формирования урожая, обеспечивали условия, направленные на сохранение и поддержание непрерывной морфофизиологической связи между этапами органогенеза и гормонального баланса с устойчивостью продукционного процесса к абиотическим стресс-факторам.

Схема полевого опыта для яровой пшеницы и ячменя включала:

1. Контроль — напольное хранение семян (ГОСТ Р 52325-2005).

2. Стрессозащиту семян (С3) — контейнерное хранение.

3. С3 + предпосевную обработку семян «Эпин-Экстра, Р» (С3 + ПОС) — 200 мл/т.

4. С3 + ПОС + опрыскивание растений на IV–V этапах органогенеза «Эпин-Экстра, Р» (С3 + ПОС + IV–V) — 50 мл/га.

5. С3 + ПОС + IV–V + опрыскивание растений на IX–X этапах органогенеза «Эпин-Экстра, Р» (С3 + ПОС + IV–V + IX–X) — 50 мл/га.

Предварительно (до начала проведения полевого опыта) на двух разных участках определяли фитотоксичность почвы согласно ГОСТ Р ISO 22030-2009⁴. Посев проводили на двух уровнях фитотоксичности почвы — низком (предшественник — озимые, идущие после занятого пара) и повышенном (предшественник — монокультура ячмень, бессменное возделывание 3–5 лет).

Почвы опытных участков серые лесные среднесуглинистые, содержание гумуса — 3,63% (ГОСТ 26213-2021⁵), Р₂O₅ — 197 мг/кг почвы, K₂O — 141 мг/кг почвы (ГОСТ Р 54650-2011⁶), pH — 5,3 (ГОСТ 26483-85⁷). СИ поверенные.

Посев проводили в оптимальные агротехнические сроки для ранних зерновых культур

центральных районов Нечерноземной зоны РФ. Агротехника общепринятая в технологии выращивания яровой пшеницы и ячменя. Норма высея семян яровой пшеницы и ячменя, соответственно, 600 шт. и 500 шт. всхожих семян на 1 м², глубина посева варьировалась от 3 до 7 см. Посевная площадь делянок 110 м², учетная — 75 м², повторность четырехкратная.

Фенологические наблюдения, учеты, морфометрические параметры растений выполняли в соответствии с методикой Госсорткомиссии⁸. Чистую продуктивность фотосинтеза определяли как прирост сухой массы растений (в г) за определенное время (сутки), отнесеный к единице листовой поверхности (м²), содержание хлорофилла — фотоколориметрическим методом (ФЭК-56М, Россия), массу 1000 зерен — по ГОСТ ISO 520-2014⁹.

Метеорологические условия в годы проведения полевых опытов были выраженным контрастными как по годам вегетации, так и внутри каждого вегетационного периода. Вегетационный период 2018 года характеризовался экстремально засушливым с ранних этапов онтогенеза до завершения формирования урожая, тогда как многолетние значения температурного режима незначительно отклонялись от средних значений. В среднем за весь период вегетации ГТК = 0,63.

Агроклиматические условия 2020 года отличались повышенным выпадением осадков, превышающим в 1,5–1,9 раза климатическую норму, при температуре воздуха ниже нормы на 1,0–1,3 °C. Все фазы роста и развития у зерновых культур протекали при благоприятных метеорологических условиях. За вегетацию ГТК составил 1,44.

Погодные условия 2019, 2021, 2022 гг. сопровождались неравномерным выпадением осадков в течение всего периода вегетации, особенно на ранних этапах онтогенеза в 2019 г. и 2021 г., когда количество осадков не превышало 45–60% нормы. У растений отмечали признаки засухи и выраженного дефицита влаги.

Нестабильность водного режима сопровождалась формированием у растений гидротермического стресса, нарушением сопряженности связей морфогенеза с продукционным процессом.

В отдельные фазы роста и развития метеорологические показатели 2022 г. были близки к многолетним значениям. ГТК в среднем за весь период вегетации варьировал от 0,83 до 0,91.

Статическую обработку биометрических показателей растений выполняли с использованием критерия Стьюдента, различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$, урожайные данные — методом дисперсионного анализа¹⁰.

⁴ ГОСТ Р ИСО 22030-2009 Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений.

⁵ ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества.

⁶ ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

⁷ ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО.

⁸ Методика государственного сортос испытания сельскохозяйственных культур. 1989.

⁹ ГОСТ ISO 520-2014 Зерновые и бобовые. Определение массы 1000 зерен.

¹⁰ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 1985.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результатами 5-летних опытов выявлена устойчивая тенденция более динамичного прорастания семян и формирования всходов яровой пшеницы и ячменя при сочетании скрининга и стрессозащитного послеуборочного хранения (табл. 1).

Скрининг и стрессозащитное послеуборочное хранение семян сопровождалось выраженным увеличением числа всходов на почве с низкой фитотоксичностью в стадии шильца у яровой пшеницы и ячменя к контролю по годам вегетации — соответственно, на 3,3–9,2% и 1,3–7,8% или в среднем за 5 лет на 6,1% и 3,7%. В фазе 2 листьев (полные всходы) различия в интенсивности формирования всходов между опытными вариантами и контролем уменьшились до 2,7% и 1,5% соответственно.

На почвах с повышенной фитотоксичностью (количество проросших семян овса было на 7,3–10,4% меньше по сравнению с менее фитотоксичной почвой) превышение числа всходов в стадии шильца к контролю варьировало по годам вегетации у яровой пшеницы от 3,8 до 9,4%, ячменя — от 1,9 до 8,3%, в среднем за 5 лет, соответственно, 6,4% и 3,5%. При формировании полных всходов

их число было больше, чем в контроле: у яровой пшеницы — на 8,2%, у ячменя — на 4,1%. Следовательно, более фитотоксичная почва, как эдафический стрессовый фактор хронического воздействия, в большей степени подавляла процессы роста на ранних этапах онтогенеза у проростков яровой пшеницы и ячменя контрольного варианта, что свидетельствует об их меньшей стрессоустойчивости по сравнению с проростками семян опытного варианта.

Совместное использование скрининга, стрессозащитного хранения с последующей предпосевной обработкой семян полифункциональным регулятором роста со свойством стресспротектора пролонгировало защитный эффект прорастания семян, обеспечивало повышение всхожести у зерновых культур — как при низкой, так и при повышенной фитотоксичности почвы.

Количество всходов на стадии шильца в опытных вариантах варьировало в зависимости от метеорологических условий по годам вегетации на почве с пониженной фитотоксичностью с превышением к контролю у яровой пшеницы на 6,4–12,5% и ячменя 4,0–11,0%, в среднем за 5 лет — на 9,4% и 6,2%. В фазу 2 листьев всхожесть семян в опытных вариантах в среднем за 5 лет была

Таблица 1. Динамика формирования всходов яровой пшеницы и ячменя в зависимости от условий хранения, предпосевной обработки семян и фитотоксичности почвы, %

Table 1. Dynamics of spring wheat and barley seedlings formation depending on storage conditions, pre-sowing treatment and soil phytotoxicity, %

Фактор А (фитотоксичность почвы)	Фактор Б (варианты опыта)	2018		2019		2020		2021		2022		Средние за 5 лет	
		стадия шильца	фаза 2 листьев	стадия шильца	фаза 2 листьев								
Яровая пшеница													
Низкая	Контроль	39,4±2,7	67,2±2,2	62,5±2,4	81,4±1,9	74,1±2,3	87,6±1,8	58,7±2,5	83,0±1,5	51,2±2,1	79,5±2,7	57,2±2,2	79,7±2,4
	C3	45,8±2,1*	70,4±1,9	67,8±2,4*	83,2±2,0	77,4±1,6	89,1±1,7*	65,1±2,6*	86,7±1,7*	60,4±2,3*	82,6±3,2	63,3±2,3*	82,4±2,5
	C3 + ПОС	50,1±2,3*	72,9±2,5*	69,9±1,8*	86,7±2,6*	80,5±3,0*	92,7±1,5*	68,8±2,1*	88,4±1,9*	63,7±3,0*	87,4±2,7*	66,6±2,5*	85,6±2,6*
	C3 + ПОС + IV-V	51,3±1,9*	73,4±1,7*	70,2±2,3*	85,9±2,2*	81,0±2,7*	91,8±1,9*	2,6±69,3*	88,6±3,1*	65,1±2,1*	87,2±3,1*	67,3±2,6*	85,4±2,2*
	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	79,7±2,5*	72,5±2,2*	69,3±2,5*	86,1±1,8*	82,4±3,3*	92,6±2,4*	68,7±1,7*	87,5±2,2*	64,6±2,7*	86,4±2,1*	66,9±3,2*	85,0±1,9*
Ячмень	Контроль	37,3±1,5	65,8±2,0	58,7±2,3	78,6±1,6	67,8±2,0	85,4±1,8	61,2±1,3	79,6±2,4	49,4±1,7	80,2±2,1	54,9±1,8	78,0±2,1
	C3	45,1±1,9*	70,0±2,1*	60,0±1,6	80,1±1,9	69,5±1,5	87,2±1,7	65,3±1,5*	82,3±2,1	53,0±1,5*	83,4±1,9	58,6±1,7*	80,5±1,9
	C3 + ПОС	48,3±1,8*	74,5±2,3*	62,7±1,5*	82,4±1,7*	72,4±2,1*	90,3±1,3*	67,0±1,7*	84,9±2,2*	55,3±1,6*	85,7±2,1*	61,1±1,9*	83,6±2,0*
	C3 + ПОС + IV-V	47,8±3,1*	75,1±2,8*	63,4±2,0*	83,2±1,5*	71,9±1,9*	90,6±1,6*	68,2±2,4*	85,4±3,1*	54,7±1,7*	86,5±2,3*	61,2±9,1*	84,1±2,3*
	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	49,1±2,7*	74,7±1,8*	62,8±1,6*	82,8±2,4*	73,5±3,1*	91,4±1,8*	67,1±1,5*	84,3±1,9*	55,2±2,1*	85,4±2,7*	61,5±2,2*	83,7±2,1*
Яровая пшеница													
Повышенная	Контроль	22,5±3,7*	52,6±2,6*	55,4±1,5*	61,0±2,4*	67,8±1,9*	70,3±2,6*	44,9±1,4*	65,2±3,2*	37,8±2,8*	62,3±3,1*	46,1±2,7*	62,3±2,9*
	C3	31,9±3,1*	62,1±2,9*	60,7±1,8*	68,8±2,2*	72,0±2,1*	79,4±2,5*	53,6±1,6*	72,5±2,9*	44,5±2,5*	69,8±2,2*	52,5±2,9*	70,5±3,3*
	C3 + ПОС	36,4±3,3*	68,0±3,2*	63,9±1,7*	71,7±3,1*	74,5±2,3*	81,7±1,8*	56,8±2,2*	74,9±3,1*	47,6±2,9*	72,9±1,8*	55,8±2,6*	73,8±3,1*
	C3 + ПОС + IV-V	35,5±2,7*	68,6±3,4*	64,1±2,3*	71,5±2,6*	75,2±3,3*	82,7±2,5*	57,3±1,7*	73,8±2,8	48,4±2,6*	72,2±2,1*	56,1±2,3*	73,7±7,5*
	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	37,0±3,1*	69,2±2,0*	63,4±1,9*	72,8±3,2*	74,9±2,6*	81,6±2,1*	56,5±1,9*	75,1±3,3*	48,1±2,4*	73,3±1,9*	55,9±2,2*	74,4±2,7*
Ячмень	Контроль	31,5±1,9	59,0±3,1	51,7±2,2	65,1±2,4	59,2±1,6	74,9±3,3	56,4±2,1	73,8±1,7	39,5±3,2	68,8±2,3	47,9±2,2	68,3±2,5
	C3	33,4±1,6	63,4±2,7	56,3±1,6*	69,2±1,7*	62,7±2,3	78,6±2,8	58,9±1,8	75,6±1,5*	47,8±2,4*	74,4±2,5	51,4±2,1	72,2±1,6
	C3 + ПОС	37,0±2,1*	66,6±2,5*	59,7±1,8*	74,4±2,1*	67,4±2,9*	81,5±3,3*	61,8±2,1*	79,0±1,8*	49,3±3,1*	77,2±2,7*	54,8±2,4*	75,7±2,8*
	C3 + ПОС + IV-V	36,4±1,9*	67,5±3,0*	58,9±1,5*	74,9±2,3*	68,5±2,8*	80,8±2,4*	61,5±1,7*	79,6±1,6*	49,7±3,2*	77,4±2,8*	55,0±2,3*	76,0±2,7*
	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	38,1±2,3*	66,3±2,1*	59,4±1,7*	75,1±3,2*	67,8±2,5*	81,2±2,7*	60,9±1,4*	78,4±1,9*	50,3±3,7*	77,1±2,2*	55,3±2,5*	75,6±2,5*

Примечание: * статистически значимые различия с контролем при $p \leq 0,05$.

больше контроля у яровой пшеницы на 5,9%, у ячменя на 5,6%.

Абсолютные показатели числа всходов у обеих культур во всех вариантах опыта уменьшились с повышением фитотоксичности почвы, но при этом их число относительно контроля было стабильно большим, чем на низкофитотоксичной почве. Так, среднее число всходов в стадии шильца в опытных вариантах было больше, чем в контроле: у яровой пшеницы — на 9,7%, у ячменя — 6,9%, в фазе 2 листьев, соответственно, на 11,5% и 7,4%. То есть происходило увеличение относительной стрессоустойчивости проростков семян опытных вариантов к контролю на почвах с повышенной фитотоксичностью по сравнению с их стрессоустойчивостью на почвах с низкой

фитотоксичностью. Это объясняется более сильным угнетением прорастания семян контроля на более фитотоксичной почве.

Последовательная цепь превентивных приемов стрессозащиты включала обработку растений на IV–V этапах органогенеза регулятором роста и индуцировала интенсивный линейный рост нижних междуузлий, а также активизировала и дифференциацию потенциально возможного числа цветков в колосе (табл. 2).

В результате при контрастных по годам метеорологическим условиям в опытном варианте в фазу выхода в трубку при интенсивном линейном росте нижних междуузлий значительно повышалась наземная фитомасса растений у обеих злаковых культур, что было наиболее выражено в

Таблица 2. Влияние элементов стрессозащиты на побегообразование и накопление фитомассы растениями яровой пшеницы и ячменя (фаза «кущение – выход в трубку»)

Table 2. The effect of stress protection elements on shoot formation and accumulation of phytomass by spring wheat and barley plants (tiller phase – exit into the tube")

Фактор А (фитотоксичность почвы)	Фактор Б (варианты опыта) 2018 коэффициент кущения фитомасса, г/м ²	Год										Средние за 5 лет	
		2019		2020		2021		2022		2023			
		коэф- фициент кущения	фито- масса, г/м ²										
Яровая пшеница													
Низкая	Контроль	1,44	276±14	1,56	341±15	1,75	446±19	1,60	365±17	1,69	397±16	1,61 365/-100%	
	C3	1,49	290±11 105,1	1,61	357±18 104,7	1,78	467±16 104,2	1,63	378±20 103,6	1,72	406±15 102,2	1,65 379/103,8	
	C3 + ПОС	1,52	301±17 108,7	1,63	369±20 108,2	1,84	482±20 107,7	1,68	383±16 105,1	1,75	414±18 104,3	1,68 389/106,6	
	C3 + ПОС + IV–V этапы органогенеза	1,53	314±18* 113,4	1,64	381±20* 111,7	1,87	489±21* 109,3	1,69	402±19* 110,2	1,77	441±23* 111,1	1,70 405/110,9	
	C3 + ПОС + IV–V + IX–X	1,53	317±16* 114,8	1,65	380±22* 111,4	1,84	493±23* 110,5	1,71	401±18* 109,8	1,80	445±21* 112,1	1,70 407/111,5	
	Ячмень												
Повышенная	Контроль	1,69	215±11	1,93	274±13	2,18	369±16	2,01	280±12	1,80	324±14	1,92 292	
	C3	1,73	225±11 104,6	1,95	287±12 105,0	2,21	383±17 103,8	2,09	297±13 106,1	1,81	334±15 102,4	1,96 305/104,4	
	C3 + ПОС	1,75	232±13 107,9	1,95	298±11 108,7	2,25	399±15 108,1	2,17	300±14 107,1	1,83	342±12 105,6	1,98 314/107,5	
	C3 + ПОС + IV–V этапы органогенеза	1,77	238±12* 110,7	2,04	305±13* 111,3	2,26	403±16* 109,2	2,19	315±13* 112,5	1,84	349±12 107,7	2,01 322/110,3	
	C3 + ПОС + IV–V + IX–X	1,76	235±13* 109,3	2,06	306±15* 111,5	2,25	400±14* 108,4	2,20	315±11* 112,5	1,85	350±13* 108,0	2,02 321/109,9	
	Яровая пшеница												
	Контроль	1,21	229±15	1,38	254±17	1,65	322±21	1,44	274±14	1,52	305±19	1,44 276	
	C3	1,25	246±16 107,3	1,41	267±15 105,1	1,68	330±19 102,6	1,48	290±13 105,9	1,55	325±15 106,5	1,47 291/105,4	
	C3 + ПОС	1,30	285±18 112,8	1,45	277±18 108,9	1,70	339±20 105,4	1,51	295±15 107,8	1,58	333±17 109,1	1,51 300/108,7	
	C3 + ПОС + IV–V этапы органогенеза	1,32	285±23* 124,4	1,46	290±17* 117,3	1,73	361±23 112,1	1,54	327±18* 119,4	1,60	351±21* 115,1	1,53 323/116,9	
	C3 + ПОС + IV–V + IX–X	1,34	288±21* 125,7	1,47	294±20* 115,7	1,75	363±16* 112,7	1,53	325±19* 118,6	1,61	350±23* 114,7	1,54 324/117,3	
	Ячмень												
	Контроль	1,52	184±12	1,63	242±15	1,87	315±14	1,72	245±11	1,75	291±14	1,69 255	
	C3	1,57	198±11 107,6	1,67	259±17 107,0	1,90	329±15 104,4	1,75	262±12 106,9	1,76	306±15 105,1	1,73 271/106,3	
	C3 + ПОС	1,61	208±13 113,0	1,74	268±16 110,7	1,92	347±16 110,1	1,80	274±14 111,8	1,81	315±16 108,2	1,77 282/110,5	
	C3 + ПОС + IV–V этапы органогенеза	1,61	214±15* 116,3	1,75	276±16* 114,1	1,93	355±21* 112,7	1,80	277±11* 113,1	1,81	324±15* 112,3	1,78 289/113,5	
	C3 + ПОС + IV–V + IX–X	1,62	218±16* 118,4	1,76	274±15* 113,2	1,92	359±19* 113,9	1,81	275±14* 112,2	1,82	326±16* 112,0	1,79 290/113,7	

Примечание: * статистически значимые различия с контролем при $p \leq 0,05$; числитель — фитомасса, в г/м²; знаменатель — % к контролю.

засушливом 2018 г. и при дефиците влаги весеннего периода 2019 г. на почве с повышенной фитотоксичностью. Прибавка фитомассы к контролю в данном варианте варьировала: у растений яровой пшеницы — 17,3–24,4%, ячменя — 14,1–16,3%, тогда как на почве с низкой фитотоксичностью, соответственно, 11,7–13,9% и 10,7–11,3%.

Среднее за 5 лет увеличение фитомассы на почве низкой фитотоксичности у растений яровой пшеницы составило 10,9%, ячменя — 10,3%, с повышенной фитотоксичностью почвы — соответственно, 16,9% и 13,5%. Побегообразование в фазу кущения во всех опытных вариантах сопровождалось слабовыраженным увеличением коэффициента кущения на 0,03–0,09, то есть морфогенез у растений был более консервативный, чем нарастание наземной фитомассы. Полученные данные указывают, что используемый регулятор роста стимулирует процессы роста и синтеза фитомассы и в меньшей степени оказывает влияние на морфогенез.

Применение «Эпин-Экстра» в критические этапы органогенеза (цветение, оплодотворение, формирование зерновок) в резко контрастных метеорологических условиях обеспечивало наиболее полную реализацию физиологической программы фотосинтеза и пролонгировало защитный эффект, индуцированный в предыдущих фазах роста и развития (табл. 3).

Листовой индекс посевов, обработанных регулятором роста в фазу «цветение — формирование зерновок», существенно превышал контроль в зависимости от фитотоксичности почвы: у яровой пшеницы — 16,7–23,1%, у ячменя — 13,1–17,1%. Площадь флаговых листьев, фотосинтетическая деятельность которых обеспечивает питание и развитие зерновок пластическими веществами, была значительно больше контроля: у яровой пшеницы — на 19,5–26,7%, у ячменя — на 16,9–20,9%.

Ответная реакция растений на обработку регулятором роста сопровождалась повышением чистой продуктивности фотосинтеза у яровой пшеницы (на 8,5–8,9%) и ячменя (на 7,1–7,6%) и суммарным повышением содержания хлорофилла «а» и «б» во флаговых листьях, соответственно, на 23,1% и 21,9%, создавая предпосылки увеличения продолжительности по времени ассимиляционной деятельности листового аппарата и активности фотосинтеза (табл. 4).

Таблица 3. Показатели фотосинтетической деятельности растений яровой пшеницы и ячменя в условиях антистрессовой защиты (фаза «цветение — формирование зерновки»), 2018–2022 гг.

Table 3. Indicators of photosynthetic activity of spring wheat and barley plants under conditions of anti-stress protection (“flowering — grain formation” phase), 2018–2022

Фактор А (фитотоксичность почвы)	Фактор Б (варианты опыта)	Листовой индекс посевов	Листовой индекс флаговых листьев растений	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² /сут.	Содержание хлорофилла в флаговом листе, %
Яровая пшеница					
Низкая	K	1,43±0,07	0,87±0,04	4,03±0,17	0,52±0,04
	C3	1,47±0,06	0,90±0,04	4,09±0,18	0,53±0,03
	C3 + ПОС	1,49±0,07	0,92±0,05	4,15±0,15	0,53±0,04
	C3 + ПОС + IV-V	1,59±0,08*	1,01±0,07*	4,22±0,17	0,61±0,05
	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	1,67±0,11*	1,04±0,07*	4,39±0,19*	0,64±0,05*
Ячмень					
	K	1,22±0,06	0,71±0,04	3,82±0,14	0,41±0,03
	C3	1,24±0,05	0,74±0,03	3,85±0,20	0,42±0,03
	C3 + ПОС	1,25±0,06	0,75±0,04	3,90±0,21	0,45±0,04
	C3 + ПОС + IV-V	1,34±0,06*	0,81±0,05*	4,03±0,19	0,49±0,04
	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	1,38±0,07*	0,83±0,06*	4,11±0,12*	0,50±0,05*
Повышенная					
	Яровая пшеница				
	K	1,17±0,05	0,56±0,04	3,62±0,14	0,37±0,03
	C3	1,21±0,07	0,60±0,05	3,67±0,15	0,39±0,04
	C3 + ПОС	1,26±0,06	0,63±0,05	3,74±0,13	0,40±0,03
	C3 + ПОС + IV-V	1,37±0,09*	0,68±0,07*	3,85±0,16	0,46±0,04*
	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	1,44±0,11*	0,71±0,09*	3,94±0,17*	0,51±0,05*
	Ячмень				
	K	1,05±0,04	0,43±0,03	3,24±0,11	0,29±0,03
	C3	1,08±0,05	0,45±0,03	3,26±0,11	0,31±0,03
	C3 + ПОС	1,11±0,05	0,47±0,04	3,35±0,13	0,33±0,04
	C3 + ПОС + IV-V	1,19±0,07*	0,50±0,04*	3,42±0,12	0,37±0,03*
	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	1,23±0,08*	0,52±0,05*	3,47±0,11*	0,42±0,04*

Примечание: * статистически значимые различия с контролем при $p \leq 0,05$.

Повышенный средний уровень продуктивности фотосинтеза в вариантах с обработкой регулятором роста растений яровой пшеницы 8,7% и ячменя 7,4% обеспечивал устойчивый и стабильный рост продуктивности зерновых культур в 2018, 2019, 2021 гг. при неблагоприятных метеорологических условиях в период вегетации, когда ГТК варьировал в диапазоне 0,63–0,81.

Рост урожайности зерна при пролонгированной антистрессовой защите в течение вегетационного периода на почве с низкой фитотоксичностью за 5 лет в среднем составил: у яровой пшеницы — 11,5% и 14,4%, или 0,44 т/га и 0,55 т/га, у ячменя — 8,4% и 11,7%, или 0,29 т/га и 0,41 т/га. Относительная прибавка урожая была максимальной на почве с повышенной фитотоксичностью и достигала, соответственно, 12,8–20,0% и 11,7–14,1%.

Повышение урожайности зерна происходило за счет увеличения продуктивности колоса и массы 1000 зерен в зависимости от вариантов опыта и фитотоксичности почвы, соответственно, на 5,3–8,9% и 4,3–6,7%. Число продуктивных победителей изменилось незначительно. Увеличение параметров репродуктивных органов, вероятно, было обусловлено повышенной аттрагирующей способностью под влиянием «Эпин-Экстра».

Таблица 4. Влияние пролонгированной стрессозащиты на урожайность зерновых культур, т/га
 Table 4. The effect of prolonged stress protection on grain yields, t/ha

Фактор А (фитотоксич- ность почвы)	Фактор Б (варианты опыта)	Год					Среднее за 5 лет	Прибавка к контролю, %	Элементы структуры урожая			масса 1000 зерен, г
		2018	2019	2020	2021	2022			число продуктивных стеблей, шт/м ²	продуктивность колоса	зерно, шт.	
Яровая пшеница												
Низкая	K	3,05	3,74	4,46	3,82	4,07	3,83	–	412	29,7	0,93	31,3
	C3	3,12	3,81	4,53	3,93	4,15	3,91	2,1	413	30,3	0,95	31,4
	C3 + ПОС	3,27	3,99	4,57	3,98	4,38	4,04	5,5	417	30,7	0,97	32,2
	C3 + ПОС + IV-V	3,59	4,27	4,76	4,29	4,44	4,27	11,5	419	31,2	1,02	33,0
	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	3,67	4,39	4,87	4,39	4,58	4,38	14,4	418	31,6	1,05	33,5
	Ячмень											
	K	2,88	3,31	3,85	3,69	3,74	3,49	–	396	20,9	0,88	42,1
	C3	2,95	3,36	3,91	3,78	3,84	3,57	2,2	397	21,2	0,90	42,2
	C3 + ПОС	3,04	3,46	4,07	3,84	3,93	3,67	5,1	400	21,5	0,92	42,7
	C3 + ПОС + IV-V	3,19	3,61	4,17	3,89	4,05	3,78	8,4	401	21,8	0,94	43,1
Повышенная	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	3,32	3,73	4,28	4,07	4,11	3,90	11,7	403	22,1	0,97	43,9
	Яровая пшеница											
	K	2,51	3,08	3,53	3,32	3,54	3,20	–	374	28,2	0,85	30,1
	C3	2,63	3,15	3,77	3,50	3,68	3,35	4,5	373	29,2	0,89	30,4
	C3 + ПОС	2,74	3,31	3,89	3,64	3,87	3,49	9,0	381	29,6	0,91	30,7
	C3 + ПОС + IV-V	3,02	3,53	3,96	3,74	3,83	3,61	12,8	385	30,0	0,93	30,9
	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	3,29	3,78	4,20	3,92	4,01	3,84	20,0	386	30,1	0,99	32,8
	Ячмень											
	K	2,63	3,17	3,52	3,24	3,31	3,17	–	381	20,0	0,83	41,3
	C3	2,69	3,24	3,59	3,34	3,38	3,25	2,5	384	20,2	0,84	41,4
Фактор А и Б – HCP _{0,05}	C3 + ПОС	2,80	3,36	3,67	3,41	3,50	3,35	5,7	387	20,7	0,86	41,5
	C3 + ПОС + IV-V	2,99	3,51	3,85	3,66	3,69	3,54	11,7	391	21,4	0,90	42,0
	C3 + ПОС + IV-V + IX-X	3,19	3,57	3,96	3,76	3,88	3,67	15,8	393	21,3	0,93	43,5
	Фактор А и Б – HCP _{0,05}	0,33	0,35	0,41	0,34	0,38						
Фактор А – HCP _{0,05}		0,26	0,29	0,34	0,30	0,31						
Фактор Б – HCP _{0,05}		0,19	0,21	0,30	0,24	0,27						

Выводы/Conclusions

Повышение устойчивости производственного процесса зерновых культур обеспечивал алгоритм пролонгированной стрессозащиты, который включал: отбор (скрининг) семян после уборки урожая зерновых культур для посевных целей с повышенной устойчивостью, последующий стрессозащитный режим хранения семян от уборки до посева, предпосевную обработку семян и растений в критические фазы роста и развития полифункциональным регулятором роста «Эпин-Экстра», обладающим свойством стрессопротектора. Более высокий стрессозащитный эффект отмечали в экстремальных погодных условиях на почвах с повышенной фитотоксичностью у яровой пшеницы.

Последовательное применение скрининга, антистрессового хранения семян и предпосевной обработки стимулировало прорастание семян в фазу шильца у яровой пшеницы (на 9,4–9,7%) и ячменя (на 5,3–7,4%), повышало полевую всхожесть, соответственно, на 5,9–11,5% и 5,6–7,4%.

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 пLAGIAT. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

Обработка растений регулятором роста на IV-V этапах органогенеза вызывала стабильное усиление нарастания фитомассы в зависимости от фитотоксичности почвы и вариантов опыта: у яровой пшеницы — на 9,3–24,4%, у ячменя — на 7,7–16,3%.

Последующая обработка растений на IX-X этапах сопровождалась устойчивым увеличением листовых индексов посевов, флаговых листьев и продуктивности фотосинтеза на почвах с низкой фитотоксичностью: у яровой пшеницы — 16,7%, 19,5%, 8,9% соответственно; у ячменя — 13,1%, 16,9%, 7,5%, соответственно, на почве с повышенной фитотоксичностью — 23,1%, 26,7%, 8,8%; 17,1%, 20,9%, 7,1%.

В среднем за 5 лет максимальная прибавка урожая зерна была получена на почвах с повышенной фитотоксичностью и составила: у яровой пшеницы — 20,0%, у ячменя — 15,8%, или 0,64 т/га и 0,50 т/га, что объясняется более сильным угнетением посевов контрольного варианта на данных почвах.

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. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Изменение климата и особенности селекции озимой мягкой пшеницы на продуктивность и адаптивность к нему. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2023; (1): 20–25. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/1/20-25>
2. Ионова Е.В., Лиховидова В.А., Лобунская И.А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы). *Зерновое хозяйство России*. 2019; (6): 18–22. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>
3. Долженко В.И., Лаптиев А.Б. Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность. *Плодородие*. 2021; (3): 71–75. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.13>
4. Саржевская Е.А. Молекулярные механизмы устойчивости растений к различным неблагоприятным стрессовым факторам. *Сборник трудов, приуроченных к Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.Т. Емцева*. М.: Российский государственный аграрный университет. 2024; 141–145. EDN ZRBFP
5. Кондратьев М.Н., Роньжина Е.С., Ларикова Ю.С. Влияние абиотических стрессов на метаболизм вторичных соединений в растениях. *Известия КГТУ*. 2018; 49: 203–219. <https://www.elibrary.ru/xngjoh>
6. Любанова А.Р., Безрукова М.В., Шакирова Ф.М. Взаимодействие сигнальных путей при формировании защитных реакций растений в ответ на стрессовые факторы окружающей среды. *Физиология растений*. 2021; 68(6): 563–578. <https://doi.org/10.31857/S0015533021060129>
7. Скворцова Ю.Г., Филиенко Г.А., Фирсова Т.И., Газе В.Л., Анисимова Н.Н. Влияние водного стресса на посевные качества семян и урожайность озимой пшеницы. *Зерновое хозяйство России*. 2017; (6): 52–55. <https://www.elibrary.ru/zxjnwh>
8. Голова Т.Г., Ершова Л.А., Кузьменко С.А. Формирование продуктивности ярового ячменя в стрессовых условиях. *Зернобобовые и крупыевые культуры*. 2022; (2): 98–105. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-2-98-105>
9. Чумикина Л.В., Арабова Л.И., Колпакова В.В., Топунов А.Ф. Роль фитогормонов в регуляции устойчивости семян пшеницы, ржи и тритикале к действию повышенных температур при прорастании. *Прикладная биохимия и микробиология*. 2019; 55(1): 77–85. <https://doi.org/10.1134/S0555109919010045>
10. Митрофанов Д.В. Влияние погодных условий, основной обработки почвы, продуктивной влаги и питательных веществ на урожайность зерновых культур. *Аграрный вестник Урала*. 2023; 23(8): 12–22. <https://www.elibrary.ru/briupg>
11. Скороходов В.Ю. Влияние температурного стресса на урожайность ячменя в Оренбуржье. *Аграрный вестник Урала*. 2023; 23(10): 11–21. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-11-21>
12. Волкова Л.В., Тулякова М.В. Влияние длительного эдафического стресса на характеристики проростков следующего поколения гибридов яровой пшеницы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021; 22(4): 466–476. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.466-476>
13. Трухачев В.И., Серегина И.И., Белопухов С.Л., Дмитревская И.И., Ахметзhanов Д.М. Защитно-стимулирующая роль циркона в формировании урожайности яровой пшеницы в условиях загрязнения почвы цинком. *Плодородие*. 2022; (2): 44–49. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.125.11>
14. Вакуленко В.В. Регуляторы роста растений повышают стрессоустойчивость культур. *Защита и карантин растений*. 2015; (2): 13–15. <https://www.elibrary.ru/thqii>
15. Горьков А.А., Павловская Н.Е., Сидоренко В.С. Эффективность использования биопрепаратов в повышении устойчивости озимой пшеницы к стрессам. *Вестник аграрной науки*. 2021; (2): 33–39. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.2.33>
16. Осипова Л.В., Верниченко И.В., Ромодина Л.В., Курносова Т.Л., Быковская И.А. Устойчивость ярового ячменя к абиотическому стрессу в зависимости от уровня минерального питания и предобработки семян селеном и кремнием. *Агробиология*. 2019; (7): 67–74. <https://doi.org/10.1134/S000218811907010X>
17. Левин В.И., Дудин Н.Н., Антипкина Л.А., Ушаков Р.Н. Состояние стресса у семян хлебных злаков и методика его диагностики. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020; (5): 28–38. <https://www.elibrary.ru/xvakqb>

REFERENCES

1. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Climate change and selection features of winter soft wheat on productivity and adaptability to it. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2023; (1): 20–25 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/1/20-25>
2. Ionova E.V., Likhovidova V.A., Lobunskaya I.A. Drought and hydrothermal humidity factor as one of the criteria to estimate its intensity degree (literature review). *Grain Economy of Russia*. 2019; (6): 18–22 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>
3. Dolzhenko V.I., Laptev A.B. Modern range of plant protection means: biological efficiency and safety. *Plodorodie*. 2021; (3): 71–75 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.13>
4. Sarzhevskaya E.A. Molecular mechanisms of plant resistance to various adverse stress factors. *Collection of works dedicated to the All-Russian Student Scientific and Practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of V.T. Yemtseva*. Moscow: Russian State Agrarian University. 2024; 141–145 (in Russian). EDN ZRBFP
5. Kondratiev M.N., Ronzhina E.S., Larikova Yu.S. Effect of abiotic stressors on secondary metabolism in plants. *KSTU News*. 2018; 49: 203–219 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xngjoh>
6. Lubyanova A.R., Bezrukova M.V., Shakirova F.M. Interaction between Signal Pathways upon Formation of Plant Defense in Response to Environmental Stress Factors. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2021; 68(6): 989–1002. <https://doi.org/10.1134/S1021443721060121>
7. Skvorcova Yu.G., Flenko G.A., Firsova T.I., Gaze V.L., Anisimova N.N. The effect of water stress on quality and productivity of winter wheat seeds. *Grain Economy of Russia*. 2017; (6): 52–55 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zxjnwh>
8. Golova T.G., Ershova L.A., Kuzmenko S.A. Formation of productivity of spring barley under stressful conditions. *Legumes and grain crops*. 2022; (2): 98–105 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-2-98-105>
9. Chumikina L.V., Arabova L.I., Kolpakova V.V., Topunov A.F. The Role of Phytohormones in the Regulation of the Tolerance of Wheat, Rye, and Triticale Seeds to the Effect of Elevated Temperatures during Germination. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2019; 55(1): 59–66. <https://doi.org/10.1134/S0003683819010046>
10. Mitrofanov D.V. Influence of weather conditions, basic tillage, productive moisture and nutrients on the yield of grain crops. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23(8): 12–22 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/briupg>
11. Skorokhodov V.Yu. The effect of temperature stress on the barley yield in the Orenburg region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23(10): 11–21 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-11-21>
12. Volkova L.V., Tulyakova M.V. The effect of long-term edaphic stress on the characteristics of next generation of spring wheat hybrids seedlings. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22(4): 466–476 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.466-476>
13. Trukhachev V.I., Seregina I.I., Belopukhov S.L., Dmitrevskaya I.I., Akhmetzhanov D.M. Protective and stimulating role of growth regulator in formation of spring wheat yield in conditions of soil contamination with zinc. *Plodorodie*. 2022; (2): 44–49 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.125.11>
14. Vakulenko V.V. Plant growth regulators improve stress tolerance of crops. *Plant protection and quarantine*. 2015; (2): 13–15 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/thqii>
15. Gorkov A.A., Pavlovskaya N.E., Sidorenko V.S. The efficiency of the use of biopreparations in increasing winter wheat resistance to the stress. *Bulletin of agrarian science*. 2021; (2): 33–39 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.2.33>
16. Osipova L.V., Vernichenko I.V., Romodina L.V., Kurnosova T.L., Bykovskaya I.A. Spring barley resistance to abiotic stress, depending on the level of mineral nutrition and preprocessing of seeds by selenium and silicon. *Agricultural Chemistry*. 2019; (7): 67–74 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S000218811907010X>
17. Levin V.I., Dudin N.N., Antipkina L.A., Ushakov R.N. The state of stress in cereal seeds and methods for its diagnosis. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2020; (5): 28–38 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xvakqb>

18. Levin V., Antipkina L., Stupin A., Dudin N. Modifying the effect of stressed spring wheat seeds on intact ones. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 699: 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/699/1/012015>
19. Stupin A.S., Levin V.I. Prospects for the use of prolonged stress protection in the spring wheat cultivation. *BIO Web of Conferences*. 2024; 108: 22001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410822001>
20. Pirredda M., González-Benito M.E., Martín C., Mira S. Genetic and Epigenetic Stability in Rye Seeds under Different Storage Conditions: Ageing and Oxygen Effect. *Plants*. 2020; 9(3): 393. <https://doi.org/10.3390/plants9030393>
21. Trusiaik M., Plitta-Michalak B.P., Michalak M. Choosing the Right Path for the Successful Storage of Seeds. *Plants*. 2023; 12(1): 72. <https://doi.org/10.3390/plants12010072>
22. Левин В.И., Ступин А.С. Механизм ингибирования интактных семян яровой пшеницы, индуцированный хранением с травмированными и поврежденными зерновками. *Аграрная наука*. 2025; (4): 121–128. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-121-128>
18. Levin V., Antipkina L., Stupin A., Dudin N. Modifying the effect of stressed spring wheat seeds on intact ones. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 699: 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/699/1/012015>
19. Stupin A.S., Levin V.I. Prospects for the use of prolonged stress protection in the spring wheat cultivation. *BIO Web of Conferences*. 2024; 108: 22001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410822001>
20. Pirredda M., González-Benito M.E., Martín C., Mira S. Genetic and Epigenetic Stability in Rye Seeds under Different Storage Conditions: Ageing and Oxygen Effect. *Plants*. 2020; 9(3): 393. <https://doi.org/10.3390/plants9030393>
21. Trusiaik M., Plitta-Michalak B.P., Michalak M. Choosing the Right Path for the Successful Storage of Seeds. *Plants*. 2023; 12(1): 72. <https://doi.org/10.3390/plants12010072>
22. Levin V.I., Stupin A.S. The mechanism of suppression of intact spring wheat seeds induced by storage with injured and damaged grains. *Agrarian science*. 2025; (4): 121–128 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-121-128>

ОБ АВТОРАХ

Александр Сергеевич Ступин

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры селекции, семеноводства и агрохимии
stupin32@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0548-6313>

Виктор Иванович Левин

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры селекции, семеноводства и агрохимии
levin-49@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9587-0556>

Людмила Анатольевна Антипкина

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесного дела и садоводства
latalanova@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6933-8833>

Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева,
ул. им. Костычева, 1, Рязань, 390044, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Alexander Sergeevich Stupin

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Breeding, Seed Production and Agrochemistry
stupin32@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0548-6313>

Viktor Ivanovich Levin

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Breeding, Seed Production and Agrochemistry
levin-49@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9587-0556>

Lyudmila Anatolyevna Antipkina

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry and Horticulture
latalanova@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6933-8833>

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev,
1 Kostychev Str., Ryazan, 390044, Russia



VII СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ФОРУМ-ВЫСТАВКА ПЛОДЫ И ЯГОДЫ РОССИИ 2025

30-31 ОКТЯБРЯ 2025 г. / СОЧИ



Организатор форума

ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ:

- Новые направления в отрасли садоводства и виноградарства
- Перспективы отрасли плодоводства и виноградарства
- Технологии хранения и предпродажной подготовки фруктов и ягод
- Инфраструктура сбыта плодов и ягод. Как реализовать?
- Переговоры с сетями
- Государственная поддержка развития плодово-ягодной отрасли

АУДИТОРИЯ ФОРУМА

Предприятия фруктового садоводства, виноградарства и ягодоводства; Компании, производящие удобрения; Предприятия по переработке и хранению плодовоощной продукции; Крестьянские фермерские хозяйства, выращивающие плодово-ягодные культуры открытого грунта; Крупнейшие агропарки и оптово-распределительные центры; Представители крупнейших торговых сетей; Госорганы; Представители профильных ассоциаций и союзов.

По вопросам участия:

+7 (909) 450-36-10
+7 (960) 476-53-39
+7 (968) 800-53-39

e-mail: events@agbz.ru

Регистрация на сайте: fruitforum.ru



УДК 633.522:631.527

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-99-105

Т.А. Базанов ✉

И.В. Ушаповский

Н.Н. Логинова

Е.В. Минина

П.Д. Вересова

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

✉ t.bazanov@fnclk.ru

Поступила в редакцию: 23.06.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Базанов Т.А., Ушаповский И.В.,
Логинова Н.Н., Минина Е.В., Вересова П.Д.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-99-105

Taras A. Bazanov ✉

Igor V. Ushapovsky

Natalya N. Loginova

Ekaterina V. Minina

Polina D. Veresova

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

✉ t.bazanov@fnclk.ru

Received by the editorial office: 23.06.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

© Базанов Т.А., Ушаповский И.В.,
Логинова Н.Н., Минина Е.В., Вересова П.Д.

Использование гексануклеотидных SSR-маркеров для молекулярно-генетической паспортизации конопли посевной

РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрена проблема молекулярно-генетической паспортизации сортов конопли посевной (*Cannabis sativa L.*). Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки эффективных методов определения генетической идентичности растений и контроля подлинности посевного материала в условиях интенсивного развития селекционной работы.

Цель исследования — разработать комплекс SSR-маркеров, который позволит обеспечить надежную дифференциацию сортов конопли посевной для селекционно-семеноводческой работы и молекулярно-генетической паспортизации. В работе представлены результаты анализа двенадцати сортов однодомной технической конопли среднерусского экотипа с использованием двух наборов SSR-маркеров: высокополиморфных динуклеотидных маркеров, а также разработанных гексануклеотидных микросателлитных маркеров. Исследование включало выделение ДНК, ПЦР-амплификацию, детекцию аллелей и статистическую обработку данных. Полученные результаты показали крайне высокий уровень внутрисортового полиморфизма при использовании высокополиморфных маркеров, что затрудняет их применение для генетической паспортизации. Разработанный комплекс из 10 гексануклеотидных SSR-маркеров, охватывающих все хромосомы генома, позволил дифференцировать большинство образцов на уровне сортов.

Ключевые слова: конопля посевная (*Cannabis sativa L.*), молекулярно-генетическая паспортизация, SSR-маркеры, генетическая идентификация, селекция, ПЦР, дендрограмма

Для цитирования: Базанов Т.А., Ушаповский И.В., Логинова Н.Н., Минина Е.В., Вересова П.Д. Использование гексануклеотидных SSR-маркеров для молекулярно-генетической паспортизации конопли посевной. *Аграрная наука*. 2025; 398 (09): 99–105. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-99-105>

The use of hexanucleotide SSR-markers for molecular genetic certification of *Cannabis sativa L.*

ABSTRACT

This research addresses the urgent issue of molecular genetic certification of hemp (*Cannabis sativa L.*) varieties, crucial amid rapid breeding progress and expanding industrial use. The aim of the research is a development a complex of SSR markers that will ensure reliable differentiation of hemp varieties for breeding and seed production practices and molecular genetic certification. The work presents the results of the analysis of twelve varieties of monoecious industrial hemp of the Central Russian ecotype using two sets of SSR markers: highly polymorphic dinucleotide markers and developed hexanucleotide microsatellite markers. The study included DNA extraction, PCR amplification, allele detection and statistical data processing. The results obtained showed an extremely high level of intravarietal polymorphism when using highly polymorphic markers, which complicates their use for genetic certification. The developed complex of 10 hexanucleotide SSR markers covering all chromosomes of the genome made it possible to carry out intravarietal differentiation of samples.

Key words: *Cannabis sativa L.*, molecular genetic certification, SSR-markers, genetic identification, selection, PCR, dendrogram

For citation: Bazanov T.A., Ushapovsky I.V., Loginova N.N., Minina E.V., Veresova P.D. The use of hexanucleotide SSR-markers for molecular genetic certification of *Cannabis sativa L.*. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 99–105 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-99-105>

Введение/Introduction

Конопля посевная (*Cannabis sativa L.*) — однолетнее растение, которое на протяжении тысячелетий является одной из важнейших сельскохозяйственных культур. Она обладает уникальным комплексом полезных свойств и находит широкое применение в различных отраслях промышленности: текстильной, строительной, пищевой и фармацевтической.

Волокно конопли отличается высокой прочностью и износостойкостью, что делает его незаменимым материалом для производства канатов, веревок и технических тканей [1]; из него получают целлюлозу высокого качества [2], которая используется в производстве бумаги [3] и композитных материалов [4]. Семена конопли содержат до 35% ценного масла, богатого полиненасыщенными жирными кислотами, витаминами и минералами [5]. Наличие в ее тканях каннабиноидов, терпеноидов и других биологически активных веществ показывает перспективность использования производных конопли в лечении различных заболеваний, включая хронические боли, неврологические расстройства и воспалительные процессы [6, 7].

В условиях интенсивного развития селекционной работы и расширения ассортимента сортов возникает необходимость в новых эффективных методах определения генетической идентичности растений и контроля подлинности посевного материала. Современным направлением является молекулярно-генетическая паспортизация, использующая анализ ДНК для идентификации генотипов. Кроме того, молекулярные маркеры рассматривают в качестве действенного способа, защищающего права селекционера [8].

Одним из наиболее эффективных инструментов молекулярно-генетической паспортизации сельскохозяйственных культур на сегодняшний день являются SSR-маркеры. Они широко применяются для идентификации генотипов, сохранения генетических ресурсов, определения родственных связей и паспортизации [9–11].

Молекулярно-генетическая паспортизация конопли посевной (*Cannabis sativa L.*) ограничена рядом факторов. Внутрисортовой полиморфизм со средней генетической дистанцией 0,14 усложняет определение генетической однородности, а высокая пластичность генома и перекрестное опыление приводят к большому аллельному разнообразию даже у таких стабильных маркеров, как микросателлиты [12, 13]. Наличие каннабиноидов как метаболита (пределное содержание ТГК в сортах, включенных в реестр Госсорткомиссии, — 0,1%) требует специальных методов работы с материалом. Это обуславливает поиск новых подходов к выбору молекулярных маркеров.

В целях молекулярно-генетической паспортизации сельскохозяйственных культур с помощью SSR рекомендуются наиболее полиморфные ди- и тринуклеотидные микросателлитные маркеры, дающие большое количество информации о генетическом разнообразии. Однако чрезвычайно высокий внутрисортовой полиморфизм конопли посевной при таком подходе дифференцирует каждый исследуемый образец как индивидуальный генотип, позволяя лишь группировать так называемые сорта-популяции, что является препятствием для надежной генетической паспортизации. Необходим поиск микросателлитных последовательностей с минимальными внутри- и максимальными межсортовыми аллельными вариациями. Поскольку вариации в SSR-маркерах обусловлены ошибками репликации ДНК или неравным кроссинговером хромосом [14], можно предположить, что меньшую степень изменчивости дадут микросателлиты с большим количеством нуклеотидных оснований в паттерне, например гексануклеотидные повторы. Такие маркеры обладают меньшей частотой мутаций типа «вставка/делеция», минимальной склонностью к образованию вторичных структур, наименьшей вероятностью ошибок при репликации и, следовательно, сохраняют стабильность на протяжении большего числа поколений [15, 16]. Конечно, такие маркеры имеют и существенный недостаток — невысокую вариабельность результатов амплификации, что требует подбора большого количества локусов и снижает информативность данных о генетическом разнообразии. Однако для целей генетической паспортизации конопли такой метод может оказаться наиболее оптимальным.

Цель исследования — разработать комплекс SSR-маркеров, который позволит обеспечить надежную дифференциацию сортов конопли посевной для селекционно-семеноводческой работы и молекулярно-генетической паспортизации.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследование было проведено в 2024–2025 гг. в лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур» (далее — ФНЦ ЛК). Исходный материал представлен двенадцатью сортами однодомной технической конопли среднерусского экотипа, официально зарегистрированными в Государственном реестре селекционных достижений Российской Федерации. Информация о наименованиях сортов и оригиналатах приведена в таблице 1.

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 06.02.2020 г. № 101 «Об установлении сортов наркосодержащих растений, разрешенных для культивирования для производства используемых в медицинских целях и (или) ветеринарии наркотических средств и психотропных веществ, для культивирования в промышленных целях, не связанных с производством или изготовлением наркотических средств и психотропных веществ, а также требований к сортам и условиям их культивирования». Собрание законодательства Российской Федерации. 2020. (Опубликовано онлайн: 10.02.2020).

Материал для молекулярно-генетического анализа был получен из коллекции ФНЦ ЛК. Каждый сорт представлен восемью индивидуально отобранными образцами семян для обеспечения репрезентативности исследования.

Выделение ДНК из семян осуществлялось методом фенольно-хлороформной экстракции с применением цетилtrimетиламмония бромида (СТАВ-метод), что позволило получить высококачественный геномный материал, пригодный для последующего молекулярно-генетического анализа. Перед процедурой SSR-генотипирования концентрация выделенных образцов ДНК была доведена до значения 10 нг/мкл.

С целью подтверждения положения о сложностях применения высокополиморфных динуклеотидных SSR-маркеров для паспортизации конопли посевной все исследуемые генотипы сначала были проанализированы с применением линейки из шести флуоресцентно-меченых микросателлитных маркеров, использованных в работе C. Benkirane, M. Charif, C.M. Müller и др. [17] и показавших высокий уровень внутрисортовой изменчивости.

Поиск гексануклеотидных микросателлитных маркеров проводился на всех 10 хромосомах генома конопли с использованием программного обеспечения Krait2 (лицензия MIT) [18]. Основой для поиска маркеров служили последовательности FASTA геномов *Cannabis sativa* L. сортов Purple Kush и Finola из библиотеки NCBI² (GCA_000230575.5; GCA_003417725.2). Параметры были скорректированы для выявления идеальных гексануклеотидных мотивов с количеством повторов от 3 до 6. Для каждой хромосомы отбиралось 5–6 микросателлитных маркеров с различающимися мотивами. Праймеры к микросателлитам разрабатывались с помощью программного обеспечения Primer3plus. Критерии для разработки праймеров были следующими: длина — 19–24 пары оснований; содержание GC — 40–60%; предполагаемый размер ампликона — 100–300 пар оснований.

Амплификация исследуемых генотипов конопли посевной с использованием динуклеотидных SSR-маркеров проходила в соответствии с условиями, указанными в работе C. Benkirane, M. Charif, C.M. Müller и др. [17]. Амплификация с использованием подобранных гексануклеотидных SSR-маркеров проводилась по следующей программе: начальная денатурация — 3 мин при 95 °C; затем 30 циклов: денатурация при 95 °C — 30 с, отжиг праймеров в течение 30 с при температуре 61 °C, элонгация при 72 °C — 45 с; терминальная элонгация — 5 мин при 72 °C. Реакционная смесь для проведения ПЦР объемом 25 мкл состояла из следующих компонентов: 30 нг исследуемой ДНК, 2,5 мкМ MgCl₂, 200 мкМ dNTP, 1 единица Taq-полимеразы; количества

Таблица 1. Сорта конопли, используемые в эксперименте

Table 1. Researched *Cannabis sativa* L. varieties

№	Сорт	Оригинатор
1	Вера	
2	Сурская	ФНЦ ЛК / ООО «Коноплекс»
3	Надежда	
4	Людмила	ФНЦ ЛК
5	Милена	ООО «Коноплекс»
6	Роман	
7	Диана	ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого / ФНЦ ЛК / ООО «Мордовские пеньковые заводы»
8	Юлиана	
9	Гентус	ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого /
10	Димра	КФХ Пономаренко А.И.
11	Марго	
12	Ингреда	ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого / ФНЦ ЛК

прямого и обратного праймеров отдельных маркеров отличались и подбирались экспериментально.

Первичное определение полиморфных гексануклеотидных маркеров проводилось с использованием электрофореза в высокоразрешающем 8%-м полиакриламидном геле, состоящем из 30%-го раствора акриламида (2,7 мл), раствора 1×TBE-буфера (7,3 мл), 5 мкл раствора TEMED (N,N,N',N'-тетраметилэтилендиамин) и 50 мкл 10%-го раствора APS общим объемом 10 мл. Электрофорез проводился в 1×TBE-буфере в течение 60 мин при 100 В. Гели окрашивались бромистым этидием, фотографировались в ультрафиолете и анализировались с помощью программного обеспечения Quantity One (правообладатель Bio-Rad Laboratories, Inc., США). В ходе дальнейшего SSR-анализа для каждой хромосомы было отобрано по одному маркеру, показавшему наибольший полиморфизм. Прямые праймеры для этих маркеров были заново синтезированы с флуоресцентными метками и использованы для повторной амплификации исследуемых образцов.

Продукты амплификации с меченными праймерами денатурировались формамидом и разделялись методом капиллярного электрофореза с помощью генетического анализатора НАНОФОР 05 (ООО «НПФ Синтол», Россия) с использованием маркера молекулярного веса СД-450 (ООО «НПФ Синтол», Россия). Размеры амплифицированных фрагментов определяли с помощью программного обеспечения «ДНК-ФА» (ООО «НПФ Синтол», Россия). Для оценки полиморфизма микросателлитных локусов применялся индекс PIC (Polymorphic Index Content). Для построения дендрограмм генетического подобия использовано программное обеспечение DARwin v. 6 (правообладатель DARwin software, США).

² The National Center for Biotechnology Information.
URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения 15.09.2024).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В ходе анализа с использованием набора динуклеотидных маркеров выявлено варьирование числа аллелей на локус в диапазоне от 5 до 21 аллели. Из общего числа шести исследованных локусов четыре были идентифицированы как биаллельные. Аллельный спектр был представлен 70 аллелями. Среднее количество аллелей на локус составило 11,7 при вариабельности размера ампликонов от 88 до 362 пар нуклеотидов. Показатель полиморфной информативности (PIC) варьировался от 0,54 для локуса CSG13 до 0,95 для локуса CSG24, демонстрируя среднее значение 0,79 (табл. 2). С учетом меньшей выборки исследуемых образцов полученные данные хорошо согласуются с результатами работы [17].

Полученные данные были подвергнуты кластерному анализу. Дендрограмма генетического подобия исследованных образцов представлена на рисунке 1 и демонстрирует крайне высокий внутрисортовой полиморфизм для всех представленных образцов. Каждый исследованный генотип имеет собственный генетический профиль, который, сочетаясь некоторыми общими аллелями в различных локусах, образует соответствующие сортовые группы. Несмотря на выделенность сортовых групп, рассматривать такую систему маркеров для генетической паспортизации невозможно, поскольку нарушается принцип уникальности идентификации. Важно отметить, что высокополиморфные маркерные системы демонстрируют способность отражать определенные морфологические характеристики растений. В частности, на дендрограмме наблюдается характерная кластеризация сортовых групп по фенотипическому признаку окраски стебля. Выделяются три основные группы:

I — зеленостебельные сорта (Вера, Сурская, Надежда, Диана, Юлиана, Гентус);

II — желтостебельные разновидности (Димра, Марго, Ингреба);

III — современные сорта с промежуточным желто-зеленым окрасом стебля (Людмила, Милена, Роман).

Учитывая, что SSR-маркеры преимущественно отражают филогенетические взаимосвязи между исследуемыми образцами, наблюдаемая кластеризация сортов может быть обусловлена использованием селекционерами-оригинаторами близкородственного исходного материала. Это в значительной степени обусловлено ограниченностью генетического разнообразия доступного селекционного материала из-за существующих законодательных требований к минимальному содержанию ТГК.

Статистическая обработка данных позволила использовать комплексный подход к анализу полученных результатов. Метод кластерного анализа изначально базируется на предположении о наличии определенной структурной организации

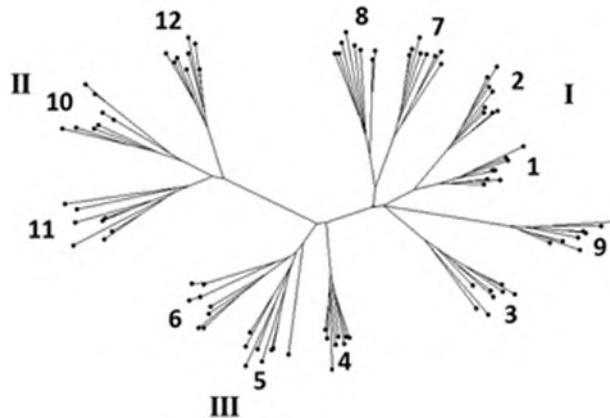
Таблица 2. Результаты оценки полиморфизма SSR-локусов у 12 сортов конопли посевной с помощью динуклеотидных маркеров

Table 2. The results of SSR-loci polymorphism in 12 varieties of *Cannabis sativa* L. using dinucleotide markers

Локус	Число аллелей	Размер аллелей (п. н.)	Частота основного аллеля	PIC
CSG01	9	202–220	0,361	0,78
CSG05	8	256–274	0,301	0,77
CSG12	21	114–208	0,167	0,89
CSG13	10	88–146	0,411	0,64
CSG18	5	192–200	0,347	0,69
CSG24	17	318–362	0,159	0,95
Среднее на локус	11,7		0,291	0,79

Рис. 1. Дендрограмма генетического подобия исследованных образцов конопли посевной, построенная по результатам SSR-анализа набором динуклеотидных маркеров. Цифрами на дендрограмме обозначены номера сортов в соответствии с таблицей 1

Fig. 1. Dendrogram of genetic similarity of the studied samples of *Cannabis sativa* L., constructed according to the results of SSR-analysis with dinucleotide markers. The numbers on the dendrogram indicate the numbers of varieties in accordance with Table 1



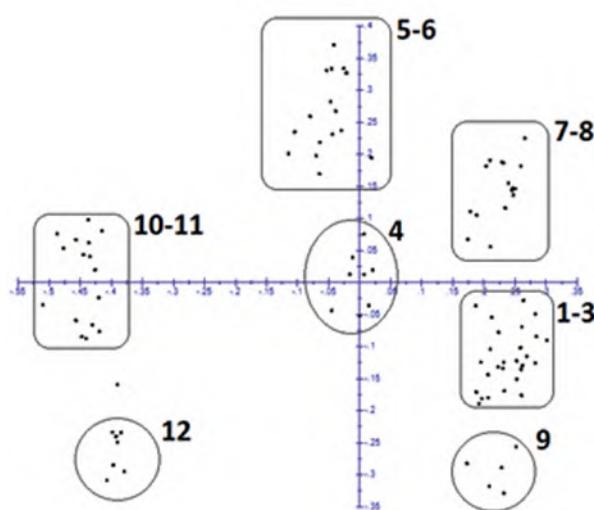
между исследуемыми объектами, независимо от характера их взаимосвязей. Метод главных компонент (Principal component analysis, PCA), как один из наиболее эффективных инструментов факторного анализа, расширяет возможности кластерного анализа; он не предполагает наличия иерархических связей между объектами и базируется на анализе корреляционных взаимосвязей между исследуемыми переменными. Результаты анализа представлены на рисунке 2.

PCA-метод позволил дополнить информацию об исследованных образцах. Факторный анализ показал, что сорта Людмила, Гентус и Ингреба (4, 9 и 12) характеризуются сортовой уникальностью. Остальные сорта образовали смешанные блоки.

Значительный интерес представляет определение полиморфных маркеров среди разработанных гексануклеотидных SSR-локусов. Всего было разработано и синтезировано 57 пар праймеров. ПЦР-амплификация с использованием этих праймеров показала полную эффективность протокола, все маркеры оказались результативными. Последующая электрофоретическая детекция и

Рис. 2. Результаты PCA-анализа набором динуклеотидных маркеров. Цифрами на дендрограмме обозначены номера сортов в соответствии с таблицей 1

Fig. 2. Results of PCA-analysis with a set of dinucleotide markers. The numbers on the dendrogram indicate the numbers of varieties in accordance with Table 1



анализ ампликонов продемонстрировали полиморфизм у 13 локусов на всех хромосомах генома. Далее из них были выбраны 10 маркеров с наибольшим уровнем полиморфизма при обязательном условии максимального охвата генома. Таким образом, для каждой из 10 хромосом было отобрано по одному полиморфному гексануклеотидному локусу, последовательности праймеров и паттерны которых приведены в таблице 3.

Молекулярно-генетическая оценка образцов конопли посевной была продолжена с применением отобранных гексануклеотидных SSR-маркеров.

Таблица 3. Характеристика отобранных гексануклеотидных SSR-маркеров, обладающих наибольшим уровнем полиморфизма

Table 3. Characteristics of selected hexanucleotide SSR markers with the highest level of polymorphism

SSR-маркер	Хромосома	Паттерн маркера	Последовательность праймеров (5'-3')
CSM4	1	(ATCAAT)5	F-CATTTCGGGTAAGTGATTGC R-TTGTGTTTCTTTAACAAATCGAA
CSM7	2	(TTGACT)5	F-GTGAATGGGCCAAATTCAA R-GGTCTTCAAAATCCCAAAGTCA
CSM13	3	(TTGACT)5	F-TTGACTTTCCGAGAGTGA R-CATTTCGCAAGCAAGTTCACA
CSM18	4	(AAAAAT)5	F-GGACACATGCGTTTTT R-TGGATTCAAAACACATTCACTCC
CSM24	5	(TTTGCC)5	F-GTCTTGGTGGTGGCTTT R-GATAACCTCGTGGAGGAGCA
CSM30	6	(AAAGTC)5	F-TCCCAAAGTCAAAAGTCACC R-GAATGGGCCAAATTCAA
CSM31	7	(GTTTGT)6	F-TCTTTTGTCTTGGCCCTTT R-CCCCCTGAGAAGCACAACATT
CSM37	8	(CTCAGC)5	F-GGCCAGGAGTTCTCTTCC R-GAGGAAATCTGCTGCTGCTC
CSM44	9	(GTATGT)6	F-TTTAAAAGCGTCGGGAAAC R-TCCATTACCCCTACACTAACTACACA
CSM56	10	(CCAAGC)5	F-AACCCCAAAATTCAAGGCTCT R-CCAGAGATGAAGACGGAGGA

Таблица 4. Результаты оценки полиморфизма SSR-локусов у 12 сортов конопли посевной с помощью гексануклеотидных маркеров

Table 4. Results of SSR-loci polymorphism assessment in 12 varieties of *Cannabis sativa* L. using hexanucleotide markers

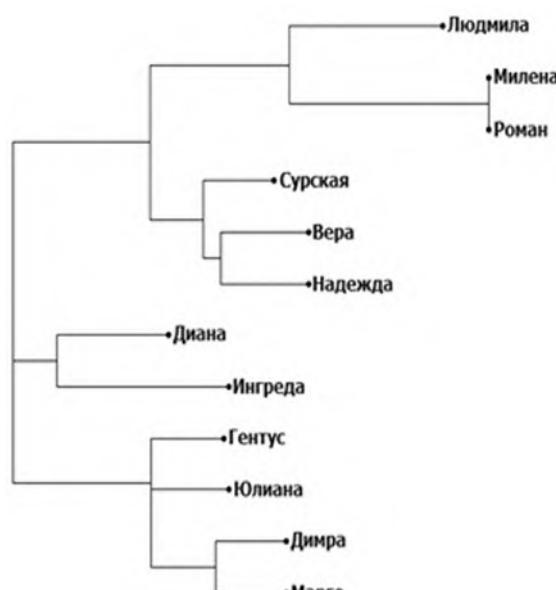
Локус	Число аллелей	Размер аллелей (п. н.)	Частота основного аллеля	PIC
CSM4	2	165–171	0,825	0,289
CSM7	2	232–238	0,56	0,493
CSM13	3	236–248	0,437	0,648
CSM18	2	190–196	0,685	0,432
CSM24	3	241–253	0,564	0,564
CSM30	3	220–232	0,665	0,467
CSM31	2	170–176	0,624	0,469
CSM37	2	199–205	0,55	0,495
CSM44	2	216–222	0,62	0,471
CSM56	2	213–218	0,815	0,302
Среднее на локус	2,3		0,635	0,463

Характеристика примененных маркеров (табл. 4) выявила 23 аллели с вариабельностью размера от 165 до 253 пар нуклеотидов. Число аллелей на локус варьировалось от 2 до 3, демонстрируя низкое значение 2,3 аллели на локус. Информационная ценность использованной системы маркеров была ограниченной. Коэффициент полиморфизма (PIC) варьировался от 0,289 (локус CSM4) до 0,648 (локус CSM13), демонстрируя среднее значение 0,463 на локус.

По результатам исследования полиморфизма образцов конопли десятью SSR-маркерами был выполнен кластерный анализ, на основании которого была построена дендрограмма генетического подобия, представленная на рисунке 3.

Рис. 3. Дендрограмма генетического подобия исследованных образцов конопли посевной, построенная по результатам SSR-анализа комплексом гексануклеотидных маркеров

Fig. 3. Dendrogram of genetic similarity of the studied samples of *Cannabis sativa* L., constructed according to the results of SSR-analysis with hexanucleotide markers



Использованный для анализа комплекс гексануклеотидных маркеров позволил дифференцировать большинство образцов исследуемой выборки на уровне сортов. Кластеризация выявила новые особенности в филогенетических отношениях исследуемых сортов конопли посевной. Сгруппированы сорта современной селекции (2020–2023 гг.) Людмила, Милена и Роман. Милена и Роман (оригинатор ООО «Коноплекс») данным комплексом маркеров не разделяются, что говорит о необходимости дальнейшего поиска стабильных дифференцирующих маркеров. Сорта Сурская, Вера и Надежда совместной селекции ФНЦ ЛК и ООО «Коноплекс» составили отдельную группу. Парно сгруппированы старые сорта Диана и Ингрела селекции ФНЦ ЛК и ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого. Последний кластер образуют сорта Гентус, Юлиана, Димра и Марго совместной разработки ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого и КФХ Пономаренко А.И.

Выводы/Conclusions

В ходе проведенного исследования был определен высокий уровень внутрисортового полиморфизма конопли посевной, что ограничивает использование высокополиморфных маркерных систем генетической паспортизации. Комбинация кластерного анализа и метода главных компонент позволила более объективно рассмотреть уровень генетического разнообразия образцов

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 plagiat.
Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме FGSS-2024-0002.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gedik G., Avinc O. Hemp Usage in Textile Industry. Belwal T., Belwal N.C. (eds.). *Revolutionizing the Potential of Hemp and Its Products in Changing the Global Economy*. Cham: Springer. 2022; 69–95.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-05144-9_4
2. Ahmed A.T.M.F., Islam M.Z., Mahmud M.S., Sarker M.E., Islam M.R. Hempas a potential raw material toward a sustainable world: A review. *Heliyon*. 2022; 8(1): e08753.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08753>
3. Danielewicz D. Industrial Hemp as a Potential Nonwood Source of Fibres for European Industrial-Scale Papermaking—A Review. *Materials*. 2023; 16(19): 6548.
<https://doi.org/10.3390/ma16196548>
4. Senthilkumar K. et. al. Performance of Sisal/Hemp Bio-based Epoxy Composites Under Accelerated Weathering. *Journal of Polymers and the Environment*. 2021; 29(2): 624–636.
<https://doi.org/10.1007/s10924-020-01904-7>
5. Xu J., Bai M., Song H., Yang L., Zhu D., Liu H. Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) Chemical Composition and the Application of Hempseeds in Food Formulations. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2022; 77(4): 504–513.
<https://doi.org/10.1007/s11130-022-01013-x>
6. Rehman M. et. al. Evaluation of hemp (*Cannabis sativa* L.) as an industrial crop: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021; 28(38): 52832–52843.
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-16264-5>
7. Ioannidis K., Tomprou I., Mitsis V. An Alternative In Vitro Propagation Protocol of *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae) Presenting Efficient Rooting, for Commercial Production. *Plants*. 2022; 11(10): 1333.
<https://doi.org/10.3390/plants11101333>

исследованной выборки. Выявленные филогенетические связи между сортами указывают на узость генетического разнообразия используемого селекционного материала. По результатам исследования разработан комплекс из 10 гексануклеотидных SSR-маркеров, охватывающих все хромосомы генома. Учитывая ограничения глубины анализа, данный комплекс позволил дифференцировать большинство образцов на уровне сортов и может быть использован в качестве основы для молекулярно-генетической паспортизации.

Использованный подход к молекулярно-генетической паспортизации конопли посевной на основе гексануклеотидных SSR-маркеров является перспективным. Разработанный комплекс маркеров повышает стабильность дифференциации сортов и может применяться для развития селекционной работы на этой важной сельскохозяйственной культуре. Результаты исследования имеют практическое значение для селекционной работы, защиты прав селекционеров, контроля подлинности посевного материала и сохранения генетических ресурсов конопли посевной.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение комплекса маркеров и повышение их информативности, а также на изучение возможности применения разработанных маркеров для других экотипов конопли посевной.

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.

FUNDING

Scientific research was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on topic FGSS-2024-0002.

REFERENCES

1. Gedik G., Avinc O. Hemp Usage in Textile Industry. Belwal T., Belwal N.C. (eds.). *Revolutionizing the Potential of Hemp and Its Products in Changing the Global Economy*. Cham: Springer. 2022; 69–95.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-05144-9_4
2. Ahmed A.T.M.F., Islam M.Z., Mahmud M.S., Sarker M.E., Islam M.R. Hempas a potential raw material toward a sustainable world: A review. *Heliyon*. 2022; 8(1): e08753.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08753>
3. Danielewicz D. Industrial Hemp as a Potential Nonwood Source of Fibres for European Industrial-Scale Papermaking—A Review. *Materials*. 2023; 16(19): 6548.
<https://doi.org/10.3390/ma16196548>
4. Senthilkumar K. et. al. Performance of Sisal/Hemp Bio-based Epoxy Composites Under Accelerated Weathering. *Journal of Polymers and the Environment*. 2021; 29(2): 624–636.
<https://doi.org/10.1007/s10924-020-01904-7>
5. Xu J., Bai M., Song H., Yang L., Zhu D., Liu H. Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) Chemical Composition and the Application of Hempseeds in Food Formulations. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2022; 77(4): 504–513.
<https://doi.org/10.1007/s11130-022-01013-x>
6. Rehman M. et. al. Evaluation of hemp (*Cannabis sativa* L.) as an industrial crop: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021; 28(38): 52832–52843.
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-16264-5>
7. Ioannidis K., Tomprou I., Mitsis V. An Alternative In Vitro Propagation Protocol of *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae) Presenting Efficient Rooting, for Commercial Production. *Plants*. 2022; 11(10): 1333.
<https://doi.org/10.3390/plants11101333>

8. Alsaleh A., Yilmaz G. Exploring cannabidiol variations, investigation of genetic diversity, population structure and unveiling male-specific genetic marker in industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2025; 72(1): 797–814.
<https://doi.org/10.1007/s10722-024-02015-1>
9. Канукова К.Р., Газаев И.Х., Сабанчиева Л.К., Боготова З.И., Аппаев С.П. ДНК-маркеры в растениеводстве. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2019; (6): 220–232.
<https://doi.org/10.35330/1991-6639-2019-6-92-220-232>
10. Srivastava S. et. al. Microsatellite markers for crop improvement: A review. *Journal of Applied and Natural Science*. 2023; 15(3): 1018–1035.
<https://doi.org/10.31018/jans.v15i3.4615>
11. Zhang J. et. al. Genetic Diversity and Population Structure of *Cannabis* Based on the Genome-Wide Development of Simple Sequence Repeat Markers. *Frontiers in Genetics*. 2020; 11: 958.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00958>
12. Базанов Т.А., Ушаповский И.В., Логинова Н.Н., Смирнова Е.В., Михайлова П.Д. Анализ индивидуальной изменчивости сортовых образцов конопли посевной (*Cannabis sativa* L.) с использованием SSR и SCAR маркеров. *Аграрная наука*. 2020; (10): 68–72.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-342-10-68-72>
13. Onofri C., Mandolino G. Genomics and Molecular Markers in *Cannabis sativa* L. Chandra S., Lata, H., ElSohly M. (eds.). *Cannabis sativa* L. - Botany and Biotechnology. Cham: Springer. 2017; 319–342.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-54564-6_15
14. Levinson G., Gutman G.A. Slipped-Strand Mispairing: A Major Mechanism for DNA Sequence Evolution. *Molecular Biology and Evolution*. 1987; 4(3): 203–221.
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040442>
15. Schafleitner R. Molecular Marker Resources and Their Application. Nair R., Schafleitner R., Lee SH. (eds.). The Mungbean Genome. Compendium of Plant Genomes. Cham: Springer. 2020; 107–124.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-20008-4_8
16. Singh A.K. Discovery and Role of Molecular Markers Involved in Gene Mapping, Molecular Breeding, and Genetic Diversity. Hakeem K., Malik A., Vardar-Sukan F., Ozturk M. (eds.). Plant Bioinformatics. Decoding the Phytas. Cham: Springer. 2017; 303–328.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-67156-7_12
17. Benkirane C. et al. Population structure and genetic diversity of Moroccan cannabis (*Cannabis sativa* L.) germplasm through simple sequence repeat (SSR) analysis. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2024; 71(5): 2037–2051.
<https://doi.org/10.1007/s10722-023-01754-x>
18. Du L., Chen J., Sun D., Zhao K., Zeng Q., Yang N. Krait2: a versatile software for microsatellite investigation, visualization and marker development. *BMC Genomics*. 2025; 26: 72.
<https://doi.org/10.1186/s12864-025-11252-2>
8. Alsaleh A., Yilmaz G. Exploring cannabidiol variations, investigation of genetic diversity, population structure and unveiling male-specific genetic marker in industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2025; 72(1): 797–814.
<https://doi.org/10.1007/s10722-024-02015-1>
9. Kanukova K.R., Gazaev I.H., Sabanchieva L.K., Bogotova Z.I., Appaev S.P. DNA markers in crop production. *News of Kabardino-Balkar scientific center of RAS*. 2019; (6): 220–232 (in Russian).
<https://doi.org/10.35330/1991-6639-2019-6-92-220-232>
10. Srivastava S. et. al. Microsatellite markers for crop improvement: A review. *Journal of Applied and Natural Science*. 2023; 15(3): 1018–1035.
<https://doi.org/10.31018/jans.v15i3.4615>
11. Zhang J. et. al. Genetic Diversity and Population Structure of *Cannabis* Based on the Genome-Wide Development of Simple Sequence Repeat Markers. *Frontiers in Genetics*. 2020; 11: 958.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00958>
12. Bazanov T.A., Uschapovsky I.V., Loginova N.N., Smirnova E.V., Mikhailova P.D. Analysis of the individual variability of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars using SSR and SCAR markers. *Agrarian science*. 2020; (10): 68–72 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-342-10-68-72>
13. Onofri C., Mandolino G. Genomics and Molecular Markers in *Cannabis sativa* L. Chandra S., Lata, H., ElSohly M. (eds.). *Cannabis sativa* L. - Botany and Biotechnology. Cham: Springer. 2017; 319–342.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-54564-6_15
14. Levinson G., Gutman G.A. Slipped-Strand Mispairing: A Major Mechanism for DNA Sequence Evolution. *Molecular Biology and Evolution*. 1987; 4(3): 203–221.
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040442>
15. Schafleitner R. Molecular Marker Resources and Their Application. Nair R., Schafleitner R., Lee SH. (eds.). The Mungbean Genome. Compendium of Plant Genomes. Cham: Springer. 2020; 107–124.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-20008-4_8
16. Singh A.K. Discovery and Role of Molecular Markers Involved in Gene Mapping, Molecular Breeding, and Genetic Diversity. Hakeem K., Malik A., Vardar-Sukan F., Ozturk M. (eds.). Plant Bioinformatics. Decoding the Phytas. Cham: Springer. 2017; 303–328.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-67156-7_12
17. Benkirane C. et al. Population structure and genetic diversity of Moroccan cannabis (*Cannabis sativa* L.) germplasm through simple sequence repeat (SSR) analysis. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2024; 71(5): 2037–2051.
<https://doi.org/10.1007/s10722-023-01754-x>
18. Du L., Chen J., Sun D., Zhao K., Zeng Q., Yang N. Krait2: a versatile software for microsatellite investigation, visualization and marker development. *BMC Genomics*. 2025; 26: 72.
<https://doi.org/10.1186/s12864-025-11252-2>

ОБ АВТОРАХ

Тарас Александрович Базанов

кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией
t.bazanov@fnclk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9544-5528>

Игорь Валентинович Ушаповский

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заместитель директора по науке
i.uschapovsky@fnclk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Наталья Николаевна Логинова

научный сотрудник
n.loginova@fnclk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4633-392X>

Екатерина Витальевна Минина

младший научный сотрудник
ev.smirnova@fnclk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6559-9577>

Полина Дмитриевна Вересова

младший научный сотрудник
p.mikhaylova@fnclk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7797-2578>

Федеральный научный центр лубяных культур,
Комсомольский проспект, 17/56, Тверь, 170041, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Taras Aleksandrovich Bazanov

Candidate in Chemical Sciences,
Leading researcher, head of the laboratory
t.bazanov@fnclk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9544-5528>

Igor Valentinovich Ushapovsky

Candidate in Biological Sciences,
Leading researcher, deputy director for science
i.uschapovsky@fnclk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Natalya Nikolaevna Loginova

Researcher
n.loginova@fnclk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4633-392X>

Ekaterina Vitalievna Minina

Junior researcher
ev.smirnova@fnclk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6559-9577>

Polina Dmitrievna Veresova

Junior researcher
p.mikhaylova@fnclk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7797-2578>

Federal Research Center for Bast Fiber Crops,
17/56 Komsomolsky Ave., Tver, 170041, Russia

B.Е. Харченко ✉

B.В. Жуковская

Н.А. Черская

Н.А. Мельник

К.С. Жуковский

Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова,
Луганск, Россия

✉ viktoriakharchenko@rambler.ru

Поступила в редакцию: 22.06.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Харченко В.Е., Жуковская В.В.,
Черская Н.А., Мельник Н.А., Жуковский К.С.

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-106-114

Viktoria E. Kharchenko ✉

Valeria V. Zhukovskaya

Natalia A. Cherskaya

Natalia A. Melnik

Konstantin S. Zhukovsky

Luhansk Voroshilov State Agricultural University, Lugansk, Russia

✉ viktoriakharchenko@rambler.ru

Received by the editorial office: 22.06.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

©Kharchenko V.E., Zhukovskaya V.V.,
Cherskaya N.A., Melnik N.A., Zhukovsky K.S.

Особенности распространения *Ambrosia artemisiifolia* L. в период засухи

РЕЗЮМЕ

Ambrosia artemisiifolia является сорным, инвазионным и аллергенным растением, вызывающим обеспокоенность у производителей сельскохозяйственной продукции во всём мире.

Цель данной работы — проанализировать особенности распространения *A. artemisiifolia* в период засухи для рекомендации мероприятий, эффективно лимитирующих ее распространение.

Объект исследования — *Ambrosia artemisiifolia*. Сельскохозяйственные угодья, участки степи и искусственного озеленения в условиях засухи и при ее отсутствии. В ходе исследований использовали традиционные методы геоботанических описаний. Потенциальную семенную продуктивность рассчитывали на основании числа женских цветков до и после обкашивания растений. Твердость почвы анализировали с использованием тестера DICKEY-john.

Установлено, что *A. artemisiifolia* не проникает в степные фитоценозы. На сельскохозяйственных угодьях ее жизнеспособность и семенная продуктивность существенно выше, чем на участках искусственного озеленения, а плотность популяций, наоборот, меньше. Частота ее встречаемости зависит от взаимодействия почвенно-климатических факторов. В период засухи на необрабатываемых открытых участках твердость почвы резко возрастает, при ее значениях 7 Мпа и выше *A. artemisiifolia* не развивается, несмотря на существенный запас ее семян в плодородном слое. Обкашивание несущественно снижает ее потенциальную семенную продуктивность. Высокая плотность злаков лимитирует распространение *A. artemisiifolia* и позволяет избежать деградации почвы в период засухи.

Ключевые слова: *Ambrosia artemisiifolia*, сорняки, твердость почвы, обкашивание, злаки, засуха, потенциальная семенная продуктивность

Для цитирования: Харченко В.Е., Жуковская В.В., Черская Н.А., Мельник Н.А., Жуковский К.С. Особенности распространения *Ambrosia artemisiifolia* L. в период засухи. Аграрная наука. 2025; 398(09): 106–114.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-106-114>

Features of the distribution of *Ambrosia artemisiifolia* L. during the drought period

ABSTRACT

Ambrosia artemisiifolia is a weedy, invasive and allergenic plant of concern to agricultural producers worldwide.

Ambrosia artemisiifolia is a weed, invasive and allergenic weed of concern to agricultural producers worldwide.

The purpose of this work is to analyze the distribution patterns of *A. artemisiifolia* during drought to recommend measures that effectively limit its spread.

Object of research — *Ambrosia artemisiifolia*. Agricultural fields, plots of steppe and piece planting in conditions of dryness and in its absence. During research, we used traditional methods of geobotanical inventory. Potential productivity calculated based on the number of female cotyledons before and after mowing. Hardness of soil was analyzed using DICKEY-john tester.

We found that *Ambrosia artemisiifolia* does not establish in steppe phytocenoses. On agricultural lands, its viability and seed productivity are significantly higher compared to artificial green spaces, whereas its population density is lower. The species' occurrence frequency depends on the interplay of soil and climatic factors. During droughts in untreated open areas, soil hardness increases sharply; at values of 7 MPa or higher, *A. artemisiifolia* fails to develop, despite a substantial seed bank in the topsoil. Mowing does not significantly reduce its potential seed output. A high density of cereal crops suppresses the spread of *A. artemisiifolia* and mitigates soil degradation during dry periods.

Key words: *Ambrosia artemisiifolia*, weeds, soil hardness, tillage, grasses, drought, potential seed productivity

For citation: Kharchenko V.E., Zhukovskaya V.V., Cherskaya N.A., Melnik N.A., Zhukovsky K.S. Features of the distribution of *Ambrosia artemisiifolia* L. during the drought period. Agrarian science. 2025; 398(09): 106–114 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-106-114>

Введение/Introduction

При организации интенсивной системы земледелия существенной проблемой являются сорные растения, среди которых особого внимания заслуживает амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.). Она принадлежит к числу карантинных растений Российской Федерации и широко распространена на территории Донбасса^{1,2}. Кроме того, засоряя посевы сельскохозяйственных культур, она снижает рентабельность их производства, ее пыльца вызывает аллергию у 10–20% людей [1–4]. Поэтому анализ факторов, влияющих на распространение *A. artemisiifolia*, представляет интерес для землепользователей во всём мире.

В Россию *A. artemisiifolia* попала из западной части Северной Америки, причем [5] обнаружили свидетельства ее многократного завоза, и это объясняет причину ее значительного полиморфизма. Согласно исследованиям Pinke *et al.*, (2011) [6], *A. artemisiifolia* растет на всех типах почв, но предпочитает песчаные и кислые, а ее распространению способствуют среднее количество осадков в апреле (более 39 мм), среднее годовое количество осадков (более 592 мм) и средняя температура в мае (менее 15,5 °C).

К числу основных факторов, лимитирующих распространение *A. artemisiifolia*, принадлежат недостаток влаги в период вегетации и дефицит тепла в период созревания семян [7]. Вторичный ареал распространения *A. artemisiifolia* обусловлен сочетанием уровня влажности и температуры [8], поэтому тенденция к повышению температуры благоприятствует ее продвижению на север. *Ambrosia artemisiifolia* зацветает при 15-часовом световом дне и является поздним яровым сорняком [9]. Обычно растет на полях и на недавно расчищенных участках. По мнению Laaidi *et al.* (2003), распространению *A. artemisiifolia* способствовала общая сельскохозяйственная политика в Европе, которая требовала от производителей сельскохозяйственной продукции оставлять часть своих земель под паром, являющимся потенциальным источником для ее распространения [10]. Кроме того, по мнению Oswalt и Marshall (2008) [11], увеличение посевных площадей под солнечника (*Helianthus annuus*) предрасполагало распространению *A. artemisiifolia*, потому что оба вида относятся к семейству астровых, а в таком случае ряд гербицидов нельзя использовать. Концептуально как механические, так и химические агротехнические приемы способствуют повышению конкурентоспособности возделываемой культуры [12].

В числе наиболее эффективных приемов по борьбе с *A. artemisiifolia* рекомендованы соблю-

дение севооборота, мульчирование, механическая прополка, биологический контроль³ [15]. Гербициды являются наиболее эффективным методом борьбы с *A. artemisiifolia*, но их чрезмерное использование приводит к проблемам экологического характера, может негативно влиять на развитие сельскохозяйственных культур [16]. К тому же они не могут применяться возле жилых массивов, детских и школьных учреждений, в которых для ограничения распространения *A. artemisiifolia* рекомендовано применять обкашивание.

К сожалению, распространение *A. artemisiifolia* продолжается, несмотря на все активно применяемые агротехнические приемы по ее ограничению.

Согласно эколого-географическому анализу распространения *A. artemisiifolia*, европейская часть России до 48–50° северной широты может считаться зоной ее повсеместной натурализации [17], поэтому поиск способов, эффективно ограничивающих распространение *A. artemisiifolia*, продолжается. Для решения этой задачи производители сельскохозяйственной продукции заинтересованы в выяснении факторов, лимитирующих распространение *A. artemisiifolia*.

Цель работы — выяснить особенности влияния агротехнических приемов (обкашивания, подсева злаков, применения гербицидов) и факторов окружающей среды на распространение *A. artemisiifolia* в Донбассе.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Анализ распространения *A. artemisiifolia* на сельскохозяйственных угодьях и местах искусственного озеленения проводили методом пробных площадок ежемесячно (с мая по сентябрь) в 2023 г. и в 2024 г.

Исследования проводили на территории ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова» (Луганский ГАУ) (участки № 1–4) в окрестностях Луганского ГАУ и по территории г. Луганска (Россия) (участки № 5, 6), по территории Учебно-научно-производственного аграрного комплекса «Колос» Луганского ГАУ (поле № 1–4, участки № 7, 8) (рис. 1).

Посевы сельскохозяйственных культур (поле № 1–3) осенью 2022 г. и 2023 г. обрабатывали бороной дисковой тяжелой (БДВП 6.3) «Краснянка» (ООО «Агроуниверсал», Россия) в 2 следа (на глубину 10–12 см) и культиватором (КПМ 12) производства ОАО «Слуцкий агросервис» (Белоруссия) на глубину 5–7 см).

Гербициды применяли путем опрыскивания базовой смесью «Рефери» (дикамба 35 г/л, 200 г/га) и «Гренадер» (З билуран-метил 750 г/кг) (ООО «Тор-

¹ Федеральный закон от 21.07.2014 № 206-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «О карантине растений» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022).

² Кондратюк Е.Н., Бурда Р.И., Остапко В.М. Конспект флоры юго-востока Украины: сосудистые растения. Киев: Наук. думка. 1985; 272.

³ Рекомендации по борьбе с амброзией полыннолистной / Н.Г. Осенний, В. Б. Ан, А.В. Носик, О.А. Пчельник; под ред. Н.Г. Осеннего. Симферополь; ИТ «АРИАЛ». 2019; 39.

Рис. 1. Картосхема расположения полей и участков обследования
а) 1. Поле № 1; 2. Поле № 2; 3. Поле № 3; 4. Поле № 4; 5. Участок № 7;
6. Участок № 8; б) 1. Участок № 1; 2. Участок № 2; 3. Участок № 3; 4.
Участок № 4; в) 1. Участок № 5; 2. Участок № 6

Fig. 1. A map showing the location of the fields and survey areas
а) 1. Field No. 1; 2. Field No. 2; 3. Field No. 3; 4. Field No. 4; 5. Plot No. 7;
6. Plot No. 8; б) 1. Plot No. 1; 2. Plot No. 2; 3. Plot No. 3; 4. Plot No. 4;
в) 1. Plot No. 5; 2. Plot No. 6



говый дом “Кирово-Чепецкая химическая компания”, Россия) в дозе 20 г/га весной 2023 г. на полях № 1–3, а весной 2024 г. — только на полях № 1, 2. На поле № 4 были кормовые угодья с *Medicago sativa* L., но после 2019 г. его не обрабатывали, и к 2023 г. оно превратилось в залежь.

Участки искусственного озеленения № 1–4 находятся на территории Луганского ГАУ.

На участке № 1 был посажен *Poa bulbosa* L. в 1979 г. На участке № 2 посажены *Bromus hordeaceus* L. и *Poa pratensis* L. в 2012 г. Оба участка имеют многочисленные проплешины. Участок № 3 — парк ЛГАУ с дубами, в нижнем ярусе растут *Bromus hordeaceus* L. и *Poa pratensis* L. Участок № 4 — питомник древесных растений, на котором были посажены луговые травы *Lolium perenne* L. и *Festuca rubra* L. в 2002 г. Все участки без полива.

Участки № 5, 6 расположены вокруг детских учреждений, на них в 2010 г. посажены *Bromus hordeaceus* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub. Полив проводили периодически, а покосы — регулярно. Участок № 7 — обочина дороги вокруг сельскохозяйственных угодий, на которых проводили обследования, а участок № 8 — фитоценозы по их контуру.

В качестве контроля использовали участки местной флоры — разнотравно-типчаково-ковыльную

степь (окрестности пос. Ивановка Антрацитового р-на, пос. Лозовское Славяносербского р-на и пос. Провалье Свердловского р-на Луганской Народной Республики, Россия).

Все участки обследования находятся на северном склоне Донецкого кряжа, в степной природной зоне с континентальным климатом, для которого характерны жаркое и сухое лето и малоснежная зима с оттепелями.

Наблюдения за распространением *A. artemisiifolia* в Донбассе проводили с 2004 по 2024 г. Интенсивность атмосферных засух определяли по методике Селянинова [18].

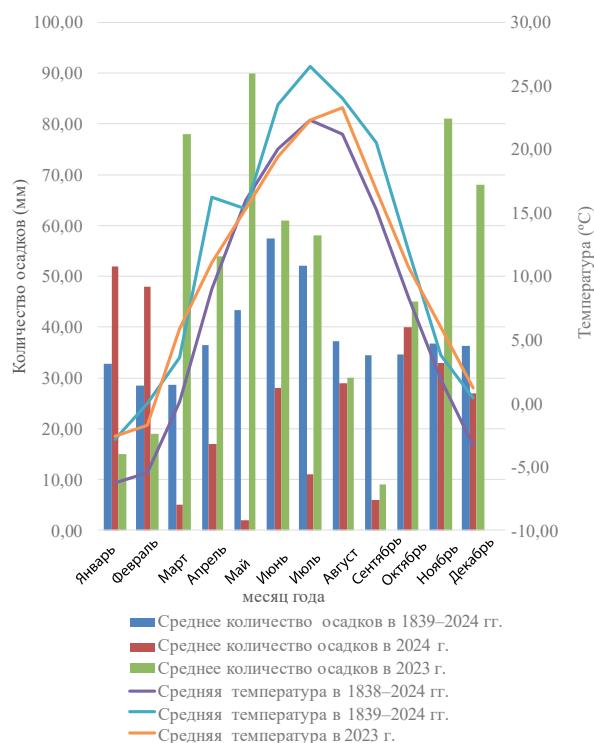
2024 год оказался очень засушливым (с ГТК_{V-VIII} = 0,16). Для сравнения использовали данные 2023 г. (ГТК_{IV-VIII} = 0,99) (рис. 2).

Данные о ходе температур и осадков были взяты на Луганской метеорологической станции⁴ (Луганская Народная Республика, Россия) с 1838 по 2024 г.г.

Во всех вариантах исследования почвы были представлены черноземами луговыми тяжелосуглинистыми с содержанием 3,4–4% гумуса в пахотном слое. С бонитетом — 58, pH около 7.

Рис. 2. Показатели температуры и количества осадков в г. Луганске

Fig. 2. Temperature and precipitation indicators in Lugansk



⁴ <http://www.pogodaiklimat.ru/>

Влажность почвы определяли по методике, указанной в ГОСТ 28268-89⁵, плотность почвы — по ГОСТ 5180-2015⁶, твердость почвы — по методике, указанной в ГОСТ 20915-2011⁷.

Анализ плотности почвы проводили по традиционной методике.

Для определения твердости почвы использовали тестер Dickey-john (США).

Эффективность обкосов *A. artemisiifolia* анализировали на основании сопоставления потенциальной семенной продуктивности растений до обкоса и после. Обкосы проводили бензокосой «Минск БГ-3500» (Белоруссия).

Потенциальную семенную продуктивность рассчитывали, исходя из произведения среднего числа женских цветков на растении и среднего числа семязачатков в цветке, согласно методике, традиционно применимой в семеноводстве. Учитывая, что у *A. artemisiifolia* в одном цветке формируется только один семязачаток, ее потенциальная семенная продуктивность соответствует числу женских цветков.

Математическую обработку данных, полученных в ходе исследований, помошью программы Microsoft Excel 7.0. (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

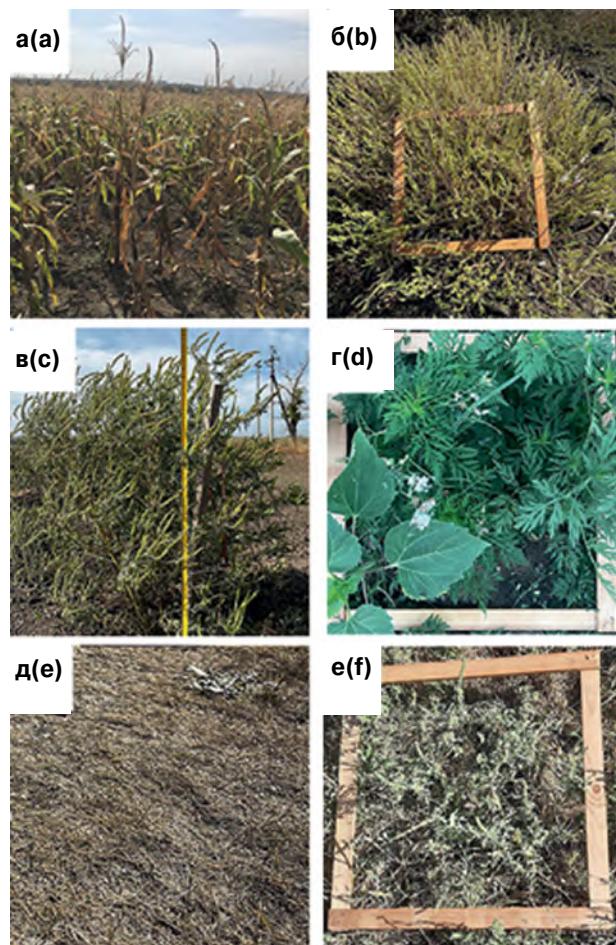
По многолетним наблюдениям (с 2004 по 2024 г.), *A. artemisiifolia* не встречалась в степных фитоценозах Донбасса. На обследованных авторами сельскохозяйственных угодьях и местах искусственного озеленения г. Луганска (Россия) она имеет избирательное распространение, разную жизнеспособность и плотность популяций. В частности, ее высота в среднем 38 ± 35 см ($CV = 92\%$), плотность популяций в среднем составляла 235 ± 298 шт./м² ($CV = 132\%$) и варьировала от 0 до 756 шт./м² в зависимости от условий произрастания.

После применения гербицидов на полях она не встречалась (рис. 3А), а без применения гербицидов на полях (рис. 3Б) и на обочинах дорог (рис. 3В) имела высокую жизнеспособность (высота растений доходила до 99 см), на участках искусственного озеленения имела разную жизнеспособность с поливом (рис. 3Г) и без полива, в годы с разным количеством атмосферных осадков (рис. 3Д, 3Е).

Так как в разных условиях произрастания жизнеспособность и распространение *A. artemisiifolia* существенно отличались, авторы предположили, что разница обусловлена сочетанием факторов, поэтому проанализировали частоту встречаемости, среднюю высоту растений и плотность популяций в условиях засухи (2024 г.) и без (2023 г.) на

Рис. 3. Участки обследования *A. artemisiifolia*. Фото авторов
а) Поле № 1 кукурузы после комплексного применения механических методов обработки и гербицидов (2024 г.); б) *A. artemisiifolia* на поле № 3 (без применения гербицидов в 2024 г.); в) *A. artemisiifolia* на обочине дороги — участок № 7 (2024 г.); г) *A. artemisiifolia* на участке озеленения № 5 с поливом (2024 г.); д) Участок озеленения № 1 без полива (2024 г.); е) Участок озеленения № 1 без полива (2023 г.).

Fig. 3. A. *Artemisiifolia* examination sites. Photos of the authors
a) Corn field No. 1 after the complex application of mechanical processing methods and herbicides (2024); b) *A. artemisiifolia* in field No. 3 (without the use of herbicides in 2024); c) *A. artemisiifolia* on the side of the road — site No. 7 (2024); d) *A. artemisiifolia* in landscaping site No. 5 with irrigation (2024); e) Landscaping Site No. 1 without irrigation (2024); f) Landscaping Site No. 1 without irrigation (2023).



фоне проведения разных агротехнических мероприятий (табл. 1, рис. 4).

Согласно проведенному анализу (табл. 1, рис. 4), было установлено, что в посевах сельскохозяйственных культур *A. artemisiifolia* не встречалась на полях № 1–3 в 2023 г. и № 1, 2 в 2024 г., потому что на них вместе с механической обработкой применяли гербициды. Однако по контуру полей и на обочинах дорог *A. artemisiifolia* сохранилась.

Поэтому без применения гербицидов на поле № 4 в 2023 г. и на полях № 3, 4 в 2024 г. она встречалась. Полученные результаты свидетельствуют

⁵ ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завяжания растений.

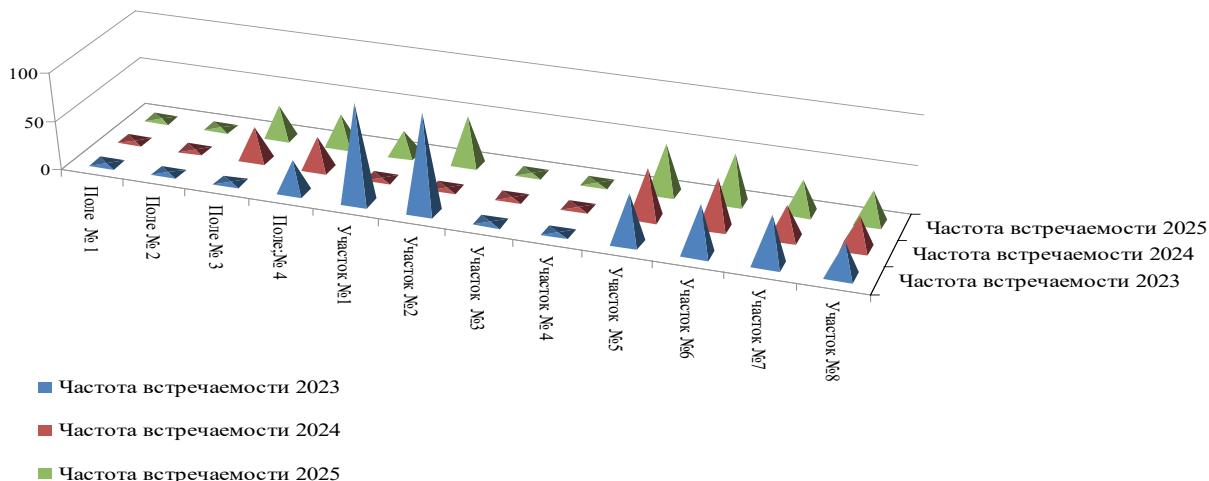
⁶ ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

⁷ ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний.

Таблица 1. Плотность популяций и высота *A. artemisiifolia* в зависимости от агротехнических мероприятий и условий окружающей средыTable 1. Population density and height of *A. artemisiifolia* depending on agricultural practices and environmental conditions

№	Участок	2023 г.					2024 г.					
		Агротехнические мероприятия					Число растений на 1 м ²	Агротехнические мероприятия				
		дискование почвы	культивация	гербициды	обкашивание	полив		дискование почвы	культивация	гербициды	обкашивание	полив
1	Поле № 1	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-
2	Поле № 2	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-
3	Поле № 3	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	1
4	Поле № 4	-	-	-	-	-	1	67±12	-	-	-	1
5	Участок № 1	-	-	-	+	-	54	24±5	-	-	-	-
6	Участок № 2	-	-	-	+	-	56	14±6	-	-	-	-
7	Участок № 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Участок № 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Участок № 5	-	-	-	+	+	84	12±3	-	-	+	64
10	Участок № 6	-	-	-	+	+	52	32±5	-	-	+	48
11	Участок № 7	-	-	-	-	-	1	86±4	-	-	+	1
12	Участок № 8	-	-	-	-	-	1	65±11	-	-	+	1

Примечание: + — *A. artemisiifolia* присутствует; — *A. artemisiifolia* отсутствует.

Рис. 4. Частота встречаемости *A. artemisiifolia* на участках проведения мониторинга (2023–2025 гг.)Fig. 4. Frequency of occurrence of *A. artemisiifolia* in monitoring areas (2023–2025)

о том, что в посевах сельскохозяйственных культур избавиться от *A. artemisiifolia* позволяет только применение комплекса агротехнических мероприятий, включающих механическую и химическую обработку почвы (с использованием гербицидов).

В 2023 году на участках с искусственным озеленением *A. artemisiifolia* встречалась повсеместно, за исключением участков с высоким проективным покрытием злаков. На участке № 4 проективное покрытие злаков составляло 100% *Lolium perenne* L. (плотность популяции 287±76 шт./м²) и *Festuca pratensis* Huds. (430±265 шт./м²), а на участке № 3 — 66±10% (мятлик луговой *Poa pratensis* (99±18 шт./м²) и костер мягкий *Bromus hordeaceus* (85±35 шт./м²), при этом доля сорных растений в них составляла 34±10%. Была выявлена обратная корреляция между долевым содержанием злаков

и распространением *A. artemisiifolia* ($r = -0.8$, $p < 0,000$). Таким образом, причиной отсутствия *A. artemisiifolia* на участках № 3, 4 была высокая доля злаков., несмотря на то что в 2023 г. *A. artemisiifolia* была распространена на участках № 1, 2, 5, 6 на обочинах дорог и по контуру полей (табл. 1, рис. 2).

В 2024 году она присутствовала только на участках № 5, 6 на обочинах дорог и по контуру полей (рис. 2, табл. 1), но на участках № 1, 2 полностью отсутствовала, несмотря на запас ее семян в плодородном слое, который доходил до 11 шт. на 100 г почвы. При анализе полученных результатов (табл. 1, рис. 2) возникает вопрос: почему в 2024 г. *A. artemisiifolia* была распространена на сельскохозяйственных угодьях, но полностью отсутствовала на некоторых участках искусственного озеленения?

Для уничтожения *A. artemisiifolia* на участках искусственного озеленения (№ 1–6) проводили обкашивание, поэтому авторы проанализировали его эффективность на основании анализа потенциальной семенной продуктивности, исходя из числа женских цветков до и после обкоса (рис. 5).

Выяснилось, что на момент обкоса средняя высота *A. artemisiifolia* составляла 37 ± 20 см, при этом на растениях формировались в среднем 179 ± 37 женских цветков и 4464 ± 507 — мужских. После обкоса высота растений *A. artemisiifolia* составляла 5 ± 2 см, на растениях формировались 108 ± 21 шт. женских цветков и 2203 ± 53 шт. — мужских.

До и после обкоса разница по числу мужских цветков высокодостоверна ($F(1,28) = 18,6$, $p = 0,001$ и Критерий Уилкоксона ($1,30$) = $17,1$, $p = 0,001$), а по числу женских цветков достоверна только по первому уровню значимости по критерию $F(1,28) = 2,1$ ($p = 0,16$) и недостоверна по критерию Уилкоксона ($1,30$) = $0,1$ ($p = 0,75$), несмотря на то что потенциальная семенная продуктивность (соответствующая у *A. artemisiifolia* числу женских цветков) этих растений сократилась на 60%. Таким образом, полученные результаты дают основание сомневаться в эффективности обкосов для снижения семенной продуктивности *A. artemisiifolia*.

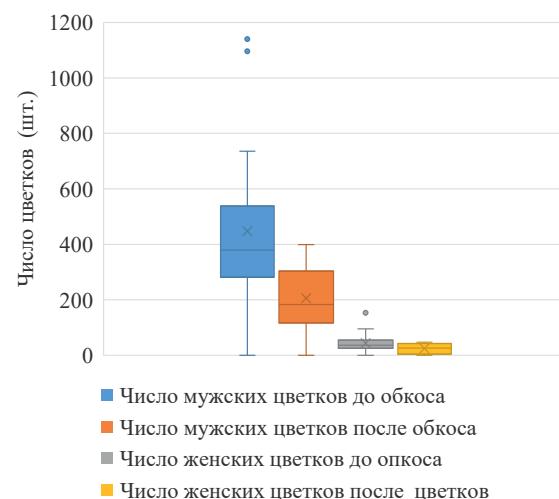
Важно отметить, что семенная продуктивность одного растения на сельскохозяйственных угодьях по контуру полей и обочинам дорог в среднем составляла 6837 ± 3219 шт., то есть была в 87 раз выше, чем на газонах. Поэтому, учитывая высокий уровень урбанизации в Донбассе (до 93,8%) [22] и близость дорожных магистралей, прилегающих к сельскохозяйственным угодьям, в случае если не были применены гербициды, *A. artemisiifolia* попадает на поля с прилегающими территориями.

Так как температура и влажность были одинаковыми для всех вариантов обследования, авторы предположили, что существенная разница по жизнеспособности и распространению *A. artemisiifolia* была обусловлена модифицирующим влиянием агротехнических мероприятий на состояние почв во время сильной засухи (2024 г.). Выяснили, что на изучаемых участках влажность почвы ($66,7 \pm 5,4\%$) и ее плотность ($1,1 \pm 0,3 \text{ г}/\text{см}^3$) существенно не отличались ($F(1,28) = 0,8$, $p > 0,1$). Однако твердость почвы сильно варьировалась (от $1,67$ до $8,0$ МПа) ($cv = 77\%$) и в среднем составляла $4,4 \pm 2,8$ МПа.

Оказалось, что на изреженных участках газонов (№ 1, 2) в 2024 г. твердость верхнего почвенного слоя в среднем составляла $7,75 \pm 0,4$ МПа ($79 \pm 4,2 \text{ кг}/\text{см}^2$), то есть в 4,4 раза выше, чем на полях, — $1,77 \pm 0,14$ МПа ($18 \pm 1,4 \text{ кг}/\text{см}^2$), где проводили механическую обработку почвы, и в 2,2 раза выше, чем на задернованных участках, — $3,5 \pm 2,9$ МПа ($36 \pm 29,7 \text{ кг}/\text{см}^2$).

Рис. 5. Изменение числа мужских и женских цветков *A. artemisiifolia* до и после обкоса

Fig. 5. Change in the number of male and female flowers of *A. artemisiifolia* before and after cutting



A. artemisiifolia не встречалась на участках с твердой почвой, на которых твердомер DICKEY-john проникал на глубину $3,3 \pm 0,4$ см, и на задернованных участках, где он проникал на глубину $8,5 \pm 3,5$ см. На полях твердомер проникал на глубину $17,0 \pm 2,8$ см. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при твердости почвы выше 7 МПа ($76 \pm 4,2 \text{ кг}/\text{см}^2$) семена *A. artemisiifolia* не прорастают даже при их существенном запасе в почве.

Анализ обилия *A. artemisiifolia* свидетельствовал о взаимосвязи с твердостью почвы ($r = 0,8$, $p > 0,000$). Так как эти результаты могут быть рекомендованы для практического использования, при выборе агротехнических мероприятий была разработана система балльной оценки и составлена таблица взаимосвязи частоты встречаемости *A. artemisiifolia*, твердости почвы и глубины проникновения твердомера DICKEY-john (табл. 2).

Засуха имеет существенное влияние на урожайность растений, но понимание механизма ее влияния на развитие растительных сообществ пока еще мало изучено [20, 21].

Проведенные исследования показали, что высокая твердость почвы выше 7 МПа, свидетельствующая о деградации почвы⁸, препятствует прорастанию семян *A. artemisiifolia*, и это лимитирует ее распространение.

Таблица 2. Обилие *A. artemisiifolia* в зависимости от твердости почвы

Table 2. Abundance of *A. artemisiifolia* in depending on soil hardness

Обилие <i>A. artemisiifolia</i> , балл	Обилие <i>A. artemisiifolia</i> , %	Глубина проникновения тестера, см	Твердость почвы, МПа
3	> 30	> 12	< 2
2	< 30	6–11	6–3
1	0	< 5	> 7

⁸ Медведев В.В. Твердость почв. Харьков: Изд-во КГ1 «Городская типография». 2009; 152.

В новом периоде вегетации (уже в апреле 2025 г.) на участке № 1 твердость почвы снизилась в 8 раз (до $64,6 \pm 72,2$ МПа), и *A. artemisiifolia* встречалась только там, где целостность почвы была нарушена механическим воздействием (человеком, муравьями, кротами и пр.). На остальных участках ее не было, но широкое распространение получил *Verbascum lychnitis* L. (*Scrophulariaceae*), который является типичным представителем степей Донбасса и имеет мощный стержневой корень.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изучение тенденций распространения *A. artemisiifolia* под влиянием засухи в долгосрочной перспективе осложняется тем, что они обусловлены сочетанием множества факторов природного и антропогенного происхождения, которые постоянно меняются.

Увеличение твердости почвы приводит к существенному снижению продуктивности сельского хозяйства, поэтому является большой проблемой для фермеров [22]. Несмотря на значимость твердости почвы для земледелия и агрономической практики, этот показатель пока еще не нашел широкого применения⁹.

Полученные результаты являются поводом для дальнейшего изучения взаимосвязи твердости почвы и состава растительных сообществ.

Авторы обнаружили, что деградация почв, возникающая из-за ее высокой твердости (выше 7 МПа), может наступить под влиянием сильной засухи и нарушения агротехники в течение одного периода вегетации. Так как Донбасс представляет собой полицентрическую городскую агломерацию [23], а газоны составляют до 80% озеленяемых территорий [24], то площадь подстилающей поверхности с потенциальной предрасположенностью к деградации почвы предполагает территорию, которая может оказать существенное влияние на формирование климата в регионе, и последствия этого нельзя недооценивать. Поэтому этот вопрос требует проведения дальнейших исследований.

⁹ Левшин А.Г., Ерохин М.Н. Научно-методические основы формирования нормированной шкалы твердости почвы [применительно к земледельческой технике]: Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агронженерный университет им. В.П. Горячина». Москва. 2017; 6(82): 28–34.

Все авторы несут разную ответственность за работу и представленные данные.
Все авторы внесли разный вклад в работу:
В.Е. Харченко — 53%, В.В. Жуковская — 15%, Н.А. Черская — 12%, Н.А. Мельник — 10%, К.С. Жуковский — 10%.
Авторы в разной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за plagiat.
Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках государственного задания от 19.04.2024 № 082-00137-24-02, регистрационный № 124020300040-8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Lambelet B., Clot B., Keimer C. Ragweed (*Ambrosia*) progression and its health risks: will Switzerland resist this invasion?. *Swiss Medical Weekly*. 2005; 135(3738): 538.
<https://doi.org/10.4414/smwy.2005.11201>

Выводы/Conclusions

Проведенные исследования показали, что *A. artemisiifolia* не встречается в степных фитоценозах, а на сельскохозяйственных угодьях и участках искусственного озеленения частота ее встречаемости, жизнеспособность и плотность популяций зависят от взаимодействия почвенно-климатических факторов и агротехнических мероприятий.

Комплекс механических и химических мероприятий, включающих применение гербицидов, позволяет избавиться от *A. artemisiifolia* в посевах сельскохозяйственных культур, но только на протяжении периода вегетации, в котором они применялись, потому что растения *A. artemisiifolia*, распространенные на прилегающих территориях, обладают высоким семенным потенциалом (одно растение формирует в среднем 6837 ± 3219 шт. семян).

Настоящие исследования показали, что обкашивание *A. artemisiifolia* неэффективно, потому что потенциальная семенная продуктивность растений снижается достоверно только по первому уровню значимости по критерию F ($1,28$) = 2,1 ($p = 0,16$) и недостоверно — по критерию Уилкоксона ($1,30$) = 0,1 ($p = 0,75$).

Установлено, что в периоды засухи при низком долевом содержании злаков (ниже 66%) на участках без полива твердость почвы существенно возрастает и при ее показателях выше 7 МПа *A. artemisiifolia* не развивается, несмотря на существенный запас ее семян в почве.

Механическая обработка почвы на сельскохозяйственных угодьях снижает твердость почвы (до 2 МПа) и таким образом нивелирует негативное влияние засухи, но это способствует распространению *A. artemisiifolia*.

Полученные результаты являются поводом для пересмотра рекомендуемых агротехнических мероприятий по локализации распространения *A. artemisiifolia*, в частности, помимо укосов, целесообразно рекомендовать посев злаковых трав и поддерживать его плотность на озеленяемых участках не ниже 300 шт./м².

All authors have different responsibilities for the work and the data presented.

All authors made different contributions to the work:
V.E. Kharchenko — 53%, V.V. Zhukovskaya — 15%,
N.A. Cherskaya — 12%, N.A. Melnik — 10 %, K.S. Zhukovsky — 10 %
The authors were differently involved in writing the manuscript and bear equal responsibility for plagiarism.
The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The study was carried out within the framework of the state assignment dated 04/19/2024,
No. 082-00137-24-02, registration No. 124020300040-8.

REFERENCES

- Lambelet B., Clot B., Keimer C. Ragweed (*Ambrosia*) progression and its health risks: will Switzerland resist this invasion?. *Swiss Medical Weekly*. 2005; 135(3738): 538.
<https://doi.org/10.4414/smwy.2005.11201>

2. Simard M.-J., Benoit D.L. Effect of repetitive mowing on common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen and seed production. *Annals of agricultural and environmental medicine: AAEM.* 2011; 18(1): 55–62.
3. Smith M., Cecchi L., Skjøth C.A., Karrer G., Šikoparija B. Common ragweed: A threat to environmental health in Europe. *Environment International.* 2013; 61: 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.08.005>
4. Leiblein-Wild M.C., Steinkamp J., Hickler T., Tackenberg O. Modelling the potential distribution, net primary production and phenology of common ragweed with a physiological model. *Journal of Biogeography.* 2016; 43(3): 544–554. <https://doi.org/10.1111/jbi.12646>
5. Gaudeul M., Giraud T., Kiss L., Shykoff J.A. Nuclear and Chloroplast Microsatellites Show Multiple Introductions in the Worldwide Invasion History of Common Ragweed, *Ambrosia artemisiifolia*. *PLoS ONE.* 2011; 6(3): e17658. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017658>
6. Pinke G., Karácsony P., Czúcz B., Botta-Dukát Z. Environmental and land-use variables determining the abundance of *Ambrosia artemisiifolia* in arable field in Hungary. *Preslia.* 2011; 83(2): 219–235.
7. Афонин А.Н., Севрюков С.Ю., Соловьев П.А., Лунева Н.Н. Веб-ГИС для решения задач эколого-географического анализа и моделирования: новые возможности. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7: Геология. География.* 2016; (4): 97–111. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2016.408>
8. Essl F., Dullinger S., Kleinbauer I. Changes in the spatio-temporal patterns and habitat preferences of *Ambrosia artemisiifolia* during its invasion of Austria. *Preslia.* 2009; 81(2): 119–133.
9. Афонин А.Н. и др. Адаптивный потенциал амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L., Asteraceae) в связи с ее продвижением на север: опыт биоклиматического и эколого-географического анализа и моделирования распространения инвазивного вида. *Журнал общей биологии.* 2022; 83(1): 71–80. <https://doi.org/10.31857/S0044459622010080>
10. Laaidi M., Laaidi K., Besancenot J.-P., Thibaudon M. Ragweed in France: an invasive plant and its allergenic pollen. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology.* 2003; 91(2): 195–201. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)62177-1](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)62177-1)
11. Owswalt M.L., Marshall G.D. Ragweed as an Example of Worldwide Allergen Expansion. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology.* 2008; 4(3): 130. <https://doi.org/10.1186/1710-1492-4-3-130>
12. Brandsæter L.O., Mangerud K., Rasmussen J. Interactions between pre- and post-emergence weed harrowing in spring cereals. *Weed Research.* 2012; 52(4): 338–347. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2012.00925.x>
13. Cloutier D.C., Leblanc M.L. Mechanical Weed Control in Agriculture. Vincent C., Panneton B., Fleurat-Lessard F. (eds.). *Physical Control Methods in Plant Protection.* Berlin; Heidelberg: Springer. 2001; 191–204. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04584-8_13
14. Bond W., Grundy A.C. Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research.* 2001; 41(5): 383–405. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2001.00246.x>
15. Bohren C., Delabays N., Mermilliod G. *Ambrosia artemisiifolia* L.: Feldversuche mit Herbiziden. *Agrarforschung Schweiz.* 2008; 15(5): 230–235.
16. Wang H. et al. Reduced Invasiveness of Common Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) Using Low-Dose Herbicide Treatments for High-Efficiency and Eco-Friendly Control. *Frontiers in Plant Science.* 2022; 13: 861806. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.861806>
17. Афонин А.Н., Федорова Ю.А., Ли Ю.С. Характеристика частоты встречаемости и обилия амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) в связи с оценкой потенциала ее распространения на европейской территории России. *Российский журнал биологических инвазий.* 2019; 12(2): 30–38. <https://elibrary.ru/kiwqqj>
18. Пряхина С.И., Гужова Е.И., Злобин Р.И., Кузнецова С.А., Смирнова М.М. Засухи и критерии их оценки. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле.* 2013; 13(2): 21–27. <https://elibrary.ru/tbryhl>
19. Кислая Т.Н. Оценка условий обеспечения экономической безопасности Луганской Народной Республики. *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета.* 2024; (2): 83–89. <https://elibrary.ru/uucalg>
2. Simard M.-J., Benoit D.L. Effect of repetitive mowing on common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen and seed production. *Annals of agricultural and environmental medicine: AAEM.* 2011; 18(1): 55–62.
3. Smith M., Cecchi L., Skjøth C.A., Karrer G., Šikoparija B. Common ragweed: A threat to environmental health in Europe. *Environment International.* 2013; 61: 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.08.005>
4. Leiblein-Wild M.C., Steinkamp J., Hickler T., Tackenberg O. Modelling the potential distribution, net primary production and phenology of common ragweed with a physiological model. *Journal of Biogeography.* 2016; 43(3): 544–554. <https://doi.org/10.1111/jbi.12646>
5. Gaudeul M., Giraud T., Kiss L., Shykoff J.A. Nuclear and Chloroplast Microsatellites Show Multiple Introductions in the Worldwide Invasion History of Common Ragweed, *Ambrosia artemisiifolia*. *PLoS ONE.* 2011; 6(3): e17658. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017658>
6. Pinke G., Karácsony P., Czúcz B., Botta-Dukát Z. Environmental and land-use variables determining the abundance of *Ambrosia artemisiifolia* in arable field in Hungary. *Preslia.* 2011; 83(2): 219–235.
7. Afonin A.N., Sevryukov S.Yu., Solovyov P.A., Luneva N.N. Web-GIS for the solution of tasks of the eco-geo-graphical analysis and modeling: new opportunities. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7: Geology. Geography.* 2016; (4): 97–111 (in Russian). <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2016.408>
8. Essl F., Dullinger S., Kleinbauer I. Changes in the spatio-temporal patterns and habitat preferences of *Ambrosia artemisiifolia* during its invasion of Austria. *Preslia.* 2009; 81(2): 119–133.
9. Afonin A.N. et al. Adaptive potential of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L., Asteraceae) in connection with its movement to the north: The experience of bioclimatic and ecological niche analysis of the invasive species. *Journal of General Biology.* 2022; 83(1): 71–80 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0044459622010080>
10. Laaidi M., Laaidi K., Besancenot J.-P., Thibaudon M. Ragweed in France: an invasive plant and its allergenic pollen. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology.* 2003; 91(2): 195–201. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)62177-1](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)62177-1)
11. Owswalt M.L., Marshall G.D. Ragweed as an Example of Worldwide Allergen Expansion. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology.* 2008; 4(3): 130. <https://doi.org/10.1186/1710-1492-4-3-130>
12. Brandsæter L.O., Mangerud K., Rasmussen J. Interactions between pre- and post-emergence weed harrowing in spring cereals. *Weed Research.* 2012; 52(4): 338–347. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2012.00925.x>
13. Cloutier D.C., Leblanc M.L. Mechanical Weed Control in Agriculture. Vincent C., Panneton B., Fleurat-Lessard F. (eds.). *Physical Control Methods in Plant Protection.* Berlin; Heidelberg: Springer. 2001; 191–204. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04584-8_13
14. Bond W., Grundy A.C. Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research.* 2001; 41(5): 383–405. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2001.00246.x>
15. Bohren C., Delabays N., Mermilliod G. Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) control with the herbicides presently registered in arable crops in Switzerland. *Agrarforschung Schweiz.* 2008; 15(5): 230–235 (in German).
16. Wang H. et al. Reduced Invasiveness of Common Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) Using Low-Dose Herbicide Treatments for High-Efficiency and Eco-Friendly Control. *Frontiers in Plant Science.* 2022; 13: 861806. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.861806>
17. Afonin A.N., Fedorova Yu.A., Li Yu.S. Character of occurrence and abundance of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) with evaluation of its distribution potential in European Russia. *Russian Journal of Biological Invasions.* 2019; 12(2): 30–38 (in Russian). <https://elibrary.ru/kiwqqj>
18. Pryakhina S.I., Guzhova E.I., Zlobin R.I., Kuznetsova S.A., Smirnova M.M. Droughts and their assessment criteria. *Proceedings of the Saratov University. A new series. Series: Earth Sciences.* 2013; 13(2): 21–27 (in Russian). <https://elibrary.ru/tbryhl>
19. Kislaia T.N. Assessment of conditions for the Iuhansk people's republic economic security ensuring. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta.* 2024; (2): 83–89 (in Russian). <https://elibrary.ru/uucalg>

20. de Vries F., Lau J., Hawkes C., Semchenko M. Plant-soil feedback under drought: does history shape the future?. *Trends in Ecology & Evolution*. 2023; 38(8): 708–718.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.03.001>
21. Vadez V. et al. Crop traits and production under drought. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2024; 5: 211–225.
<https://doi.org/10.1038/s43017-023-00514-w>
22. Shah A.N. et al. Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017; 24(11): 10056–10067.
<https://doi.org/10.1007/s11356-017-8421-y>
23. Мазаев А.Г. Значение полицентрической агломерации Донбасса в Национальной системе расселения Российской Федерации. *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2024; (2): 22–27.
<https://doi.org/10.25628/UNIIP.2024.61.2.003>
24. Анищенко И.Е., Голованов Я.М., Жигунов О.Ю., Абрамова Л.М. Особенности ценофлоры газонов города Уфы (Республика Башкортостан). *Экосистемы*. 2020; 21: 93–100.
<https://doi.org/10.37279/2414-4738-2020-21-93-100>
20. de Vries F., Lau J., Hawkes C., Semchenko M. Plant-soil feedback under drought: does history shape the future?. *Trends in Ecology & Evolution*. 2023; 38(8): 708–718.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.03.001>
21. Vadez V. et al. Crop traits and production under drought. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2024; 5: 211–225.
<https://doi.org/10.1038/s43017-023-00514-w>
22. Shah A.N. et al. Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017; 24(11): 10056–10067.
<https://doi.org/10.1007/s11356-017-8421-y>
23. Mazaev A.G. The importance of the polycentric agglomeration of Donbass in the National settlement system of the Russian Federation. *Akademicheskiy vestnik UralNIiprojekt RAASN*. 2024; (2): 22–27 (in Russian).
<https://doi.org/10.25628/UNIIP.2024.61.2.003>
24. Anishchenko I.E., Golovanov Ya.M., Zhigunov O.Yu., Abramova L.M. Features of the coenoflora of lawns in Ufa. *Ekosistemy*. 2020; 21: 93–100 (in Russian).
<https://doi.org/10.37279/2414-4738-2020-21-93-100>

ОБ АВТОРАХ

Виктория Евгеньевна Харченко

кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии растений
 viktoriakharchenko@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8800-2470>

Валерия Васильевна Жуковская

аспирант кафедры биологии растений
 zhukovskiikonstantin@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-6095>

Наталья Александровна Черская

старший преподаватель кафедры биологии растений
 cherskaya.natali@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4455-7564>

Наталья Александровна Мельник

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биологии растений
 mna0114@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0009-7299-0793>

Константин Сергеевич Жуковский

аспирант кафедры земледелия и растениеводства
 zhukovskiikonstantin@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-2161-7818>

Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова,
 территория ЛНАУ, 1, р-н Артемовский, г. о. Луганск,
 Луганская Народная Республика, 291008, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Victoria Evgenievna Kharchenko

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
 of the Department of Plant Biology
 viktoriakharchenko@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8800-2470>

Valeria Vasiliyevna Zhukovskaya

Postgraduate Student of the Department of Plant Biology
 zhukovskiikonstantin@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-6095>

Natalia Alexandrovna Cherskaya

Senior Lecturer of the Department of Plant Biology
 cherskaya.natali@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4455-7564>

Natalia Alexandrovna Melnik

Candidate of Agricultural Sciences, Docent of the Department
 of Plant Biology
 mna0114@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0009-7299-0793>

Konstantin Sergeevich Zhukovsky

Postgraduate Student of the Department of Agriculture
 and Crop Production
 zhukovskiikonstantin@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-2161-7818>

Luhansk Voroshilov State Agricultural University,

1 territory of LNAU, Artemovsky district, Lugansk,
 Lugansk People's Republic, 291008, Russia

УДК 633.11633.31

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-115-124

А.С. Шишина ✉

Л.К. Марунова

А.В. Казарина

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

✉ shishina-2024@mail.ru

Поступила в редакцию: 20.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Шишина А.С., Марунова Л.К.,
Казарина А.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-115-124

Alina S. Shishina ✉

Lyudmila K. Marunova

Alexandra V. Kazarina

The P.N. Konstantinov Volga Scientific Research Institute of Breeding and Seed Production is a branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Kinel, Russia

✉ shishina-2024@mail.ru

Received by the editorial office: 20.05.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

© Shishina A.S., Marunova L.K., Kazarina A.V.

Изучение влияния физиологически активных веществ на кормовую и семенную продуктивность донника белого однолетнего (*Melilotus albus Medic.*)

РЕЗЮМЕ

В текущих условиях аграрного производства первостепенное значение приобретает оптимизация кормовой базы отечественного животноводства посредством разработки и внедрения инновационных технологий производства высококачественных кормов, включая эффективные методы культивирования бобовых культур с помощью физиологически активных веществ, в частности донника белого однолетнего. В связи с чем была поставлена цель выявить влияние препаратов «Мивал Агро», «Витанолл N» и «Витанолл РК» на биометрические показатели и продуктивность донника белого однолетнего сортов Заволжский и Средневолжский. Исследования были проведены в 2020–2023 гг. на юге лесостепной зоны Среднего Поволжья. Объект исследований — донник белый однолетний сорта Средневолжский и сорт Заволжский. Применение физиологически активных веществ (ФАВ) оказывает положительное влияние на агробиологические показатели донника белого однолетнего в условиях Среднего Поволжья. Установлено, что обработка препаратами «Витанолл N» и «Витанолл РК» незначительно продлевает вегетационный период, компенсируясь повышением продуктивности. ФАВ стимулируют рост и развитие донника, увеличивая высоту растений, облистенность, зеленую массу и содержание сухого вещества («Витанолл N» — сорт Средневолжский, «Витанолл РК» — сорт Заволжский). Применение препаратов «Мивал Агро», «Витанолл N» и «Витанолл РК» повышает урожайность семян, особенно это выражено на сорте Заволжский. Обработка ФАВ влияет на химический состав донника, увеличивая содержание протеина («Мивал Агро», «Витанолл РК») и каротина («Витанолл N», «Витанолл РК») в абсолютно сухом веществе. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения ФАВ для повышения продуктивности и улучшения качественных характеристик донника белого однолетнего.

Ключевые слова: донник, удобрение, регулятор роста, высота, облистенность, зеленая масса, сухое вещество, сорт, урожайность

Для цитирования: Шишина А.С., Марунова Л.К., Казарина А.В. Изучение влияния физиологически активных веществ на кормовую и семенную продуктивность донника белого однолетнего (*Melilotus albus Medic.*). *Agrarian science*. 2025; 398(09): 115–124. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-115-124>

To study the effect of physiologically active substances on the feed and seed productivity of annual white sweet clover (*Melilotus albus Medic.*)

ABSTRACT

In the current conditions of agricultural production, optimization of the feed base of domestic livestock through the development and implementation of innovative technologies for the production of high-quality feed, including effective methods of cultivating legumes using physiologically active substances, in particular, annual white sweet clover, is of paramount importance. In this regard, the aim was to identify the effect of the preparations "Mival Agro", "Vitanoll N" and "Vitanoll RK" on biometric indicators and productivity of annual white sweet clover varieties Zavolzhsky and Srednevolzhsky. The research was conducted in 2020–2023 in the south of the forest-steppe zone of the Middle Volga region.

The object of research is the white annual sweet clover, the Middle Volga variety, and the Zavolzhsky variety. The use of physiologically active substances (FAVS) has a positive effect on the agrobiological parameters of annual white sweet clover in the conditions of the Middle Volga region. It was found that treatment with "Vitanoll N" and "Vitanoll RK" preparations slightly prolongs the growing season, compensated by increased productivity. FAVS stimulate the growth and development of sweet clover, increasing plant height, foliage, green mass and dry matter content ("Vitanoll N" is a Middle Volga variety, "Vitanoll RK" is a Zavolzhsky variety). The use of "Mival Agro", "Vitanoll N" and "Vitanoll RK" increases the yield of seeds, especially in the Zavolzhsky variety. The treatment of FAVS affects the chemical composition of sweet clover, increasing the content of protein ("Mival Agro", "Vitanoll RK") and carotene ("Vitanoll N", "Vitanoll RK") in a completely dry substance. The results obtained indicate the prospects of using FAVS to increase productivity and improve the quality characteristics of annual white sweet clover.

Key words: sweet clover, fertilizer, growth regulator, height, appearance, green mass, dry matter, variety, yield

For citation: Shishina A.S., Marunova L.K., Kazarina A.V. Studies of the effect of physiologically active substances on the feed and seed productivity of annual white sweet clover (*Melilotus albus Medic.*). *Agrarian science*. 2025; 398(09): 115–124 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-115-124>

Введение/Introduction

В современных условиях сельскохозяйственного производства немаловажное значение имеет совершенствование кормовой базы отечественного животноводства путем разработки и внедрения прогрессивных технологий производства высококачественных кормов, в том числе эффективных технологий возделывания бобовых трав, включая донник белый однолетний [1–3].

Донник белый однолетний представляет собой ценную сельскохозяйственную культуру, востребованную как в кормопроизводстве, так и в земледелии. Перспективность его использования в качестве кормовой культуры обусловлена питательной ценностью и высоким содержанием белка в надземной биомассе, сопоставимым с клевером и люцерной¹. Так, в 1 кг зеленой массы донника содержится до 0,24 кормовых единиц, а содержание перевариваемого протеина достигает 190 г [4–5]. Помимо кормовых достоинств, он является ценным медоносом, обеспечивающим выделение нектара независимо от погодных условий. Его растения способны накапливать достаточное количество нектара даже в жаркую погоду, а также выделять кумарин, привлекающий пчел.

Медопродуктивность данной культуры может достигать 120–250 кг/га. Кроме того, донник является эффективным сидератом, способствующим улучшению почвенного плодородия за счет накопления азота в симбиозе с клубеньковыми бактериями. Мощная корневая система способствует рыхлению и обогащению почвы питательными элементами, повышая урожайность последующих культур [6–8].

В современных агротехнологиях особое внимание уделяется минеральному питанию растений, регулирование которого осуществляется посредством применения удобрений и биопрепаратов [9, 10]. В нынешнем земледелии применение физиологически активных препаратов является ключевым инструментом активного регулирования питания растений, круговорота и баланса биогенных веществ, последовательного повышения плодородия почв и, как следствие, увеличения продуктивности агроценозов и поддержания экологического баланса. В период вегетации поступление питательных веществ в растения из почвы может быть неравномерным из-за вымывания элементов питания осадками, что приводит к стрессу растений. Применение физиологически активных препаратов позволяет создавать резерв доступных питательных веществ, обеспечивая стабильное питание растений на протяжении всего вегетационного периода и способствуя формированию вегетативных и

генеративных органов, определяющих качество и количество урожая сельскохозяйственных культур [11, 12].

Цель исследований — оценить и проанализировать действие препаратов «Мивал Агро», «Витанолл N» и «Витанолл РК» на биометрические показатели сортов донника белого однолетнего Средневолжский и Заволжский, выявить влияние данных препаратов на урожайность семян донника в условиях Самарской области.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В период с 2020 по 2023 г. на полях Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова — филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (Поволжского НИИСС — филиала СамНЦ РАН) проводили полевые исследования в условиях селекционно-семеноводческого севооборота лаборатории интродукции, селекции кормовых и масличных культур.

Климат лесостепной зоны Среднего Поволжья, характеризующийся умеренной континентальностью, оказывает влияние на температурный режим с межsezонными колебаниями. Средняя температура июля (от +20 до +22 °C) благоприятствует вегетации, а январская температура (от -20 до -24 °C) определяет зимний период.

Почва представлена черноземом обыкновенным среднегумусным, среднемощным, среднесуглинистым с содержанием гумуса до 6,9% (ГОСТ 26213-2021²).

Агротехнические мероприятия соответствовали общепринятым нормам для данной зоны. Предшественниками являлись яровые культуры (пшеница, ячмень). Перед посевом проводили скарификацию семян механическим методом с помощью мелкой наждачной бумаги. Семена перед посевом замачивали в растворе, приготовленном по инструкции на упаковке выбранного препарата. Время замачивания определяли на основе рекомендаций производителя.

Посев осуществляли в I декаде мая с нормой высея 4,5 млн всхожих семян на 1 га. Общая площадь делянки — 40 м², учетная — 25 м², повторность — четырехкратная, размещение делянок — систематическое.

Уборку урожая проводили в фазу полной спелости. Закладку опытов, наблюдения и анализ полученных данных осуществляли согласно методикам Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур^{3–5}.

¹ Казарин В.Ф., Казарина А.В., Марунова Л.К., Гуцалюк М.И., Алексеев Н.Е., Тойбова А.А. Ресурсосберегающая технология возделывания донника белого в лесостепи Среднего Поволжья. Рекомендации. Кинель. 2014; 30.

² ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации. 2021.

³ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / М.А. Федин, Ю.А. Роговский, Л.В. Исаева и др. М.: Госсортокомиссия. 1989; 2.

⁴ Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю.К. Новоселов, В.Н. Киреев, Г.П. Кутузов и др. М.: Россельхозакадемия. 1997.

⁵ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос. 1985.

Объект исследований — донник белый однолетний сортов Средневолжский и Заволжский.

Донник белый однолетний сорт Средневолжский включен в Государственный реестр в 2010 году, допущен к использованию во всех сельскохозяйственных регионах. Характеризуется как среднеспелый сорт с периодом вегетации 50–55 суток до укосной спелости и 105–115 суток до полного созревания семян. Растение формирует компактный куст с прямостоячим стеблем, достигающим высоты до 186 см. Семена имеют овальную форму и светло-желтую окраску, масса 1000 семян составляет 2,6–2,8 г. Сорт демонстрирует продуктивность по сухому веществу на уровне 6–7 т/га, что превышает стандартные показатели на 1,1 т/га. Урожайность семян составляет 0,5–0,6 т/га. Отмечены высокие медоносные качества сорта, обеспечивающие пчелам сбор 200–600 кг меда с 1 га посевов. Цветение обильное и продолжительное.

Донник сорта Заволжский, внесенный в Государственный реестр в 2019 году, характеризуется прямостоячим компактным кустом, достигающим высоты 135–181 см. Отличительной особенностью является выраженная антоциановая пигментация. Масса 1000 семян варьирует в пределах 2,6–2,7 г. Сорт относится к среднеспелой группе, созревая до укосной спелости за 45–50 суток и достигая полной зрелости за 106–114 суток. Средняя урожайность сухого вещества составляет 0,71 ц/га, а урожайность семян — 0,67 ц/га.

В исследованиях использовались такие препараты, как «Мивал Агро» («АгроСил», Россия), «Витанолл N» и «Витанолл РК» («Агромаркет 24», Россия). Схема опыта включала в себя четыре варианта. Контролем в опыте служил вариант с обработкой водой (табл. 1).

«Мивал Агро» — регулятор роста растений, предназначенный для повышения устойчивости к абиотическим стрессорам. В его состав входят 760 г/кг ортокрезоксикусной кислоты триэтаноламмониевая соль и 190 г/кг хлорметилсилатрана. Данный препарат оказывает протекторное действие, снижая стрессовую нагрузку, вызванную неблагоприятными факторами окружающей среды. Кроме того, «Мивал Агро» способствует оптимизации транспорта питательных веществ и интенсификации метаболических процессов на клеточном уровне.

Механизм действия препарата обусловлен комплексным воздействием входящих в его состав компонентов. Ортокрезоксикусная кислота триэтаноламмониевая соль, являясь производным ауксина, стимулирует ростовые процессы и повышает устойчивость растений к стрессу. Хлорметилсилатраны в свою очередь обладают антиоксидантными свойствами, защищая клетки от повреждений, вызванных окислительным стрессом. Сочетание этих двух компонентов обеспечивает комплексную защиту и стимулирует физиологическую активность

Таблица 1. Схема опыта

Table 1. Scheme of experience

Изучаемая система	Применяемые препараты
Вариант № 1	Контроль (обработка водой)
Вариант № 2	«Мивал Агро»: 5 г/т — обработка семян, 15 г/га — опрыскивание в фазу начала цветения
Вариант № 3	«Витанолл N»: 0,5 л/т — обработка семян, 2,0 л/га — опрыскивание в фазу начала цветения
Вариант № 4	«Витанолл РК»: 0,5 л/т — обработка семян, 2,0 л/га — опрыскивание в фазу начала цветения

растений в условиях неблагоприятных внешних факторов.

«Витанолл» представляет собой витамилизированное удобрение, предназначенное для компенсации недостатка макро- и микроэлементов в растениях. Характеризуется стимулирующим и антиоксидантным воздействием, обусловленным наличием в составе аскорбиновой кислоты (0,01–0,05%), янтарной кислоты (0,1–0,2%) и гуминовых кислот (0,05–0,1%).

«Витанолл N» содержит следующие компоненты в указанных концентрациях: серу (S) — 0,05%, магний (Mg) — 0,05%, цинк (Zn) — 0,02%, марганец (Mn) — 0,02%, бор (B) — 0,02%. Данный состав ориентирован на обеспечение растений азотом и сопутствующими микроэлементами.

«Витанолл РК», в отличие от препарата «Витанолл N», акцентирует внимание на восполнении дефицита фосфора и калия. Содержание фосфора (P) в данной модификации варьируется в пределах 13–16%, а калия (K) — 16–20%. Помимо основных элементов, «Витанолл РК» включает микроэлементы, такие как магний, марганец, сера, цинк, бор и молибден, что обеспечивает комплексное питание растений.

В ходе исследований донника белого однолетнего в период вегетации с 2020 по 2023 год была выявлена значительная изменчивость метеорологических условий по годам, что позволило полноценно оценить воздействие рассматриваемых препаратов на его рост и развитие (рис. 1–3).

В течение вегетационного периода 2021 года были зафиксированы значительное увеличение среднесуточных температур (на 1,7–5,8 °C выше нормы) и крайне нерегулярное распределение осадков по месяцам. Так, среднесуточные температуры в мае — августе превышали среднемноголетние показатели, достигая максимально го расхождения в августе (24,7 °C против нормы 19,3 °C). В то же время сентябрь характеризовался более низкой температурой (11,5 °C) по сравнению со среднемноголетним значением (12,3 °C). Сумма осадков в мае и августе была существенно ниже среднемноголетних значений, особенно критичной оказалась ситуация в августе (0,6 мм), что свидетельствует о выраженной засухе. Июль характеризовался недостаточным количеством осадков (17,7 мм). В июне и сентябре наблюдали превышение среднемноголетних показателей по осадкам. Гидротермический коэффициент (ГТК) в мае, июле и августе был значительно ниже

Рис. 1. Показатели среднесуточной температуры воздуха по месяцам (за 2020–2023 гг.), °C

Fig. 1. Average daily air temperature by month (for 2020–2023), °C

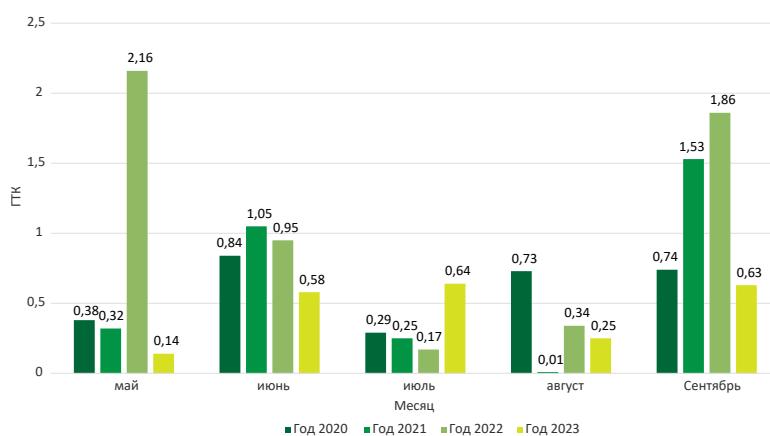


Рис. 2. Показатели суммы осадков по месяцам (за 2020–2023 гг.), мм

Fig. 2. Monthly precipitation totals (2020–2023), mm

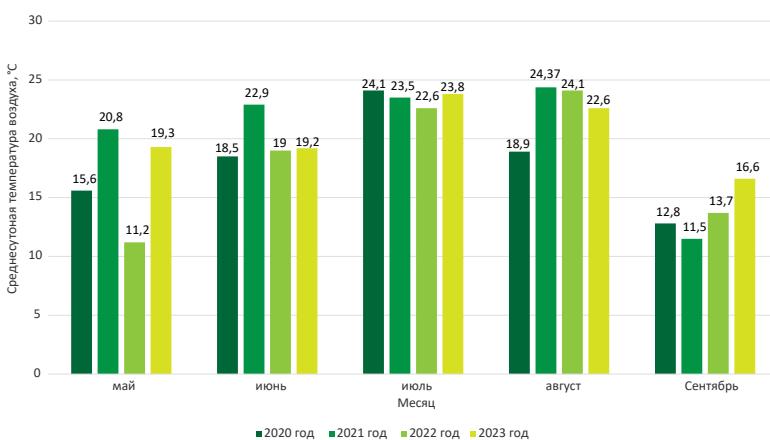
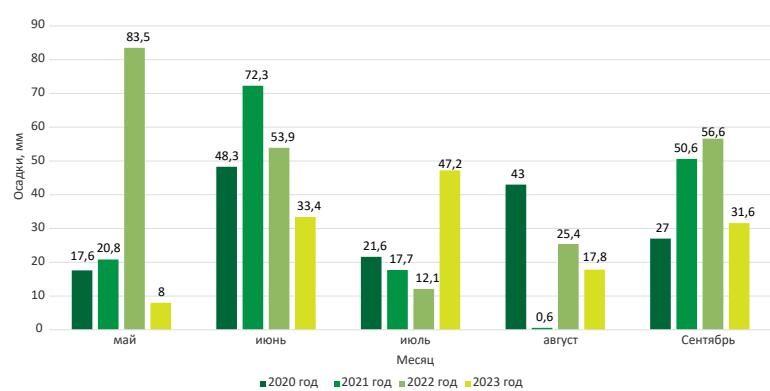


Рис. 3. Показатели гидротермического коэффициента (за 2020–2023 гг.)

Fig. 3. Hydrothermal coefficient indicators (2020–2023)



среднемноголетнего, указывая на засушливые условия, особенно ярко выраженные в августе ($\text{ГТК} = 0,01$). Июнь и сентябрь, напротив, характеризовались более благоприятным увлажнением (ГТК составил 1,05 и 1,53 соответственно).

В 2022 году среднесуточная температура за май — сентябрь составила 18,7 °C, что превышает среднемноголетнее значение на 3,5 °C. Особенно выраженное превышение наблюдалось в июле (22,6 °C) и августе (24,1 °C), что свидетельствует о более благоприятных условиях в период активного роста и развития донника белого

однолетнего. Сумма осадков за вегетационный период составила 41,3 мм, что несколько выше среднемноголетних значений (36,4 мм). Однако распределение осадков было неравномерным. В мае и сентябре сумма выпавших осадков превысила среднемноголетние значения, соответственно, на 49,5 мм и 12,6 мм, в июне (53,9 мм), июле (12,1 мм) и августе (25,4 мм) выпало осадков существенно ниже среднемноголетнего значения, что может указывать на засушливые условия в период цветения и формирования семян. Гидротермический коэффициент (ГТК) демонстрировал значительные отклонения от среднемноголетних значений. В июле ГТК составил 0,17, что указывает на острую засуху, в то время как в мае и сентябре значения ГТК были значительно выше среднемноголетних, что свидетельствует о более благоприятных условиях по влагообеспеченности в начале и конце вегетационного периода.

Лето 2023 года характеризовалось значительными агрометеорологическими колебаниями. В мае наблюдали повышенную среднесуточную температуру, превысившую климатическую норму на 4,8 °C, и критически низкое количество осадков (8,0 мм), что обусловило крайне низкий гидротермический коэффициент ($\text{ГТК} = 0,14$), указывающий на засушливые условия в начальный период роста донника белого однолетнего. В июне произошло улучшение влагообеспеченности: количество осадков (41,2 мм) превысило среднемноголетние значения, а температурный режим (18,2 °C) был близок к норме. Июль оказался наиболее

благоприятным для вегетации, отличаясь высокой влажностью (47,3 мм осадков, $\text{ГТК} = 0,64$) и высокой средней суточной температурой (22,3 °C), что свидетельствует об оптимальных условиях для роста и развития сельскохозяйственных культур. В августе вновь возник дефицит влаги: количество осадков сократилось на 38% относительно среднемноголетней нормы, а температура (21,4 °C) превысила норму на 2,5 °C. Сентябрь характеризовался умеренным количеством осадков (24,4 мм) и температурой воздуха (14,9 °C), соответствующей переходу к осеннему периоду.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Проведенные фенологические наблюдения с 2020 по 2023 год показали существенные различия в продолжительности межфазных периодов в зависимости от погодных условий и применения различных регуляторов роста на сортах донника белого однолетнего Средневолжский и Заволжский. Показатели продолжительности межфазных периодов донника белого однолетнего сорта Средневолжский представлены в таблице 2.

Продолжительность межфазных периодов в 2020 году показала, что период «посев — всходы» оставался неизменным и составил 9 суток во всех вариантах опыта. Период «всходы — бутонизация» в 2020 году не зависел от применяемых препаратов и составлял 51 день. Однако применение физиологически активных препаратов оказывало влияние на продолжительность периода «бутонизация — цветение». В варианте с препаратом «Витанолл N» этот период увеличивался до 14 суток, в то время как в остальных вариантах составлял 10 суток. Продолжительность периода «цветение — спелость» варьировалась в зависимости от препарата, при этом наименьшая продолжительность (55 суток) отмечена в варианте с препаратом «Витанолл РК», а наибольшая (59 суток) — с «Витанолл N». Общая продолжительность периода «всходы — спелость» зависела от применяемых препаратов, варьируя от 116 суток («Витанолл РК») до 124 суток («Витанолл N»).

В 2021 году наблюдали незначительные различия между вариантами обработки в продолжительности межфазных периодов. Во всех исследуемых вариантах, включая контроль, минимальная продолжительность периода «посев — всходы» составила 7 суток, а периода «всходы — бутонизация» — 42. Вместе с тем наблюдали колебания в продолжительности периода «бутонизация — цветение», варьирующие от 12 суток в контроле и при использовании препаратов «Мивал Агро» и «Витанолл РК» до 16 суток при применении препарата «Витанолл N». Период «цветение — спелость» демонстрировал различия, составляя от 45 суток («Витанолл РК») до 49 суток («Витанолл N»), тогда как в контроле и при использовании препарата «Мивал Агро» он равнялся 47 суткам. Общая продолжительность вегетационного периода варьировала от 99 суток («Витанолл РК») до 107 суток («Витанолл N»), а в контролльном варианте и при использовании препарата «Мивал Агро» составила 101 день.

Таблица 2. Продолжительность межфазных периодов донника белого однолетнего сорта Средневолжский (2020–2023 гг.), сутки
Table 2. Duration of interphase periods of annual white sweet clover Middle Volga variety (2020–2023), day

Год	Вариант	Межфазный период				
		посев — всходы	всходы — бутонизация	бутонизация — цветение	цветение — спелость	всходы — спелость
2020	Контроль	9	51	10	58	119
	«Мивал Агро»	9	51	10	58	119
	«Витанолл N»	9	51	14	59	124
	«Витанолл РК»	9	51	10	55	116
2021	Контроль	7	42	12	47	101
	«Мивал Агро»	7	42	12	47	101
	«Витанолл N»	7	42	16	49	107
	«Витанолл РК»	7	42	12	45	99
2022	Контроль	9	60	9	36	105
	«Мивал Агро»	9	60	9	36	105
	«Витанолл N»	9	60	13	38	111
	«Витанолл РК»	9	60	9	34	103
2023	Контроль	15	57	10	50	117
	«Мивал Агро»	15	57	10	50	117
	«Витанолл N»	15	57	14	52	123
	«Витанолл РК»	15	57	10	48	115

Анализ продолжительности межфазных периодов донника белого однолетнего сорта Средневолжский в 2022 году показал, что применение препаратов «Мивал Агро», «Витанолл N» и «Витанолл РК» не повлияло на длительность периодов «посев — всходы» и «всходы — бутонизация». Внесение удобрения «Витанолл N» привело к увеличению продолжительности периода «бутонизация — цветение» (13 суток) на 4 суток по сравнению с контрольным вариантом, а «Витанолл РК», наоборот, сократил период «цветение — спелость» на 2–4 суток по сравнению с другими вариантами опыта. Продолжительность периода «всходы — спелость» находилась в пределах 103–111 суток, показав увеличение межфазного периода донника белого однолетнего сорта Средневолжский в варианте с применением препарата «Витанол N» (до 111 суток) и уменьшение вегетационного периода в варианте с применением препарата «Витанол РК» (до 103 суток).

Полученные показатели межфазных периодов «посев — всходы» и «всходы — бутонизация» в 2023 году оставались стабильными (15 и 57 суток) во всех вариантах, что указывает на определяющую роль погодных условий на начальном этапе развития культуры. Различия наблюдали в продолжительности периода «бутонизация — цветение», где вариант с применением препарата «Витанолл N» показал увеличение (на 4 дня) по сравнению с контролем и применением препарата «Мивал Агро», что в дальнейшем оказалось существенное влияние на общую продолжительность вегетационного периода «всходы — спелость», за исключением варианта с применением препарата «Витанолл РК», где наблюдали уменьшение количества дней в сравнении с другими вариантами.

В таблице 3 продолжительность периода «посев — всходы» донника белого однолетнего сорта

Заволжский в 2020 году составил 9 суток во всех вариантах, что свидетельствует о благоприятном температурном режиме для дружного прорастания семян.

В фазу «всходы — бутонизация» не наблюдали различий между контрольным вариантом и вариантами с применением препаратов. Однако использование препарата «Витанолл N» привело к увеличению продолжительности фазы «бутонизация — цветение» до 14 суток по сравнению с 10 сутками в вариантах с контролем и применением препаратов «Мивал Агро» и «Витанолл РК».

Продолжительность периода «цветение — спелость» варьировала в пределах 52–57 суток. Общая продолжительность периода «всходы — спелость» колебалась от 113 до 122 суток с максимальным значением, отмеченным в варианте с применением препарата «Витанолл N» (124 дня), и минимальным — с «Витанолл РК» (116 суток).

Результаты проведенного анализа вегетационного периода в 2021 году показали, что применение стимуляторов роста и минеральных удобрений не повлияло на увеличение межфазных периодов «посев — всходы» и «всходы — бутонизация», все варианты с обработками препаратами находились на уровне контроля. Вариант с удобрением «Витанолл N» оказал влияние на удлинение фазы «бутонизация — цветение» (49 суток) и, как следствие, общую продолжительность периода «всходы — спелость» (107 суток). Вместе с тем варианты с контролем, регулятором роста «Мивал Агро» и удобрением «Витанолл РК» демонстрировали сопоставимую продолжительность межфазных периодов, что указывает на отсутствие значимого влияния данных обработок на фенологическое развитие донника белого в исследуемых условиях.

В 2022 году суммарная продолжительность вегетационного периода «всходы — спелость» варьировала в пределах 101–108 суток. Период «посев — всходы» находился на уровне с 2020 годом, составив 9 суток. Период «всходы — бутонизация» по вариантам опыта оставался одинаковым во всех вариантах исследования. Однако наблюдали различия в продолжительности периодов «бутонизация — цветение» и «цветение — спелость». Вариант с применением препарата «Витанолл N» продемонстрировал увеличение продолжительности периода «бутонизация — цветение» (до 13 суток), что потенциально может указывать на влияние данного препарата на физиологические процессы, связанные с формированием генеративных органов. Вариант с применением препарата «Витанолл РК» в фазы «цветение — спелость»

Таблица 3. Продолжительность межфазных периодов донника белого однолетнего сорта Заволжский (2020–2023 гг.), сутки
Table 3. Duration of interphase periods of annual white sweet clover Zavolzhsky variety (2020–2023), day

Год	Вариант	Межфазный период				
		посев — всходы	всходы — бутонизация	бутонизация — цветение	цветение — спелость	всходы — спелость
2020	Контроль	9	51	10	55	116
	«Мивал Агро»	9	51	10	55	116
	«Витанолл N»	9	51	14	57	122
	«Витанолл РК»	9	51	10	52	113
2021	Контроль	7	42	8	49	101
	«Мивал Агро»	7	42	8	49	101
	«Витанолл N»	7	42	10	51	105
	«Витанолл РК»	7	42	8	47	99
2022	Контроль	9	60	10	34	103
	«Мивал Агро»	9	60	10	34	103
	«Витанолл N»	9	60	13	36	108
	«Витанолл РК»	9	60	10	32	101
2023	Контроль	15	57	10	50	117
	«Мивал Агро»	15	57	10	50	117
	«Витанолл N»	15	57	13	52	122
	«Витанолл РК»	15	57	10	47	114

и «всходы — спелость» оказывал влияние на растения донника белого однолетнего, «Мивал Агро» находился на уровне с контрольным вариантом.

На основании представленных данных о продолжительности межфазных периодов донника белого однолетнего сорта Заволжский в 2023 году можно констатировать определенное влияние биостимуляторов на фенологическое развитие культуры. Несмотря на то что межфазный период «посев — всходы» оставался неизменным (15 суток) во всех вариантах, включая контрольный, наблюдали колебания в длительности других фаз.

Так, применение препарата «Витанолл N» привело к увеличению периода «бутонизация — цветение» (на 3 суток) по сравнению с контролем, что может свидетельствовать о стимуляции ростовых процессов. Период «цветение — спелость» варьировал, демонстрируя минимальную продолжительность в варианте с применением препарата «Витанолл РК» (47 суток). Общая продолжительность периода «всходы — спелость» у донника белого однолетнего изменялась в зависимости от варианта. Наибольшая продолжительность (122 дня) отмечена у варианта с применением препарата «Витанолл N», что на 5 суток больше, чем в контролльном варианте, наименьшая — с «Витанолл РК» (114 суток), что на 3 суток ниже контроля.

Таким образом, продолжительность межфазных периодов в исследованиях, проведенных в условиях Среднего Поволжья с 2020 по 2023 г. на доннике белом однолетнем сортов Средневолжский и Заволжский, имеет определенные закономерности, обусловленные как сортовыми особенностями, так и воздействием изучаемых препаратов. Отмечено, что продолжительность вегетационного периода от всходов до спелости варьировала в зависимости от года. В целом наблюдали тенденцию к увеличению

продолжительности межфазных периодов «бутонизация — цветение», «цветение — спелость» и «всходы — спелость» при применении препарата «Витанолл N», что может указывать на его стимулирующее воздействие, на процессы роста и развития сортов донника белого однолетнего. Значимых различий по общей продолжительности вегетации между контрольными вариантами и вариантами с применением регулятора роста «Мивал Агро» и удобрения «Витанолл РК» выявлено не было. Сортовые различия в продолжительности межфазных периодов между сортами Средневолжский и Заволжский оказались незначительными.

Анализ данных в среднем за 2020–2023 гг. (табл. 4) свидетельствует о влиянии комплексных удобрений и регуляторов роста на показатели продуктивности донника белого однолетнего в зависимости от сорта.

Так, на сорте Средневолжский увеличение высоты растений от 132,30 до 137,38 см и облистенности от 38,52 до 41,22% было отмечено при обработке по вегетации препаратами «Мивал Агро», «Витанолл N» и «Витанолл РК». Наибольшее увеличение зеленой массы (14,15 т/га) и сухого вещества (4,24 т/га) наблюдали в варианте с применением удобрения «Витанолл N». Схожие результаты были получены при использовании препарата «Витанолл РК», где показатели зеленой и сухой массы составили 14,04 т/га и 4,20 т/га соответственно.

В случае сорта Заволжский наибольший эффект на высоту растения (139,03 см), облистенность (46,78%), зеленую массу (13,09 т/га) и выход сухого вещества (4,02 т/га) оказал вариант с применением удобрения «Витанолл РК». Вариант с препаратом «Витанолл N» способствовал увеличению высоты растений до 139,03 см. Незначительное увеличение показателей продуктивности наблюдали при использовании препарата «Мивал Агро», где облистенность составила 45,47%, а выход сухого вещества — 3,77 т/га. Данный показатель является важным фактором, определяющим качество корневой массы донника белого, поскольку более высокая облистенность способствует повышению содержания протеина и улучшению питательной ценности. Статистически значимые различия (HCP_{05}) между вариантами свидетельствуют о достоверности полученных данных и подтверждают эффективность применения комплексных удобрений и регуляторов роста для повышения продуктивности донника белого однолетнего.

Таблица 4. Влияние физиологически активных веществ на показатели продуктивности донника белого однолетнего в фазу полного цветения (2020–2023 гг.)
Table 4. The effect of physiologically active substances on the productivity of annual white sweet clover in the full flowering phase (2020–2023)

Вариант	Высота, см	Облистенность, %	Зеленая масса, т/га	Сухое вещество, т/га
Средневолжский				
Контроль	132,30	38,52	12,99	3,84
«Мивал Агро»	137,25	38,91	13,73	3,78
«Витанолл N»	137,05	41,22	14,15	4,24
«Витанолл РК»	137,38	40,27	14,04	4,20
HCP_{05}	2,76	1,22	0,06	0,03
HCP^A	1,32	0,54	0,02	0,01
$HCP_{B,AB}$	1,44	0,68	0,04	0,02
Заволжский				
Контроль	133,73	41,56	12,33	3,72
«Мивал Агро»	137,58	45,47	12,91	3,77
«Витанолл N»	139,03	44,57	12,86	3,91
«Витанолл РК»	139,13	46,78	13,09	4,02
HCP_{05}	3,66	1,66	0,05	0,06
HCP^A	1,77	0,75	0,02	0,02
$HCP_{B,AB}$	1,89	0,89	0,03	0,04

Таким образом, применение комплексных удобрений и регуляторов роста, таких как «Мивал Агро», «Витанолл N» и «Витанолл РК», оказывает положительное влияние на показатели продуктивности донника белого однолетнего.

Анализ полученных данных (табл. 5) при воздействии комплексных удобрений и регуляторов роста на урожайность семян донника белого однолетнего сортов Средневолжский и Заволжский в среднем за 2020–2023 гг. выявил значимые различия в урожайности в зависимости от применяемого варианта обработки, сортовых особенностей и сложившихся погодных условий в годы исследований.

Сохранность растений изменялась в зависимости от применяемого препарата. Наиболее высокую сохранность наблюдали при использовании

Таблица 5. Влияние физиологически активных веществ на урожайность семян донника белого однолетнего (2020–2023 гг.)
Table 5. The effect of physiologically active substances on the yield of annual white sweet clover seeds (2020–2023)

Вариант	Сохранность, %	Масса 1000 семян, г	Урожайность, кг/га				
			2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Средняя
Средневолжский							
Контроль	66	2,56	309,9	367,1	84,9	177,70	234,90
«Мивал Агро»	66	2,57	428,7	359,7	124,1	183,63	274,03
«Витанолл N»	62	2,91	301,2	401,4	126,2	220,33	262,28
«Витанолл РК»	73	2,59	298,5	408,8	88,5	225,75	255,38
HCP_{05}	3,96	0,04	6,12	4,47	2,14	1,90	3,94
HCP^A	1,98	0,01	—	—	—	—	1,95
$HCP_{B,AB}$	1,99	0,02	—	—	—	—	1,97
Заволжский							
Контроль	63	2,47	452,4	353,2	96,1	181,75	270,86
«Мивал Агро»	60	2,51	512,6	347,6	133,3	190,40	295,98
«Витанолл N»	64	2,54	443,5	438,6	114,3	218,58	303,99
«Витанолл РК»	57	2,50	450,6	386,6	198,6	207,43	310,81
HCP_{05}	2,63	0,04	3,94	4,87	1,90	2,88	3,65
HCP^A	1,21	0,01	—	—	—	—	1,79
$HCP_{B,AB}$	1,42	0,02	—	—	—	—	1,82

препарата «Витанолл РК» у сорта Средневолжский (73%), а наименьшую — у сорта Заволжский при применении препарата «Витанолл РК» (57%). Анализ массы 1000 семян⁶ показал незначительные колебания в зависимости от варианта обработки и сорта. Так, у сорта Средневолжский масса 1000 семян варьировала от 2,56 г (на контролльном варианте) до 2,91 г (с применением препарата «Витанолл Н»), а у сорта Заволжский — от 2,47 г (контроль) до 2,54 г («Витанолл Н»).

Данный показатель является важным фактором, определяющим посевные качества семян донника белого однолетнего. Средняя урожайность сорта Средневолжский в контролльном варианте составила 234,90 кг/га, в то время как применение препарата «Мивал Агро» увеличило этот показатель до 274,03 кг/га, превысив контроль на 16,6%. Аналогичную тенденцию прослеживали при использовании препаратов «Витанолл Н» и «Витанолл РК», где средняя урожайность составила 262,28 кг/га и 255,38 кг/га соответственно.

У сорта Заволжский наблюдали положительное влияние изучаемых препаратов на урожайность. В контролльном варианте средняя урожайность составила 270,86 кг/га, а при применении препаратов «Мивал Агро», «Витанолл Н» и «Витанолл РК» показатели возросли до 295,98 кг/га, превысив контрольный вариант на 9,3%, на 303,99 кг/га (12,2%) и 310,81 кг/га, превысив на 14,7% соответственно.

Применение удобрений и регуляторов роста, таких как «Мивал Агро», «Витанолл Н» и «Витанолл РК», на сорте донника белого однолетнего сорта Средневолжский в среднем за 2020–2023 гг. демонстрирует тенденцию к увеличению содержания сахара⁷ и протеина⁸ в абсолютно сухом веществе по сравнению с контролльным вариантом. Так, обработка препаратом «Мивал Агро» привела к повышению содержания сахара на 0,91%, а протеина — на 0,92% относительно контроля.

Препараты «Витанолл Н» и «Витанолл РК» показали положительное влияние на содержание сахара и протеина. Применение данных препаратов оказалось заметное влияние на содержание каротина⁹ — важного предшественника витамина А. Содержание каротина в вариантах с применением этих препаратов увеличилось на 3% и 2,75% соответственно, что свидетельствует о потенциальной возможности повышения питательной ценности донника белого. Незначительные колебания в содержании жира между вариантами не позволяют сделать однозначных выводов о влиянии исследуемых препаратов на данный показатель.

Таблица 6. Влияние физиологически активных веществ на показатели химического состава донника белого однолетнего в fazu начала цветения, среднее за 2020–2023 гг.

Table 6. Influence of physiologically active substances on the chemical composition of annual white sweet clover in the early flowering phase, average for 2020–2023

Вариант	Содержание в абсолютно сухом веществе, %			
	сахара	протеина	жира	каротина
Средневолжский				
Контроль	6,61	13,69	3,64	34,80
«Мивал Агро»	7,52	14,61	3,76	34,88
«Витанолл Н»	7,10	14,46	3,85	37,80
«Витанолл РК»	7,59	13,79	3,75	37,55
Заволжский				
Контроль	7,63	13,28	3,11	43,88
«Мивал Агро»	7,70	13,87	3,17	44,74
«Витанолл Н»	8,45	13,49	3,13	45,77
«Витанолл РК»	6,59	13,83	3,39	45,79

В таблице 6 анализ химического состава донника белого однолетнего сорта Заволжский установил увеличение содержания сахара при обработке препаратом «Витанолл Н» (8,45%) по сравнению с контролльным вариантом (7,63%).

Применение стимулятора роста «Мивал Агро» положительно повлияло на содержание сахара, что не скажешь о варианте с удобрением «Витанолл РК», который находился ниже контролльного варианта (на 1,04%). Применение изучаемых препаратов не дало существенной прибавки протеина, составив 13,28–13,83%. Содержание жира¹⁰ изменилось незначительно, однако стоит отметить, что «Витанолл РК» оказал некоторое стимулирующее воздействие на его накопление (3,39%).

Важно отметить, что концентрация каротина подверглась влиянию изучаемых веществ. Наибольшее содержание каротина было зарегистрировано при применении препаратов «Витанолл Н» (45,77%) и «Витанолл РК» (45,79%).

Анализ данных химического состава донника белого однолетнего в fazu начала цветения за 2020–2023 гг. демонстрирует вариативность содержания физиологически активных веществ в зависимости от применения различных вариантов обработки. В частности, наблюдается тенденция к увеличению содержания сахара и протеина при использовании изучаемых препаратов по сравнению с контролльным вариантом. Однако следует отметить, что различия в содержании жира между вариантами обработки относительно незначительны.

⁶ ГОСТ 12042-80 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян. М.: Издательство стандартов. 1980.

⁷ ГОСТ 26176-91 Методы определения растворимых и легкорастворимых углеводов. Метод определения растворимых углеводов по Беррану. М.: Издательство стандартов. 1993.

⁸ ГОСТ 10846-91 Определение белка по методу Кельдаля. М.: Издательство стандартов. 1992.

⁹ ГОСТ 13496.17-2019 Метод определения каротина. М.: Стандартинформ. 2019.

¹⁰ ГОСТ 10857-64 Методы определения масличности. М.: Стандартинформ 2010.

Выводы/Conclusios

Анализ продолжительности межфазных периодов выявил, что обработка препаратом «Витанолл N» увеличивает вегетационный период до 122–124 суток, что, однако, компенсируется повышением показателей продуктивности.

Применение физиологически активных веществоказало положительное влияние на морфологические параметры сортов донника. Так, наибольшую высоту растений (137,38–139,13 см) и облиственность (40,27–46,78%) наблюдали в варианте с препаратором «Витанолл РК». В частности, установлено увеличение зеленой массы и содержания сухого вещества при обработке препаратами «Витанолл N» (на сорте Средневолжский) и «Витанолл РК» (на сорте Заволжский).

Исследования выявили, что обработка препаратами «Мивал Агро», «Витанолл N» и «Витанолл РК» приводит к увеличению урожайности семян по сравнению с контрольным вариантом. Наиболее значительное увеличение урожайности наблюдали на сорте донника белого однолетнего сорта Заволжский — 295,98–310,81 кг/га.

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 plagiat.

Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

Оценка химического состава донника показала, что применение физиологически активных веществ оказывает влияние на содержание сахара, протеина и каротина в абсолютно сухом веществе.

В частности, отмечено увеличение содержания протеина при обработке препаратами «Мивал Агро» — 13,87% (сорт Заволжский) и 14,61% (сорт Средневолжский), «Витанолл РК» — 13,79% (сорт Средневолжский) и 13,83% (сорт Заволжский). Повышение содержания каротина наблюдали при обработке препаратами «Витанолл N» и «Витанолл РК». Полученные данные свидетельствуют о возможности улучшения качественных характеристик донника белого однолетнего путем применения физиологически активных веществ.

Таким образом, результаты исследований подтверждают целесообразность применения физиологически активных веществ для повышения продуктивности и улучшения качественных характеристик донника белого однолетнего в условиях Среднего Поволжья.

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. Конончук В.В., Тимошенко С.М., Штырхунов В.Д., Назарова Т.О. Эффективность систем удобрения и источников азота при возделывании озимых и яровых зерновых культур в севообороте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Центрального Нечерноземья. *Агротехнический вестник*. 2022; (2): 15–21. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-2-003>
2. Кутузова А.А. и др. Агроэнергетическая эффективность усовершенствованных технологий и современных систем производства высококачественных объемистых кормов на луговых сенокосах в Нечерноземной зоне. *Кормопроизводство*. 2021; (7): 3–10. <https://elibrary.ru/satprc>
3. Охлопкова П.П., Мерзляя Г.Е., Борисова В.Б. Влияние удобрений на урожайность и качество люцерны серповидной в Якутии. *Агротехнический вестник*. 2022; (5): 21–23. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-5-005>
4. Казарина А.В., Марунова Л.К., Атакова Е.А. Изучение перспективных сортов донника белого однолетнего (*Melilotus albus* Medik) в условиях Среднего Поволжья. *Земледелие*. 2022; (8): 39–43. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-8-39-43>
5. Алборова П.В. Донник желтый как основа биологизации земледелия. *Приоритетные направления регионального развития. Сборник статей по материалам II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием*. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева. 2021; 311–315. <https://elibrary.ru/ksbiou>
6. Казарина А.В., Марунова Л.К., Шишина А.С. Влияние применения современных комплексных удобрений и регуляторов роста на формирование продуктивности донника белого однолетнего. *Достижения науки и техники АПК*. 2024; 38(11): 33–39. <https://elibrary.ru/bakwae>
7. Козырева М.Ю., Басиева Л.Ж. Формирование симбиотического аппарата люцерны в зависимости от типа азотного питания. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020; 15(1): 10–16. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-10-16>
8. Кусайнов Х.А., Тунтаев А.В., Муртазалиев М.С., Елмурзаева Ф.Д., Абасов М.Ш. Содержание азота в почве и урожайность озимой пшеницы при разных приемах основной обработки чернозема типичного с использованием средств биологизации. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022; (5): 30–34. <https://doi.org/10.31857/S2500262722050064>

9. Suraganov M.N., Memeshov S.K., Yancheva H.G., Durmektebayeva S.N. The effect of growth stimulators on sweet-clover yield and quality and its germination in laboratory and field conditions. *Ecology, Environment and Conservation.* 2018; 24(1): 533–539.
10. Чеботарев Н.Т., Шергина Н.Н., Тарабукина Т.В. Влияние комплексного применения органических и минеральных удобрений на фракционно-групповой состав и баланс гумуса дерново-подзолистой почвой Европейского Северо-Востока. *Агрономический вестник.* 2020; (3): 15–18. <https://elibrary.ru/zpxgog>
11. Чеботарев Н.Т., Броварова О.В. Влияние длительного применения систем удобрений на свойства почвы и продуктивность севооборота в условиях Европейского Севера России. *Агрономический вестник.* 2022; (5): 24–28. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-5-006>
12. Тимошкин О.А., Тимошкина О.Ю., Вельдин Р.В. Приемы повышения продуктивности донника белого. *Нива Поволжья.* 2021; (2): 91–99. <https://doi.org/10.36461/NP.2021.59.2.018>

ОБ АВТОРАХ**Алина Сергеевна Шишина**

младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в сфере селекции, семеноводства и семеноведения
shishina-2024@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7504-6597>

Людмила Константиновна Марунова

старший научный сотрудник лаборатории интродукции, селекции кормовых и масличных культур
marunova5858@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0037-4611>

Александра Владимировна Казарина

кандидат сельскохозяйственных наук, директор, ведущий научный сотрудник лаборатории интродукции, селекции кормовых и масличных культур
kazarinaav@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9535-7691>

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константина, ул. Шоссейная, 76, пгт Усть-Кинельский, Кинель, Самарская обл., 446442, Россия

9. Suraganov M.N., Memeshov S.K., Yancheva H.G., Durmektebayeva S.N. The effect of growth stimulators on sweet-clover yield and quality and its germination in laboratory and field conditions. *Ecology, Environment and Conservation.* 2018; 24(1): 533–539.

10. Chebotarev N.T., Shergina N.N., Tarabukina T.V. Influence of complex application of organic and mineral fertilizers on the fractional-group composition and balance of humus of the Euro-North-East soddy-podzolic soil. *Agrochemical Herald.* 2020; (3): 15–18 (in Russian). <https://elibrary.ru/zpxgog>

11. Chebotarev N.T., Brovarova O.V. Effect of long-term use of fertilizer systems on soil properties and crop rotation productivity in conditions of the European North. *Agrochemical Herald.* 2022; (5): 24–28 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-5-006>

12. Timoshkin O.A., Timoshkina O.Yu., Veldin R.V. Methods for increasing the productivity of the white sweet clover. *Volga Region Farmland.* 2021; (2): 70–76. <https://doi.org/10.26177/VRF.2021.10.2.011>

ABOUT THE AUTHORS**Alina Sergeevna Shishina**

Junior Researcher at the Laboratory of Innovative Technologies in the Field of Breeding, Seed Production and Seed Science
shishina-2024@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7504-6597>

Lyudmila Konstantinovna Marunova

Senior Researcher at the Laboratory of Introduction, Breeding of Fodder and Oilseed Crops
marunova5858@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0037-4611>

Alexandra Vladimirovna Kazarina

Candidate of Agricultural Sciences, Director, Leading Researcher at the Laboratory of Introduction, Breeding of Fodder and Oilseed Crops
kazarinaav@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9535-7691>

The P.N. Konstantinov Volga Scientific Research Institute of Breeding and Seed Production is a branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 76 Shosseynaya Str, village Ust-Kinelsky, Kinel, Samara region, 446442, Russia

VII АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ МОЛОКО РОССИИ



ТЕМЫ ФОРУМА:

КОРМОПРОИЗВОДСТВО

КОРМЛЕНИЕ КРС · ПЕРЕРАБОТКА МЯСА

КЛУБ ДИРЕКТОРОВ · ПЕРЕРАБОТКА МОЛОКА

КОРМОЗАГОТОВКА · ВЕТЕРИНАРИЯ

ЗООТЕХНИЯ · КЛУБ СОБСТВЕННИКОВ

УПРАВЛЕНИЕ / ИННОВАЦИИ

**ЧАСТИЕ ДЛЯ СЕЛЬХОЗПРЕДПРИЯТИЙ
БЕСПЛАТНО!**



ВСЯ ИНФОРМАЦИЯ О МЕРОПРИЯТИИ И РЕГИСТРАЦИЯ НА WWW.MOL.CLUB

СОХРАНЯЯ ТРАДИЦИИ, СОЗДАЁМ БУДУЩЕЕ!

УДК 633.111.1:631.526.325

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-125-133

Данил Ф. Асхадуллин ✉

Дамир Ф. Асхадуллин

Н.З. Василова

Е.С. Кириллова

Г.Р. Саубанова

Г.Р. Гайфуллина

И.И. Хусаинова

М.Р. Тазутдинова

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

✉ trulik@ya.ru

Поступила в редакцию: 17.06.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Асхадуллин Данил Ф.,
Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н.З.,
Кириллова Е.С., Саубанова Г.Р.,
Гайфуллина Г.Р., Хусаинова И.И.,
Тазутдинова М.Р.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-125-133

Danil F. Askhadullin ✉

Damir F. Askhadullin

Nurania Z. Vasilova

Elena S. Kirillova

Gulnara R. Saubanova

Gulnar R. Gaifullina

Ilsina I. Khusainova

Mukhabbat R. Tazutdinova

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

✉ trulik@ya.ru

Received by the editorial office: 17.06.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

© Askhadullin Danil F., Askhadullin Damir F., Vasilova N.Z., Kirillova E.S., Saubanova G.R., Gaifullina G.R., Khusainova I.I., Tazutdinova M.R.

Качество сортов яровой мягкой пшеницы для изготовления хлеба из цельнозерновой муки

РЕЗЮМЕ

Ввиду благоприятного влияния на здоровье человека потребление цельнозерновых продуктов, в частности пшеничного хлеба из обойной муки, была поставлена цель оценить качество сортов и линий яровой мягкой пшеницы, в том числе фиолетовозерных, созданных в ФИЦ КазНЦ РАН для производства цельнозернового хлеба. Были изучены показатели зерна (содержание белка и клейковины, ее качество, натура, стекловидность), реологические свойства теста (фаринограф, альвеограф), амилографические характеристики муки и хлебопекарные качества. Результаты показали, что большинство сортов соответствуют 3-му классу качества, при этом выделяются сорт Хазинэ и фиолетовозерная линия Кк-21-09-6 с высоким содержанием белка и клейковины. Реологические параметры теста, полученного из цельнозерновой муки, измеренные фаринографом и альвеографом, выявили достоверные различия у отдельных образцов по показателям: ВПС, энергия деформации теста, максимальное избыточное давление, среднее значение абсциссы при разрыве. Амилографический анализ выявил значительные различия в вязкости крахмального клейстера: у Хазинэ она максимальна (860 е. а.), а у Кк-21-09-6 — крайне низка (115 е. а.), что может указывать на повышенную ферментативную активность последней. Хлебопекарные испытания продемонстрировали, что лучшие объем и качество хлеба характерны для сортов Надира и Хазинэ, несмотря на различия в реологических свойствах теста у этих образцов. Корреляционный анализ подтвердил слабую связь между традиционными реологическими тестами и конечным качеством хлеба, выпеченного по ГОСТ 27669-88, что подчеркивает необходимость разработки специализированных методов хлебопекарной оценки для цельнозерновой муки.

Ключевые слова: цельнозерновая мука, пшеница, сорт, окрашенная зерновка, реологические свойства теста, качество зерна, вязкость

Для цитирования: Асхадуллин Данил Ф. и др. Качество сортов яровой мягкой пшеницы для изготовления хлеба из цельнозерновой муки. Аграрная наука. 2025; 398(09): 125–133.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-125-133>

The quality of spring common wheat varieties for making bread from whole grain flour

ABSTRACT

The article presents the results of a quality study of spring common wheat varieties and lines, including purple-grained forms, for the production of whole-grain bread. In view of the beneficial effect on human health of the consumption of whole-grain products, in particular wheat bread made from wallpaper flour, we set the goal to evaluate the quality of spring common wheat varieties and lines, including purple-grained ones, created at FRC Kazan Scientific Center RAS for the production of whole-grain bread. Grain parameters (protein and gluten content, its quality, hectolitre weight, vitreousness), rheological properties of dough (farinograph, alveograph), amylographic characteristics of flour and baking qualities were studied. The results showed that most of the varieties correspond to the 3rd quality class, while the Khazine variety and the purple line of the Kk-21-09-6 high in protein and gluten. Rheological parameters of the dough obtained from whole grain flour, measured by a pharynograph and an alveograph, revealed significant differences in individual samples in terms of indicators: the water absorption, the deformation energy (W), the maximum overpressure (P), the average abscissa to rupture (L). Amylographic analysis revealed significant differences in the viscosity of starch paste: in Khazine it is maximum (860 units), and in Kk-21-09-6 — it is extremely low (115 e. a.), which may indicate increased enzymatic activity of the latter. Baking tests have shown that the best volume and quality of bread are typical for Nadira and Khazine varieties, despite the differences in the rheological properties of the dough in these samples. Correlation analysis confirmed a weak relationship between traditional rheological tests and the final quality of bread baked according to standard GOST 27669-88, which underlines the need to develop specialized baking evaluation methods for whole grain flour.

Key words: whole grain flour, wheat, grade, purple seeds, rheological properties of dough, grain quality, viscosity

For citation: Askhadullin Danil F. et al. The quality of spring common wheat varieties for making bread from whole grain flour. Agrarian science. 2025; 398(09): 125–133 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-125-133>

Введение/Introduction

Связь между потреблением цельнозерновых продуктов и снижением риска ряда заболеваний установлена в обширных клинических исследованиях и их метаанализах. Более высокое потребление цельнозерновых продуктов, приводит к снижению риска развития диабета 2-го типа [1, 2]. Кроме того, потребление цельнозерновых продуктов оказывает благотворное влияние на метabolизм глюкозы у пациентов с сахарным диабетом [3].

Потребление цельного зерна связано со снижением риска рака органов пищеварительного тракта [4, 5]. Потребление продуктов из цельнозерновой муки по сравнению с продуктами из сеянной муки значительно влияет на субъективный аппетит и частично объясняет обратную связь между потреблением пищи из цельнозерновой муки и риском избыточного веса и ожирения [6–8].

Метаанализ, проведенный Swaminathan S. и соавт. на основании 34 клинических исследований, показал, что потребление цельнозерновых продуктов не оказывает отрицательного влияния на здоровье человека. В то же время более высокое потребление зерна, лишенного оболочек, связано с более высоким риском общей смертности и сердечно-сосудистых событий [9]. На основании систематического обзора были сделаны выводы, что большее потребление цельнозерновых продуктов связано с улучшением настроения и снижением тревожности у людей [10].

Эти исследования еще раз подтверждают важность потребления цельнозерновых продуктов для профилактики заболеваний. Благоприятные свойства потребления цельнозерновых продуктов связывают с высоким уровнем пищевых волокон, биоактивных фенольных соединений, антиоксидантов, витаминов и минералов благодаря включению отрубей и зародышей [11].

Еще одним важным компонентом зерна у некоторых сортов пшеницы являются антоцианы^{1,2} [12, 13], содержащиеся в перикарпии и айлероновом слое зерновки. Адекватное ежедневное потребление антоцианов может обеспечить защиту от многочисленных заболеваний и расстройств, особенно нейродегенеративных и сердечно-сосудистых заболеваний [14]. Богатая антоцианами пшеница может быть использована в качестве перспективного источника функционального питания на ранних стадиях нейродегенеративных заболеваний [15]. В то же время при выпечке хлеба большая часть антоцианов теряется [16, 17].

Антоцианы содержатся в зерне и цельнозерновой муке в так называемых фиолетово-, голубо- и чернозерных сортах пшеницы. У фиолетовозерной пшеницы антоцианы накапливаются в перикарпии зерновки, у голубозерной — синтезируются

в алейроновом слое зерновки, у чернозерной — одновременно в перикарпии и айлероновом слое [18].

Основным цельнозерновым продуктом, получаемым из пшеницы, является хлеб, изготовленный из обойной (цельнозерновой) муки. Потребительское восприятие цельнозернового хлеба низкое по сравнению с белым хлебом, что связано с более низкими органолептическими характеристиками.

Для улучшения характеристик цельнозернового хлеба используется ряд приемов, связанных с подготовкой и помолом зерна, используемых заквасок и рецептуры, тестоведения и выпечки [19–23]. Имеются сведения о влиянии сорта пшеницы на качество цельнозернового хлеба и неоднозначной связи реологических свойств теста и качества хлеба у разных сортов пшеницы, изготовленного из муки, подвергнутой обработке на вальцовых мельницах с выходом муки 67% и цельнозерновой муки [24].

Schmiele с соавт. [25], сопоставив параметры реологических свойств теста и полученного хлеба, пришли к выводу о необходимости разработки новых реологических норм для цельнозерновой муки, отличных от норм, применяемых для сеянной муки.

Цель исследований — оценить качество сортов и линий яровой мягкой пшеницы, в том числе фиолетовозерных, созданных в Федеральном исследовательском центре «Казанский научный центр Российской академии наук (ФИЦ КазНЦ РАН)», для производства цельнозернового хлеба.

Материалы и методы исследования /

Materials and methods

Исследования проводили в Татарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства — обособленном структурном подразделении Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук» (Татарском НИИСХ — ФИЦ КазНЦ РАН).

Качество зерна оценивали из урожая 2020–2022 гг., полученного в сортоиспытании на экспериментальных участках, расположенных в Лаишевском районе Республики Татарстан, на серых лесных почвах.

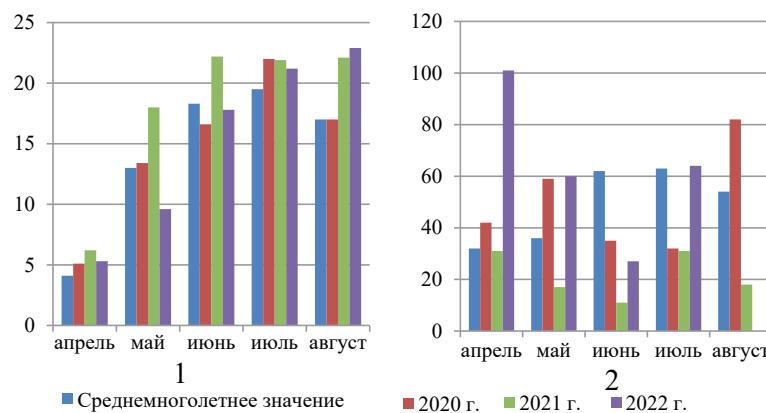
Погодные условия в годы изучения характеризовались различными гидротермическими условиями в период вегетации (рис. 1).

В качестве объектов исследования были сорта и линии собственной селекции ФИЦ КазНЦ РАН: краснозерные сорта Йолдыз, Аль Варис, белозерный сорт Хазинэ, фиолетовозерный сорт Надира, фиолетовозерные линии Кк-21-09-6 и Кк-193-08-1.

¹Шоева О.Ю., Гордеева Е.И., Хлесткина Е.К. Внтригенный ДНК-маркер для отбора пшеницы с повышенным содержанием антоцианов в перикарпе зерновки. ФГБНУ ФИЦ «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук», № 2774444. Заявл. 29.11.2021. Опубл. 21.06.2022. Бюлл. № 18.

²Хлесткина Е.К., Гордеева Е.И., Шоева О.Ю., Кукоева Т.В., Шаманин В.П., Моргунов А.И. Способ отбора линий яровой мягкой пшеницы с повышенным содержанием антоцианов в зерне. ФГБНУ ФИЦ «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук», № 2762804. Заявл. 09.02.2021. Опубл. 23.12.2021. Бюлл. № 36.

Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха, °C (1) и сумма осадков, мм (2)
Fig. 1. Average monthly air temperature, °C (1) and precipitation, mm (2)



Оценку содержания белка в зерне проводили по ГОСТ 10846-91³ на комплексе оборудования UDK 152 (VELP Scientifica, Италия), количество (ручной метод отмычки) и качество клейковины (на измерителе деформации клейковины ИДК-1, Россия) — по ГОСТ 54478-2011⁴, стекловидность зерна на диафанскопе (ДСЗ-2М, Россия) — по ГОСТ 10987-76⁵, натуру зерна на литровой пурке (ПХ-1МЦ, Россия) — по ГОСТ 10840-2017⁶, физические характеристики теста с применением фаринографа E (Brabender GmbH & Co KG, Германия) — по ГОСТ ISO 5530-1-2013⁷, физические характеристики теста с применением прибора альвеограф NG (Chopin Technologies, Франция) — по ГОСТ Р 51415-99 (ISO 5530-4-91)⁸, определение вязкости водно-мучной суспензии в ходе ее клейстеризации при нагревании с применением амилографа 8001 (Brabender GmbH & Co KG, Германия) — по ГОСТ ISO 7973-2013⁹.

Пробную выпечку в лаборатории проводили по ГОСТ 27669-88¹⁰. Рецептура выпечки и условия проведения анализа — согласно вышеуказанному ГОСТу. Применили тестомесилку (У1-ЕТВ, Россия), шкаф лабораторный расстойный (ШРЛ-065, Россия) и шкаф лабораторный хлебопекарный (ШХЛ-065 СПУ, Россия).

Цельнозерновая мука получена путем восстановления муки, на лабораторной вальцовой мельнице CD 1 Mill (CHOPIN Technologies, Франция) размолотыми отрубями в пропорциях, содержащихся

в цельном зерне. Использовали свежие хлебопекарные прессованные дрожжи с подъемной силой не более 70 мин., заявленные производителем как соответствующие ГОСТ 54731-2011¹¹. Для определения объема формового хлеба использовали стеклянные сосуды объемом 2500 мл и семена проса, откалиброванные на решетах с круглыми отверстиями 2,2 мм и 1,2 мм.

Балльная оценка качества хлеба проведена по методическим рекомендациям ОрелГТУ¹², в том числе структуру пористости хлеба опре-

деляли в баллах, где 5 — пористость мелкая, равномерная, тонкостенная, без пустот и уплотнений.

При характеристике органолептических свойств хлеба применяли правила ГОСТ 5667-22¹³, ГОСТ ISO 6658-2016¹⁴, ГОСТ ISO 13299-2015¹⁵.

Статистический анализ результатов эксперимента и корреляционный анализ проведены на основании части второй методики — основ статистической обработки результатов исследований¹⁶.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Пшеницу в зависимости от качества зерна подразделяют на пять классов согласно ГОСТ 9353-2016¹⁷, максимальный класс качества — 1-й. Согласно полученным данным, зерно большинства изученных сортов соответствует 3-му классу качества (табл. 1).

Показатель, приведший к снижению классности, — это качество клейковины на приборе ИДК, которое было более 88 ед. Такая клейковина характеризуется как удовлетворительно слабая. Максимальное содержание белка и клейковины в зерне отмечается у сорта Хазинэ (14,1% и 31,3% соответственно) и линии Кк-21-09-6 (14,6% и 33,5%). Испытанные образцы имеют высокую натуру зерна — от 767 г/л у линии Кк-193-08-1 до 798 г/л у сорта Надира. Сорт Хазинэ при величине общей стекловидности 71% достоверно превосходит все образцы, кроме сорта Аль Варис.

³ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка.

⁴ГОСТ 54478-2011 Зерно. Методы определения количества и качества клейковины.

⁵ГОСТ 10987-76 Зерно. Методы определения стекловидности.

⁶ГОСТ 10840-2017 Зерно. Методы определения натуры.

⁷ГОСТ ISO 5530-1-2013 Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа.

⁸ГОСТ Р 51415-99 Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение реологических свойств с применением альвеографа.

⁹ГОСТ ISO 7973-2013 Зерно и зернопродукты. Определение вязкости с применением амилографа.

¹⁰ГОСТ 27669-88 Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба.

¹¹ГОСТ Р 54731-2011 Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия.

¹²Корячкина С.Я., Березина Н.А., Хмелева Е.В. Методы исследования качества хлебобулочных изделий. Орел: ОрелГТУ. 2010; 166.

¹³ГОСТ 5667-22 Изделия хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий.

¹⁴ГОСТ 5667-22 Изделия хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий.

¹⁵ГОСТ ISO 13299-2015 Органолептический анализ. Методология. Общее руководство по составлению органолептического профиля.

¹⁶Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва. 2024; 349.

¹⁷ГОСТ 9353-2016 Пшеница. Технические условия.

Таблица 1. Качество зерна образцов яровой мягкой пшеницы, 2020–2022 гг.*

Table 1. Grain quality of spring common wheat samples, 2020–2022

Сорт (линия)	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Натура, г/л	Стекловидность, %
Йолдыз	11,8 ± 1,7	23,1 ± 2,9	88 ± 12	774 ± 29	46 ± 13
Аль Варис	12,7 ± 1,5	27,9 ± 2,7	87 ± 8	786 ± 33	60 ± 14
Хазинэ	14,1 ± 1,0	31,3 ± 4,5	95 ± 5	793 ± 28	71 ± 17
Надира	13,0 ± 0,4	24,4 ± 1,6	95 ± 4	798 ± 22	42 ± 9
Кк-193-08-1	12,2 ± 0,5	23,8 ± 1,1	93 ± 5	767 ± 33	39 ± 10
Кк-21-09-6	14,6 ± 0,8	33,5 ± 5,6	97 ± 7	771 ± 23	41 ± 10
HCP ₀₅	2,0	6,5	—	13	22

Примечание: * содержание белка приведено на абсолютно сухое вещество, натуру зерна и стекловидность определяли при фактической уравновешенной влажности.

При характеристике сортов по качеству особое место принадлежит оценке реологических свойств теста на фаринографе и альвеографе. Методы исследования на этих приборах могут быть использованы и для цельнозерновой муки. Компоненты цельнозерновой муки, особенно фракция клетчатки, оказывают значительное влияние на свойства теста, и, как правило, если использовать современные классификационные параметры, то тесто из цельнозерновой муки будет иметь хорошие фаринографические характеристики для производства хлеба. Но эти реологические параметры неспособны предсказать качество цельнозернового хлеба [26].

Оценка сортов в настоящем эксперименте выяснила, что показатели фаринографа имеют значительную амплитуду по годам изучения.

Достоверны различия между сортами только по водопоглотительной способности ВПС (табл. 2).

В пределах столбца средние значения, обозначенные разными буквами, достоверно отличаются по критерию Фишера при $p < 0,05$.

Таблица 2. Фаринографические характеристики свойств теста у образцов яровой мягкой пшеницы, 2020–2022 гг.

Table 2. Farinographic characteristics of the dough in spring common wheat samples, 2020–2022

Сорт (линия)	Значение	Показатель				
		ВПС, %	время образования теста, мин	устойчивость теста, мин.	разжижение теста, ед. ф.	валориметрическая оценка, ед. в.
Йолдыз		60,7 ^c	5,0	8,5	55	60
	lim	59,5–61,9	2,3–7,4	2,3–15,6	35–85	47–71
Аль Варис		63,1 ^{bc}	4,5	4,7	70	58
	lim	61,9–64,0	2,5–7,3	2,4–8,9	59–80	53–68
Хазинэ		65,4 ^{ab}	4,4	5,2	65	57
	lim	61,4–67,6	3,0–5,5	3,2–7,2	50–75	48–62
Надира		61,3 ^c	4,9	7,6	57	62
	lim	58,3–63,8	2,6–6,4	3,2–10,4	48–64	53–66
Кк-193-08-1		60,9 ^c	4,4	7,4	59	58
	lim	58,7–63,1	2,4–6,1	2,4–11,1	40–88	47–66
Кк-21-09-6		66,3 ^a	5,0	6,1	76	59
	lim	66,3–67,9	3,4–6,5	5,1–7,8	57–90	54–64
HCP ₀₅		3,2	—	—	—	—

Наибольшее водопоглощение муки отмечали у сорта Хазинэ и линии Кк-21-09-6, в среднем, соответственно, 65,4% и 66,3%. Степень разжижения теста у сорта Надира не превышала 64 ед. ф., что свидетельствует о его лучшей устойчивости к деформации. Наибольшую степень разжижения теста наблюдали у линии Кк-21-09-6 20 — до 90 ед. ф. Сорт Аль Варис показал наименьшую устойчивость теста (2,4–8,9 мин.), что указывает на более низкую способность сохранять структуру при механическом воздействии по сравнению с другими образцами. Все сорта и линии показали близкие значения валориметрической оценки (57–62 ед. в.).

Альвеограф измеряет вязкоупругие свойства пузыря теста во время его надувания, что имитирует рост пузырьков, происходящий во время брожения теста и в начале выпечки [27]. Результаты оценки реологических свойств теста из цельнозерновой муки различных сортов и линий яровой мягкой пшеницы, полученные с помощью альвеографа, приведены в таблице 3.

В пределах столбца средние значения, обозначенные разными буквами, достоверно отличаются по критерию Фишера при $p < 0,05$.

Компоненты цельнозерновой муки (отруби) отрицательно влияют на показание альвеографа [28], данное явление отмечается и в настоящем эксперименте. Энергия деформации теста колебалась по годам и образцам испытания — от 52 до 242×10^{-4} J. Наибольшие значения энергии деформации отмечены в среднем у линии Кк-21-09-6 (190×10^{-4} J) и сорта Хазинэ (163×10^{-4} J), что свидетельствует о более высокой устойчивости теста к механическим нагрузкам у этих образцов и его способности сохранять структуру при брожении.

Наиболее упругое и устойчивое к деформации тесто формируется у линии Кк-21-09-6, у которой $P = 125$ мм, что достоверно выше, чем у других образцов. Сорт Хазинэ и линия Кк-21-09-6 обладают наибольшей растяжимостью теста, у которых величина L равна 47 мм и 38 мм соответственно, что важно для формирования пористой структуры хлеба. Достоверных различий по величине отношения упругости к растяжимости (P/L) у изученных образцов не выявлено, высокие значения (в среднем от 2,0 у сорта Хазинэ до 3,3 у линии Кк-21-09-6) указывают

на преобладание упругости к растяжимости теста.

При отборе сортов для цельнозернового хлеба важно учитывать не только реологические свойства теста, но и амилографические параметры, особенно максимальную вязкость и температурный профиль (табл. 4).

Изучение процесса клейстеризации на амилографе дает представление о ходе клейстеризации теста в процессе выпечки. Максимальную амилографическую вязкость наблюдали у сорта Хазинэ — в среднем 860 е. а., однако максимальная амплитуда изменения данного показателя среди изученных образцов (1595 е. а.), что указывает на активизацию крахмалрасщепляющих ферментов в зерне у данного сорта в отдельные годы. Наименьшую вязкость максимальной клейстеризации наблюдали у линии Кк-21-09-6 — в среднем 115 е. а (20–265 е. а.), что достоверно ниже, чем у большинства изученных образцов, это может указывать на высокую активность α -амилазы (возможно, ввиду скрытого прорастания зерна или слабой устойчивости крахмала к нагреванию). В данном случае крахмал связывает небольшое количество воды во время выпечки хлеба и макиши хлеба становится становиться липким. У большинства образцов начальная температура клейстеризации находится в диапазоне 61,9–63,2 °С, что типично для пшеницы и мало влияет на результат выпечки хлеба.

Самую низкую температуру максимальной (пиковой) вязкости отмечали у линии Кк-21-09-6 — в среднем 71,6 °С (69,0–73,8 °С), что достоверно ниже, чем у других образцов, это указывает на высокую активность α -амилазы. У сортов Йолдыз, Надира и линии Кк-193-08-1 температура, при которой достигается максимальная клейстеризация, превышает 85 °С, чаще всего мука с такими характеристиками способствует хорошей структуре хлеба.

Для хлеба, испеченного из обойной муки, характерны более низкий объем и хлебопекарная оценка по сравнению с хлебом, испеченым из сеянной муки [19], поэтому основными характеристиками такого хлеба служат объем выпекаемого хлеба и общая хлебопекарная оценка (табл. 5).

Таблица 3. Альвеографическая характеристика реологических свойств теста у образцов яровой мягкой пшеницы, 2020–2022 гг.

Table 3. Alveographic characteristics of rheological properties of dough in spring soft wheat samples, 2020–2022

Сорт (линия)	Значение	Энергия деформации теста, 10^{-4} Дж	Максимальное избыточное давление P_r , мм	Среднее значение абсциссы при разрыве L , мм	Показатель формы кривой P/L
Йолдыз		102 ^b	87 ^b	30 ^c	2,9
	lim	60–151	50–120	28–35	1,4–4,2
Аль Варис		90 ^b	84 ^b	27 ^c	3,1
	lim	78–103	66–102	25–29	2,3–4,0
Хазинэ		163 ^{ac}	94 ^b	47 ^a	2,0
	lim	74–229	53–123	44–49	1,2–2,6
Надира		107 ^{bc}	83 ^b	29 ^c	2,8
	lim	53–137	50–103	26–33	1,9–3,5
Кк-193-08-1		87 ^b	79 ^b	26 ^c	3,0
	lim	52–126	50–103	23–31	2,2–3,4
Кк-21-09-6		190 ^a	125 ^a	38 ^b	3,3
	lim	101–242	72–158	37–39	1,8–4,1
HCP ₀₅		58	24	6	—

Таблица 4. Характеристика водно-муочной суспензии у образцов яровой мягкой пшеницы, 2020–2022 гг.

Table 4. Characteristics of water-flour suspension in spring common wheat samples, 2020–2022

Сорт (линия)	Значение	Максимальная амилографическая вязкость, е. а.	Начальная температура клейстеризации, °С	Температура максимальной вязкости, °С
Йолдыз		570	62,7	87,6
	lim	210–940	61,8–64,5	80,7–91,5
Аль Варис		620	62,3	82,7
	lim	200–1225	61,2–63,9	74,4–88,8
Хазинэ		860	61,9	84,5
	lim	100–1695	60,9–62,7	71,4–91,2
Надира		520	62,8	86,3
	lim	210–910	61,8–63,9	78,9–90,9
Кк-193-08-1		618	63,2	85,1
	lim	200–1080	62,7–64,2	77,7–90,0
Кк-21-09-6		115	65,5	71,6
	lim	20–265	62,4–67,2	69,0–73,8

Таблица 5. Оценка хлеба из образцов яровой мягкой пшеницы, 2020–2022 гг.

Table 5. Evaluation of bread from spring common wheat samples, 2020–2022

Сорт (линия)	Объемный выход формового хлеба, см ³ /100 г муки	Общая хлебопекарная оценка, балл	Формоустойчивость подового хлеба	Оценка внешнего вида, балл	Структура пористости мякиша, балл
Йолдыз	456±59	3,99±0,16	0,37±0,02	4,55±0,11	3,93±0,40
Аль Варис	496±56	4,20±0,16	0,42±0,06	4,36±0,48	4,03±0,35
Хазинэ	511±45	4,24±0,26	0,39±0,02	4,52±0,17	4,33±0,06
Надира	529±47	4,11±0,09	0,39±0,01	4,14±0,15	4,13±0,23
Кк-193-08-1	473±39	3,58±0,13	0,32±0,03	3,84±0,44	3,40±0,36
Кк-21-09-6	504±50	3,94±0,11	0,41±0,05	3,88±0,18	3,93±0,40

Достоверных различий между образцами пшеницы по показателю «объемный выход формового хлеба» не выявлено, при этом следует отметить, что образцы, выпеченные по ГОСТ 27669-88¹⁰, имеют высокий объем

Рис. 2. Хлеб из фиолетовозерных образцов яровой мягкой пшеницы, 2020 г.

Fig. 2. Bread from purple-grain samples of spring common wheat, 2020



Таблица 6. Коэффициенты корреляции между показателями качества образцов яровой мягкой пшеницы

Table 6. Correlation coefficients between the quality indicators of spring common wheat samples

Показатель	Объем хлеба	Общая хлебопекарная оценка
Содержание белка в зерне	0,25	0,25
Содержание сырой клейковины в зерне	0,32	0,23
ИДК	0,06	-0,25
Стекловидность	0,02	0,50*
ВПС	0,23	0,11
Время образования теста	0,15	-0,23
Устойчивость теста	-0,05	-0,09
Разжижение теста	0,49*	0,09
Валориметрическая оценка	0,03	-0,25
Энергия деформации теста	0,13	-0,11
Упругость теста (P)	0,12	-0,24
Растяжимость (L)	0,23	0,35
P/L	-0,01	-0,40
Максимальная амилографическая вязкость	-0,19	0,37

(456–529 см³ / 100 г муки), сопоставимый с хлебом, выпеченным из сеянной муки. Наибольший и стабильный по годам объемный выход хлеба отмечали у фиолетовозерного сорта Надира — в среднем 529 см³ / 100 г муки. По интегральному показателю — общая хлебопекарная оценка — выделяются сорта Хазинэ (4,24 балла) и Аль Варис (4,20 балла), у которых высокая оценка внешнего вида, пористости и формоустойчивости. Наихудшей по качеству хлеба из обойной муки является фиолетовозерная линия Кк-193-08-1 (рис. 2).

Следует отметить, что наилучшим качеством хлеба из обойной муки обладают сорта с разными показателями качества зерна и муки. Для определения связи этих показателей с качеством хлеба из цельнозерновой муки был проведен корреляционный анализ (табл. 6).

Ввиду небольшой выборки из всех изученных показателей качества имеется средняя достоверная линейная корреляционная связь между показателями разжижения теста на фаринографе и объемным выходом хлеба ($r = 0,49^*$), а также стекловидностью зерна и общей хлебопекарной оценкой ($r = 0,50^*$).

Выходы/Conclusions

Большинство изученных сортов и линий пшеницы (Йолдыз, Аль Варис, Хазинэ, Надира, Кк-193-08-1, Кк-21-09-6) соответствуют 3-му классу качества по ГОСТ 9353-2016. Сорта Хазинэ и Кк-21-09-6 выделяются максимальным содержанием белка (14,1% и 14,6% соответственно) и клейковины (31,3% и 33,5%), но качество клейковины у данных образцов соответствует только 2-й группе качества (удовлетворительно слабая, ИДК > 78 ед.)

Максимальную стекловидность зерна отмечали у сортов Хазинэ (в среднем 71%) и Аль Варис (в среднем 60%), что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к «сильной» пшенице по ГОСТ 34702-2020. Наибольшую водопоглотительную способность муки отмечали у сорта Хазинэ (61,4–67,6%) и линии Кк-21-09-6 (66,3–67,9%), что благоприятно для получения повышенного припека хлеба. Наибольшую энергию деформации теста отмечали у линии Кк-21-09-6 (в среднем 190×10^{-4} J) и сорта Хазинэ (в среднем 163×10^{-4} J). Потенциально данные образцы имеют большее газоудержание при выпечке хлеба.

Отруби снижают показатели альвеографа, но сорта с высокой растяжимостью, как у сорта Хазинэ, у которого $L = 44\text{--}49$ мм, что достоверно выше, чем у других образцов, формируют лучшую пористость мякиша. Кроме того, у данного сорта лучший баланс между упругостью и растяжимостью среди изученных образцов ($P/L = 1,2\text{--}2,6$ мм). Вязкость максимальной клейстеризации, определенной на амилографе, у сорта Хазинэ подвержена наибольшим изменениям по годам испытания — от 100 е. а. (высокая активность α -амилазы) до 1695 е. а. (во время нагревания формируется плотный студень).

Низкую вязкость отмечали у линии Кк-21-09-6 — в среднем 115 е. а., вероятно, из-за высокой α -амилазной активности. Мука из данного образца может быть использована в хлебопечении только в смеси.

Несмотря на средние значения реологических показателей теста на фаринографе и альвеографе, у фиолетовозерного сорта Надира отмечался наибольший объем хлеба — 529 ± 47 см³ / 100 г муки.

Лучшую хлебопекарную оценку (как итоговый интегральный показатель) отмечали у сортов Хазинэ (4,24 ± 0,26 балла) и Аль Вариса (4,20 ± 0,16 балла), у которых сочетаются высокая стекловидность зерна (71% и 60%), более низкая устойчивость теста при замесе на фаринографе (4,7 мин. и 5,2 мин.) и максимальная амилографическая вязкость (620 е. а. и 860 е. а.) соответственно.

Сорта Хазинэ и Надира демонстрировали наилучший баланс качества зерна, реологических свойств и хлебопекарных характеристик для цельнозернового хлеба. Однако требуется разработка специализированных методов хлебопекарной оценки, опираясь на полученные данные, учитывающих специфику цельнозерновой муки.

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 plagiat.
Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Татарского научно-исследовательского института сельского хозяйства ФЦ «Казанский научный центр РАН».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hu Y. *et al.* Intake of whole grain foods and risk of type 2 diabetes: results from three prospective cohort studies. *The BMJ*. 2020; 370: m2206. <https://doi.org/10.1136/bmj.m2206>
2. Ghanbari-Gohari F., Mousavi S.M., Esmailzadeh A. Consumption of whole grains and risk of type 2 diabetes: A comprehensive systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Food Science & Nutrition*. 2022; 10(6): 1950–1960. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2811>
3. Xu D. *et al.* Role of Whole Grain Consumption in Glycaemic Control of Diabetic Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients*. 2022; 14(1): 109. <https://doi.org/10.3390/nu14010109>
4. Zhang X.-F. *et al.* Association of whole grains intake and the risk of digestive tract cancer: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition Journal*. 2020; 19: 52. <https://doi.org/10.1186/s12937-020-00556-6>
5. Guo H., Wu H., Sajid A., Li Z. Whole grain cereals: the potential roles of functional components in human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022; 62(30): 8388–8402. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1928596>
6. Sanders L.M., Zhu Y., Wilcox M.L., Koecher K., Maki K.C. Effects of Whole Grain Intake, Compared with Refined Grain, on Appetite and Energy Intake: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Advances in Nutrition*. 2021; 12(4): 1177–1195. <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa178>
7. Чуклин И.А., Тепляков Д.В., Снегирева Н.В. Разработка рецептуры пшеничного хлеба функционального назначения для питания космонавтов. *Аграрная наука в контексте времени. Сборник трудов LX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья. 2025; 23–27. <https://elibrary.ru/lwnblm>
8. Махмудов Ф.А., Азимова С.Т., Ребезов М.Б., Изтаев А.И., Конарбайева З.К. Технология производства и качество выпеченного хлеба из цельномолотой пшеничной муки. *Вестник Университета Шакарима. Серия: Технические науки*. 2024; (1): 165–173. [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-1\(13\)-21](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-1(13)-21)
9. Swaminathan S. *et al.* Associations of cereal grains intake with cardiovascular disease and mortality across 21 countries in Prospective Urban and Rural Epidemiology study: prospective cohort study. *The BMJ*. 2021; 372: m4948. <https://doi.org/10.1136/bmj.m4948>
10. Ross A.B., Shertukde S.P., Staffier K.L., Chung M., Jacques P.F., McKeown N.M. The Relationship between Whole-Grain Intake and Measures of Cognitive Decline, Mood, and Anxiety — A Systematic Review. *Advances in Nutrition*. 2023; 14(4): 652–670. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2023.04.003>
11. Фитилева З.Е., Сибикеев С.Н. Селекция мягкой пшеницы на продукты функционального питания. *Аграрный научный журнал*. 2023; 7: 48–55. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i7pp48-55>
12. Шоева О.Ю., Гордеева Е.И., Хлесткина Е.К., Гашимов М.Э., Куркиев К.У. Исследование редких видов пшениц как доноров для селекции на содержание антиоксидантов в зерне. *Сельскохозяйственная биология*. 2024; 59(5): 955–972. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.5.955rus>
13. Kuznetsova E.A., Rebezov M.B., Kuznetsova E.A., Nasrullaeva G.M. Study of Changes in Antioxidant Activity, Microstructure, and Mineral Composition of Nadir Wheat Grain During Preparation for Whole Grain Bread Production. *Agrarian science*. 2024; (12): 166–172. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-166-172>
14. Mattioli R., Francioso A., Mosca L., Silva P. Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*. 2020; 25(17): 3809. <https://doi.org/10.3390/molecules25173809>
15. Tikhonova M.A. *et al.* Evaluating the Effects of Grain of Isogenic Wheat Lines Differing in the Content of Anthocyanins in Mouse Models of Neurodegenerative Disorders. *Nutrients*. 2020; 12(12): 3877. <https://doi.org/10.3390/nu12123877>
- 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.

FUNDING

The study was conducted as part of a government assignment of the Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences.

REFERENCES

- Hu Y. *et al.* Intake of whole grain foods and risk of type 2 diabetes: results from three prospective cohort studies. *The BMJ*. 2020; 370: m2206. <https://doi.org/10.1136/bmj.m2206>
- Ghanbari-Gohari F., Mousavi S.M., Esmailzadeh A. Consumption of whole grains and risk of type 2 diabetes: A comprehensive systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Food Science & Nutrition*. 2022; 10(6): 1950–1960. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2811>
- Xu D. *et al.* Role of Whole Grain Consumption in Glycaemic Control of Diabetic Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients*. 2022; 14(1): 109. <https://doi.org/10.3390/nu14010109>
- Zhang X.-F. *et al.* Association of whole grains intake and the risk of digestive tract cancer: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition Journal*. 2020; 19: 52. <https://doi.org/10.1186/s12937-020-00556-6>
- Guo H., Wu H., Sajid A., Li Z. Whole grain cereals: the potential roles of functional components in human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022; 62(30): 8388–8402. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1928596>
- Sanders L.M., Zhu Y., Wilcox M.L., Koecher K., Maki K.C. Effects of Whole Grain Intake, Compared with Refined Grain, on Appetite and Energy Intake: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Advances in Nutrition*. 2021; 12(4): 1177–1195. <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa178>
- Chuklin I.A., Teplyakov D.V., Snegireva N.V. Development of a recipe for functional wheat bread for astronaut nutrition. *Agricultural science in the context of time. Collection of papers of the LX International scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists*. Tyumen: State Agrarian University of the Northern Trans-Urals. 2025; 23–27 (in Russian). <https://elibrary.ru/lwnblm>
- Makhmudov F.A., Azimova S.T., Rebezov M.B., Iztaev A.I., Konarbayeva Z.K. Technology for production and quality of bread baked from whole grain wheat flour. *Bulletin of Shakarim University. Series: Technical Sciences*. 2024; (1): 165–173 (in Russian). [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-1\(13\)-2](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-1(13)-2)
- Swaminathan S. *et al.* Associations of cereal grains intake with cardiovascular disease and mortality across 21 countries in Prospective Urban and Rural Epidemiology study: prospective cohort study. *The BMJ*. 2021; 372: m4948. <https://doi.org/10.1136/bmj.m4948>
- Ross A.B., Shertukde S.P., Staffier K.L., Chung M., Jacques P.F., McKeown N.M. The Relationship between Whole-Grain Intake and Measures of Cognitive Decline, Mood, and Anxiety — A Systematic Review. *Advances in Nutrition*. 2023; 14(4): 652–670. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2023.04.003>
- Fitileva Z.E., Sibikeev S.N. Bread wheat breeding for functional nutrition products. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*. 2023; (7): 48–55 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i7pp48-55>
- Shoeva O.Yu., Gordeeva E.I., Khlestkina E.K., Gashimov M.E., Kurkiv K.U. Study of rare species of wheat as donors for breeding for functional nutrition. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural biology*. 2024; 59(5): 955–972 (in Russian). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.5.955rus>
- Kuznetsova E.A., Rebezov M.B., Kuznetsova E.A., Nasrullaeva G.M. Study of Changes in Antioxidant Activity, Microstructure, and Mineral Composition of Nadir Wheat Grain During Preparation for Whole Grain Bread Production. *Agrarian science*. 2024; (12): 166–172. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-166-172>
- Mattioli R., Francioso A., Mosca L., Silva P. Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*. 2020; 25(17): 3809. <https://doi.org/10.3390/molecules25173809>
- Tikhonova M.A. *et al.* Evaluating the Effects of Grain of Isogenic Wheat Lines Differing in the Content of Anthocyanins in Mouse Models of Neurodegenerative Disorders. *Nutrients*. 2020; 12(12): 3877. <https://doi.org/10.3390/nu12123877>

16. Gamel T.H., Saeed S.M.G., Ali R., Abdel-Aal E.-S.M. Purple Wheat: Food Development, Anthocyanin Stability, and Potential Health Benefits. *Foods*. 2023; 12(7): 1358. <https://doi.org/10.3390/foods12071358>
17. Valieva A.I., Akulov A.N., Rumyantseva N.I. Phenolic compounds in purple whole-wheat flour and bread: Comparative analysis. *Foods and Raw Materials*. 2024; 12(2): 334–347. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-2-611>
18. Chumanova E.V., Efremova T.T., Sobolev K.V., Kosyaeva E.A. Anthocyanins and phenolic compounds in colored wheat grain. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2025; 29(3): 392–400. <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-42>
19. Gómez M., Gutkoski L.C., Bravo-Núñez Á. Understanding whole-wheat flour and its effect in breads: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020; 19: 3241–3265. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12625>
20. Ma S. et al. Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: Mechanisms and challenges — A review. *Food Chemistry*. 2021; 360: 130038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>
21. Zeng F., Yang Y., Liu Q., Yang J., Jin Z., Jiao A. Effect of fermentation methods on properties of dough and whole wheat bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2023; 103(10): 4876–4886. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12565>
22. Быковская Е.И., Ковалева А.Е., Пьянкова Э.А., Говядова И.А. Анализ показателей качества цельнозернового хлеба на хмелевых заквасках. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2023; 85(1): 71–78. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-1-71-78>
23. Шмалько Н.А., Ваницкая Т.В., Кудрявцева Л.А., Никитин И.А., Пономарева Л.Ф., Соловьевна Е.А. Технология приготовления пшеничного хлеба из цельнозерновой муки. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2024; 86(4): 122–135. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-4-122-135>
24. Li C., Chen G., Tilley M., Chen Y., Li Y. Comparing bread-making properties of white and whole wheat flours from 64 different genotypes: A correlation analysis. *Journal of Cereal Science*. 2023; 114: 103793. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103793>
25. Schmiele M., Jaekel L.Z., Patricio S.M.C., Steel C.J., Chang Y.K. Rheological properties of wheat flour and quality characteristics of pan bread as modified by partial additions of wheat bran or whole grain wheat flour. *International Journal of Food Science and Technology*. 2012; 47(10): 2141–2150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03081.x>
26. Sehn G.A.R., Steel C.J. Classification of whole wheat flour using a dimensionless number. *Journal of Food Science and Technology*. 2017; 54(12): 3827–3836. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2811-5>
27. Jødal A.-S.S., Larsen K.L. Investigation of the relationships between the alveograph parameters. *Scientific Reports*. 2021; 11: 5349. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84959-3>
28. Verbeke C., Debonne E., Verseele S., Van Bockstaele F., Eeckhout M. Technological Evaluation of Fiber Effects in Wheat-Based Dough and Bread. *Foods*. 2024; 13(16): 2582. <https://doi.org/10.3390/foods13162582>
16. Gamel T.H., Saeed S.M.G., Ali R., Abdel-Aal E.-S.M. Purple Wheat: Food Development, Anthocyanin Stability, and Potential Health Benefits. *Foods*. 2023; 12(7): 1358. <https://doi.org/10.3390/foods12071358>
17. Valieva A.I., Akulov A.N., Rumyantseva N.I. Phenolic compounds in purple whole-wheat flour and bread: Comparative analysis. *Foods and Raw Materials*. 2024; 12(2): 334–347. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-2-611>
18. Chumanova E.V., Efremova T.T., Sobolev K.V., Kosyaeva E.A. Anthocyanins and phenolic compounds in colored wheat grain. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2025; 29(3): 392–400. <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-42>
19. Gómez M., Gutkoski L.C., Bravo-Núñez Á. Understanding whole-wheat flour and its effect in breads: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020; 19: 3241–3265. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12625>
20. Ma S. et al. Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: Mechanisms and challenges — A review. *Food Chemistry*. 2021; 360: 130038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>
21. Zeng F., Yang Y., Liu Q., Yang J., Jin Z., Jiao A. Effect of fermentation methods on properties of dough and whole wheat bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2023; 103(10): 4876–4886. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12565>
22. Bykovskaya E.I., Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Goyadova I.A. Analysis of the quality indicators of whole grain bread on hop ferments. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2023; 85(1): 71–78 (in Russian). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-1-71-78>
23. Shmal N.A., Vanitskaya T.V., Kudryavtseva L.A., Nikitin I.A., Ponomareva L.F., Solov E.A. The technology of making wheat bread made of whole grain flour. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2024; 86(4): 122–135 (in Russian). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-4-122-135>
24. Li C., Chen G., Tilley M., Chen Y., Li Y. Comparing bread-making properties of white and whole wheat flours from 64 different genotypes: A correlation analysis. *Journal of Cereal Science*. 2023; 114: 103793. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103793>
25. Schmiele M., Jaekel L.Z., Patricio S.M.C., Steel C.J., Chang Y.K. Rheological properties of wheat flour and quality characteristics of pan bread as modified by partial additions of wheat bran or whole grain wheat flour. *International Journal of Food Science and Technology*. 2012; 47(10): 2141–2150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03081.x>
26. Sehn G.A.R., Steel C.J. Classification of whole wheat flour using a dimensionless number. *Journal of Food Science and Technology*. 2017; 54(12): 3827–3836. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2811-5>
27. Jødal A.-S.S., Larsen K.L. Investigation of the relationships between the alveograph parameters. *Scientific Reports*. 2021; 11: 5349. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84959-3>
28. Verbeke C., Debonne E., Verseele S., Van Bockstaele F., Eeckhout M. Technological Evaluation of Fiber Effects in Wheat-Based Dough and Bread. *Foods*. 2024; 13(16): 2582. <https://doi.org/10.3390/foods13162582>

ОБ АВТОРАХ

Данил Фидусович Асхадуллин
кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
trulik@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2601-6735>

Дамир Фидусович Асхадуллин
кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
tatnii-rape@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2717-7178>

Нуриания Зуфаровна Василова
кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
nurania59@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1135-486x>

Елена Семёновна Кириллова
научный сотрудник
tatniva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2006-5525>

ABOUT THE AUTHORS

Danil Fidusovich Askhadullin
Candidate of Agricultural Sciences,
Leading Researcher
trulik@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2601-6735>

Damir Fidusovich Askhadullin
Candidate of Agricultural Sciences,
Leading Researcher
tatnii-rape@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2717-7178>

Nurania Zufarovna Vasilova
Candidate of Agricultural Sciences,
Leading Researcher
nurania59@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1135-486x>

Elena Semenovna Kirillova
Researcher
tatniva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2006-5525>

Гульнара Ринатовна Саубанова
младший научный сотрудник
mirxazijnova08@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2896-9855>

Гульнар Ришатовна Гайфуллина
научный сотрудник
fanzil419@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0942-8321>

Ильсина Ильнуровна Хусайнова
научный сотрудник
husainovail823@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0369-6221>

Мухаббат Рустамджановна Тазутдинова
научный сотрудник
tazutdinova1974@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4753-7644>

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр “Казанский научный центр Российской академии наук”», Оренбургский тракт, 48, Казань, 420059, Россия

Gulnara Rina tovna Saubanova
Junior Researcher
mirxazijnova08@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2896-9855>

Gulnar Rishatovna Gaifullina
Researcher
fanzil419@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0942-8321>

Ilsina Ilnurovna Khusainova
Researcher
husainovail823@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0369-6221>

Mukhabbat Rustamdzhanovna Tazutdinova
Researcher
tazutdinova1974@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4753-7644>

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture,
FRC Kazan Scientific Center Russian Academy of Sciences,

48 Orenburgsky Trakt, 420059, Kazan, Russia

15–17 ОКТЯБРЯ 2025

AGRORУСЬ

34-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

РЕКЛАМА

КОНГРЕССНАЯ ПРОГРАММА

ЭКСПОЗИЦИИ РЕГИОНОВ

ЦЕНТР ДЕЛОВЫХ КОНТАКТОВ

ОТРАСЛЕВОЙ КОНКУРС «ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ»

AGRORUS.EXPOFORUM.RU

ПО ВОПРОСАМ УЧАСТИЯ:
+7 (812) 240 40 40, ДОБ. 2980, 2427, 2401

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1 | КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

16+

Р.А. Шахмирзоев**Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия**

✉ russad66@mail.ru

Поступила в редакцию: 16.06.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Шахмирзоев Р.А.

Ruslan A. Shakhmirzoev**Federal agrarian scientific center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia**

✉ russad66@mail.ru

Received by the editorial office: 16.06.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

© Shakhmirzoev R.A.

Продуктивность интродуцированного сорта яблони Цивт 11 на слаборослых подвоях

РЕЗЮМЕ

Представлены результаты исследований по изучению интродуцированного сорта яблони Цивт 11 на слаборослых подвоях М9 и на СК-7, СК-2 селекции Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства и виноделия (СКФНЦСВВ). По результатам исследований определены биометрические параметры роста и развития деревьев, выделены наиболее урожайные комбинации. Высота деревьев в саду в зависимости от подвоя на карликовых подвоях СК-7 и М9 достигла в среднем 2,6–2,9 м, на полукарликовом СК-2 — 3,2 м, диаметр штамба — соответственно, 6,6–7,7 см, длина однолетних побегов варьировала от 47 до 63 см. Урожайность — одна из основных хозяйствственно-биологических свойств сорта, определяющих его производственную ценность. Она отражает не только степень реализации генотипа сорта, но и существенно зависит от биологических особенностей подвоя, его приспособленности к природно-климатическим условиям, местности возделывания. Установлено, что у сорта, привитого на подвое СК-7, урожайность выше на 15%, чем на подвое М9, а по сравнению с полукарликовым подвояем СК-2 и в зависимости от схем посадки — в 4,3 раза. По структуре плодовых образований сорт колышечно-типа плодоношения (70,3–86,3%). Плоды средней одномерности, округлой формы, гармонично-сладкого вкуса, с массой плода 160–200 г (максимальная — 230 г). В результате изучения периодичности плодоношения установлено, что наибольшая скроплодность и регулярность урожая отмечены на подвое СК-7, индекс периодичности — 8,4%.

Ключевые слова: яблоня, сорт, потенциал, биометрические параметры, периодичность, условия, тип, рост, плодовые образования

Для цитирования: Шахмирзоев Р.А. Продуктивность интродуцированного сорта яблони Цивт 11 на слаборослых подвоях. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 134–140. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-134-140>

Productivity of the apple variety Tsivt 11 on dwarf rootstocks

ABSTRACT

The article presents the results of research on the study of the introduced apple variety Tsivt 11 on dwarf rootstocks M9 and on SK-7, SK-2, selected by the North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Winemaking. Based on the research results, biometric parameters of tree growth and development were determined, and the most productive combinations were identified.

The height of the trees in the garden, depending on the rootstock, on dwarf rootstocks SK-7 and M9 reached an average of 2.6–2.9 m, on the semi-dwarf SK-2 3.2 m, the diameter of the trunk was 6.6–7.7 cm, respectively, the length of one-year shoots varied from 47 to 63 cm. Productivity is one of the main economic and biological properties of a variety, which reflects not only the degree of realization of the genotype, but also significantly depends on the biological characteristics of the rootstock, its adaptability to the natural and climatic conditions of the cultivation area. It has been established that the variety grafted onto the SK-7 rootstock has a yield that is 15% higher than on the M9 rootstock, and 4.3 times higher than on the semi-dwarf SK-2 rootstock, depending on the planting scheme. According to the structure of fruit formation, the variety is of the ring-type fruiting (70.3–86.3%). The fruits are of medium uniformity, round in shape, harmoniously sweet in taste with a fruit weight of 160–200 g (maximum — 230 g). As a result of studying the periodicity of fruiting, it was found that the highest early fruiting and regularity of the harvest was noted on the rootstock SK7, the periodicity index is 8.4%.

Keywords: apple tree (*Malus domestica*), variety, potential, biometric parameters, periodicity, conditions, type, growth, fruit formations

For citation: Shakhmirzoev R.A. Productivity of the introduced apple variety Tsivt 11 on dwarf rootstocks. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 134–140 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-134-140>

Введение/Introduction

Значение садоводства в агропромышленном комплексе страны непрерывно увеличивается благодаря возрастающей потребности в плодах высокой биологической ценности для перерабатывающей промышленности. Необходимость увеличения производства плодов обусловлена существующим дефицитом плодовой продукции, являющейся профилактическим средством поддержания здоровья населения.

Для обеспечения экономической эффективности производства плодов и усиления конкурентоспособности необходим перевод отрасли на инновационные высокointенсивные технологии, которые являются приоритетными в направлении развития садоводства [1, 2]. Развитие интенсивного садоводства в современных условиях направлено на комплексное решение основных задач: создание и внедрение в производство скроплодных и регулярно плодоносящих сортов плодовых культур с высоким потенциалом продуктивности, рациональным соотношением роста и плодоношения деревьев с небольшой компактной кроной, позволяющим получить высокий урожай плодов хорошего качества, наиболее адаптированных к агроклиматическим условиям территории [3, 4].

Раннее плодоношение, быстрое нарастание урожайности, снижение затрат на производство и по уходу отвечает требованиям современного интенсивного садоводства [5, 6]. В структуре многолетних насаждений в нашей стране и во всех категориях хозяйств доминирует яблоня, которая занимает 43% от общей площади плодово-ягодных культур [7].

Важной частью плодового дерева в условиях интенсивного садоводства является подвой, который отвечает за полное ее развитие. И.В. Мичурин говорил: «Подвой — это фундамент плодового дерева»¹. Современные технологии выращивания интенсивных насаждений яблони предусматривают использование слаборослых типов подвоев, которые обладают большими возможностями управления привитыми сортами. И сегодня сохраняется проблема возрастающих требований к новым селекционным сортам и подвоям яблони: к качеству плодов, устойчивости к абиотическим и биотическим стрессовым факторам среды, технологичности и продуктивности сорта [8–10].

Для садов интенсивного типа необходимы подвой и сорта, обеспечивающие полную реализацию биологического потенциала сортоподвойных комбинаций яблони. В связи с этим следует отметить, что закладку интенсивных садов необходимо произвести на основе четко разработанных научно обоснованных программ, в которых предусмотрены новые подходы к созданию сортов и подбору ценных ген источников для максимального

раскрытия биологического потенциала сорта и обоснованного размещения по зонам агроклиматических условий [11].

Внедрение в производство новых, недостаточно изученных сортов отечественной и зарубежной селекции нередко сопровождается их низкой адаптивностью к стрессовым факторам конкретного региона. Как следствие, такие сорта могут демонстрировать недостаточную устойчивость к характерным агроклиматическим условиям, что негативно сказывается на их продуктивности и долговечности [12].

Одним из перспективных направлений повышения эффективности садоводства является разработка инновационных конструкций сада, основанных на уплотненных посадках и оптимизированных схемах размещения деревьев в зависимости от силы роста подвоя. Такой подход способствует более рациональному использованию почвенных ресурсов и светового пространства, что в конечном итоге повышает урожайность.

Ключевым фактором, определяющим успешность возделывания сорта, является сортоподвойная комбинация, обеспечивающая оптимальное сочетание хозяйственно ценных признаков. В связи с этим изучение производственного потенциала интродуцированных сортов яблони в условиях конкретного региона представляет значительный научный и практический интерес.

Цель данного исследования — оценка продуктивности сорта яблони Цивт 11 при выращивании на различных типах подвоев в условиях региона.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в 2022–2024 годах на опытно-экспериментальном участке ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан», расположенном в юго-восточной подпровинции Предгорный Дагестан (Сулдайман-Стальский р-н, Республика Дагестан, Россия).

В качестве объекта исследований использовали сорт яблони итальянской селекции Цивт 11, привитый на различные слаборослые подвои (рис. 1). Для изучения влияния подвоев на продуктивность сорта применяли две схемы посадки — уплотненную 3×1 м (3300 дер/га) для карликовых подвоев M9 и СК-7 (рис. 2, 3) и разреженную 5×2 м (1000 дер/га) для полукарликового подвоя СК-2.

Карликовый подвой M9, являясь наиболее распространенным, обеспечивает привитым сортам силу роста на уровне 25–35% от деревьев на семенных подвоях. Этот подвой характеризуется поверхностной корневой системой с основной массой корней на глубине 60–70 см, однако отличается низкой устойчивостью к урожайной нагрузке и требует обязательной установки опор и организации орошения.

¹ Мичурин И.В. Сочинения. Т. 1–4 / И.В. Мичурин. М.; Л.: Сельхозгиз. 1948; 791.

Рис. 1. Цветение яблони сорта Цивт 11. Фото автора
Fig. 1. Blossoming of the apple tree variety Tsivt 11. Photo by the author



Подвой СК-7, представляющий собой клон подвоя ММ-106, был выделен селекционерами Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства (СКЗНИИСиВ)² и включен в Госреестр в 2005 году.

Полукарликовый подвой СК-2, выведенный в СКЗНИИСиВ, обладает рядом ценных качеств, включая хорошую морозо- и засухоустойчивость, а также способность обеспечивать вступление деревьев в плодоношение уже на 2–3-й год после посадки. Однако данный подвой плохо переносит временное подтопление корневой системы.

Выбор схем посадки основывался на принципе оптимального размещения деревьев с учетом биологических особенностей каждого подвоя, что позволило создать благоприятные условия для реализации продуктивного потенциала изучаемых сортоподвойных комбинаций. Крону деревьев формировали по типу модификации «русское стройное веретено»³.

Основные учеты и наблюдения проводили согласно существующим методикам⁴, оценку деревьев — по балльной системе⁵, площадь листьев определяли весовым методом⁶ [13].

Рис. 2. Сорт яблони Цивт 11 на подвое М9. Фото автора
Fig. 2. Apple tree variety Tsivt 11 on the rootstock M9. Photo by the author



Рис. 3. Сорт яблони Цивт 11 на подвое СК-7. Фото автора
Fig. 3. Apple tree variety Tsivt 11 on rootstock SK-7. Photo by the author



² Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия с 2017 г. (Краснодар, Россия).

³ Подразумевает создание разреженной кроны с центральным проводником и несколькими ярусами полускелетных ветвей. В отличие от обычной веретеновидной формировки, здесь скелетные ветви отсутствуют, а нижний ярус состоит из полускелетных ветвей, остальные ветви — обрастающие. Цели такой формировки — обеспечить хорошее освещение кроны и облегчить доступ к плодам, а также упростить уход за деревом.

⁴ Седов Е.Н., Огольцова Т.П. и др. Программа и методика сортоподбора плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орёл: Издательство Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур. 1999; 608.

⁵ Современные методология, инструментарий оценки и отбора селекционного материала садовых культур и винограда. Краснодар: ФГБНУ СКЗНЦСВ. 2017; 282.

⁶ Девятов А.С. Определение площади листовой поверхности плодоносящего плодового дерева. Садоводство и виноградарство Молдавии. 1986; 10: 50–53.

Почвенный покров экспериментального опытного участка представлен лугово-каштановыми среднесуглинистыми почвами. Мощность горизонта А + В составляет 30–40 см с содержанием гумуса до 1,6–2,74%. Обеспеченность почвы подвижным фосфором (0,31–1,4 мг / 100 г почвы) и гидролизуемым азотом (3,8–4,8 мг) средняя, а обменным калием — высокая (40–52 мг на 100 г почвы). Емкость поглощения составляет 15–25 мг-экв. Характеризуется низкой скважностью и плохой водопроницаемостью.

Агрофизические и агрохимические свойства почвы на участке сада являются благоприятными для культуры яблони.

Климат района умеренно континентальный, засушливый, переходящий к субтропическому, с вегетационным периодом 230–240 дней⁷.

По многолетним данным, среднегодовая температура воздуха составляет 12,3–13,0 °С. Наиболее жаркими месяцами являются июль и август, абсолютный максимум температур воздуха — 35–37 °С, достигает до 42–46 °С, абсолютный минимум — 8,9–13,7 °С. Продолжительность безморозного периода в среднем составляет 289 дней. Зима с частыми, порой продолжительными оттепелями. Снежный покров неустойчив. Лето жаркое, сухое. Сумма активных температур воздуха (выше +10 °С) составляет 3496 °С, количество осадков — 387 мм, территория характеризуется как достаточно обеспеченная теплом для выращивания плодовых культур.

При определении формирования качества плодов в период вегетации товарные и химические показатели измеряли с использованием оборудования, прошедшего поверку: массу (г) — на весах электронных JW 1 (ACOM, Южная Корея); диаметр и высоту (D, H, мм) — штангенциркулем ШЦ-1-200 («ЧИЗ», Россия).

Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом описательной статистики и дисперсионного анализа (по Б.А. Доспехову⁸), используя пакеты программ Microsoft Excel (США) и Statistica (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Проведенные исследования подтвердили значительное влияние почвенно-климатических условий юго-восточной предгорной подзоны на продуктивность интродуцированных сортов яблони. Полученные данные согласуются с работами ряда авторов [2, 10, 14], отмечающих, что адаптивность плодовых культур в новых условиях выращивания во многом определяется взаимодействием генотипа и среды.

Установлено, что подвой оказывает существенное влияние на морфофизиологические параметры деревьев, что соответствует выводам,

изложенным в исследованиях [15]. В частности, использование карликовых и полукарликовых подвоев способствовало сокращению периода ювенильной фазы, обеспечивая вступление деревьев в плодоношение на 2–3-й год после посадки. Данный факт имеет важное практическое значение, так как соответствует требованиям современных интенсивных садовых систем, ориентированных на раннюю экономическую отдачу [16].

Анализ урожайности показал, что изучаемые сортоподвойные комбинации обеспечивали продуктивность на уровне 25–30 т/га, что превышает средние показатели традиционно возделываемых в регионе сортов. Подобная динамика может быть связана с повышенной устойчивостью интродуцентов к основным патогенам, а также их способностью эффективно использовать ресурсы среды, что согласуется с данными, полученными в аналогичных исследованиях [17].

Качественные показатели плодов (содержание растворимых сухих веществ, сахаров, органических кислот) находились на уровне, соответствующем стандартам для интенсивного садоводства. При этом выявлена зависимость биохимического состава плодов от типа подвоя, что подтверждает необходимость индивидуального подбора сортоподвойных комбинаций для достижения оптимальных технологических и товарных характеристик урожая [12, 18].

Высокая продуктивность насаждений яблони на слаборослых подвоях объясняется тем, что часть веществ, накопленных в процессе жизни, идет на образование репродуктивных органов, а часть — на рост стеблей и корневой системы, и они расходуют 60% на фотосинтез и формирование урожая, а сильнорослые — 40%. На карликовых подвоях у сортов плотность плодовых образований выше, чем на полукарликовых.

Важным элементом в садоводстве в зависимости от зональности территории региона, обеспечивающим высокую адаптивность и технологичность, является использование высококачественных подвоев.

Для создания интенсивных промышленных садов важно знать биологические особенности роста насаждений яблони на различных подвоях формирования элементов продуктивности у новых сортов и ее реализацию в фактический урожай в конкретных природно-климатических условиях.

Рост плодовых деревьев в саду обусловливается целым рядом биологических, агротехнических и природных условий. Это прежде всего зависит от подвоя и привитого сорта. Поэтому при изучении влияния различных форм подвоев на рост привитых деревьев сравнивают деревья одного сорта, одного возраста, возделываемых в одинаковых почвенно-климатических условиях, и агротехнологиях.

⁷ Агроклиматические ресурсы Республики Дагестан.

https://spravochnick.ru/geografiya/prirodnye_osobennosti_i_resursy_rossii/prirodnye_usloviya_i_resursy_dagestana/

⁸ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Колос. 1979; 416.

В процессе изучения продуктивности определены биометрические параметры роста и развития деревьев (табл. 1), диаметр штамба, высота деревьев, количество и длина побегов, площадь листьев. Отмечено, что в 4-летнем возрасте состояние деревьев по 5-балльной шкале хорошее. Установлено, что сорт среднерослый, крона дерева средней густоты, узкопирамидальная, ветви отходят от ствола под прямым углом. Кора на штамбе гладкая, побеги средние дугообразные коричневато-бурового цвета. Высота деревьев в зависимости от подвоя достигла в среднем 2,6–3,2 м.

Исследования показали, что диаметр штамба и величина длины годичного прироста были больше на подвое СК-2. На подвоях М9 и СК-7 диаметр штамба у сорта Цивт 11 составил 6,6–7,0 см.

Прирост однолетних побегов более детально отражает ростовую активность насаждений яблони на различных подвоях, где проявляется тенденция зависимости длины однолетних побегов от конструкции насаждений.

Наименьшая длина прироста отмечена в насаждениях с подвоем СК-2 — 47 см, а на подвое М9 и СК-7 при схеме размещения 3 × 1 м — соответственно, 62–53 см).

Аналогичная тенденция наблюдается и по количеству побегов в кроне деревьев и площади листовой поверхности (табл. 1). От состояния и величины листового аппарата дерева зависят формирование плодов и закладка цветковых почек под урожай будущего периода. Если рассматривать площадь листовой поверхности в расчете на 1 га, то больше ее формируется в насаждениях на подвое СК-7, чем на М9.

Для обоснования оптимальной конструкции сада и сортоподвойной комбинации важно знать тип плодоношения сорта. Определение закладки плодовых образований позволяет анализировать

возможную продуктивность изучаемого сорта (табл. 2).

В работах ряда авторов отмечена зависимость общего количества плодовых образований от отведенной площади питания. У сорта Цивт 11 при схеме посадки 3 × 1 м закладка плодовых образований больше на подвое СК-7, в среднем составляет 115 шт. В остальных вариантах существенной разницы в закладке плодовых образований в зависимости от плотности посадок в насаждениях не отмечено.

Соотношение плодовых образований в кроне деревьев сорта представляется как кольчаточный тип плодоношения, в структуре плодовых образований на их долю приходится от 79,3 до 86,3%, что является одним из важных составляющих при определении возможности его использования для интенсивных насаждений.

Потенциальную продуктивность яблони при различных сортоподвойных комбинациях можно характеризовать, определив показатель удельной нагрузки плодовыми образованиями на единицу отведенной площади питания.

Анализ плотности посадки показал, что насаждения на подвое СК7 при схеме посадки 3,0 × 1 м демонстрируют наибольшее количество плодовых образований на единицу площади — 1 м². Это подтверждает эффективность использования данного подвоя в интенсивных садовых системах.

Урожайность культуры определяется не только количеством генеративных почек, но и особенностями плодоношения. Регулярно плодоносящие сорта яблони характеризуются развитой системой обрастающих ветвей различного типа, включая как короткие (кольчатки, кольца), так и длинные (плодовые прутики) плодовые образования.

Следует отметить, что явление периодичности плодоношения приводит к значительным экономическим потерям в садоводческих хозяйствах, что подчеркивает важность селекции и внедрения сортов с регулярным типом плодоношения при создании современных интенсивных садов.

Результаты исследований урожайности свидетельствуют о существенном влиянии подвоя на продуктивность изучаемого сорта (табл. 3). Максимальная урожайность (61,3 т/га) зафиксирована при использовании карликового подвоя СК-7. Анализ индекса периодичности плодоношения показал, что сорт Цивт 11 на данном подвое характеризуется как регулярно плодоносящий (8,4%), в то время как на среднерослом подвое СК-2 этот показатель

Таблица 1. Влияние подвоев на рост и развитие сорта яблони

Table 1. The influence of rootstocks on the growth and development of apple varieties

Подвой	Схема посадки	Высота дерева, м	Диаметр штамба, см	Кол-во годичных приростов, шт.	Длина прироста, см	Площадь листьев, м ² в расчете на:	
						дерево	1 га, тыс. м ²
М9	3 × 1	2,9	7,0	47	62	3,4	6,3
СК-7	3 × 1	2,6	6,6	40	53	3,9	6,5
СК-2	5 × 2	3,2	7,7	53	47	5,1	5,2
HCP ₀₅	—	—	—	1,3	3,7	0,5	—

Таблица 2. Структура плодовых образований в кроне 4-летних деревьев сорта в зависимости от подвоя и схемы посадки

Table 2. Structure of fruit formations in the crown of 4-year-old trees depending on the rootstock and planting pattern

Подвой	Схема посадки	Плодовые образования						
		всего, шт.	кольчатки		кольца		прутики	
			шт.	%	шт.	%	шт.	%
М9	3 × 1	95,0	82,0	86,3	10,0	10,5	3,0	3,2
СК-7	3 × 1	115,0	100,0	79,3	12,0	10,4	3,0	2,6
СК-2	5 × 2	103,0	91,0	83,3	8,0	7,7	4,0	4,8
HCP ₀₅	—	—	1,8	—	0,8	—	0,3	—

Таблица 3. Продуктивность сорта яблони на различных подвоях 2022–2024 гг. (средняя)

Table 3. Productivity of apple tree varieties on different rootstocks 2022–2024 (average)

Подвой	Схема посадки	Продуктивность с дерева, кг			Масса плода, г	В расчете, т/га	Индекс периодичности, %
		2022 г.	2023 г.	2024 г.			
M9	3 × 1	15,4	14,4	18,6	16,1	180	53,1
СК-7	3 × 1	16,2	18,6	22,0	18,9	200	61,3
СК-2	5 × 2	13,3	10,7	14,7	12,9	170	14,4
HCP ₀₅	–	–	–	–	3,15	–	–

увеличивается до 31,0%, что свидетельствует о более выраженной периодичности плодоношения.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о высокой адаптивной способности изученных интродуцированных сортов яблони в условиях предгорной зоны Республики Дагестан, а также подтверждают ключевую роль подвоя в формировании продуктивности и качества плодов. Полученные данные могут служить научной основой для оптимизации сортимента яблони в регионе проведенного эксперимента с учетом требований современных ресурсосберегающих технологий.

Выводы/Conclusions

Проведенные исследования позволили установить, что продуктивность сорта яблони Цивт 11 в значительной степени определяется типом используемого подвоя, при этом наиболее перспективным вариантом для условий Предгорного Дагестана оказался карликовый подвой СК-7, обеспечивающий не только раннее вступление деревьев в плодоношение на 2–3-й год, но и стабильно высокую урожайность на уровне 61,3 т/га, что на 32% превышает показатели полукарликового подвоя СК-2.

Анализ морфометрических параметров выявил существенные различия в характере роста изучаемых сортоподвойных комбинаций: если деревья на подвое СК-7 достигали высоты 2,6 м при диаметре штамба 6,6 см, то на полукарликовом подвое СК-2 эти показатели составляли 3,2 м и 7,7 см соответственно, что свидетельствует о необходимости дифференцированного подхода к формированию крон в зависимости от силы роста подвоя.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Муханин В.Г., Муханин И.В., Григорьева Л.В. О проблемах перевода отечественного садоводства на интенсивный путь развития. *Садоводство и виноградарство*. 2001; (1): 2–4. <https://www.elibrary.ru/szanik>
- Велибекова Л.А., Тютюников А.А. Подходы к повышению эффективности функционирования садоводческих организаций в Республике Дагестан. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024; (4): 196–214. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-196-214>

Особого внимания заслуживает установленная зависимость типа плодоношения от используемого подвоя: в то время как на карликовых подвоях М9 и СК-7 в структуре плодовых образований преобладали кольчатки (79–86%), обеспечивающие регулярное плодоношение с индексом периодичности всего 8,4%, на полукарликовом подвое СК-2 наблюдалась выраженная тенденция к периодичности плодоношения (31%), что существенно снижает экономическую эффективность насаждений.

Полученные данные убедительно доказывают, что для условий юго-восточной предгорной подзоны Дагестана оптимальной является схема посадки 3 × 1 м с использованием подвоя СК-7, которая не только обеспечивает высокую плотность размещения деревьев (3300 шт/га), но и способствует формированию компактных крон с преобладанием кольчаточного типа плодоношения, что соответствует требованиям современных интенсивных технологий возделывания яблони.

Важно отметить, что выявленные закономерности роста и плодоношения изучаемого сорта согласуются с результатами исследований других авторов, работающих в сфере адаптивного садоводства, что подтверждает необходимость тщательного подбора сортоподвойных комбинаций с учетом конкретных почвенно-климатических условий региона, при этом особое значение приобретает комплексная оценка не только количественных показателей урожайности, но и качественных характеристик плодов, а также устойчивости насаждений к стрессорам.

Таким образом, проведенное исследование вносит существенный вклад в решение актуальной проблемы оптимизации сортимента яблони для условий Предгорного Дагестана, предоставляя научно обоснованные рекомендации по выбору наиболее продуктивных сортоподвойных комбинаций, при этом полученные результаты могут быть использованы как при закладке новых интенсивных садов, так и при реконструкции существующих насаждений с целью повышения их экономической эффективности.

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

REFERENCES

- Mukhanin V.G., Mukhanin I.V., Grigoryeva L.V. On the problems of transferring domestic horticulture to an intensive path of development. *Horticulture and viticulture*. 2001; (1): 2–4 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/szanik>
- Velibekova L.A., Tyutynnikov A.A. Approaches to improving the efficiency of horticultural enterprises in the Republic of Dagestan. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024; (4): 196–214 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-196-214>

3. Сатибалов А.В., Бакуев Ж.Х. Продуктивность интенсивных садов яблони при вертикальной зональности в условиях Северного Кавказа. *Новые технологии*. 2024; 20(4): 107–124. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2024-20-4-107-124>
4. Фещенко Е.М. Современные направления и перспективы селекции яблони (*Malus Mill.*) в России: обзор. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2023; 74: 7–23. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-74-7-23>
5. Причко Т.Г., Головко К.В. Урожайность и качество плодов яблони сорта Ренет Симиренко в пальметтном саду на Кубани. *Аграрная наука*. 2025; (5): 127–134. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-127-134>
6. Плугатарь Ю.В., Бабинцева Н.А., Сотник А.И. Эффективность производства плодов яблони (*Malus domestica* Borkh.) в интенсивных садах Крыма. *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2022; (2): 6–17. <https://www.elibrary.ru/qpqmwih>
7. Меншутина Т.В., Костенко М.Г., Попова Е.В. Оценка продуктивности и биохимического состава плодов перспективных сортов яблони при выращивании в аридной зоне. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 183–187. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-183-187>
8. Туткин Г.А., Седов Е.Н., Муравьев А.А. Создание интенсивных садов яблони с использованием карликовых вставочных подвоеев и иммунных к парше сортов. *Сельскохозяйственная биология*. 2009; 44(3): 24–28. <https://www.elibrary.ru/kmktrl>
9. Куликов И.М., Минаков И.А. Проблемы и перспективы развития садоводства в России. *Садоводство и виноградарство*. 2018; (6): 40–46. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2018-6-40-46>
10. Fotelli Mariangela. Impacts of Climate Change on Tree Physiology and Responses of Forest Ecosystems. *Forests*. 2021; 12. <https://doi.org/10.3390/f12121728>
11. Намазов И.Ч., Енилеев Н.Ш., Нормуратов И.Т. Влияние силы роста подвоеев на развитие и продуктивность яблони при пальметтной системе выращивания. *Аграрная наука*. 2019; (3): 59–61. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-323-3-59-61>
12. Шахмирзоев Р.А., Казиев М.-Р.А. Хозяйственно-биохимическая оценка интродуцированных сортов яблони в предгорной провинции Дагестана. *Аграрная наука*. 2022; (6): 95–99. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-95-99>
13. Капичникова Н.Г., Рябцева Т.В., Турбин П.А. Формирование площади листовой поверхности и урожайность деревьев различных сортоподвойных комбинаций яблони. *Плодоводство*. 2017; 29(1): 26–33.
14. Chauhan A., Ladon T., Verma P. Strategies for rootstock and varietal improvement in apple: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020; 9(5): 2513–2516.
15. Корнеева С.А., Седов Е.Н., Янчук Т.В. Технологии выращивания кронированных деревьев колонновидных сортов яблони во ВНИИСПК. *Аграрная наука*. 2020; (6): 99–101. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-99-101>
16. Мушинский А.А., Саудабаева А.Ж., Аминова Е.В., Мережко О.Е., Пронько Н.А. Оценка слаборослых форм клоновых подвоеев в условиях Оренбургской области. *Аграрный научный журнал*. 2023; (11): 95–100. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i11pp95-100>
17. Robinson T. Advances in apple culture world wide. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2012; 33(s1): 37–47. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500006>
18. Тютюма Н.В., Костенко М.Г., Меншутина Т.В. Товарные качества и биохимический состав плодов яблони на клоновых подвоях южной селекции. *Аграрный научный журнал*. 2021; (9): 38–41. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i9pp38-41>

ОБ АВТОРАХ

Руслан Абузарович Шахмирзоев
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
russad66@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4972-9535>

Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан,
ул. им. А. Шахбанова, 30, Махачкала, 367014, Россия

3. Satibalov A.V., Bakuev Zh.Kh. Productivity of intensive apple orchards in the context of vertical zonality in the North Caucasus. *New Technologies*. 2024; 20(4): 107–124 (in Russian). <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2024-20-4-107-124>

4. Feshchenko E.M. Current trends and prospects of apple breeding (*Malus Mill.*) in Russia: review. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2023; 74: 7–23 (in Russian). <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-74-7-23>

5. Prichko T.G., Golovko K.V. Productivity and quality of fruits of the apple tree variety Renet Simirenko in a palmette garden in the conditions of the South of Russia. *Agrarian science*. 2025; (5): 127–134 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-127-134>

6. Plugatar Yu.V., Babintseva N.A., Sotnik A.I. The efficiency of apple fruit production (*Malus domestica* Borkh.) in intensive gardens of the Crimea. *Plant Biology and Horticulture: theory, innovation*. 2022; (2): 6–17 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qpqmwih>

7. Menshutina T.V., Kostenko M.G., Popova E.V. Evaluation of productivity and biochemical composition of fruits of promising apple varieties, grown in the arid zone. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 183–187 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-183-187>

8. Tutkin G.A., Sedov E.N., Muravyev A.A. Creation of intensive apple orchards with use of dwarf intercalated stocks and varieties immune to scab. *Agricultural Biology*. 2009; 44(3): 24–28 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kmktrl>

9. Kulikov I.M., Minakov I.A. Problems and prospects of development of horticulture in Russia. *Horticulture and viticulture*. 2018; (6): 40–46 (in Russian). <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2018-6-40-46>

10. Fotelli Mariangela. Impacts of Climate Change on Tree Physiology and Responses of Forest Ecosystems. *Forests*. 2021; 12. <https://doi.org/10.3390/f12121728>

11. Namozov I.Ch., Enileev N.Sh., Normuratov I.T. Effect of the growth for the development and productivity of apple tree by palmette system of cultivation. *Agrarian science*. 2019; (3): 59–61 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-323-3-59-61>

12. Shakhmirzoev R.A., Kaziev M.-R.A. Economic and biochemical assessment of introduced varieties of apple trees in the foothill province of Dagestan. *Agrarian science*. 2022; (6): 95–99 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-95-99>

13. Kapichnikova N.G., Ryabtseva T.V., Turbin P.A. Formation of leaf surface area and yield of various combinations of apple variety and rootstoc. *Fruit Growing*. 2017; 29(1): 26–33 (in Russian).

14. Chauhan A., Ladon T., Verma P. Strategies for rootstock and varietal improvement in apple: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020; 9(5): 2513–2516.

15. Korneeva S.A., Sedov E.N., Yanchuk T.V. Growing technology of crowned trees of columnar apple cultivars at Russian research institute of fruit crop breeding. *Agrarian science*. 2020; (6): 99–101 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-99-101>

16. Mushinsky A.A., Saudabaeva A.Zh., Aminova E.V., Merezko O.E., Pronko N.A. Assessment of low-growing forms of apple clonal rootstocks in the conditions of the Orenburg region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023; (11): 95–100 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i11pp95-100>

17. Robinson T. Advances in apple culture world wide. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2012; 33(s1): 37–47. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500006>

18. Tyutyuma N.V., Kostenko M.G., Menshutina T.V. Commercial quality and biochemical composition of fruits of apple trees on clonal rootstocks southern. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021; (9): 38–41 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i9pp38-41>

ABOUT THE AUTHORS

Ruslan Abuzarovich Shakhmirzoev
Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
russad66@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4972-9535>

Federal Agrarian Research Center
of the Republic of Dagestan,
30 A. Shakhbanova Str., Makhachkala, 367014, Russia

УДК 661.155.3

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-141-150

Д.Б. Просвирников

Д.В. Тунцев

Р.Т. Валеева

Л.М. Исмагилова

А.В. Броднева

Р.М. Одилова

Казанский национальный
исследовательский технологический
университет, Казань, Россия

prosvirnikov_dmi@mail.ru

Поступила в редакцию: 13.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Просвирников Д.Б., Тунцев Д.В.,
Валеева Р.Т., Исмагилова Л.М.,
Броднева А.В., Одилова Р.М.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-141-150

Dmitry B. Prosvirnikov

Denis V. Tuntsev

Rauza T. Valeeva

Lilia M. Ismagilova

Anna V. Brodneva

Rachima M. Odilova

Kazan National Research Technological
University, Kazan, Russia

prosvirnikov_dmi@mail.ru

Received by the editorial office: 13.05.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

© Prosvirnikov D.B., Tuntsev D.V., Valeeva R.T.,
Ismagilova L.M., Brodneva A.V., Odilova R.M.

Ферментативный гидролиз сельскохозяйственных растительных материалов с последующим культивированием кормовых дрожжей *Candida tropicalis* и *Saccharomyces cerevisiae*

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Растительные материалы — перспективный ресурс для производства кормового белка. Их переработка с помощью ферментативного гидролиза и культивирования дрожжей позволяет получать микробную биомассу с высокой пищевой ценностью. Это актуальное направление способствует решению проблемы дефицита кормового белка в животноводстве и устойчивому использованию ресурсов в условиях экологических и экономических вызовов.

Методы. Компонентный анализ сырья (лугза подсолнечника, пивная дробина, люпин, свекловичный жом) проводили по стандартным методикам, сырье измельчали, сушили, подвергали ферментативному гидролизу с применением ферментных препаратов ГК «Фермент» (Республика Беларусь) при оптимальных pH и температуре с контролем выхода сахаров, pH и конверсии. На полученных гидролизатах культивировали дрожжи *S. cerevisiae* и *C. tropicalis* и анализировали потенциал использования агроотходов.

Результаты. При гидролизе пивной дробины получен максимальный выход сахаров (1,8%), у люпина — 1,7% (два пика выхода сахаров наблюдались в 2–4 и 7–9 ч.), у жома — 0,95% (пик в 4–5 ч.). При культивировании *S. cerevisiae* и *C. tropicalis* на гидролизатах пивной дробины и люпина дрожжи активнее росли на пивной дробине, достигая после сушки содержания протеина 68,18% и 72,63% а. с. в. и используя преимущественно при росте растворенные в гидролизате белковые фракции исходного сырья. Наиболее перспективны гидролизаты пивной дробины и люпина, оптимальная продолжительность ферментативного гидролиза 6–10 ч.

Ключевые слова: гидролиз, ферменты, растительное сырье, люпин, пивная дробина, свекловичный жом, лугза подсолнечника, культивирование, дрожжи, кормовая добавка, кормовой белок

Для цитирования: Просвирников Д.Б., Тунцев Д.В., Валеева Р.Т., Исмагилова Л.М., Броднева А.В., Одилова Р.М. Ферментативный гидролиз сельскохозяйственных растительных материалов с последующим культивированием кормовых дрожжей *Candida tropicalis* и *Saccharomyces cerevisiae*. Аграрная наука. 2025; 398(09): 141–150. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-141-150>

Enzymatic hydrolysis of plant agricultural materials followed by cultivation of fodder yeasts *Candida tropicalis* and *Saccharomyces cerevisiae*

ABSTRACT

Relevance. Agro-food waste is a promising resource for the production of feed protein. Their processing using enzymatic hydrolysis and yeast cultivation allows obtaining microbial biomass with high nutritional value. This relevant area helps to solve the problem of feed protein deficiency in animal husbandry and sustainable use of resources in the context of environmental and economic challenges.

Methods. Component analysis of raw materials (sunflower husk, brewer's grain, lupine, beet pulp) was carried out according to standard methods, the raw materials were crushed, dried, subjected to enzymatic hydrolysis using enzyme preparations of the Ferment Group of Companies (Republic of Belarus) at optimal pH and temperature, with control of sugar yield, pH and conversion. Yeasts *S. cerevisiae* and *C. tropicalis* were cultivated on the obtained hydrolysates and the potential for using agro-waste was analyzed.

Results. The maximum sugar yield was obtained during the hydrolysis of brewer's grains (1.8%), for lupine — 1.7% (two peaks of sugar yield were observed at 2–4 and 7–9 hours), for pulp – 0.95% (peak at 4–5 hours). When cultivating *S. cerevisiae* and *C. tropicalis* on hydrolysates of brewer's grains and lupine, the yeast grew more actively on brewer's grains, reaching a protein content of 68.18% and 72.63% a. d. w. after drying, and using mainly the protein fractions of the original raw material dissolved in the hydrolysate during growth. The most promising hydrolysates are brewer's grains and lupine, the optimal duration of enzymatic hydrolysis is 6–10 hours.

Key words: hydrolysis, enzymes, plant materials, lupine, brewer's grains, beet pulp, sunflower husk, cultivation, yeast, feed additive, feed protein

For citation: Prosvirnikov D.B., Tuntsev D.V., Valeeva R.T., Ismagilova L.M., Brodneva A.V., Odilova R.M. Enzymatic hydrolysis of plant agricultural raw materials with subsequent cultivation of fodder yeast *Candida tropicalis* and *Saccharomyces cerevisiae*. Agrarian science. 2025; 398(09): 141–150 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-141-150>

Введение/Introduction

Отходы сельского хозяйства и пищевой промышленности составляют большую часть (почти 30%) мирового сельскохозяйственного производства. Эти отходы в основном состоят из лигноцеллюлозных материалов, образующихся при переработке зерна, фруктов, овощей, сахарного тростника. Растительные отходы агропромышленного комплекса богаты многими биологически активными и нутрицевтическими соединениями, такими как полифенолы, каротиноиды и пищевые волокна [1], и являются ценным сырьем, при грамотной переработке которого возможно решить некоторые проблемы кормления животных, в частности получения кормовых продуктов, обогащенных белком [2, 3].

Такие технологии переработки растительных отходов включают ферментацию твердого субстрата, силосование или глубокую биотехнологическую переработку [4] и должны учитывать их особенности и среду, в которой они образуются, перерабатываются и используются. В частности, результатом таких технологий должны стать продукты, которые безопасны не только для использования в качестве корма для животных, но и с точки зрения питания человека [5].

Ожидаемый дефицит традиционных белковых кормов (соевой и рыбной муки) вынудит искать альтернативные источники [6]. Сегодня животноводство зависит от глобальных поставок растительного белка, что вызывает нехватку в отдельных регионах и увеличивает нагрузку на экосистемы [7].

В качестве устойчивой альтернативы белок, полученный из микроорганизмов, таких как бактерии, дрожжи и водоросли, обеспечивает высокую ценность при меньшем воздействии на окружающую среду в отраслях животноводства [8]. Производство белка значительно продвинулось благодаря совершенствованию технологических процессов, внедрению экологически безопасных субстратов, включая агропромышленные и пищевые отходы [9], а также использованию безопасных для человека и окружающей среды микроорганизмов. Существующие промышленные мощности обладают потенциалом для переоснащения с целью получения кормового белка путем ферментации с образованием одноклеточной биомассы. Среди микроорганизмов, применяемых для этих целей, дрожжи занимают ведущее место благодаря высокому содержанию питательных веществ и хорошей потребительской приемлемости [10, 11].

Микробная биомасса может выращиваться для производства продуктов питания и корма для животных благодаря высокому содержанию белка и тому факту, что представляют собой богатый источник углеводов, минералов, жиров, витаминов и аминокислот [12]. Одним из ключевых преимуществ микробной биомассы является высокая скорость ее получения, обусловленная быстрым

ростом производящих микроорганизмов и возможностью использования агропромышленных отходов, остатков и побочных продуктов в качестве сырья в рамках возобновляемых биотехнологий [13].

Агропромышленные отходы и побочные продукты представляют собой материалы, образующиеся в результате различных технологических процессов в сельском хозяйстве и смежных отраслях [14]. С учетом их химического состава, физико-химических свойств и значительных объемов они обладают значительным потенциалом для производства устойчивых биопродуктов, включая микробную биомассу.

Существует большое количество исследований, посвященных переработке сельскохозяйственных растительных отходов в корма для животных, в частности в микробный кормовой белок. Так, например, Г. Шело с коллегами представили комплексный обзор по повышению ценности отходов агропромышленного комплекса методом твердофазной ферментации [15]. Они, как и многие, сообщают, что агропродовольственные промышленные отходы производятся в больших количествах по всему миру. Подавляющее большинство этих отходов — лигноцеллюлозные материалы, которые являются потенциальным сырьем для создания продуктов с добавленной стоимостью (например, с применением технологий твердофазной ферментации, позволяющей на растительном субстрате производить рост микроорганизмов).

К. Држимала с коллегами исследовали сельскохозяйственные отходы ржи и овса как субстраты-кандидаты для производства биомассы нетрадиционными дрожжами *Yarrowia lipolytica* [16]. После комбинированного процесса кислотно-ферментативного гидролиза были проанализированы концентрация и состав ферментируемых моносахаридов в полученных гидролизатах. Гидролизат ржаных отрубей имел самое высокое содержание сахара — 80,8 г/л. Результаты показали, что эти дрожжи способны расти на недорогой среде и производить биомассу, которую можно использовать в качестве корма в виде одноклеточного белка. Биомасса дрожжей, выращенных на гидролизате овсяных отрубей, составила более 9 г/л через 120 ч., при этом общий выход биомассы и общая производительность составили 0,141 г/г и 0,078 г/ч соответственно. Содержание белка в биомассе дрожжей находилось в диапазоне 30,5–44,5% от сухого веса. Результаты, полученные при культивировании *Y. lipolytica* в ржаных отрубях, показали высокое содержание экзогенных аминокислот (лейцин 3,38 г, лизин 2,93 г, треонин 2,31 г / 100 г сухой массы) и спектр ненасыщенных жирных кислот с преобладанием олеиновой кислоты — 59,28%.

С. Патсиос и др. показали возможность получения кормового белка для животных путем выращивания *Yarrowia lipolytica* на агропромышленных отходах и побочных продуктах [17].

Н.Р. Бишной оптимизировал ферментативный гидролиз предварительно обработанной пшеничной соломы щелочью в СВЧ и производство этанола дрожжами [18]. При оптимальных условиях наблюдали эффективность выхода гидролиза — 82%, после чего концентрированный ферментативный гидролизат был подвергнут ферментации для производства этанола с помощью *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia stipitis* и совместной культуры. Выход этанола составил 0,48 г/г субстрата, 0,43 г/г и 0,40 г/г соответственно. Похожие результаты получили С.М. Аджила с колл. [19].

П. Пательски с колл. изучали переработку отходов картофельной промышленности в биомассу кормовых дрожжей [20]. Они сообщают, что часть углеводов в отходах картофельного жома может быть таким образом преобразована в более ценный белок. Были проведены два вида гидролиза (термокислотный и ферментативный) для получения среды для культивирования *Candida guilliermondii* и *Pichia stipitis*. Самый высокий выход биомассы через 48 ч. (39,3%) был отмечен для дрожжей *Candida guilliermondii*, выращенных на среде на основе ферментативного гидролизата.

С. Муньос и др. разработали интегрированный процесс предварительной обработки и ферментативного гидролиза кукурузной соломы [21]. Химическая предварительная обработка биомассы была интегрирована с производством ферментов посредством рециркуляции водных фракций. Пероксидно-щелочная делигнификация кукурузной соломы была проведена для получения 75,1% по весу твердой фракции целлюлозы и для растворения 93,4% и 83,5% исходного лигнина и гемицеллюлозы соответственно. Затем нативный штамм *Pleurotus cystidiosus* был оставлен для роста в течение 120 ч. в полученной жидкой фракции. Максимальная конверсия целлюлозы в глюкозу полученной жидкой фракцией грибковой среды составила $61,3 \pm 0,9\%$ от теоретического выхода конверсии коммерческого ферmenta. Аналогично конверсия гемицеллюлоз в ксилоzu составила $69,5 \pm 1,5\%$.

Авторы исследования [22] изучали характеристику стебля хлопчатника как лигноцеллюлозного сырья для производства одноклеточного белка. Лигноцеллюлозные гидролизаты были приготовлены из различных частей стеблей хлопка и использованы для производства одноклеточного белка. В качестве доказательства концепции гидролизаты стеблей хлопка были успешно преобразованы в одноклеточный белок с использованием *Candida utilis* благодаря его благоприятной эффективности потребления сахара и высокому качеству белка. Была получена самая высокая концентрация белка (5,74 г/л), что дает 0,23 г/г из лигноцеллюлозных сахаров, выделенных из корней стеблей хлопка.

А. Вилковска и др. исследовали совместное культивирование дрожжей и гидролиз пектина

как эффективный метод производства пребиотического корма для животных из жома сахарной свеклы [23]. Различные штаммы дрожжей были подвергнуты скринингу на предмет их способности к синтезу белка и усвоению моносахаридов. Было обнаружено, что комбинированное культивирование дрожжей и гидролиз пектина являются эффективным методом получения пребиотиков. Раздельный ферментативный гидролиз и ферментация привели к высвобождению 3,6 г сахаров на 100 г сухой массы, тогда как выход сахаров, полученных после комбинированного процесса, был на 17,9% выше. Введение дрожжей в процесс улучшило производительность гидролиза из-за более низкого ингибиования ферментов моно- и дисахаридами.

Д. Лапенья и др. изучали возможность производства и характеристику дрожжей, выращенных на средах, состоящих из сахаров, полученных из ели, и гидролизатов белков из куриных субпродуктов [24]. Как сообщают авторы, дрожжи очень хорошо росли на среде на основе ели и куриных субпродуктов с типичным выходом в размере 0,4–0,5 г сухого веса дрожжей и 0,2–0,3 г белка на 1 г сахара. *B. adeninivorans* выделялись как самые универсальные дрожжи с точки зрения потребления питательных веществ, и в этом случае выход достигал 0,9 г биомассы и 0,5 г белка на 1 г сахара. Следующими по производительности дрожжами с точки зрения выхода были *W. anomalus* с выходом до 0,6 г дрожжей и 0,3 г белка на 1 г сахара. Сравнительный анализ состава дрожжей выявил благоприятные профили аминокислот, которые были похожи на профили соевой муки и тем более рыбной муки, особенно по незаменимым аминокислотам.

Цели данного исследования — сравнение характеристик процесса (выход редуцирующих веществ, продолжительность процесса) ферментативного гидролиза лузги подсолнечника, свекловичного жома, люпина белого, пивной дробины, культивирование микробной биомассы *Candida tropicalis* и *Saccharomyces cerevisiae* на полученных ферментативных гидролизатах, имеющих наибольшее содержание редуцирующих веществ, оценка возможности и потенциала биотрансформации исследуемых растительных сельскохозяйственных материалов в источник микробного протеина для кормления сельскохозяйственных животных.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Экспериментальные работы были проведены на кафедре химической кибернетики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ) в марте 2025 года.

В работе использовали:

- ✓ лузгу подсолнечника, выработанную в 2024 г. (АО «Казанский жировой комбинат», г. Казань, Россия);

- ✓ свекловичный жом, выработанный в 2025 г. (ООО «Буинский сахар», г. Буинск, Россия);
- ✓ люпин белый сорта Дега (отходы заготовки и хранения семян кормового люпина — некондиционные бобы) (собран в Ивановской обл., Россия), урожай 2024 г.;
- ✓ сухую пивную дробину, выработанную в 2025 г. (ООО «Завод ППД», г. Екатеринбург, Россия).

Образцы сырья растительного происхождения представлены на рисунке 1.

Сырье предварительно измельчали на лабораторной мельнице «Выюга ЗМТ» (Россия), просеивали через сита с ячейками 0,1–0,5 мм.

Компонентный анализ сырья определяли в масс.% абсолютно сухого вещества (а. с. в.) следующим образом (табл. 1):

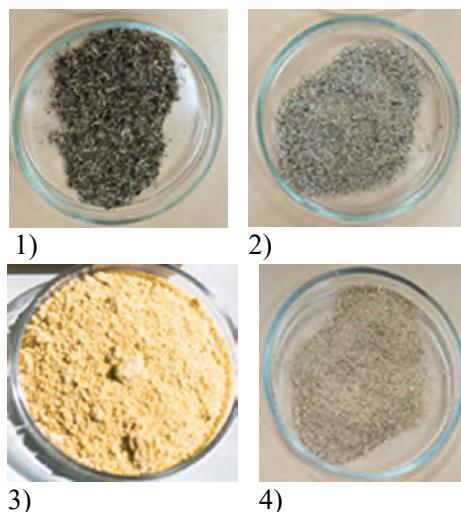
- ✓ влага (W) — на автоматическом анализаторе влажности AND MX-50 (Япония),
- ✓ целлюлоза ($C_{\text{ц}}$) — ГОСТ ISO 6865-2015¹,
- ✓ легкогидролизуемые полисахариды ($C_{\text{лг}}$) — по ГОСТ 26176-2019²,
- ✓ лигнин ($C_{\text{л}}$) — по ГОСТ 26177-84³,
- ✓ жир ($C_{\text{ж}}$) и экстрактивные вещества ($C_{\text{эв}}$) — по ГОСТ 13496.15-2016⁴,
- ✓ общий азот (CN) — по ГОСТ 13496.4-2019⁵ (в установке для мокрого озоления от компании Selecta (Испания) с выносным температурным блоком в вытяжном шкафу),
- ✓ истинный белок (CN_6) — по ГОСТ Р 5722-2016⁶,
- ✓ сырая зола (C_3) — по ГОСТ 26226-95⁷.

Статистическую оценку проводили по стандартным методикам⁹. Для проведения ферментативного гидролиза были использованы ферментные препараты ГК «Фермент» (Республика Беларусь). Характеристики представлены в таблице 2.

Поскольку цель работы — избирательный ферментативный гидролиз углеводной фракции люпина и жира, исходя из данных по количественному содержанию компонентов, учитывая активность и теоретическую молекулярную массу субстрата, определяли дозировки ферментных препаратов (табл. 3).

Рис. 1. Измельченное сырье для исследований: 1) лузга подсолнечника, 2) свекловичный жом, 3) люпин белый сорта Дега, 4) сухая пивная дробина

Fig. 1. Crushed raw materials for research: 1) sunflower husk, 2) beet pulp, 3) white lupine of the Dega variety, 4) dry brewer's grains



Ферментативный гидролиз препаратами ГК «Фермент» проводили следующим образом. В стерилизованные колбы 750 мл (по два параллельных измерения на каждый вид сырья) помещали подготовленное сырье (35,0 г) с известной влажностью, ферментную композицию в заданном количестве и соотношении (разведение водой 5 мл) и буфер (лимонная кислота/гидроксид натрия) в расчетном количестве 200 мл, колбы закрывали ватно-марлевым тампоном. Все реактивы использовали квалификации ч. д. а.

Ферментативный гидролиз проводили в лабораторном шейкере-инкубаторе Kuhner ISF1-X (Швейцария) при 130 об/мин в течение 28 ч.

Режимы обработки для каждого вида сырья подбирали на основании ферментных композиций, рабочих и оптимальных диапазонов температуры и pH (табл. 4).

Через 2, 4, 6, 8, 10, 24, 26, 28 ч. ферментативного гидролиза из колб отбирали пробы гидролизата

Таблица 1. Компонентный состав сырья

Table 1. Component composition of raw materials

Сырье	W, % а. с. в.	$C_{\text{шв}}$, % а. с. в.	$C_{\text{ц}}$, % а. с. в.	$C_{\text{лг}}$, % а. с. в.	$C_{\text{л}}$, % а. с. в.	$C_{\text{ж}}$, % а. с. в.	$C_{\text{жк}}$, % а. с. в.	CN, % а. с. в.	CN_6 , % а. с. в.	C_3 , % а. с. в.
Лузга подсолнечника	$4,95 \pm 0,03$	$6,02 \pm 1,22$	$30,91 \pm 0,50$	$13,33 \pm 0,60$	$0,01 \pm 0,00$	$25,37 \pm 0,22$	$2,35 \pm 0,01$	$8,92 \pm 0,65$	$4,59 \pm 0,78$	$6,55 \pm 0,24$
Жом свекловичный	$11,65 \pm 0,15$	$2,50 \pm 0,97$	$23,24 \pm 0,05$	$28,51 \pm 0,55$	$0,02 \pm 0,00$	$3,90 \pm 0,05$	$0,89 \pm 0,03$	$12,15 \pm 1,41$	$4,94 \pm 0,28$	$5,08 \pm 0,61$
Люпин белый	$6,87 \pm 0,03$	$1,81 \pm 0,02$	$16,81 \pm 0,27$	$21,9 \pm 1,21$	$5,1 \pm 0,01$	$0,24 \pm 0,01$	$9,98 \pm 0,02$	$39,49 \pm 0,32$	$16,98 \pm 0,60$	$5,15 \pm 0,15$
Пивная дробина ⁸	$10,75 \pm 0,05$	$1,12 \pm 0,17$	$19,56 \pm 0,56$	$56,9 \pm 1,343$	$20,21 \pm 0,12$	$6,92 \pm 0,15$	$1,19 \pm 0,03$	$28,21 \pm 0,07$	$10,36 \pm 0,14$	$8,06 \pm 0,27$

¹ ГОСТ ISO 6865-2015 Корма для животных. Метод определения содержания сырой клетчатки.

² ГОСТ 26176-2019 Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов.

³ ГОСТ 26177-84 Корма, комбикорма. Метод определения лигнина.

⁴ ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира.

⁵ ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

⁶ ГОСТР 57221-2016 Дрожжи кормовые. Методы испытаний.

⁷ ГОСТ 26226-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы.

⁸ ТУ 10.91.10-01-78695730-2022 Корма готовые для сельскохозяйственных животных.

⁹ Сараджишвили С.Э. Статистическая обработка данных: учебное пособие / С.Э. Сараджишвили, В.С. Почернин. 2024; 35.

Таблица 2. Характеристики ферментных препаратов ГК «Фермент»

Table 2. Characteristics of enzyme preparations of the Ferment Group of Companies

Название препарата	Гидролизуемый субстрат	Активность, ед/г	pH раб.	pH опт.	t раб., °C	t опт., °C
Целлюлазный комплекс	Целлюлоза до низкомолекулярных углеводов и глюкозы	10 000	2,0–7,0	3,5–4,5	30–65	50–60
β-глюканаза	β-глюканы и другие некрахмальные полисахариды (глюканы ГМЦ)	20 000	3–7	4–6	30–70	50–60
Белазим ГЦ комплекс бета-глюканазы (6800) и ксиланазы (550)	β-глюканы до низкомолекулярных углеводов и глюкозы (глюканы ГМЦ)	6800	4–7	5–6	30–60	50–55
Ксиланаза	Растворимые и нерастворимые формы арабиноксиланов до низкомолекулярных углеводов и ксилоэзы. Действует в волокнистой фракции клеточной стенки растений (ксиланы ГМЦ)	30 000	4–7	5–6,5	30–60	50–55
β-маннаназа	Маннан — критический антипитательный фактор в соевых продуктах и широте (жмыхе) подсолнечника (маннаны ГМЦ)	10 000	5–7	5–6	30–70	55–65
Липрозим С (группа 1)	Сложноэфирные связи в триглицеридах	11 250	6–10	8	20–60	40–45
Белазим ХА α-амилаза	α-1,4-гликозидные связи крахмала до декстринов и олигосахаридов	2000	4–7,5	5,5–6,5	30–70	50–60
Эльзим ГА жидкая глюкоамилаза (3500)	Составные части зернового крахмала (амилоза и амилопектин). Гидролизует предпочтительно высокомолекулярный субстрат, молекулы декстринов и крахмала с образованием глюкозы	3500	3,5–6	4–5	30–60	50–55

Таблица 3. Расчет ферментных композиций

Table 3. Calculation of enzyme compositions

Название препарата	Субстрат	Расчетные дозировки (в % от массы субстрата)	Дозировки ферментов (в % от массы всего сырья)			
			Лузга подсолнечника	Жом свекловичный	Люпин белый	Пивная дробина
Целлюлазный комплекс	Целлюлоза	0,1	0,03	0,02	0,02	0,02
β-глюканаза	Легкогидролизуемые полисахариды	0,15	0,02	0,04	0,03	0,09
Белазим ГЦ комплекс β-глюканазы (6800) и ксиланазы (550)	Легкогидролизуемые полисахариды	0,45	0,06	0,13	0,10	0,26
Ксиланаза	Легкогидролизуемые полисахариды	0,1	0,01	0,03	0,02	0,06
β-маннаназа	Легкогидролизуемые полисахариды	0,2	0,03	0,06	0,04	0,11
Липрозим С (группа 1)	Жир	0,1	0,00	0,00	0,01	0,00
Белазим ХА α-амилаза	Крахмал	0,2	0,00	0,00	0,01	0,04
Эльзим ГА жидкая глюкоамилаза (3500)	Крахмал	0,1	0,00	0,00	0,01	0,02

Таблица 4. Режимы ферментативного гидролиза

Table 4. Enzymatic hydrolysis modes

Режим	Лузга подсолнечника	Жом свекловичный	Люпин белый	Пивная дробина
t, °C	50	50	50	55
pH	4,5–5	4,5–5	4,5–5,5	4,5–5
Гидромодуль	5,2	7,4	5,1	5,5

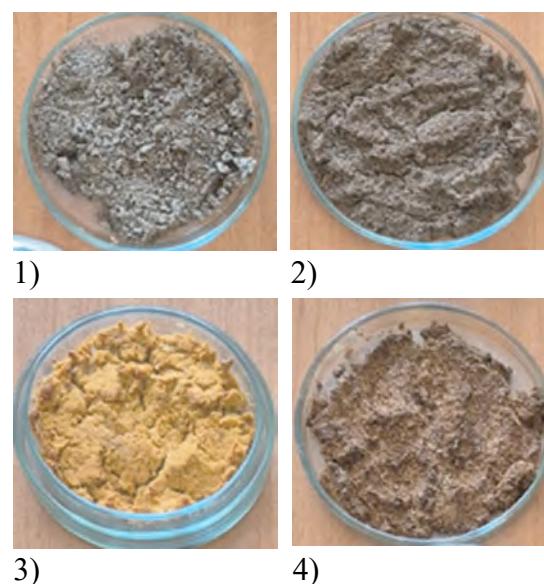
по 10 мл, центрифугировали на центрифуге Biobase (Китай) при 10 000 об/мин в течение 5 мин., в надосадочной жидкости определяли pH («Мультитест ИПЛ-311», Россия), концентрацию редуцирующих веществ (далее — РВ) в пересчете на глюкозу (метод Бенедикта Бертрана).

По окончании ферментативного гидролиза содержимое колб центрифугировали и отделяли надосадочную жидкость (гидролизат) от твердого остатка, стерилизовали кипячением, охлаждали и готовили к дальнейшему культивированию на ней микроорганизмов.

Твердый осадок (рис. 2) сушили в шкафу при 103–105 °C в течение 12 ч., после чего измельчали, количественно взвешивали и по полученным данным рассчитывали конверсию сырья в сахара.

Рис. 2. Твердый остаток после ферментативного гидролиза: 1) лузга подсолнечника, 2) свекловичный жом, 3) люпин белый сорта Дега, 4) пивная дробина

Fig. 2. Solid residue after enzymatic hydrolysis: 1) sunflower husk, 2) beet pulp, 3) white lupine of the Dega variety, 4) brewer's grains



Аэробное культивирование проводили на подготовленных ферментативных гидролизатах углеводной фракции пивной дробины и люпина. В исследовании использовали предварительно засеянные на агаризованной питательной среде (рис. 3.1) культуры одноклеточных дрожжей *Candida tropicalis* ВКПМ Y-3 и *Saccharomyces cerevisiae* ВКПМ Y-1136, пригодные для производства кормового белка. Оптимальная температура для роста составляет 28–35 °С, pH 4,8–5,0.

Гидролизаты разбавляли дистиллированной водой: гидролизат люпина в 2,5 раза, гидролизат пивной дробины в 4 раза. В стерилизованные качалочные колбы объемом 750 мл добавляли 150 мл разбавленного гидролизата, суспензию чистой культуры дрожжей, разбавленной в 30 мл стерильной воды, компоненты питательной среды ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , KCl , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NaCl , дрожжевой автолизат). Колбы помещали в шейкер-инкубатор Kuhner ISF1-X (Швейцария) (рис. 3.2) и выдерживали при температуре 30 °С, pH 4,8–5,0 в течение 24 ч. при оборотах 100 мин⁻¹. Для поддержания pH на оптимальном уровне 4,8–5,0 ед. в процессе роста биомассы дрожжей каждую среду подкисляли соляной кислотой либо подщелачивали аммиачной водой.

Пробы отбирали через 0, 4, 6, 8, 10, 24 ч. культивирования. Одну часть центрифugировали, и определяли pH и концентрацию РВ. Вторую часть использовали для определения оптической плотности с помощью фотоэлектрокалориметра КФК-2 (Россия) при длине волны 590 нм (разведение водой в соотношении 1:9).

Оценку физиологического состояния дрожжевых клеток проводили методом микроскопии на оптическом микроскопе «Микмед-6» (Россия) при увеличении (x450).

По окончании процесса культивирования отработанные гидролизаты охлаждали и осаждали в них дрожжи (рис. 4.3).

Сушку дрожжей проводили в лабораторной распылительной сушилке (рис. 5.1–5.3).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты ферментативного гидролиза (выход РВ в % от массы гидролизата) при расчетной ферментной композиции представлены на рисунке 5.

Ферментативный гидролиз проводили для углеводной фракции сырья, не затрагивая гидролиз белков (протеолитические ферменты в исследовании не применяли), с получением РВ как питательной среды для дальнейшего культивирования

Рис. 3. Культивирование дрожжей: 1) подготовка культуры к засеванию, 2) культивирование в шейкер-инкубаторе, 3) осаждение дрожжей

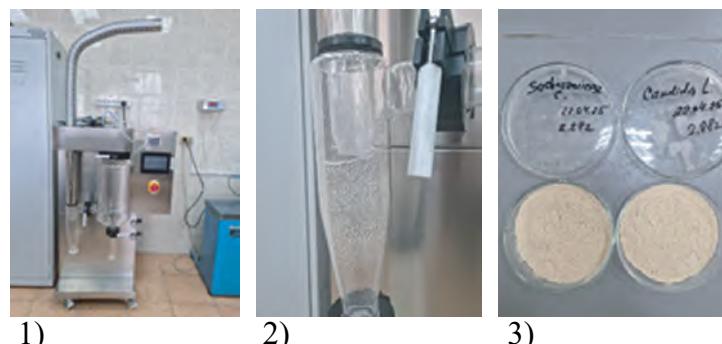
Fig. 3. Cultivation of yeast: 1) preparation of the culture for inoculation, 2) cultivation in a shaker-incubator, 3) sedimentation of yeast



1) 2) 3)

Рис. 4. Сушка дрожжей: 1) лабораторная распылительная сушилка, 2) циклон для сбора сухой биомассы дрожжей, 3) образцы выращенных дрожжей

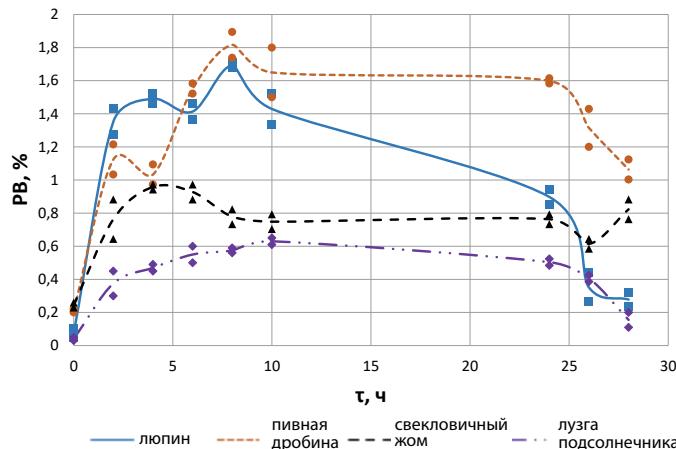
Fig. 4. Drying of yeast: 1) laboratory spray dryer, 2) cyclone for collecting dry yeast biomass, 3) samples of grown yeast



1) 2) 3)

Рис. 5. Выход редуцирующих веществ в гидролизатах

Fig. 5. Yield of reducing substances in hydrolysates



биомассы дрожжей. Наибольший выход РВ (около 1,8%) в пересчете на глюкозу РВ наблюдали при ферментативном гидролизе пивной дробины. Немного меньшие показатели у люпина. Высокие содержания легкогидролизуемых полисахаридов в этих видах сырья, переходящих в гидролизат, очевидно, объясняют такой результат. При этом наблюдали два подъема выхода РВ — в период 2–4 ч. и 7–9 ч.

Вероятно, в первый период подъема происходили интенсивный гидролиз легкогидролизуемых полисахаридов, освобождение стенок растительных тканей, после чего наблюдали гидролиз

целлюлозы (преимущественно ее аморфной фракции). Далее наблюдало снижение выхода РВ, возможно, связанное с образованием сложных нерастворимых комплексов при взаимодействии продуктов гидролиза. Свекловичный жом гидролизуется при расчетной ферментной композиции несколько иначе (с явным наблюдением максимума выхода РВ (0,95%) в период 4–5 ч.) и почти в 2 раза меньше высвобождает сахаров по сравнению с пивной дробиной и люпином. При этом большая часть выходящих РВ, очевидно, обусловливается присутствием в жоме растворимых сахаров и легкогидролизуемых полисахаридов.

Значительное содержание трудногидролизуемой клетчатки, так же как и у лузги подсолнечника, требует более длительного воздействия целлюлаз и, скорее всего, требует ступенчатого воздействия ферментами: сначала обработка ксиланазой, маннаназой, затем целлюлазным комплексом.

Взаимодействие ферментов друг с другом и их влияние на образующиеся продукты в условиях гидролиза мало изучены, но во многих работах такие сообщения имеются [25]. Так, в зависимости от субстратов целлюлазы могут ингибироваться присутствием липаз, ксиланаз. К тому же само действие ферментов может подавляться образующимися продуктами во время гидролиза: лигниновыми комплексами, экстрактивными веществами и другими [26].

По результатам проведенного ферментативного гидролиза сделано предположение, что из рассматриваемого сельскохозяйственного сырья наиболее интересны с точки зрения дальнейшего культивирования на гидролизатах пивная дробина и люпин. Для эффективного ферментативного гидролиза лузги подсолнечника и свекловичного жома, богатых клетчаткой, необходима предварительная обработка (например, кислотным предгидролизом или паровым автогидролизом), что существенно интенсифицирует процесс [27, 28].

Интенсивность культивирования дрожжей на гидролизатах после ферментативного гидролиза позволяет судить о приемлемости и доброкачественности полученных гидролизатов, наличии в них субстратов (простых сахаров) для питания одноклеточных. Результаты сравнения двух углеводных гидролизатов (пивной дробины и люпина), как источников питательных сред, представлены на рисунках 6, 7.

Для всех случаев при росте дрожжей наблюдается лаг-фаза в течение 4 ч., когда клетки привыкают к среде. Далее (начиная с 5 ч.) происходит их активный рост.

Углеводные гидролизаты люпина, как показано на рисунке 6, менее эффективны для роста дрожжей по сравнению с гидролизатом пивной дробины, причем дрожжи *S. cerevisiae* хуже всего растут на обоих гидролизатах. Среда содержит меньшее количество питательных веществ, возможно, недостаточное количество кислорода при

Рис. 6. Изменение оптической плотности гидролизатов по мере накопления биомассы дрожжей

Fig. 6. Change in optical density of hydrolysates as yeast biomass accumulates

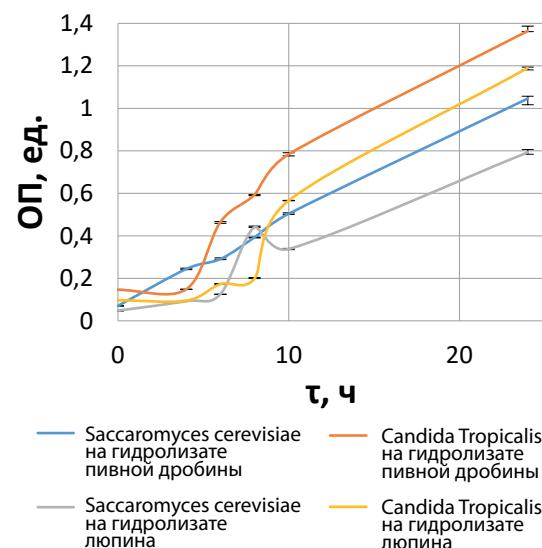
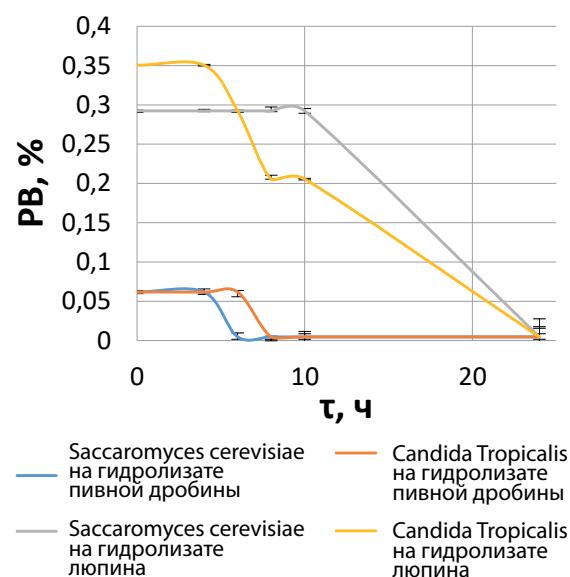


Рис. 7. Изменение содержания РВ в гидролизатах по мере накопления биомассы дрожжей

Fig. 7. Changes in the content of RS in hydrolysates as yeast biomass accumulates



культивировании в колбах ограничивает рост данной культуры.

При этом потребление сахаров (рис. 7) неоднозначно в случае с гидролизатами люпина и пивной дробины. В гидролизате люпина большее количество сахаров (даже с учетом разбавления), при этом их потребление начинается преимущественно с 10 ч. культивирования, хотя заметный рост оптической плотности наблюдается с 6 ч. По-видимому, рост обеспечивается не только лишь углеводами, но и белковыми компонентами, присутствующими в гидролизате, перешедшими при гидролизе в виде водорастворимых фракций протеина. Это явление было отмечено во многих работах [29, 30].

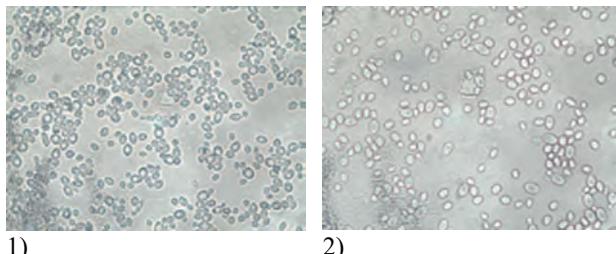
После 10 ч. рост *S. cerevisiae* на люпиновом гидролизате обеспечивается также сахарами. *C. tropicalis* на люпиновом гидролизате ведет себя похожим образом. Возможно, аминокислотный состав растворенных белков люпина играет первостепенную роль в росте микроорганизмов, при этом сахара, особенно для *S. cerevisiae*, важны для роста.

На гидролизатах пивной дробины обе изучаемые культуры растут лучше, причем при низком содержании сахаров. В этой ситуации рост обеспечивается сначала присутствием сахаров (полное потребление в период с 5 до 10 ч. культивирования), затем, по-видимому, растворенными аминокислотами. Учитывая, что исходное сырье пивной дробины содержит сравнительно высокую концентрацию сырого протеина, можно полагать, что часть протеина в виде альбуминов переходит в гидролизат и становится источником питательных веществ для одноклеточных. Причем для *C. tropicalis* это является, видимо, лимитирующим фактором. О похожих результатах сообщалось в [31].

Полученные дрожжи были высушены вместе с растворенными в гидролизате веществами после культивирования. Внешний вид продукта — сухой белый порошок с остаточной влажностью 6–7%, содержание сырого протеина в продукте с *S. cerevisiae* составило 68,18% а. с. в., с *C. tropicalis* — 72,63% а. с. в.

Рис. 8. Микрофотографии (x450) клеток: 1) — *S. cerevisiae*; 2) — *C. tropicalis*

Fig. 8. Micrographs (x450) of *S. cerevisiae* (1) and *C. tropicalis* (2) cells



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 plagiat.
Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счет предоставленного в 2024 году Академией наук Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и прикладных научных работ в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Plakantonaki S., Roussis I., Bilalis D., Prinotakis G. Dietary Fiber from Plant-Based Food Wastes: A Comprehensive Approach to Cereal, Fruit, and Vegetable Waste Valorization. *Processes*. 2023; 11(5): 1580. <https://doi.org/10.3390/pr11051580>
- Afolalu S.A. et al. Bio-Agro Waste Valorization and its Sustainability in the Industry: A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1107: 012140. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1107/1/012140>

Микроскопическое исследование (x450) дрожжей (рис. 8) показало, что клетки *S. cerevisiae* (рис. 8.1) круглые или яйцевидные, эллипсовидные, прорастающие почкованием, 5–10 мкм в диаметре. *C. tropicalis* — клетки с формой от круглой до овальной размером приблизительно от 2 до 10 мкм (рис. 8.2).

Выводы/Conclusions

Наибольший выход редуцирующих веществ (около 1,8%) наблюдали при ферментативном гидролизе пивной дробины, при гидролизе углеводной фракции люпина — 1,7%.

Оптимальная продолжительность ферментативного гидролиза при расчетных ферментных композициях 6–10 ч.

Для эффективного ферментативного гидролиза лузги подсолнечника и свекловичного жома, богатых клетчаткой, необходима предварительная обработка (например, кислотный предгидролиз или паровой автогидролиз), что существенно может интенсифицировать процесс.

Результаты культивирования *C. tropicalis* на гидролизатах люпина и пивной дробины показали наилучший результат. Так, *C. tropicalis* растет почти в 1,5 раза быстрее, чем *S. cerevisiae*. На гидролизатах пивной дробины рост *C. tropicalis* в 1,2 раза быстрее, чем на гидролизатах люпина.

Полученные дрожжи — сухой белый порошок с остаточной влажностью 6–7%, содержание сырого протеина в продукте с *S. cerevisiae* составило 68,18% а. с. в., с *C. tropicalis* — 72,63% а. с. в. Полученная биомасса дрожжей с высоким содержанием сырого протеина может быть рассмотрена в качестве возможного источника белкового питания в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы.

Из всех исследуемых растительных сельскохозяйственных материалов наибольший потенциал биотрансформации в источник микробного протеина для кормления сельскохозяйственных животных имеет пивная дробина.

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.

FUNDING

The research was carried out using a grant provided in 2024 by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan for the implementation of fundamental and applied scientific work in scientific and educational organizations, enterprises and organizations of the real sector of the economy of the Republic of Tatarstan.

REFERENCES

- Plakantonaki S., Roussis I., Bilalis D., Prinotakis G. Dietary Fiber from Plant-Based Food Wastes: A Comprehensive Approach to Cereal, Fruit, and Vegetable Waste Valorization. *Processes*. 2023; 11(5): 1580. <https://doi.org/10.3390/pr11051580>
- Afolalu S.A. et al. Bio-Agro Waste Valorization and its Sustainability in the Industry: A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1107: 012140. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1107/1/012140>

3. Стациенко Е.С., Пензин А.А., Усанов В.С. Анализ использования соевого зерна при создании обогащающих добавок и продуктов пищевого и кормового назначения. *Вестник КрасГАУ*. 2024; (8): 203–218.
DOI: 10.36718/1819-4036-2024-8-203-218
4. Xiong Y. et al. Exploring the Effects of Different Bacteria Additives on Fermentation Quality, Microbial Community and In Vitro Gas Production of Forage Oat Silage. *Animals*. 2022; 12(9): 1122. <https://doi.org/10.3390/ani12091122>
5. Kamal M. et al. Enhancing the feed efficiency of crop residues in ruminants: a comprehensive review. *Annals of Animal Science*. 2025; 25(2): 529–545. <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0081>
6. Пахомов В.И. и др. Состояние и перспективы использования растительного сырья в кормах для аквакультуры (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; (3): 281–294. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.281-294>
7. Cherdthong A. An overview of alternative protein sources for ruminants in the tropical area. *Annals of Animal Science*. 2025; 25(1): 103–118. <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0049>
8. D'Almeida A.P., de Albuquerque T.L. Is it Possible to Produce Meat Without Animals? The Potential of Microorganisms as Protein Sources. *Fermentation*. 2025; 11(1): 24. <https://doi.org/10.3390/fermentation11010024>
9. Кожемякин Д.С., Каменская Е.П., Вистовская В.П. Оценка эффективности культивирования микроорганизмов — продуцентов белка на гидролизатах пивной дробины. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2025; (3): 1–6. <https://doi.org/10.21285/achb.983>
10. Vlaeminck E. et al. Single-Cell Protein Production from Industrial Off-Gas through Acetate: Techno-Economic Analysis for a Coupled Fermentation Approach. *Fermentation*. 2023; 9(8): 771. <https://doi.org/10.3390/fermentation9080771>
11. Фоменко И.А., Керимова Г.М. Биоконверсия растительных отходов в кормовые и пищевые дрожжевые препараты. Новые технологии. 2022; (1): 78–85. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-1-78-85>
12. Bajić B., Vučurović D., Vasić Đ., Jevtić-Mučibabić R., Dodić S. Biotechnological Production of Sustainable Microbial Proteins from Agro-Industrial Residues and By-Products. *Foods*. 2023; 12(1): 107. <https://doi.org/10.3390/foods12010107>
13. Неустров А.П., Тихонов С.Л., Тихонова Н.В. Технология получения микробного белка из дрожжей. Дальневосточный аграрный вестник. 2023; (4): 209–217. <https://elibrary.ru/item.asp?id=59692783>
14. Куликова М.А., Оковитая К.О., Суржко О.А. Формирование агропромышленных кластеров с комплексной переработкой отходов. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021; (104): 159–165. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.030>
15. Šelo G., Planinić M., Tišma M., Tomas S., Koceva Komlenić D., Bucić-Kožić A. A Comprehensive Review on Valorization of Agro-Food Industrial Residues by Solid-State Fermentation. *Foods*. 2021; 10(5): 927. <https://doi.org/10.3390/foods10050927>
16. Drzymała K., Mirończuk A.M., Pietrzak W., Dobrowolski A. Rye and Oat Agricultural Wastes as Substrate Candidates for Biomass Production of the Non-Conventional Yeast *Yarrowia lipolytica*. *Sustainability*. 2020; 12(18): 7704. <https://doi.org/10.3390/su12187704>
17. Patsios S.I., Dedousi A., Sossidou E.N., Zdragias A. Sustainable Animal Feed Protein through the Cultivation of *YARROWIA Lipolytica* on Agro-Industrial Wastes and by-Products. *Sustainability*. 2020; 12(4): 1398. <https://doi.org/10.3390/su12041398>
18. Singh A., Bishnoi N.R. Enzymatic hydrolysis optimization of microwave alkali pretreated wheat straw and ethanol production by yeast. *Bioresource Technology*. 2012; 108: 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.084>
19. Ajila C.M., Brar S.K., Verma M., Tyagi R.D., Godbout S., Valéro J.R. Bio-processing of agro-byproducts to animal feed. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2012; 32(4): 382–400. <https://doi.org/10.3109/07388551.2012.659172>
20. Patelski P. et al. Conversion of Potato Industry Waste into Fodder Yeast Biomass. *Processes*. 2020; 8(4): 453. <https://doi.org/10.3390/pr8040453>
21. Serafin Muñoz A.H., Molina Guerrero C.E., Gutierrez Ortega N.L., Leal Vaca J.C., Vargas A.A., Canchola C.C. Characterization and Integrated Process of Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn Straw. *Waste and Biomass Valorization*. 2019; 10(7): 1857–1871. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0218-9>
3. Statsenko E.S., Penzin A.A., Usanov V.S. Analysis of the use of soybean grain in the creation of enriching additives and products for food and feed purposes. *Bulletin of KrasSAU*. 2024; (8): 203–218 (in Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-8-203-218
4. Xiong Y. et al. Exploring the Effects of Different Bacteria Additives on Fermentation Quality, Microbial Community and In Vitro Gas Production of Forage Oat Silage. *Animals*. 2022; 12(9): 1122. <https://doi.org/10.3390/ani12091122>
5. Kamal M. et al. Enhancing the feed efficiency of crop residues in ruminants: a comprehensive review. *Annals of Animal Science*. 2025; 25(2): 529–545. <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0081>
6. Pakhomov V.I. et al. Status and prospects of using plant raw materials in feeds for aquaculture (review). *Agrarian Science of Euro-North-East*. 2022; (3): 281–294 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.281-294>
7. Cherdthong A. An overview of alternative protein sources for ruminants in the tropical area. *Annals of Animal Science*. 2025; 25(1): 103–118. <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0049>
8. D'Almeida A.P., de Albuquerque T.L. Is it Possible to Produce Meat Without Animals? The Potential of Microorganisms as Protein Sources. *Fermentation*. 2025; 11(1): 24. <https://doi.org/10.3390/fermentation11010024>
9. Kozhemyakin D.S., Kamenskaya E.P., Vistovskaya V.P. Evaluation of the efficiency of culturing protein-producing microorganisms on brewer's grain hydrolysates. *News of universities. Applied chemistry and biotechnology*. 2025; (3): 1–6 (in Russian). <https://doi.org/10.21285/achb.983>
10. Vlaeminck E. et al. Single-Cell Protein Production from Industrial Off-Gas through Acetate: Techno-Economic Analysis for a Coupled Fermentation Approach. *Fermentation*. 2023; 9(8): 771. <https://doi.org/10.3390/fermentation9080771>
11. Fomenko I.A., Kerimova G.M. Bioconversion of plant waste into feed and food yeast preparations. *New technologies*. 2022; (1): 78–85 (in Russian). <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-1-78-85>
12. Bajić B., Vučurović D., Vasić Đ., Jevtić-Mučibabić R., Dodić S. Biotechnological Production of Sustainable Microbial Proteins from Agro-Industrial Residues and By-Products. *Foods*. 2023; 12(1): 107. <https://doi.org/10.3390/foods12010107>
13. Neustroev A.P., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. Technology for obtaining microbial protein from yeast. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2023; (4): 209–217 (in Russian). <https://elibrary.ru/item.asp?id=59692783>
14. Kulikova M.A., Okovitaya K.O., Surzhko O.A. Formation of agro-industrial clusters with complex waste processing. *International Research Journal*. 2021; (104): 159–165 (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.030>
15. Šelo G., Planinić M., Tišma M., Tomas S., Koceva Komlenić D., Bucić-Kožić A. A Comprehensive Review on Valorization of Agro-Food Industrial Residues by Solid-State Fermentation. *Foods*. 2021; 10(5): 927. <https://doi.org/10.3390/foods10050927>
16. Drzymała K., Mirończuk A.M., Pietrzak W., Dobrowolski A. Rye and Oat Agricultural Wastes as Substrate Candidates for Biomass Production of the Non-Conventional Yeast *Yarrowia lipolytica*. *Sustainability*. 2020; 12(18): 7704. <https://doi.org/10.3390/su12187704>
17. Patsios S.I., Dedousi A., Sossidou E.N., Zdragias A. Sustainable Animal Feed Protein through the Cultivation of *YARROWIA Lipolytica* on Agro-Industrial Wastes and by-Products. *Sustainability*. 2020; 12(4): 1398. <https://doi.org/10.3390/su12041398>
18. Singh A., Bishnoi N.R. Enzymatic hydrolysis optimization of microwave alkali pretreated wheat straw and ethanol production by yeast. *Bioresource Technology*. 2012; 108: 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.084>
19. Ajila C.M., Brar S.K., Verma M., Tyagi R.D., Godbout S., Valéro J.R. Bio-processing of agro-byproducts to animal feed. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2012; 32(4): 382–400. <https://doi.org/10.3109/07388551.2012.659172>
20. Patelski P. et al. Conversion of Potato Industry Waste into Fodder Yeast Biomass. *Processes*. 2020; 8(4): 453. <https://doi.org/10.3390/pr8040453>
21. Serafin Muñoz A.H., Molina Guerrero C.E., Gutierrez Ortega N.L., Leal Vaca J.C., Vargas A.A., Canchola C.C. Characterization and Integrated Process of Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn Straw. *Waste and Biomass Valorization*. 2019; 10(7): 1857–1871. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0218-9>

22. Zhong P. *et al.* Characterization of cotton stalk as a lignocellulosic feedstock for single-cell protein production. *Bioresource Technology*. 2025; 417: 131797.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131797>
23. Wilkowska A. *et al.* Combined Yeast Cultivation and Pectin Hydrolysis as an Effective Method of Producing Prebiotic Animal Feed from Sugar Beet Pulp. *Biomolecules*. 2020; 10(5): 724.
<https://doi.org/10.3390/biom10050724>
24. Lapeña D. *et al.* Production and characterization of yeasts grown on media composed of spruce-derived sugars and protein hydrolysates from chicken by-products. *Microbial Cell Factories*. 2020; 19: 19.
<https://doi.org/10.1186/s12934-020-1287-6>
25. Aleixandre A., Gil J.V., Sineiro J., Rosell C.M. Understanding phenolic acids inhibition of α -amylase and α -glucosidase and influence of reaction conditions. *Food Chemistry*. 2022; 372: 131231.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131231>
26. Yuan Y. *et al.* Recent advances in understanding the effects of lignin structural characteristics on enzymatic hydrolysis. *Biotechnology for Biofuels*. 2021; 14: 205.
<https://doi.org/10.1186/s13068-021-02054-1>
27. Ruiz E., Cara C., Manzanares P., Ballesteros M., Castro E. Evaluation of steam explosion pre-treatment for enzymatic hydrolysis of sunflower stalks. *Enzyme and Microbial Technology*. 2008; 42(2): 160–166.
<https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2007.09.002>
28. Zhang Q., Cheng L., Ma X., Zhou X., Xu Y. Revalorization of sunflower stalk pith as feedstock for the coproduction of pectin and glucose using a two-step dilute acid pretreatment process. *Biotechnology for Biofuels*. 2021; 14: 194.
<https://doi.org/10.1186/s13068-021-02045-2>
29. Chabanon G., Chevalot I., Framboisier X., Chenu S., Marc I. Hydrolysis of rapeseed protein isolates: Kinetics, characterization and functional properties of hydrolysates. *Process Biochemistry*. 2007; 42(10): 1419–1428.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.07.009>
30. Hou Y., Wu Z., Dai Z., Wang G., Wu G. Protein Hydrolysates in Animal Nutrition: Industrial Production, Bioactive Peptides, and Functional Significance. Nollet L.M.L., Ötleş S. (eds.). *Bioactive Peptides from Food. Sources, Analysis, and Functions*. Boca Raton: CRC Press. 2022; 209–232.
<https://doi.org/10.1201/9781003106524-14>
31. Westendorf M.L., Wohlt J.E., Sniffen C.J., Ward R.T. Nutrient content of brewers grains produced at a commercial brewery: Variation in protein/nitrogen, fiber, carbohydrate, fat, and minerals. *The Professional Animal Scientist*. 2014; 30(4): 400–406.
<https://doi.org/10.15232/pas.2013-01272>

ОБ АВТОРАХ**Дмитрий Богданович Просвирников**

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник
prosvirnikov_dmi@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6736-8788>

Денис Владимирович Тунцев

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой, ведущий научный сотрудник
tuncev_d@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1842-5771>

Рауза Тимуровна Валеева

кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник
valeevaRT@corp.knrtu.ru

Лилия Масгутовна Исмагилова

кандидат технических наук, доцент,
научный сотрудник
IsmagilovaLM@corp.knrtu.ru

Анна Владимировна Броднева

младший научный сотрудник
brodnevaAV@corp.knrtu.ru

Рахима Махмадкаrimовна Одилова

лаборант
xkknitu@kstu.ru

Казанский национальный исследовательский
технологический университет,
ул. Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия

22. Zhong P. *et al.* Characterization of cotton stalk as a lignocellulosic feedstock for single-cell protein production. *Bioresource Technology*. 2025; 417: 131797.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131797>

23. Wilkowska A. *et al.* Combined Yeast Cultivation and Pectin Hydrolysis as an Effective Method of Producing Prebiotic Animal Feed from Sugar Beet Pulp. *Biomolecules*. 2020; 10(5): 724.
<https://doi.org/10.3390/biom10050724>

24. Lapeña D. *et al.* Production and characterization of yeasts grown on media composed of spruce-derived sugars and protein hydrolysates from chicken by-products. *Microbial Cell Factories*. 2020; 19: 19.
<https://doi.org/10.1186/s12934-020-1287-6>

25. Aleixandre A., Gil J.V., Sineiro J., Rosell C.M. Understanding phenolic acids inhibition of α -amylase and α -glucosidase and influence of reaction conditions. *Food Chemistry*. 2022; 372: 131231.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131231>

26. Yuan Y. *et al.* Recent advances in understanding the effects of lignin structural characteristics on enzymatic hydrolysis. *Biotechnology for Biofuels*. 2021; 14: 205.
<https://doi.org/10.1186/s13068-021-02054-1>

27. Ruiz E., Cara C., Manzanares P., Ballesteros M., Castro E. Evaluation of steam explosion pre-treatment for enzymatic hydrolysis of sunflower stalks. *Enzyme and Microbial Technology*. 2008; 42(2): 160–166.
<https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2007.09.002>

28. Zhang Q., Cheng L., Ma X., Zhou X., Xu Y. Revalorization of sunflower stalk pith as feedstock for the coproduction of pectin and glucose using a two-step dilute acid pretreatment process. *Biotechnology for Biofuels*. 2021; 14: 194.
<https://doi.org/10.1186/s13068-021-02045-2>

29. Chabanon G., Chevalot I., Framboisier X., Chenu S., Marc I. Hydrolysis of rapeseed protein isolates: Kinetics, characterization and functional properties of hydrolysates. *Process Biochemistry*. 2007; 42(10): 1419–1428.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.07.009>

30. Hou Y., Wu Z., Dai Z., Wang G., Wu G. Protein Hydrolysates in Animal Nutrition: Industrial Production, Bioactive Peptides, and Functional Significance. Nollet L.M.L., Ötleş S. (eds.). *Bioactive Peptides from Food. Sources, Analysis, and Functions*. Boca Raton: CRC Press. 2022; 209–232.
<https://doi.org/10.1201/9781003106524-14>

31. Westendorf M.L., Wohlt J.E., Sniffen C.J., Ward R.T. Nutrient content of brewers grains produced at a commercial brewery: Variation in protein/nitrogen, fiber, carbohydrate, fat, and minerals. *The Professional Animal Scientist*. 2014; 30(4): 400–406.
<https://doi.org/10.15232/pas.2013-01272>

ABOUT THE AUTHORS**Dmitry Bogdanovich Prosvirnikov**

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Chief Researcher
prosvirnikov_dmi@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6736-8788>

Denis Vladimirovich Tuntsev

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Department, Leading Researcher
tuncev_d@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1842-5771>

Rauza Timurovna Valeeva

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Senior Researcher
valeevaRT@corp.knrtu.ru

Liliya Masgutovna Ismagilova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Researcher
IsmagilovaLM@corp.knrtu.ru

Anna Vladimirovna Brodneva

Junior Researcher
brodnevaAV@corp.knrtu.ru

Rakhima Makhmadkarimovna Odilova

Laboratory Assistant
xkknitu@kstu.ru

Kazan National Research Technological University,

68 Karl Marx Str., Kazan, 420015, Russia

УДК 613.292:637.138

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157

A. В. Блинов¹**З. А. Рехман²✉****А. В. Самолов¹****А. Б. Голик¹****С. С. Аванесян¹****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: 01.07.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Блинов А.В., Рехман З.А., Самолов А.В., Голик А.Б., Аванесян С.С., Ребезов М.Б.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157

Andrey V. Blinov¹**Zafar A. Rekhman¹✉****Artem A. Samovolov¹****Alexei B. Golik¹****Svetlana S. Avanesyan¹****Maksim B. Rebezov^{2, 3}**¹*North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia*²*Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia*³*Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia*

✉ zafrehman1027@gmail.com

Received by the editorial office: 01.07.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

© Blinov A.V., Rekhman Z.A., Samovolov A.V., Golik A.B., Avanesyan S.S., Rebezov M.B.

Исследование антиоксидантной активности ацидофильного молока, обогащенного селенсодержащей наноразмерной системой

РЕЗЮМЕ

Цель данной работы — исследование влияния внесения наночастиц селена на физико-химические и антиоксидантные показатели кисломолочного продукта.

Синтез наноразмерного селена проводили методом химического восстановления в водной среде с использованием аскорбиновой кислоты, стабилизаторами наночастиц селена выступали такие вещества, как лауретсульфат натрия, гидроксиэтилцеллюзоза (B30K), катамин АБ, бычий сывороточный альбумин, дидецилдиметиламмония хлорид, кокамидопропилбетаин, твин 80, метилцеллюзоза (МЦ 100), хитозан. Обогащение продукта проводили из расчета 30% от суточной дозы эссенциального микроэлемента селена на 1 л кисломолочного продукта. У испытуемых образцов были измерены физико-химические показатели — активная кислотность среды и титруемая кислотность среды. Исходя из полученных данных, видно, что исследованные показатели незначительно отличались от характеристик контрольного образца. Активная кислотность среды кисломолочного продукта при добавлении наночастиц варьировалась от 3,98 до 4,08, титруемая кислотность находилась в диапазоне 103–112 °Т при показателе контрольного образца 116 °Т. Анализ полученных данных показал, что антиоксидантная активность полученных кисломолочных продуктов схожа с контролем и находится на уровне 0,25 мг ТЕ/мл, за исключением образцов, обогащенных наноразмерным селеном, стабилизованными поверхностно-активными веществами — кокамидопропилбетаином и твином 80. Данные продукты обладали повышенной антиоксидантной активностью, которая была больше остальных (вплоть до 20%). Таким образом, обогащение кисломолочных продуктов наночастицами селена может способствовать повышению антиоксидантной активности продукта, не влияя на его физико-химические параметры и качественные характеристики.

Ключевые слова: наноразмерные частицы, селен, кисломолочный продукт, физико-химические показатели, стабилизаторы

Для цитирования: Блинов А.В., Рехман З.А., Самолов А.В., Голик А.Б., Аванесян С.С., Ребезов М.Б. Исследование антиоксидантной активности кисломолочных продуктов, обогащенных селенсодержащей наноразмерной системой. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 151–157.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157>

Study of antioxidant activity of fermented milk products enriched with selenium-containing nanosized system

ABSTRACT

The purpose of this work is to study the effect of the introduction of selenium nanoparticles on the physico-chemical and antioxidant parameters of a fermented milk product.

Nanosized selenium was synthesized by chemical reduction in an aqueous medium using ascorbic acid; the following substances served as stabilizers for selenium nanoparticles: sodium laureth sulfate, hydroxyethyl cellulose (B30K), catamine AB, bovine serum albumin, didecyldimethylammonium chloride, cocamidopropyl betaine, tween 80, methylcellulose (MC 100), and chitosan. The product was enriched at the rate of 30% of the daily dose of the essential microelement selenium per 1 liter of fermented milk product. The following physicochemical properties were measured for the test samples: active acidity of the medium and titratable acidity of the medium. Based on the data obtained, it is evident that the studied parameters differed slightly from the characteristics of the control sample. The active acidity of the fermented milk product medium with the addition of nanoparticles varied from 3.98 to 4.08, titratable acidity was in the range of 103–112 °T with the control sample indicator of 116 °T. Analysis of the obtained data showed that the antioxidant activity of the obtained fermented milk products is similar to the control and is at the level of 0.25 mg TE/ml, with the exception of samples enriched with nanosized selenium stabilized by surfactants — cocamidopropyl betaine and tween 80. These products had increased antioxidant activity, which was higher than the others by up to 20%. Thus, enrichment of fermented milk products with selenium nanoparticles can contribute to an increase in the antioxidant activity of the product without affecting its physicochemical parameters and quality characteristics.

Key words: nanosized particles, selenium, fermented milk product, physical and chemical properties, stabilizers

For citation: Blinov A.V., Rekhman Z.A., Samovolov A.V., Golik A.B., Avanesyan S.S., Rebezov M.B. Study of antioxidant activity of fermented milk products enriched with selenium-containing nanosized system. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 151–157 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157>

Введение/Introduction

Человеческий организм сталкивается с большим количеством негативных факторов и недостатком в пище продуктов растительного происхождения, что приводит к повышению концентрации свободных радикалов [1–4].

Природные антиоксиданты регулируют степень влияния свободнорадикального окисления на множество биохимических процессов организма, создавая оптимальные условия для нормального метаболизма и роста клеток и тканей [5–7].

В настоящее время известен широкий спектр продуктов, обладающих биологической и антиоксидантной активностью [8–13].

Молоко и кисломолочные продукты обладают антиоксидантной активностью благодаря элементам, входящим в состав казеина [14–17].

Сывороточные белки, находящиеся в составе кисломолочных продуктов, проявляют антиоксидантную активность и способны связывать железо в различных фазах пищевых систем [18–21].

Эссенциальный микроэлемент селен имеет неоценимое значение для здоровья человека [22–25]. Данный элемент необходим для нормального функционирования иммунной системы, он катализирует производство активного гормона щитовидной железы, предотвращает рост и развитие раковых клеток, является ингибитором свободных радикалов, активируя защитные механизмы глутатионпероксидазы [26–28]. Помимо этого, селен защищает клетки от токсического воздействия таких элементов, как ртуть, кадмий, свинец, мышьяк, ванадий и др. [29, 30].

Известно, что в природе селен существует в неорганической форме и органической. Однако существует и наноразмерная форма селена, которая обладает более высокой биоусвояемостью, низкой токсичностью. Известно, что селен в такой форме обладает повышенной биологической активностью [31–34]. За счет низкой токсичности наноразмерный селен может применяться в пищевой промышленности и медицине [35].

Недостаточное потребление селена (менее 40 мкг/сут) приводит к развитию сердечно-сосудистых заболеваний, болезни Кешана, и провоцирует снижение иммунитета [36, 37]. Основным источником селена для человека является пища. Однако из-за обеднения сельскохозяйственных земель в продуктах питания аккумулируется малое количество эссенциальных микроэлементов, обладающих антиоксидантной активностью [38, 39].

Наиболее эффективным способом восполнения дефицита селена у населения является обогащение продуктов массового потребления — молока

и молочных продуктов, что позволит повысить их антиоксидантную активность [40].

Таким образом, добавление наноразмерного селена в кисломолочные продукты является перспективным направлением пищевой промышленности.

Цель данной работы — исследование влияния типа стабилизатора наночастиц селена на физико-химические параметры кисломолочного продукта и его антиоксидантную активность.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Синтез наночастиц селена и исследование физико-химических параметров и антиоксидантной активности образцов кисломолочных продуктов проводили на базе департамента функциональных материалов и инженерного конструирования ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (г. Ставрополь, Россия) в июне 2025 года. Синтез наночастиц селена проводили методом химического восстановления в водной среде [41].

В качестве селенсодержащего прекурсора использовали селенистую кислоту (H_2SeO_3).

Стабилизаторами выступали следующие вещества:

- ✓ лауретсульфат натрия,
- ✓ гидроксиэтилцеллюлоза (В30К),
- ✓ катамин АБ,
- ✓ бычий сывороточный альбумин,
- ✓ дидецилдиметиламмония хлорид,
- ✓ кокамидопропилбетаин, твин 80,
- ✓ метилцеллюлоза (МЦ 100),
- ✓ хитозан.

Получение кисломолочного продукта проводили следующим образом: для приготовления лабораторной закваски использовали 1 л цельного коровьего молока, предварительно стерилизованного в паровом горизонтальном стерилизаторе ГК-100-3 (АО «ТЗМОИ», г. Тюмень, Россия) при 120 °C в течение 20 минут. Далее молоко охлаждали до температуры 39 °C, которая является благоприятной для развития бактерий *Lactobacillus acidophilus*. Внесли 0,5 г заквасочной культуры. Одновременно проводили обогащение из расчета 21 мкг на 1 л молока (данное значение соответствует 30% от суточной нормы селена¹), что соответствует 0,2 мл селенсодержащей наноразмерной системы. Заквашенное молоко инкубировали в термостатах ТС-1/20 СПУ («Смоленское СКТБ СПУ», г. Смоленск, Россия) при температуре 39 °C. Заквасочный сгусток образовался через 20 ч., после чего его охлаждали на воздухе и хранили в холодильнике лабораторном ХЛ-340 ПОЗиС (АО «Производственное объединение “Завод им. Серго”, г. Зеленодольск, Россия) при 4–6 °C до дальнейшего использования.

¹ МР 2.3.1.2432-08 Методические рекомендации 2.3.1. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации.

Исследовали физико-химические параметры:

- ✓ активную кислотность среды (потенциометрическим методом на приборе OHAUS ST300-B (OHAUS Corporation, США);
- ✓ титруемую кислотность среды (титриметрическим методом с использованием 0,1 Н раствора NaOH)².

Анализ антиоксидантной активности молока проводили следующим образом: 2,2-азинобис-(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновую кислоту) (АБТС) растворяли в воде до концентрации 7 мМ.

Образование катионного радикала АБТС^{•+} проводили с помощью добавления 1 мл 14,7 мМ персульфата калия к 5 мл АБТС. Полученную смесь перед использованием выдерживали в темноте при комнатной температуре в течение 24 ч. Для проведения анализа растворов АБТС разбавляли дистиллированной водой до оптической плотности 0,70 ($\pm 0,02$) при 734 нм.

Пробоподготовку осуществляли следующим образом: смешивали 1 мл анализируемой пробы и 1 мл 10%-ного раствора сульфосалициловой кислоты и центрифугировали при 5000 об/мин в течение 3 минут, далее отбирали аликвоту 0,03 мл пробы и добавляли 2,97 мл АБТС. Оптическую плотность при 734 нм измеряли через 3 мин. на спектрофотометре UNICO 2100UV («Юнико-Сис», г. Санкт-Петербург, Россия).

В качестве стандарта использовали раствор тролокса с концентрацией 1 мМ, с которым проводили аналогичную пробоподготовку.

Антиоксидантную активность выражали в мг-эквивалентах тролокса на 1 мл образца (мг ТЕ/мл).

Сырье и реагенты, применяемые в исследовании, поставляли в университет с документами, удостоверяющими показатели качества и безопасности.

Все измерения проводили в 3-кратной повторности³⁻⁵, а полученные данные были проанализированы с помощью программы Statistica для Windows (Statsoft, Талса, США) и t-критерия Стьюдента ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

После проведения синтеза образцов селенсодержащих наноразмерных систем проводили сквашивание молока для получения ацидофильного молока.

На первом этапе были исследованы образцы кисломолочных продуктов, обогащенных наночастицами селена с различными стабилизаторами.

Результаты исследований физико-химических свойств образцов обогащенных и контрольного продуктов представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1. Результаты титруемой кислотности кисломолочного продукта, обогащенного наночастицами селена с различными стабилизаторами

Table 1. Results of titratable acidity of fermented milk product enriched with selenium nanoparticles with various stabilizers

Тип стабилизатора селенсодержащей наноразмерной системы	Титруемая кислотность, °Т
Лауретсульфатом натрия	109 ± 5
Гидроксиэтилцеллюлозой (В30К)	107 ± 5
Катамином АБ	108 ± 5
Бычьим сывороточным альбумином	112 ± 6
Дидецилдиметиламмония хлоридом	105 ± 5
Кокамидопропилбетаином	116 ± 6
Твином 80	103 ± 5
Метилцеллюлозой (МЦ 100)	111 ± 6
Хитозаном	112 ± 6
Контроль	116 ± 6

Таблица 2. Результаты pH кисломолочного продукта, обогащенного наночастицами селена с различными стабилизаторами

Table 2. Results of pH of fermented milk product enriched with selenium nanoparticles with various stabilizers

Тип стабилизатора селенсодержащей наноразмерной системы	pH
Лауретсульфатом натрия	4,03 ± 0,24
Гидроксиэтилцеллюлозой (В30К)	4,05 ± 0,24
Катамином АБ	4,07 ± 0,24
Бычьим сывороточным альбумином	4,01 ± 0,24
Дидецилдиметиламмония хлоридом	4,01 ± 0,24
Кокамидопропилбетаином	4,04 ± 0,24
Твином 80	4,04 ± 0,24
Метилцеллюлозой (МЦ 100)	4,07 ± 0,24
Хитозаном	3,98 ± 0,23
Контроль	4,08 ± 0,24

Анализ физико-химических свойств полученных продуктов показывает, что введение селенсодержащей наноразмерной системы не оказывает значительного влияния на pH и титруемую кислотность кисломолочных продуктов. Наибольшая титруемая (116 ± 6 °Т) и активная (4,08 ± 0,24) кислотность кисломолочного продукта наблюдается в данном случае у контрольного образца. Исследованные показатели не превышают регламентированные значения, установленные для данного вида продуктов⁶. Важным фактором является то, что изменение типа и класса стабилизатора для наночастиц селена не оказывает влияния на активную и титруемую кислотность продуктов.

Далее проводили исследование антиоксидантной активности кисломолочных продуктов, обогащенных наночастицами селена с различными стабилизаторами. Результаты приведены в таблице 3.

² ГОСТ 3624-92 Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности.

³ ГОСТ Р ИСО 22514-1-2015 Статистические методы. Управление процессами. Часть 2. Оценка пригодности и воспроизводимости процесса на основе модели его изменения во времени.

⁴ ГОСТ Р ИСО 22514-4-2021 Статистические методы. Управление процессами. Часть 4. Оценка показателей воспроизводимости и пригодности процесса.

⁵ ГОСТ Р ИСО 22514-7-2014 Статистические методы. Управление процессами. Часть 7. Воспроизводимость процессов измерений.

⁶ ГОСТ 32923-2014 Продукты кисломолочные, обогащенные пробиотическими микроорганизмами.

Таблица 3. Результаты исследования антиоксидантной активности образцов кисломолочного продукта, обогащенного наночастицами селена с различными стабилизаторами

Table 3. Results of the study of antioxidant activity of fermented milk product samples enriched with selenium nanoparticles with various stabilizers

Тип стабилизатора селенсодержащей наноразмерной системы	Антиоксидантная активность	
	% ингибирования ABTS	мг ТЕ/мл
Лауретсульфат натрия	12,1±0,61	0,27±0,014
Гидроксиэтилцеллюлоза	9,9±0,50	0,22±0,011
Катамин АБ	11,6±0,58	0,26±0,013
Бычий сывороточный альбумин	11,0±0,55	0,25±0,013
Дидецилдиметиламмония хлорид	10,5±0,53	0,24±0,012
Кокамидопропилбетаин	10,3±0,52	0,28±0,014
Твин 80	12,4±0,62	0,29±0,015
Метилцеллюлоза	10,3±0,52	0,23±0,012
Хитозан	10,3±0,52	0,24±0,012
Контроль	10,6±0,53	0,24±0,012

Анализ данных показал, что антиоксидантная активность полученных кисломолочных продуктов схожа с контролем и находится на уровне 0,25 мг ТЕ/мл. Однако образцы продукции, которые были обогащены селенсодержащими наноразмерными системами, стабилизованными кокамидопропилбетаином и твином 80, обладали повышенной антиоксидантной активностью (на 17% и 20% больше контрольного образца соответственно). Данные стабилизаторы представляют собой поверхностно-активные вещества, причем твин 80, также известный как полисорбат 80, — это официально зарегистрированная

пищевая добавка Е433⁷, которую используют в качестве эмульгатора, солюбилизатора, стабилизатора в пищевых продуктах, косметике и фармацевтических препаратах.

В связи с этим обогащение продуктов питания, обогащенных селенсодержащей наноразмерной системой, стабилизированной неионогенным поверхностно-активным веществом твин 80, является целесообразным.

Стоит отметить, что увеличение дозы вносимой селенсодержащей добавки повлечет за собой повышение антиоксидантной активности, что будет, возможно, положительно сказываться на иммунной защите организма человека.

Выводы/Conclusions

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что обогащение кисломолочных продуктов наноразмерным селеном является перспективным направлением, ввиду того что наночастицы селена не оказывают значительного влияния на физико-химические показатели ацидофильного продукта при добавлении 30% от суточной дозы селена (в пересчете 21 мкг селена), а также повышает его антиоксидантные свойства. Так, наблюдаются незначительные изменения титруемой кислотности, активной кислотности среды, при этом показатели антиоксидантной активности полученного продукта выросли от 0,25 мг до 0,29 мг ТЕ/мл.

В дальнейшем планируется провести моделирование процесса биоусвоения кисломолочных продуктов, обогащенных селенсодержащими наноразмерными системами в ЖКТ *in vitro*.

⁷ В некоторых странах (например, в Канаде) нет четкого статуса для этой добавки, хотя она разрешена в России, Белоруссии, США, ЕС и др.

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 пLAGIAT. 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 № 23-16-00120.
<https://rscf.ru/en/project/23-16-00120/>

FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00120.
<https://rscf.ru/en/project/23-16-00120/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Драчева Л.В., Зайцев Н.К., Жарикова О.А., Васюкова А.Т. Суммарная антиоксидантная активность растительных экстрактов. *Пищевая промышленность*. 2011; (9): 44–45. <https://elibrary.ru/ohfyaj>
2. Зиятдинова Г.К., Зиганшина Э.Р., Нгуен Конг Ф., Будников Г.К. Хроноамперометрическая оценка антиоксидантной емкости мицелярных экстрактов специй. Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2015; 157(3): 119–131. <https://elibrary.ru/ukxhwr>
3. Орлова Е.С., Аль-Сухайми С.А., Ребезов М.Б. Оценка антиоксидантной и antimикробной 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>
4. Muthukrishnan S. et al. Bioactive Components and Health Potential of Endophytic Micro-Fungal Diversity in Medicinal Plants. *Antibiotics*. 2022; 11(11): 1533. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11111533>
1. Dracheva L.V., Zaitsev N.K., Zharkova O.A., Vasyukova A.T. Total antioxidant activity of vegetative extracts. *Food processing industry*. 2011; (9): 44–45 (in Russian). <https://elibrary.ru/ohfyaj>
2. Ziyatdinova G.K., Ziganshina E.R., Nguyen Cong Ph., Budnikov H.C. Chronoamperometric evaluation of the antioxidant capacity of micellar spice extracts. *Proceedings of Kazan University. Series: Natural Sciences*. 2015; 157(3): 119–131 (in Russian). <https://elibrary.ru/ukxhwr>
3. Orlova E.S., El-Sohamy 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>
4. Muthukrishnan S. et al. Bioactive Components and Health Potential of Endophytic Micro-Fungal Diversity in Medicinal Plants. *Antibiotics*. 2022; 11(11): 1533. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11111533>

5. Kuznetsova E.A., Rebezov M.B., Kuznetsova E.A., Nasrullaeva G.M. Study of Changes in Antioxidant Activity, Microstructure, and Mineral Composition of Nadir Wheat Grain During Preparation for Whole Grain Bread Production. *Agrarian science*. 2024; (12): 166–172.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-166-172>
6. Skoryk O.D., Horila M.V. Oxidative stress and disruption of the antioxidant defense system as triggers of diseases. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024; 14(4): 665–672.
<https://doi.org/10.15421/022395>
7. Ribaya-Mercado J.D., Blumberg J.B. Lutein and Zeaxanthin and Their Potential Roles in Disease Prevention. *Journal of the American College of Nutrition*. 2004; 23(S6): 567S–587S.
<https://doi.org/10.1080/07315724.2004.10719427>
8. Ahsan S. et al. Technofunctional quality assessment of soymilk fermented with *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2021; 69(1): 172–182.
<https://doi.org/10.1002/bab.2094>
9. Chaari M. et al. Multiobjective response and chemometric approaches to enhance the phytochemicals and biological activities of beetroot leaves: an unexploited organic waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023; 13(16): 15067–15081.
<https://doi.org/10.1007/s13399-022-03645-0>
10. Suhaj M. Spice antioxidants isolation and their antiradical activity: a review. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006; 19(6–7): 531–537.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.11.005>
11. Pinela J., Dias M.I., Pereira C., Alonso-Esteban J.I. Antioxidant Activity of Foods and Natural Products. *Molecules*. 2024; 29(8): 1814.
<https://doi.org/10.3390/molecules29081814>
12. Xiao H.-H. The Role of Oxidative Stress and Natural Products in Maintaining Human Health. *Nutrients*. 2024; 16(9): 1268.
<https://doi.org/10.3390/nu16091268>
13. Драчева Л.В., Зайцев Н.К., Жарикова О.А. Антиоксидантная активность травяных чаев. *Пищевая промышленность*. 2011; (11): 32–34.
<https://www.elibrary.ru/oijgfh>
14. Семенова Е.С., Симоненко С.В., Симоненко Е.С., Щетникова М.Ю. Мицеллярный казеин: биоактивность, функциональность и применение. *Пищевая промышленность*. 2023; (10): 96–99.
<https://doi.org/10.52653/PPI.2023.10.10.020>
15. Bibik I., Doronin S., Dotsenko S. Substantiation of technological approaches to the creation of functional products based on milk and carrot compositions. *E3S Web of Conferences*. 2020; 203: 04007.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020304007>
16. Alekseeva Yu.A., Khoroshailo T.A., Brichagina A.A., Svitenco O.V. Ecological and raw material aspects of the production of fermented milk drinks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 981: 022082.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/2/022082>
17. Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б. Концентраты белков молока: функционально-технологические свойства и применение. *Молочная промышленность*. 2022; (11): 28–30.
<https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-11-28-30>
18. Блиннов А.В., Голик А.Б., Гвозденко А.А., Серов А.В., Рехман З.А. Инновационные формы эссенциального микроэлемента железа для обогащения молочных продуктов. *Молочная промышленность*. 2024; (1): 36–39.
<https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-1-1>
19. Bučević-Popović V., Delas I., Međugorac S., Pavela-Vrančić M., Kuljišić-Bilušić T. Oxidative stability and antioxidant activity of bovine, caprine, ovine and asinine milk. *International Journal of Dairy Technology*. 2014; 67(3): 394–401.
<https://doi.org/10.1111/1471-0307.12126>
20. Rival S.G., Fornaroli S., Boeriu C.G., Wichters H.J. Caseins and Casein Hydrolysates. 1. Lipoygenase Inhibitory Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001; 49(1): 287–294.
<https://doi.org/10.1021/jf000392t>
21. Bisht N., Phalswal P., Khanna P.K. Selenium nanoparticles: a review on synthesis and biomedical applications. *Materials Advances*. 2022; 3(3): 1415–1431.
<https://doi.org/10.1039/D1MA00639H>
22. Xia X. et al. Toward improved human health: efficacy of dietary selenium on immunity at the cellular level. *Food and Function*. 2021; 12(3): 976–989.
<https://doi.org/10.1039/d0fo03067h>
23. Saini U.M., Ferdous S. Role of Selenium in the Body: A Narrative Review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2023; 17(12): BE01–BE04.
<https://doi.org/10.7860/jcdr/2023/61227.18772>
24. Трухан Д.И., Друк И.В., Викторова И.А. Не йодом единим. Роль селена, цинка, витаминов А, С, Е в физиологии и патологии щитовидной железы. *Клинический разбор в общей медицине*. 2024; 5(4): 34–45.
<https://doi.org/10.47407/kr2024.5.4.00417>
5. Kuznetsova E.A., Rebezov M.B., Kuznetsova E.A., Nasrullaeva G.M. Study of Changes in Antioxidant Activity, Microstructure, and Mineral Composition of Nadir Wheat Grain During Preparation for Whole Grain Bread Production. *Agrarian science*. 2024; (12): 166–172.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-166-172>
6. Skoryk O.D., Horila M.V. Oxidative stress and disruption of the antioxidant defense system as triggers of diseases. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024; 14(4): 665–672.
<https://doi.org/10.15421/022395>
7. Ribaya-Mercado J.D., Blumberg J.B. Lutein and Zeaxanthin and Their Potential Roles in Disease Prevention. *Journal of the American College of Nutrition*. 2004; 23(S6): 567S–587S.
<https://doi.org/10.1080/07315724.2004.10719427>
8. Ahsan S. et al. Technofunctional quality assessment of soymilk fermented with *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2021; 69(1): 172–182.
<https://doi.org/10.1002/bab.2094>
9. Chaari M. et al. Multiobjective response and chemometric approaches to enhance the phytochemicals and biological activities of beetroot leaves: an unexploited organic waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023; 13(16): 15067–15081.
<https://doi.org/10.1007/s13399-022-03645-0>
10. Suhaj M. Spice antioxidants isolation and their antiradical activity: a review. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006; 19(6–7): 531–537.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.11.005>
11. Pinela J., Dias M.I., Pereira C., Alonso-Esteban J.I. Antioxidant Activity of Foods and Natural Products. *Molecules*. 2024; 29(8): 1814.
<https://doi.org/10.3390/molecules29081814>
12. Xiao H.-H. The Role of Oxidative Stress and Natural Products in Maintaining Human Health. *Nutrients*. 2024; 16(9): 1268.
<https://doi.org/10.3390/nu16091268>
13. Dracheva L.V., Zaytsev N.K., Zharkova O.A. Antioxidant activity of herbal teas. *Food processing industry*. 2011; (11): 32–34 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/oijgfh>
14. Semenova E.S., Simonenko S.V., Simonenko E.S., Shchetnikova M.Yu. Micellar casein: bioactivity, functionality and application. *Food processing industry*. 2023; (10): 96–99 (in Russian).
<https://doi.org/10.52653/PPI.2023.10.10.020>
15. Bibik I., Doronin S., Dotsenko S. Substantiation of technological approaches to the creation of functional products based on milk and carrot compositions. *E3S Web of Conferences*. 2020; 203: 04007.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020304007>
16. Alekseeva Yu.A., Khoroshailo T.A., Brichagina A.A., Svitenco O.V. Ecological and raw material aspects of the production of fermented milk drinks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 981: 022082.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/2/022082>
17. Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B. Milk protein concentrates: functional and technological properties and application. *Dairy industry*. 2022; (11): 28–30 (in Russian).
<https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-11-28-30>
18. Blinov A.V., Golik A.B., Gvozdenko A.A., Serov A.V., Rekhman Z.A. Innovative forms of iron as essential trace element in dairy fortification. *Dairy industry*. 2024; (1): 36–39 (in Russian).
<https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-1-1>
19. Bučević-Popović V., Delas I., Međugorac S., Pavela-Vrančić M., Kuljišić-Bilušić T. Oxidative stability and antioxidant activity of bovine, caprine, ovine and asinine milk. *International Journal of Dairy Technology*. 2014; 67(3): 394–401.
<https://doi.org/10.1111/1471-0307.12126>
20. Rival S.G., Fornaroli S., Boeriu C.G., Wichters H.J. Caseins and Casein Hydrolysates. 1. Lipoygenase Inhibitory Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001; 49(1): 287–294.
<https://doi.org/10.1021/jf000392t>
21. Bisht N., Phalswal P., Khanna P.K. Selenium nanoparticles: a review on synthesis and biomedical applications. *Materials Advances*. 2022; 3(3): 1415–1431.
<https://doi.org/10.1039/D1MA00639H>
22. Xia X. et al. Toward improved human health: efficacy of dietary selenium on immunity at the cellular level. *Food and Function*. 2021; 12(3): 976–989.
<https://doi.org/10.1039/d0fo03067h>
23. Saini U.M., Ferdous S. Role of Selenium in the Body: A Narrative Review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2023; 17(12): BE01–BE04.
<https://doi.org/10.7860/jcdr/2023/61227.18772>
24. Трухан Д.И., Друк И.В., Викторова И.А. Не йодом единим. Роль селена, цинка, витаминов А, С, Е в физиологии и патологии щитовидной железы. *Клинический разбор в общей медицине*. 2024; 5(4): 34–45.
<https://doi.org/10.47407/kr2024.5.4.00417>

25. Шикина М.А. и др. Роль селена в работе компонентов иммунной системы и возникновении аллергии: контент-анализ современной литературы. *Российский аллергологический журнал*. 2024; 21(2): 283–294.
<https://doi.org/10.36691/RJA16923>
26. Wang S. et al. Selenium nanoparticles alleviate ischemia reperfusion injury-induced acute kidney injury by modulating GPx-1/NLRP3/Caspase-1 pathway. *Theranostics*. 2022; 12(8): 3882–3895.
<https://doi.org/10.7150/thno.70830>
27. Varlamova E.G., Turovsky E.A., Blinova E.V. Therapeutic Potential and Main Methods of Obtaining Selenium Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(19): 10808.
<https://doi.org/10.3390/ijms221910808>
28. Dawood M.A.O. et al. Selenium Nanoparticles as a Natural Antioxidant and Metabolic Regulator in Aquaculture: A Review. *Antioxidants*. 2021; 10(9): 1364.
<https://doi.org/10.3390/antiox10091364>
29. Блинов А.В., Маглакелидзе Д.Г., Бражко Е.А., Блинова А.А., Гвозденко А.А., Пирогов М.А. Оптимизация методики получения наночастиц селена, стабилизованных кокамидопропилбетанином. *Российский химический журнал*. 2022; 66(1): 86–92.
<https://www.elibrary.ru/xnuirt>
30. Блинов А.В. и др. Синтез и характеристика наночастиц селена, стабилизованных дидецилдиметиламмония хлоридом. *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2024; 67(4): 46–52.
<https://doi.org/10.6060/ivkkt.20246704.6938>
31. Духновский Е.А. Применение наночастиц селена в онкологии (обзор). *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2023; 12(2): 34–43.
<https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-2-34-43>
32. Шурыгина И.А., Шурыгин М.Г. Нанокомпозиты селена — перспективы применения в онкологии. *Вестник новых медицинских технологий*. 2020; 27(1): 81–86.
<https://www.elibrary.ru/qovplb>
33. Литвяк В.В., Копыльцов А.А., Ананских В.В. Нанотехнологии в пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*. 2020; (12): 14–19.
<https://www.elibrary.ru/tjxxab>
34. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. *Animals*. 2022; 12(3): 245.
<https://doi.org/10.3390/ani12030245>
35. Пономарева Е.А., Русецкая Н.Ю. Влияние дефицита и избытка селена на организм человека. *Young people and science: results and perspectives. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых с международным участием*. Саратов: Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского. 2023; 165–166.
<https://www.elibrary.ru/ssyexc>
36. Йованович Л.Н., Ермаков В.В. Значение селена и цинка в предупреждении и лечении некоторых заболеваний. Обзор. *Биохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосфера. Труды Международного биогеохимического симпозиума, посвященного 125-летию со дня рождения академика А.П. Виноградова и 90-летию образования Приднестровского университета. Тирасполь: Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко. 2020; 1: 71–83.*
<https://www.elibrary.ru/pbwwww>
37. Молчанов Э.Н., Савин И.Ю., Яковлев А.С., Булгаков Д.С., Макаров О.А. Отечественные подходы к оценке степени деградации почв и земель. *Почвоведение*. 2015; (11): 1394–1406.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X15110118>
38. Саркисян М.С., Гревцова С.А. Биотехнология производства сметанного продукта, обогащенного селеном. *Научные труды студентов Горского государственного аграрного университета «Студенческая наука – агропромышленному комплексу»*. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет. 2020; 57(1): 291–294.
<https://www.elibrary.ru/ajibdf>
39. Блинов А.В., Рехман З.А., Серов А.В., Гвозденко А.А., Голик А.Б., Блинова А.А. Разработка принципов обогащения молока наноразмерными формами эссенциального микроэлемента селена. *Индустрия питания*. 2024; 9(2): 77–84.
<https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-2-9>
40. Блинов А.В., Рехман З.А., Блинова А.А., Пирогов М.А., Назаретова Е.Д., Ребезов М.Б. Исследование влияния типа стабилизатора наночастиц селена на физико-химические параметры молока. *Аграрная наука*. 2025; (7): 172–177.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-172-177>
41. Blinov A. et al. Selenium nanoparticles stabilized with Tween 80: Synthesis, characterization, and application in fortified milk and fermented dairy products. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2025; 706: 135822.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135822>
25. Shikina M.A. et al. The role of selenium in the functioning of immune system components and the incidence of allergies: a content analysis of recent literature. *Russian Journal of Allergy*. 2024; 21(2): 283–294 (in Russian).
<https://doi.org/10.36691/RJA16923>
26. Wang S. et al. Selenium nanoparticles alleviate ischemia reperfusion injury-induced acute kidney injury by modulating GPx-1/NLRP3/Caspase-1 pathway. *Theranostics*. 2022; 12(8): 3882–3895.
<https://doi.org/10.7150/thno.70830>
27. Varlamova E.G., Turovsky E.A., Blinova E.V. Therapeutic Potential and Main Methods of Obtaining Selenium Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(19): 10808.
<https://doi.org/10.3390/ijms221910808>
28. Dawood M.A.O. et al. Selenium Nanoparticles as a Natural Antioxidant and Metabolic Regulator in Aquaculture: A Review. *Antioxidants*. 2021; 10(9): 1364.
<https://doi.org/10.3390/antiox10091364>
29. Blinov A.V., Maglakelidze D.G., Brazhko E.A., Blinova A.A., Gvozdenko A.A., Pirogov M.A. Optimization of the technique for obtaining selenium nanoparticles stabilized with cocamidopropylbetaine. *Russian Chemistry Journal*. 2022; 66(1): 86–92 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/xnuirt>
30. Blinov A.V. et al. Synthesis and characterization of selenium nanoparticles stabilized with didecyldimethylammonium chloride. Series: *Chemistry and Chemical Technology*. 2024; 67(4): 46–52 (in Russian).
<https://doi.org/10.6060/ivkkt.20246704.6938>
31. Dukhnovsky E.A. Application of Selenium Nanoparticles in Oncology (Review). *Drug development & registration*. 2023; 12(2): 34–43 (in Russian).
<https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-2-34-43>
32. Shurygina I.A., Shurygin M.G. Selenium nanocomposites — prospects of application in oncology. *Bulletin of New Medical Technologies*. 2020; 27(1): 81–86 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/qovplb>
33. Litvyak V.V., Kopyltsov A.A., Ananskikh V.V. Nanotechnologies in the food-processing industry. *Food processing industry*. 2020; (12): 14–19 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/tjxxab>
34. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. *Animals*. 2022; 12(3): 245.
<https://doi.org/10.3390/ani12030245>
35. Ponomareva E.A., Rusetskaya N.Yu. The impact of selenium deficiency and excess on the human body. *Young people and science: results and perspectives. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference of students and young scientists with international participation*. Saratov: Saratov State Medical University. 2023; 165–166 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/oknwcb>
36. Jovanovic L.N., Ermakov V.V. The importance of selenium and zinc in the prevention and treatment of certain diseases. review. *Biogeochemical innovations under the conditions of the biosphere technogenesis correction. Proceedings of the International Biogeochemical Symposium devoted to the 125th anniversary of Academician A.P. Vinogradov's birth and the 90th anniversary of Shevchenko State University of Pridnestrovie*. Tiraspol: Pridnestrovian State University. 2020; 1: 71–83 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/pbwwww>
37. Molchanov E.N., Savin I.Yu., Bulgakov D.S., Yakovlev A.S., Makarov O.A. National approaches to evaluation of the degree of soil degradation. *Eurasian Soil Science*. 2015; 48(11): 1268–1277.
<https://doi.org/10.1134/S1064229315110113>
38. Sarkisyan M.S., Grevtsova S.A. Biotechnology of production of sour cream product enriched with selenium. *Scientific works of students of the Gorsky State Agrarian University "Student science for the agro-industrial complex"*. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University. 2020; 57(1): 291–294 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/ajibdf>
39. Blinov A.V., Rekhman Z.A., Serov A.V., Gvozdenko A.A., Golik A.B., Blinova A.A. Principle Development for Milk Enrichment with Nano-Sized Forms of the Essential Trace Element Selenium. *Food Industry*. 2024; 9(2): 77–84 (in Russian).
<https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-2-9>
40. Blinov A.V., Rekhman Z.A., Blinova A.A., Pirogov M.A., Nazaretova E.D., Rebezov M.B. Study of the influence of the type of selenium nanoparticle stabilizer on the physicochemical parameters of milk. *Agrarian science*. 2025; (7): 172–177 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-172-177>
41. Blinov A. et al. Selenium nanoparticles stabilized with Tween 80: Synthesis, characterization, and application in fortified milk and fermented dairy products. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2025; 706: 135822.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135822>

ОБ АВТОРАХ**Андрей Владимирович Блинов¹**

кандидат технических наук, доцент департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Зафар Абдулович Рехман¹

преподаватель департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Артём Владимирович Самолов¹

ассистент кафедры технологии переработки нефти и промышленной экологии
artem.samолов@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5570-6201>

Алексей Борисович Голик¹

ассистент департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
lexgooldman@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2580-9474>

Светлана Суреновна Аванесян¹

научный сотрудник межкафедральной научно-образовательной лаборатории экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии
savanesian@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3536-1247>

Максим Борисович Ребезов^{2,3}

- доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник²:
- доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Северо-Кавказский федеральный университет,
ул. им. Пушкина, 1, Ставрополь, 355002, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем
им. В.М. Горбатова Российской академии наук,
ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

³Уральский государственный аграрный университет,
ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

ABOUT THE AUTHORS**Andrey Vladimirovich Blinov¹**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Functional Materials and Engineering Design
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Zafar Abdulovich Rekhman¹

Lecturer at the Department of Functional Materials and Engineering Design
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Artem Vladimirovich Samolov¹

Assistant Professor at the Department of Oil Refining Technology and Industrial Ecology
artem.samолов@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5570-6201>

Alexey Borisovich Golik¹

Assistant of the Department of Functional Materials and Engineering Design
lexgooldman@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2580-9474>

Svetlana Surenova Avanesyan¹

Researcher at the Interdepartmental Scientific and Educational Laboratory of Experimental Immunomorphology, Immunopathology and Immunobiotechnology
savanesian@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3536-1247>

Maksim Borisovich Rebezov^{2,3}

- Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher²:
- Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹North Caucasus Federal University,
1 Pushkin Str., Stavropol, 355002, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems,
26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

³Ural State Agrarian University,
42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075, Russia

Н.Б. Кондратьев

М.В. Осипов

Е.В. Казанцев 

А.Е. Баженова

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Москва, Россия

 conditerprom_lab@mail.ru

Поступила в редакцию: 27.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Кондратьев Н.Б., Осипов М.В.,
Казанцев Е.В., Баженова А.Е.

Research article

 creative commons

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-158-164

Nikolai B. Kondratiev

Maxim V. Osipov

Egor V. Kazantsev 

Alla E. Bazhenova

All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry – Branch of Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

 conditerprom_lab@mail.ru

Received by the editorial office: 27.05.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

© Кондратьев Н.Б., Осипов М.В.,
Казанцев Е.В., Баженова А.Е.

Использование загустителей для уменьшения скорости миграции влаги при хранении конфет со сбивными корпусами

РЕЗЮМЕ

Процессы влагопереноса являются основной причиной понижения срока годности глазированных конфет на основе сбивных масс типа суфле. Для уменьшения скорости таких процессов исследовано влияние камедей с влагоудерживающими свойствами на рецептурный состав конфет. Объектами исследования являлись глазированные конфеты на основе сбивных масс типа суфле, изготовленные с различными видами камедей (ксантановой, гуаровой, конжаковой) в количестве 0,25%. В работе проводили измерения массовой доли влаги по ГОСТ 5900-2014 Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли влаги и сухих веществ и показателя активности воды, ГОСТ ISO 21807-2015 Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды. Образцы конфет упаковывали в полипропиленовую (биаксиальноориентированную) пленку толщиной 20 мкм и хранили в климатической камере Climacell 404 (Чехия) для исследования процесса влагопереноса при температуре 18 °C и относительной влажности воздуха 40%. Выявлено, что добавление камедей при изготовлении глазированных конфет на основе сбивных масс типа суфле позволяет уменьшить скорость влагопереноса в 1,2–3,2 раза и увеличить срок годности. Показано, что для образцов конфет на основе сбивных масс типа суфле с добавлением ксантановой камеди возможно увеличение срока годности в 2–3 раза. Результаты исследования могут быть использованы для обоснования и прогнозирования срока годности сахаристых кондитерских изделий.

Ключевые слова: кондитерские изделия, конфеты на основе сбивных масс типа суфле, массовая доля влаги, активность воды, камеди, срок годности

Для цитирования: Кондратьев Н.Б., Осипов М.В., Казанцев Е.В., Баженова А.Е. Использование загустителей для уменьшения скорости миграции влаги при хранении конфет со сбивными корпусами. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 158–164.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-158-164>

Use of thickeners to reduce the rate of moisture migration during storage of candies with whipped bodies

ABSTRACT

Moisture transfer processes are the main reason for lowering the shelf life of glazed candies based on souffle-type whipped masses. To reduce the speed of such processes, the effect of gums with moisture-retaining properties on the formulation of sweets has been studied. The objects of the study were glazed candies based on souffle-type whipped masses, made with various types of gums (xanthan, guar, konjac) in an amount of 0.25%. The work carried out measurements of the mass fraction of moisture according to GOST 5900-2014 confectionery products. Methods for determining the mass fraction of moisture and dry substances and the indicator of water activity, GOST ISO 21807-2015 Microbiology of food and feed. Determination of water activity. Candy samples were packaged in a polypropylene (biaxially oriented) film with a thickness of 20 microns and stored in a Climacell 404 climate chamber (Czech Republic) to study the moisture transfer process at a temperature of 18 °C and a relative humidity of 40%. It has been revealed that the addition of gums in the manufacture of glazed sweets based on soufflé-type whipped masses can reduce the rate of moisture transfer by 1.2–3.2 times and increase the shelf life. It has been shown that for samples of sweets based on souffle-type whipped masses with the addition of xanthan gum, it is possible to increase the shelf life by 2–3 times. The results of the study can be used to substantiate and predict the shelf life of sugary confectionery products.

Key words: confectionery products, sweets based on souffle whipped masses, mass fraction of moisture, water activity, gum, shelf life

For citation: Kondratiev N.B., Osipov M.V., Kazantsev E.V., Bazhenova A.E. Use of thickeners to reduce the rate of moisture migration during storage of candies with whipped bodies. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 158–164 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-158-164>

Введение/Introduction

Хранимоспособность кондитерских изделий включает систему взаимосвязанных биохимических, структурно-механических и физико-химических процессов, обеспечивающую заданные потребительские свойства и срок годности [1–3]. На хранимоспособность глазированных конфет влияет множество факторов, таких как рецептурный состав, способ технологической обработки, вид используемых упаковочных материалов, относительная влажность среды и температура хранения [4].

На срок годности оказывают влияние исходное влагосодержание изделий, температура и относительная влажность воздуха, микробиологические показатели, окислительная стабильность жirosодержащих компонентов рецептурного состава [5–7].

В соответствии с ГОСТ Р 53041-2008¹ суфле относят к кондитерским изделиям с пенообразной структурой. Относительно высокое содержание влаги в изделиях со сбивными корпусами при хранении способствует повышению активности воды и риску развития микроорганизмов, преимущественно плесеней [8, 9].

Для уменьшения скорости процессов влагопереноса и повышения сохранности кондитерских изделий со сбивными корпусами используют различные влагоудерживающие пищевые добавки природного происхождения, например камеди [10–13], которые могут быть использованы для увеличения вязкости, формирования и стабилизации структуры изделий^{2–4}.

Сиропы с добавлением ксантановой камеди использовали для приготовления и улучшения качества кремов, которые оценивали по показателям — физико-химическим (плотности и влажности) и органолептическим. Установлено, что смесь полисахаридов, включающая ксантановую камедь, обеспечивает получение крема с минимальной плотностью, глянцевой поверхностью, а также необходимыми вкусом и консистенцией [14].

Пищевые камеди получают из растений, животных, микроорганизмов и морских водорослей [15–17]. В пищевой промышленности камеди используют для изменения реологических характеристик пищевых систем, образования гелей, повышения стабильности изделий, для замены жира [18–20].

Авторы обобщили результаты исследований для классификации и характеристики пищевых камедей и их применения в пищевой промышленности. Рассмотрены проблемы, с которыми сталкиваются производители пищевых продуктов при использовании камедей [21].

Гуаровую и ксантановую камеди используют в качестве эмульгаторов для повышения устойчивости пищевых систем, содержащих водную и жировую фазы при разработке рецептур и технологий кондитерских изделий с целью повышения их вязкости, стабилизирующей, жироудерживающей и водоудерживающей способностей [22].

Добавление 1%, 1,5% и 2% ксантановой и гуаровой камедей в рецептуры мармеллоу повышает содержание влаги и активность воды образцов по сравнению с контрольным образцом и улучшает органолептические и физико-химические показатели изделий. Показано, что использование 1,5% камеди в рецептуре мармеллоу улучшало пенобразную структуру образцов, что позволило повысить их органолептические характеристики [23].

Комплексные пищевые добавки, содержащие гуаровую камедь, карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ) и глицерин, эффективны в качестве влагоудерживающих агентов при разработке рецептур сырцовых пряников повышенной хранимоспособности с улучшенными органолептическими показателями. После 25 суток хранения гидрофильтрующие свойства мякиша образцов с камедью, КМЦ и глицерином снизились на 9%, 10% и 10% соответственно, что объяснялось снижением подвижности молекул воды, снижением скорости миграции влаги и ее удержанием при хранении [24].

Гуаровая и ксантановая камеди могут использоваться в бинарных белок-полисахаридных системах в качестве структурообразователей микробного происхождения для замены рецептурного количества желатина в мармеллоу. Наилучшие результаты были получены при использовании синергетических комбинаций 0,8% ксантановой и 0,7% гуаровой камедей с 0,64% сывороточного или яичного белка. Полученные образцы сравнимы по качеству и текстуре с традиционным мармеллоу на основе желатина [25].

Цель работы — исследовать влияние камедей на сохранность глазированных конфет на основе сбивных масс типа суфле, выявить закономерности процессов влагопереноса в процессе хранения.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для проведения исследований в лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института кондитерской промышленности — филиала Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН изготовлены глазированные конфеты на основе сбивных масс типа суфле по ГОСТ 4570-2014⁵:

- ✓ контрольный образец;
- ✓ № 1 с добавлением 0,25% ксантановой камеди Е415 (Китай);

¹ ГОСТ Р 53041-2008 Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. Термины и определения.

² Нечаев А.П., Кочеткова А.А., Зайцев А.Н. Пищевые добавки. М.: Колос. 2001; 256.

³ Технология пищевых производств / Под ред. А.П. Нечаева. М.: Колос. 2005.

⁴ Сарафанова Л.А. Применение пищевых добавок в кондитерской промышленности. СПб.: ГИОРД. 2002; 264.

⁵ ГОСТ 4570-2014 Конфеты. Общие технические условия.

- ✓ № 2 с добавлением 0,25% гуаровой камеди E412 (Индия);
- ✓ № 3 с добавлением 0,25% конжаковой камеди (Россия).

Структурированные сбивные массы глазировали кондитерской глазурью на основе заменителей масла какао нетемперируемых лауринового типа. За основу принята рецептура № 137 из сборника рецептур⁶.

С целью увеличения срока годности и расширения ассортимента кондитерских изделий использовано добавление камедей в рецептуру конфет со сбивными корпусами типа суфле.

При введении камедей в качестве загустителей проведена корректировка количества рецептурных компонентов для изготовления конфет с органолептическими показателями, соответствующими качеству конфет со сбивными корпусами типа суфле.

Органолептическую оценку образцов конфет проводили по ГОСТ 5897-90⁷. Количество экспертов, принимающих в дегустации образцов конфет, — не менее 5.

Массовая доля влаги определена по ГОСТ 5900-2014⁸, активность воды — по ГОСТ ISO 21807-2015⁹ на анализаторе AquaLab 4TE (Decagon Devices, США).

Прочность образцов определяли по усилиям нагружения образцов сбивной массы, характеризующих пластическую прочность конфет при деформации поверхности 3 мм с использованием прибора «Структурометр СТ-2» (Россия) с индентором «Валента» согласно инструкции к прибору.

Растекаемость фруктовых начинок определена с использованием механического консистометра Боствика согласно инструкции к прибору.

Образцы конфет, упакованные в биаксиально-ориентированную полипропиленовую пленку (БОПП) толщиной 20 мкм, хранили в климатической камере Climacell 404 (Чехия) при температуре 18 °C и относительной влажности воздуха 40%.

Математическая обработка экспериментальных данных проведена с помощью программы Excel 2019 (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Исследования проведены в лаборатории ВНИИКП — филиале ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН» в 2025 году.

Образцы конфет со сбивными корпусами типа суфле, изготовленные с различными добавками камедей, по 1 кг в каждой партии соответствовали требованиям ГОСТ 4570-2014⁹ по физико-химическим и органолептическим показателям (рис. 1).

Рис. 1. Органолептический профиль образцов конфет с добавлением различных видов камедей

Fig. 1. Organoleptic profile of candy samples with the addition of different types of gums



Рис. 2. Глазированные конфеты на основе сбивных масс типа суфле с добавлением различных видов камедей:
1 — общий вид; 2 — вид в разрезе

Fig. 2. Glazed sweets based on whipped souffle masses with the addition of various types of gums: 1 — general view;
2 — sectional view



Модельные образцы глазированных конфет на основе сбивных масс типа суфле приведены на рисунке 2.

На основании проведенной дегустационной оценки образцов конфет на основе сбивных масс типа суфле установлено, что образцы конфет с добавлением камедей обладали более затяжистой консистенцией по сравнению с контрольным образцом, что положительно влияло на их формоустойчивость.

Конфеты со сбивными корпусами в процессе хранения подвержены преимущественно физическим изменениям, в том числе высыханию, втягиванию поверхности, «поседению» и др. Основной причиной таких изменений являются процессы миграции влаги, характеризующиеся изменениями массовой доли влаги и активности воды.

Результаты исследования массовой доли влаги и активности воды конфет, изготовленных с использованием различных камедей, приведены в таблице 1.

⁶ Рецептуры на конфеты и ирис. Т. 2. М.: Госагропром СССР. 1986; 327.

⁷ ГОСТ 5897-90 Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей.

⁸ ГОСТ 5900-2014 Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли влаги и сухих веществ.

⁹ ГОСТ ISO 21807-2015 Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды.

¹⁰ ГОСТ 4570-2014 Конфеты. Общие технические условия.

Таблица 1. Массовая доля влаги и активность воды конфет со сбивными корпусами типа суфле
Table 1. Mass fraction of moisture and water activity of sweets with souffle-type whipped cases

Наименование образцов	Массовая доля влаги, %	Активность воды
Контроль	10,9 ± 0,4	0,747 ± 0,001
№ 1 с добавлением 0,25% ксантановой камеди Е415	13,8 ± 0,4	0,760 ± 0,001
№ 2 с добавлением 0,25% гуаровой камеди Е412	11,6 ± 0,4	0,712 ± 0,001
№ 3 с добавлением 0,25% конжаковой камеди	11,1 ± 0,4	0,759 ± 0,001

Массовая доля влаги наименьшая для контрольного образца — 10,9%. Добавление камедей в рецептуру увеличивает массовую долю влаги конфет при сохранении схожих органолептических и структурно-механических характеристик сбивных масс.

Использование конжаковой камеди позволило существенно увеличить массовую долю влаги конфет до 11,1% в диапазоне активности воды от 0,747 до 0,759. Полученные данные коррелируют с результатами исследований растекаемости модельных растворов на основе камедей (табл. 2).

Использование конжаковой, ксантановой гуаровой камедей позволило существенно уменьшить растекаемость и управлять свойствами модельных смесей.

Для характеристики структурно-механических свойств образцов сбивных масс типа суфле исследованы усилия нагрузления, характеризующие прочность корпусов конфет, изготовленных с использованием 0,25% камедей (табл. 3).

Значения усилия нагрузления корпусов конфет находились в диапазоне от 210 до 227 г/см², на основании чего сделан вывод, что добавление камедей в рецептуру конфет не приводит к значительному увеличению их прочности.

Для установления влияния загустителей на скорость процесса влагопереноса проведены исследования изменения массовой доли влаги в процессе хранения конфет, содержащих различные камеди, при температуре 18 °С и относительной влажности воздуха 40%, результаты которых представлены на рисунке 3.

Массовая доля влаги глазированных конфет на основе сбивных масс типа суфле, изготовленных с использованием различных видов камедей, изменилась на 0,3–0,8 % по сравнению с контрольным образцом, в котором массовая доля влаги уменьшилась на 1,0%. Уменьшение массовой доли влаги обусловило уменьшение активности воды для контрольного образца — от 0,760 до 0,747, для образцов с камедями: ксантановой — до 0,760, гуаровой — до 0,712, конжаковой — до 0,759.

Таким образом, камеди способствуют удержанию влаги при хранении конфет на основе сбивных масс типа суфле. Результаты представляли в виде среднего значения и стандартного отклонения ($X_{ср} \pm \Delta$) при доверительной вероятности $p = 0,95$.

Таблица 2. Показатель растекаемости модельных растворов с использованием 0,25% камедей
Table 2. Spreadability index of model solutions using 0.25% gums

Наименование образцов	Растекаемость по Боствику, см
Контроль	7,9 ± 0,1
№ 1 с добавлением 0,25% ксантановой камеди Е415	9,4 ± 0,1
№ 2 с добавлением 0,25% гуаровой камеди Е412	9,75 ± 0,1
№ 3 с добавлением 0,25% конжаковой камеди	5,1 ± 0,1

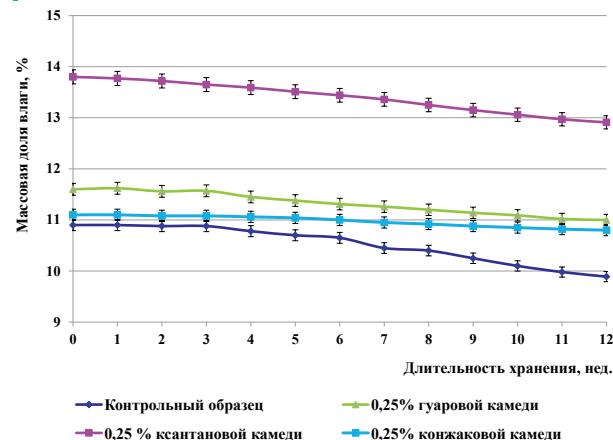
Таблица 3. Усилия нагрузения F_H, характеризующие rheологические свойства образцов модельных масс с использованием 0,25% камедей

Table 3. Loading force F_H, characterizing the rheological properties of samples of model masses using 0.25% gums

Наименование образцов	Усилие нагрузления, г/см ²
Контроль	210 ± 1
№ 1 с добавлением 0,25% ксантановой камеди Е415	220 ± 1
№ 2 с добавлением 0,25% гуаровой камеди Е412	227 ± 1
№ 3 с добавлением 0,25% конжаковой камеди	225 ± 1

Рис. 3. Изменение массовой доли влаги глазированных конфет на основе сбивных масс типа суфле

Fig. 3. Change in the mass fraction of moisture of glazed candies based on souffle-type whipped masses



На основе результатов исследований, приведенных на графике изменения массовой доли влаги глазированных конфет в процессе их хранения, получены математические зависимости массовой доли влаги (W, %) от длительности хранения (τ , нед.):

- контрольный: $W = -0,091\tau + 11,07$ ($R^2 = 0,94$);
- с ксантановой камедью: $W = -0,078\tau + 13,87$ ($R^2 = 0,98$);
- с гуаровой камедью: $W = -0,057\tau + 11,66$ ($R^2 = 0,98$);
- с конжаковой камедью: $W = -0,028\tau + 11,14$ ($R^2 = 0,96$).

Наименьшая скорость влагопереноса выявлена для образцов конфет с конжаковой камедью.

Коэффициент, характеризующий угол наклона полученных зависимостей и скорость

влагопереноса, изменяется от -0,091 для контрольного образца до -0,028 для образца с конжаковой камедью, то есть в 3,2 раза. Для образцов конфет, изготовленных с использованием гуаровой камеди, скорость процесса влагопереноса ниже в 1,6 раза, а с ксантановой — меньше в 1,2 раза по сравнению с образцами конфет, изготовленными без использования камедей.

Таким образом, добавление камедей при изготовлении глазированных конфет на основе сбивных масс типа суфле позволяет уменьшить скорость влагопереноса в 1,2–3,2 раза, что способствует увеличению срока годности. Например, если массовая доля влаги в образцах конфет с добавлением ксантановой камеди составляет 13,0%, то срок годности будет составлять 10 недель хранения, в отличие от контрольного образца.

Ранее были проведены исследования по влиянию различных видов модифицированных крахмалов и камедей на процессы влагопереноса при хранении сырцовых пряников. Установлено, что

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена во ВНИИКП в рамках госзадания, № темы FGUS-2022-0007 «Научные основы формирования кондитерских изделий с заданным нутриентным составом как многофазных гетерогенных дисперсных систем, в том числе с использованием кавитационных воздействий, и обоснование принципов обеспечения их сохранности».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондратьев Н.Б., Руденко О.С., Казанцев Е.В., Белова И.А., Петрова Н.А. Обоснование использования структурообразователей для повышения сохранности кондитерских изделий пенообразной структуры. *Пищевые системы*. 2023; 6(3): 342–349. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-342-349>
2. Сунякина А.В., Агафонова С.В. Исследование хранимоспособности безглютенового кондитерского изделия, обогащенного нутовым белком. *Пищевая индустрия: инновационные процессы, продукты и технологии. Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию Технологического института*. М.: Сам полиграфист. 2024; 617–621. <https://elibrary.ru/kchoxk>
3. Воронцова А.А., Таранова Е.С. Актуальные направления пищевой биотехнологии для повышения качества и хранимоспособности продуктов питания. *Современные достижения биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. Инновационные биотехнологии природных и синтетических биологически активных веществ. Нарочанские чтения – 16. Материалы IX Международной научно-практической конференции*. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет. 2024; 82–86. <https://elibrary.ru/piuulu>
4. Казанцев Е.В., Кондратьев Н.Б., Осипов М.В., Петрова Н.А., Лаврухин М.А. Влияние упаковки и температуры на сохранность кондитерских изделий пенообразной структуры. *Пищевая промышленность*. 2022; (11): 62–66. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.11.11.015>
5. Ткаченко В.А. Влияние специй и экстрактов специй на срок годности кондитерских изделий. *Товаровед продовольственных товаров*. 2024; (12): 737–740. <https://doi.org/10.33920/igt-01-2412-08>
6. Mustika S.A.M., Rostini I., Rochima E., Pratama R.I. Effect of the Addition Red Ginger Extract (*Zingiber Officinale Var Rubrum*) on the Physical and Microbiological Characteristics of Seaweed Jelly Candy. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*. 2021; 13(6): 10–18. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2021/v13i630280>

добавление модифицированных крахмалов и камедей в рецептуру пряников уменьшает скорость процесса влагопереноса в 1,2–1,5 раза, что увеличивает срок годности данных изделий [26].

Выводы/Conclusions

Проведены исследования влияния ксантановой, гуаровой и конжаковой камедей на скорость процесса влагопереноса конфет типа суфле. Добавление камедей в рецептуру увеличивает массовую долю влаги конфет при сохранении их органолептических и структурно-механических характеристик.

Показано, что добавление камедей при изготовлении глазированных конфет на основе сбивных масс типа суфле позволяет уменьшить скорость влагопереноса в 1,2–3,2 раза, что способствует увеличению срока годности.

Результаты исследования могут быть использованы для обоснования и прогнозирования срока годности сахаристых кондитерских изделий пенобразной структуры.

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.

FUNDING

The work was carried out at All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry — Branch of Gorbatov Research Center for Food Systems within the framework of a state assignment, topic number FGUS-2022-0007 "Scientific foundations for the formation of confectionery products with a given nutrient composition as multiphase heterogeneous dispersed systems, including using cavitation effects, and substantiation of the principles of ensuring their safety".

REFERENCES

1. Kondratiev N.B., Rudenko O.S., Kazantsev E.V., Belova I.A., Petrova N.A. Justifying the use of structure-forming agents to increase storability of confectionery products with the foamy structure. *Food systems*. 2023; 6(3): 342–349 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-342-349>
2. Sunyaykina A.V., Agafonova S.V. Study of storage capacity of gluten-free confectionery enriched with chickpea protein. *Food industry: innovative processes, products and technologies. Collection of materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 20th anniversary of the Technological Institute*. Moscow: Sam Polygraphist. 2024; 617–621 (in Russian). <https://elibrary.ru/kchoxk>
3. Vorontsova A.A., Taranova E.S. Current trends in food biotechnology to improve the quality and shelf life of food products. *Modern achievements in biotechnology: fundamental and applied aspects. Innovative biotechnology of natural and synthetic biologically active substances. Narochan readings – 16. Proceedings of the IX International scientific and practical conference*. Stavropol: North Caucasian Federal University.2024; 82–86 (in Russian). <https://elibrary.ru/piuulu>
4. Kazantsev E.V., Kondratiev N.B., Osipov M.V., Petrova N.A., Lavrukhin M.A. Influence of packaging and temperature on the safety of foamy confectionery products structure. *Food industry*. 2022; (11): 62–66 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.11.11.015>
5. Tkachenko V.A. Effect of spices and spice extracts on the shelf life of confectionery products. *Tovarovod prodovol'stvennykh tovarov*. 2024; (12): 737–740 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/igt-01-2412-08>
6. Mustika S.A.M., Rostini I., Rochima E., Pratama R.I. Effect of the Addition Red Ginger Extract (*Zingiber Officinale Var Rubrum*) on the Physical and Microbiological Characteristics of Seaweed Jelly Candy. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*. 2021; 13(6): 10–18. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2021/v13i630280>

7. Пьянкова Э.А., Ковалева А.Е., Овчинникова Е.В., Неведров А.А. Оценка качества и установление сроков годности печенья овсяного диетического. *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2025; 1(35): 79–87.
<https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-179-87>
8. Eskin N.A.M., Robinson D.S. (eds.). *Food Shelf Life Stability. Chemical, Biochemical, and Microbiological Changes*. Boca Raton, FL: CRC Press. 2001; 384. ISBN 9780429121807
<https://doi.org/10.1201/9781420036657>
9. Кондратьев Н.Б. и др. Процессы миграции влаги и жира в кондитерских изделиях. М.: Дели. 2023; 166. ISBN 978-5-6049252-2-5
<https://elibrary.ru/rvsczi>
10. Phillips G.O., Williams P.A. (Eds.). *Handbook of Hydrocolloids*. 3rd Edition. Woodhead Publishing. 2021.
 Paperback ISBN: 9780128201046
 eBook ISBN: 9780128242216
11. García-Ochoa F., Santos V.E., Casas J.A., Gómez E. Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*. 2000; 18(1): 549–579.
[https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00050-1)
12. Mirhosseini H., Tan C.P. Agarose and Guar Gum: Use in Development of Pure Fruit Jellies and to Reduce Sugar Content. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2013; 37(5): 834–843.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00710.x>
13. Kohyama K., Sasaki T., Azuma T., Mizugaki K., Kimura F., Dan H. Effects of Gellan Gum and Xanthan Gum on Syneresis and Textural Properties of Tofu Curd. *Food Science and Technology Research*. 2009; 15(3): 319–324.
<https://doi.org/10.3136/fstr.15.287>
14. Рубан Н.В., Васькина В.А., Богатырева Т.Г., Мазукабзова Э.В. Использование белок-полисахаридных смесей в производстве кремов для торты и пирожных. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2014; (11): 5–8.
<https://elibrary.ru/tkvlcl>
15. Bhat I.M., Wani S.M., Mir S.A., Masoodi F.A. Advances in xanthan gum production, modifications and its applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2022; 42: 102328.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102328>
16. Prasad N., Thombare N., Sharma S.C., Kumar S. Gum arabic — A versatile natural gum: A review on production, processing, properties and applications. *Industrial Crops and Products*. 2022; 187(A): 115304.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115304>
17. Khezerlou A., Zolfaghari H., Banihashemi S.A., Forghani S., Ehsani A. Plant gums as the functional compounds for edible films and coatings in the food industry: A review. *Polymers for Advanced Technologies*. 2021; 32(6): 2306–2326.
<https://doi.org/10.1002/pat.5293>
18. Муханова М.А., Якубова О.С., Бекешева А.А., Айзатулина Н.Р. Сравнительная характеристика камедей и перспективы их применения для загущения соусов. *Индустрия питания*. 2021; 6(3): 58–68.
<https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-7>
19. Haji Ghafarloo M., Jouki M., Tabari M. Production and characterization of symbiotic Doogh, a yogurt-based Iranian drink by gum arabic, ginger extract and *B. bifidum*. *Journal of Food Science and Technology*. 2020; 57(3): 1158–1166.
<https://doi.org/10.1007/s13197-019-04151-4>
20. Naseer B. et al. Development of low glycemic index instant Phirni (pudding) mix-its visco-thermal, morphological and rheological characterization. *Scientific Reports*. 2022; 12: 10710.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-15060-6>
21. Kadivel V., Narayana G.P. Edible gums — An extensive review on its diverse applications in various food sectors. *Food Bioengineering*. 2023; 2(4): 384–405.
<https://doi.org/10.1002/fbe2.12067>
22. Tahmouzi S. et al. Application of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) gum in food technologies: A review of properties and mechanisms of action. *Food Science & Nutrition*. 2023; 11(9): 4869–4897.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.3383>
23. Mardani M., Yeganehzad S., Niazmand R. The Effect of Various Levels of Xanthan/Guar Gum and Chubak Extract on Rheological, Thermal, Sensory and Microstructure of Gelatin Free Marshmallow. *Research and Innovation in Food Science and Technology*. 2021; 10(2): 107–126.
<https://doi.org/10.22101/JRIFST.2019.11.10.e1099>
24. Конева С.И. Влияние влагоудерживающих агентов на потребительские свойства и срок годности пряников. *Ползуновский вестник*. 2022; (2): 51–56.
<https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.007>
25. Кодатский Ю.А. и др. Изучение вязкоупругих свойств и активности воды в маршмеллоу на основе полисахаридов растительного и микробного происхождения. *Пищевая промышленность*. 2016; (4): 30–33.
7. Pyanikova E.A., Kovaleva A.E., Ovchinnikova E.V., Nevedrov A.A. Quality assessment and expiration dates oatmeal diet cookies.. *Agro-industrial technologies of Central Russia*. 2025; 1(35): 79–87 (in Russian).
<https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-179-87>
8. Eskin N.A.M., Robinson D.S. (eds.). *Food Shelf Life Stability. Chemical, Biochemical, and Microbiological Changes*. Boca Raton, FL: CRC Press. 2001; 384. ISBN 9780429121807
<https://doi.org/10.1201/9781420036657>
9. Kondrat'ev N.B. et al. Moisture and fat migration processes in confectionery products. Moscow: DeLi. 2023; 166 (in Russian). ISBN 978-5-6049252-2-5
<https://elibrary.ru/rvsczi>
10. Phillips G.O., Williams P.A. (Eds.). *Handbook of Hydrocolloids*. 3rd Edition. Woodhead Publishing. 2021.
 Paperback ISBN: 9780128201046
 eBook ISBN: 9780128242216
11. García-Ochoa F., Santos V.E., Casas J.A., Gómez E. Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*. 2000; 18(1): 549–579.
[https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00050-1)
12. Mirhosseini H., Tan C.P. Agarose and Guar Gum: Use in Development of Pure Fruit Jellies and to Reduce Sugar Content. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2013; 37(5): 834–843.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00710.x>
13. Kohyama K., Sasaki T., Azuma T., Mizugaki K., Kimura F., Dan H. Effects of Gellan Gum and Xanthan Gum on Syneresis and Textural Properties of Tofu Curd. *Food Science and Technology Research*. 2009; 15(3): 319–324.
<https://doi.org/10.3136/fstr.15.287>
14. Ruban N.V., Vaskina V.A., Bogatyreva T.G., Mazukabzova E.V. The use of protein-polysaccharide in mixtures production of creams for cakes and pastries. *Storage and Processing of Farm Products*. 2014; (11): 5–8 (in Russian).
<https://elibrary.ru/tkvlcl>
15. Bhat I.M., Wani S.M., Mir S.A., Masoodi F.A. Advances in xanthan gum production, modifications and its applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2022; 42: 102328.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102328>
16. Prasad N., Thombare N., Sharma S.C., Kumar S. Gum arabic — A versatile natural gum: A review on production, processing, properties and applications. *Industrial Crops and Products*. 2022; 187(A): 115304.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115304>
17. Khezerlou A., Zolfaghari H., Banihashemi S.A., Forghani S., Ehsani A. Plant gums as the functional compounds for edible films and coatings in the food industry: A review. *Polymers for Advanced Technologies*. 2021; 32(6): 2306–2326.
<https://doi.org/10.1002/pat.5293>
18. Mukhanova M.A., Iakubova O.S., Bekesheva A.A., Aizatulina N.R. Guar Comparative Characteristics and Prospects of Their Use for Sauces Gelation. *Food Technology*. 2021; 6(3): 58–68 (in Russian).
<https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-7>
19. Haji Ghafarloo M., Jouki M., Tabari M. Production and characterization of symbiotic Doogh, a yogurt-based Iranian drink by gum arabic, ginger extract and *B. bifidum*. *Journal of Food Science and Technology*. 2020; 57(3): 1158–1166.
<https://doi.org/10.1007/s13197-019-04151-4>
20. Naseer B. et al. Development of low glycemic index instant Phirni (pudding) mix-its visco-thermal, morphological and rheological characterization. *Scientific Reports*. 2022; 12: 10710.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-15060-6>
21. Kadivel V., Narayana G.P. Edible gums — An extensive review on its diverse applications in various food sectors. *Food Bioengineering*. 2023; 2(4): 384–405.
<https://doi.org/10.1002/fbe2.12067>
22. Tahmouzi S. et al. Application of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) gum in food technologies: A review of properties and mechanisms of action. *Food Science & Nutrition*. 2023; 11(9): 4869–4897.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.3383>
23. Mardani M., Yeganehzad S., Niazmand R. The Effect of Various Levels of Xanthan/Guar Gum and Chubak Extract on Rheological, Thermal, Sensory and Microstructure of Gelatin Free Marshmallow. *Research and Innovation in Food Science and Technology*. 2021; 10(2): 107–126.
<https://doi.org/10.22101/JRIFST.2019.11.10.e1099>
24. Конева С.И. Effect of moisture-retaining agents on consumer properties and shelf life of gingerbread. *Polzunovskiy vestnik*. 2022; (2): 51–56.
<https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.007>
25. Kodatsky Yu.A. et al. Study of the viscoelastic properties and water activity in the marshmallow, based on polysaccharides of plant and microbial origin. *Food industry*. 2016; (4): 30–33 (in Russian).

26. Кондратьев Н.Б., Казанцев Е.В., Осипов М.В. Использование структурообразователей для повышения сохранности сырцовых пряников. *Пищевая промышленность*. 2024; (7): 43–45.
<https://doi.org/10.52653/PPI.2024.7.7.008>

ОБ АВТОРАХ

Николай Борисович Кондратьев

доктор технических наук, главный научный сотрудник
conditerprom_lab@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3322-9621>

Максим Владимирович Осипов

кандидат технических наук, заведующий отделом
conditerprom_lab@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1316-259X>

Егор Валерьевич Казанцев

научный сотрудник
conditerprom_lab@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8923-0029>

Алла Евгеньевна Баженова

научный сотрудник
a.bazhenova@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6994-8524>

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук,
ул. Электрозаводская, 20, Москва, 107023, Россия

26. Kondratiev N.B., Kazantsev E.V., Osipov M.V. Use of structure-forming agents to improve the shelf life of raw gingerbread. *Food industry*. 2024; (7): 43–45 (in Russian).
<https://doi.org/10.52653/PPI.2024.7.7.008>

ABOUT THE AUTHORS

Nikolay Borisovich Kondratiev

Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher
n.kondratiev@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3322-9621>

Maxim Vladimirovich Osipov

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department
m.osipov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1316-259X>

Egor Valerievich Kazantsev

Researcher
conditerprom_lab@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8923-0029>

Alla Evgenevna Bazhenova

Researcher
a.bazhenova@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6994-8524>

All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry — Branch of Gorbatov Research Center for Food Systems,

20 Elektrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia

СИБИРСКАЯ АГРАРНАЯ НЕДЕЛЯ

Международная агропромышленная выставка



5–7 ноября 2025

350+

компаний
принимают участие

8500+

профессиональных
посетителей

ЛИДЕРЫ РЫНКА ПРЕДСТАВЛЯЮТ

- Сельхозтехнику и оборудование.
- Технологии для растениеводства и животноводства.
- Решения для переработки, хранения и логистики.

НАЙДИТЕ СВОИХ КЛИЕНТОВ НА СИБИРСКОЙ АГРАРНОЙ НЕДЕЛЕ!

sibagroweek.ru



Место проведения :

НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР

Организатор:

СИБИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

+7 (383) 304-83-88

sibagroweek

@sibagroweek

РЕКЛАМА 0+

МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА ТЕХНОЛОГИЙ
ПРОИЗВОДСТВА
И ПЕРЕРАБОТКИ
ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ
АПК

Ранее:

Agros
expo
AcroTech
КАРТОФЕЛЬ
овощи, плоды
expo



agravia
tech & pro expo

21-23 ЯНВАРЯ 2026

Москва | Крокус Экспо

НОВЫЙ ГЛОБАЛЬНЫЙ ФОРМАТ ОТ ПОЛЯ И ФЕРМЫ ДО ПЕРЕРАБОТКИ! ВСЕ КЛЮЧЕВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АГРОПРОМА ТЕПЕРЬ НА ОДНОЙ ПЛОЩАДКЕ! РЕШАЙТЕ ЗАДАЧИ
ВО ВСЕХ СФЕРАХ ВАШЕГО АГРОБИЗНЕСА КОМПЛЕКСНО В НАЧАЛЕ ГОДА НА AGRAVIA

ЖИВОТНОВОДСТВО И ПЕРЕРАБОТКА

a:livestock & poultry

Племенное дело и Технологии для Молочного и Мясного
Скотоводства, Свиноводства, Птицеводства и др. видов
Животноводства, Кормопроизводства, Мясопереработки

ГЕНЕТИКА · ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ И КОРМЛЕНИЯ ·
ДОИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ · УПРАВЛЕНИЕ ОХОДАМИ · СТРОИТЕЛЬСТВО ·
КОРМОПРОИЗВОДСТВО И КОРМОЗАГОТОВКА · ПЕРЕРАБОТКА ЖИВОТНОГО
БЕЛКА · Сбыт

a:feed & health

Кормовые решения, Продукты Ветеринарии,
Комбикормовое Оборудование

КОРМА, КОМПОНЕНТЫ КОРМОВ · КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ · КОНЦЕНТРАТЫ ·
ПРЕМИКСЫ · РАЦИОНЫ И ТЕХНОЛОГИИ КОРМЛЕНИЯ · ВЕТЕРИНАРНЫЕ ПРЕПАРАТЫ
И ВАКЦИНЫ · ВЕТЕРИНАРНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ · ОБОРУДОВАНИЕ
И ПРОДУКТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ДЕЗИНФЕКЦИИ · СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ
ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ · КОМБИКОРМОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

РАСТЕНИЕВОДСТВО И ПЕРЕРАБОТКА

a:field crops

Технологии Производства и Переработки Зерновых,
Зернобобовых, Масличных, Кормовых, Технических
и Специальных Полевых Культур

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ · СЕЛЕКЦИЯ,
СЕМЕНОВОДСТВО · СЗР, УДОБРЕНИЯ · ПОСТУБОРОЧНАЯ ОБРАБОТКА ·
ХРАНЕНИЕ И ЛОГИСТИКА · ЗАПЧАСТИ, РАСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ГСМ ·
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ · СТРОИТЕЛЬСТВО · Сбыт

a:potato & horti

Технологии Производства и Переработки Картофеля,
Овощей Открытого и Закрытого Грунта, Фруктов и Ягод

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА, ОБОРУДОВАНИЕ · СЕЛЕКЦИЯ,
СЕМЕНОВОДСТВО · СЗР, УДОБРЕНИЯ · ПОСТУБОРОЧНАЯ ОБРАБОТКА ·
ХРАНЕНИЕ И ЛОГИСТИКА · ЗАПЧАСТИ, РАСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ГСМ ·
СТРОИТЕЛЬСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕПЛИЦ · ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ · СТРОИТЕЛЬСТВО · Сбыт



8-11 ОКТЯБРЯ

ЗОЛОТАЯ | 20
ОСЕНЬ | 25



Министерство
сельского хозяйства
Российской Федерации

XXVII РОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

russianagroweek.ru

ТИМИРЯЗЕВ ЦЕНТР

Адрес выставки:
Москва, Верхняя аллея, 6с1



0+