



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2025 Том 20 № 1

Терапевтический кейс благополучия животных

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-1
agrojournal.rudn.ru

Научный журнал
Издается с 2006 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61171 от 30.03.2015 г.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Главный редактор

Ватников Ю.А., д-р вет. наук,
проф., директор департамента
ветеринарной медицины АТИ,
РУДН, Москва, Российская
Федерация
E-mail: vatnikov-yua@rudn.ru

Заместитель главного редактора

Пакина Е.Н., д-р биол. наук,
директор Агробиотехнологического
департамента АТИ, РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: pakina-en@rudn.ru

Ответственный секретарь

Куликов Е.В., канд. биол. наук,
доц. департамента ветеринарной
медицины АТИ, РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: kulikov-ev@rudn.ru

Члены редакционной коллегии

Азизи С., д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран
Астарханова Т.С., д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Валентини Р., д-р биол. наук, проф., лауреат Нобелевской премии мира (2007), Университет Тушин, Витербо, Италия
Васильев А.А., д-р биол. наук, проф., МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ
Гинс М.С., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., ФНЦО Овощеводства РАН, Московская обл., РФ
Довлетярова Э.А., д-р биол. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Долженко В.И., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ ВНИИЗР, Пушкин, Санкт-Петербург, РФ
Донник И.М., д-р биол. наук, проф., академик РАН, Российская академия наук, Москва, РФ
Дубенок Н.Н., д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ
Дускаев Г.К., д-р биол. наук, проф., проф. РАН, ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, Оренбург, РФ
Егоров И.А., д-р биол. наук, академик РАН, проф., ФНЦ «ВНИТИП» РАН, Сергиев Посад, РФ
Еланский С.Н., д-р биол. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, РФ
Забережный А.Д., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., ФГБНУ ВНИТИБП, Московская обл., РФ
Завалин А.А., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, РФ
Заргар М., канд. с.-х. наук, доц., РУДН, Москва, РФ
Игнатов А.Н., д-р биол. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Ковеос Д., PhD, проф., Университет Аристотеля г. Салоники, Салоники, Греция
Кошаев А.Г., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., КубГАУ, Краснодар, РФ
Котарев В.И., д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ВНИВИПФиТ», Воронеж, РФ
Кузяков Я.В., д-р биол. наук, проф., Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Геттинген, Германия
Ленченко Е.М., д-р вет. наук, проф., ФГБОУ ВО «МГУПП», Москва, РФ
Мохаммади-Неджад Г., д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран
Никитченко Д.В., д-р биол. наук, проф., ОМПК, Москва, РФ
Новиков А.Е., д-р тех. наук, доц., ВолГТУ, Волгоград, РФ
Овчинников А.С., д-р с.-х. наук, чл.-кор. РАН, ВолГАУ, Волгоград, РФ
Пивоваров В.Ф., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ ФНЦО, Московская обл., РФ
Пименов Н.В., д-р биол. наук, проф., проф. РАН, МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ
Плескачев Ю.Н., д-р с.-х. наук, проф., ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., РФ
Плющиков В.Г., д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Соловьев А.А., д-р биол. наук, проф. РАН, проф., ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, РФ
Сычёв В.Г., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, РФ
Ткачев А.В., д-р с.-х. наук, доц., РУДН, Москва, РФ
Уша Б.В., д-р вет. наук, заслуж. деятель науки и техники РФ, академик РАН, МГУПП, Москва, РФ
Юлдашбаев Ю.А., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ
Юсефи М., канд. биол. наук, доц., РУДН, Москва, РФ

**Вестник Российского университета дружбы народов.
Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО**

ISSN 2312–797X (Print); 2312–7988 (Online)

4 выпуска в год (ежеквартально)

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: agroj@rudn.ru

Языки: русский, английский.

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, AGRIS, Ulrich's Periodicals Directory.

Цели и тематика. Журнал «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство» — периодическое рецензируемое научное издание в области сельского хозяйства. Журнал является международным как по составу авторов и тематике публикаций, отражающей проблематику научных исследования в различных регионах мира, так и по составу редакционной коллегии и экспертного совета (рецензентов). Журнал предназначен для публикаций результатов фундаментальных и прикладных научных исследований российских и зарубежных ученых в виде оригинальных научных статей, обзорных научных материалов, научных сообщений, библиографических обзоров по определенным темам научных исследований. Также журнал публикует и распространяет результаты фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в коллаборации отечественных и зарубежных ученых по приоритетным проблемам сельскохозяйственной отрасли. В журнале могут быть опубликованы материалы, научная ценность которых и пригодность для публикации оценена рецензентами и редакционной коллегией журнала. Во всех материалах должны соблюдаться этические нормы научных публикаций.

Редакционная коллегия принимает к рассмотрению материалы по направлениям: агрономия, животноводство, ветеринария, зоотехния, ветеринарно-санитарная экспертиза, техносферная безопасность, землеустройство и кадастры, ландшафтная архитектура — для подготовки тематических выпусков с участием приглашенных редакторов.

Журнал рекомендован диссертационными советами РУДН; входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 1.5.9. Ботаника (сельскохозяйственные науки), 1.5.19. Почвоведение (сельскохозяйственные науки), 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (биологические науки, сельскохозяйственные науки), 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (сельскохозяйственные науки, биологические науки), 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки, биологические науки), 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (биологические науки, сельскохозяйственные науки), 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки, биологические науки), 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки), 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки, биологические науки).

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала: <http://agrojournal.rudn.ru>

Редактор О.В. Горячева

Редактор англоязычных текстов М.И. Яблонская, В.М. Бяхова

Компьютерная верстка М.В. Рогова

Адрес редакции:

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3

Тел.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Почтовый адрес редакции

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2

Тел.: +7 (495) 434-70-07; e-mail: agroj@rudn.ru

Подписано в печать 21.05.2025. Выход в свет 26.05.2025. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитуры Tinos, Roboto.

Усл. печ. л. 13,81. Тираж 500 экз. Заказ № 76. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН)

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3

Тел.: +7 (495) 955-08-61; publishing@rudn.ru



RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2025 VOLUME 20 No. 1

Therapeutic case of animal welfare

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-1

agrojournal.rudn.ru

Founded in 2006

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA NAMED AFTER PATRICE LUMUMBA

EDITOR-IN-CHIEF

Yuriy A. Vatnikov,

D.Sc. in Veterinary Medicine, Professor,
Director of Department of Veterinary
Medicine, Agrarian and Technological
Institute, RUDN University, Moscow,
Russian Federation

E-mail: vatnikov-yua@rudn.ru

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Elena N. Pakina,

D.Sc. in Biology, Director of
Agrobiotechnology Department,
Agrarian and Technological Institute,
RUDN University, Moscow, Russian
Federation

E-mail: pakina-en@rudn.ru

EXECUTIVE SECRETARY

Evgeniy V. Kulikov,

Ph.D. in Biology, Associate Professor,
Department of Veterinary Medicine,
Agrarian and Technological Institute,
RUDN University, Moscow, Russian
Federation

E-mail: kulikov-ev@rudn.ru

EDITORIAL BOARD MEMBERS

Sonia Agigi — D. Sc. in Biology, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Tamara S. Astarkhanova — D. Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Victor I. Dolzhenko — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg-Pushkin, Russian Federation

Irina M. Donnik — D. Sc. in Biology, Professor, Academician of the RAS, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Elvira A. Dovletyarova — D. Sc. in Biology, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Nikolai N. Dubenok — D. Sc. in Agriculture, Professor, Academician of the RAS, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Galimzhan K. Duskaev — D. Sc. in Biology, Professor, Professor of the RAS, Federal Scientific Center biological systems and agricultural technologies RAS, Orenburg, Russian Federation

Ivan A. Egorov — D. Sc. in Biology, Academician of the RAS, Professor, Head of the Scientific Direction of Poultry Nutrition, All-Russian Research and Technological Poultry Institute of RAS, Sergiev Posad, Russian Federation

Sergey N. Elansky — D. Sc. in Biology, Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Murat S. Gins — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation

Alexander N. Ignatov — D. Sc. in Biology, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Andrey G. Koshaev — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Professor, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

Vyacheslav I. Kotarev — D. Sc. in Agriculture, Professor, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Voronezh, Russian Federation

Dimtrios Koveos — PhD, Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece

Yakov V. Kuzyakov — Doctor of Biological Sciences, Professor, University of Göttingen, Göttingen, Germany

Ekaterina M. Lenchenko — D. Sc. in Veterinary Medicine, Professor, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

Ghasem Mohammadi-Nejad — PhD, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Dmitry V. Nikitchenko — D. Sc. in Biology, Professor, Ostankino Meat Processing Plant, Moscow, Russian Federation

Andrey E. Novikov — D. Sc. in Technology, Associate Professor, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

Aleksey S. Ovchinnikov — D. Sc. in Agriculture, Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

Nikolai V. Pimenov — D. Sc. in Biology, Professor, Professor of the RAS, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation

Viktor F. Pivovarov — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation

Yury N. Pleskachev — D. Sc. in Agriculture, Professor, Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Region, Russian Federation

Vadim G. Plyushchikov — D. Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Alexander A. Solovov — D. Sc. in Biology, Professor of the RAS, Professor, All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russian Federation

Victor G. Sychev — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

Alexander V. Tkachev — D. Sc. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Boris V. Usha — D. Sc. in Veterinary Medicine, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Academician of the RAS, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

Riccardo Valentini — D. Sc. in Biology, Professor, Nobel Peace Prize Laureate (2007), University of Tuscia, Viterbo, Italy

Aleksey A. Vasiliev — D. Sc. in Biology, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation

Morteza Yousefi — Ph.D. in Biology, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Yusupzhan A. Yuldashbaev — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Aleksey D. Zaberezhny — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor, All-Russian Research and Technological Institute of Biological Industry, Moscow Region, Russian Federation

Meisam Zargar — Ph.D. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Aleksey A. Zavalin — D. Sc. in Agriculture, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES
Published by the Peoples' Friendship University of Russia
named after Patrice Lumumba (RUDN University),
Moscow, Russian Federation

ISSN 2312–797X (Print); 2312–7988 (Online)

Publication frequency: Quarterly

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: agroj@rudn.ru

Languages: Russian, English

Indexed/abstracted by Russian Index of Science Citation, RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, AGRIS, Ulrich's Periodicals Directory.

Aims and Scope

RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries is an peer-reviewed periodical covering the latest research in the field of Agricultural Sciences. The journal is international with regard to its editorial board, contributing authors and thematic foci of the publications reflecting problems of various regions in the world.

The journal publishes original results of Russian and foreign scientific researchers and welcomes research articles, review articles, scientific reports, and bibliographic researches. The journal also publishes and disseminates the results of fundamental and applied research conducted by international collaborations of scientists on the priority problems of the agricultural sector.

The most common topics include Agronomy, Animal industries, Veterinary, Veterinary-sanitary expertise, Land use planning and cadaster, Landscape architecture.

The editors are open to thematic issue initiatives with guest editors. Submitted papers are evaluated by independent reviewers and the Editorial Board members specialized in the article field. All materials must comply with the ethical standards of scientific publications.

In order to expand our readership, we present our journal at scientific conferences, including the annual international conference “Innovation Processes in Agriculture”, which is traditionally held at the base of the Agrarian Technological Institute of RUDN University. Each year the conference attracts many agrarian specialists from different parts of the world and continents: Europe, Asia, Africa, North and South America.

Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <http://agrojournal.rudn.ru>

Editor *O.V. Goryacheva*

English text editor *M.I. Yablonskaya, V.M. Byakhova*

Computer design *M.V. Rogova*

Address of the Editorial Board:

3 Ordzhonikidze St, 115419 Moscow, Russian Federation

Ph.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Postal Address of the Editorial Board:

8 Miklukho-Maklaya St, bldg 2, 117198 Moscow, Russian Federation

Ph.: +7 (495) 434-70-07; e-mail: agroj@rudn.ru

Printing run 500 copies. Open price

Peoples' Friendship University of Russia Named After Patrice Lumumba (RUDN University)

6 Miklukho-Maklaya St, 117198 Moscow, Russian Federation

Printed at RUDN Publishing House:

3 Ordzhonikidze St, 115419 Moscow, Russian Federation

Ph.: +7 (495) 955-08-61; e-mail: publishing@rudn.ru

Содержание

Терапевтический кейс благополучия животных

От редакции 9

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

Мониторинг биохимических показателей сыворотки крови телят на фоне применения бетулин содержащей кормовой добавки 12

Котарев В.И., Сырьев А.А., Ерина Т.А. Бацелл-МТ в рационе сухостойных

коров 27

Ненашев И.В., Марьин Е.М. Лечение локального пододерматита у крупного

рогатого скота в условиях интенсивных технологий молочного производства..... 38

Родионов В.Д., Никитченко Д.В., Рысцова Е.О., Сноз Г.В., Боголюбов И.Д.

Влияние мультиэнзимного комплекса на морфометрические и химические показатели тушек курочек кросса «Росс 308»..... 49

Скворцова А.А., Павловская Е.А., Оболенский В.Н. Преимущества

и недостатки метода локального отрицательного давления при лечении ран

у лошадей..... 61

Фирсов Г.М. Анализ уровня С-реактивного белка в жидкости из полости матки

у дойных коров..... 79

Генетика и селекция растений

Иваний А.А., Пензин А.А., Бондаренко О.Н., Блинова А.А., Гретченко А.Е.,

Иваченко Л.Е., Тимкин П.Д. Генотипическая кластеризация 51 сорта

культурной и форм дикой сои с использованием SSR-маркеров 88

Защита растений

Zeitar E.M., Sukhenko L.T., Mohammed S.R.

Biological efficacy of chitosan nanoparticles and black poplar buds ethanolic extract

against potato dry rot 102

Защитное лесоразведение

Миннихметов И.С., Тимерьянов А.Ш., Шафеева Э.И., Доценко Е.А.

Развитие лесного хозяйства Буздякского района Республики Башкортостан..... 115

Морфология и онтогенез животных

Шумейко А.В., Слесаренко Н.А., Колядина Н.И. Количественная оценка

фетального кровотока у собак 126

Генетика и селекция животных

Amulungu P.K., Tkachev A.V., Tkacheva O.L. Physiological features of the antioxidant system of the *Equus caballus* organism of different genotypes 139

Титов В.Ю., Кочиш И.И., Мясникова О.В., Долгорукова А.М., Зайцева М.А., Романов П.С., Варданян А.Р. Эффекты оксида азота, связанные с экспрессией ряда генов на эмбриональной стадии развития птиц 151

Ветеринария

Ленченко Е.М., Пономарев В.В. Динамика изменений бактериологических и морфометрических показателей при снижении колонизационной резистентности кишечника птиц 162

Contents

Therapeutic case of animal welfare

From the editorial.....	9
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 a betulin-containing feed additive.....	12
Kotarev V.I., Syryev A.A., Erina T.A. Bacell-MT in the diet of dry cows.....	27
Nenashev I.V., Maryin E.M. Treatment of local pododermatitis in cattle in conditions of intensive technologies.....	38
Rodionov V.D., Nikitchenko D.V., Rystsova E.O., Snoz G.V., Bogolyubov I.D. Effect of a multi-enzyme complex on morphometric and chemical parameters of carcasses of Ross 308 cross chickens.....	49
Skvortsova A.A., Pavlovskaya E.A., Obolensky V.N. Advantages and disadvantages of negative pressure wound therapy in equine wound treatment	61
Firsov G.M. Analysis of C-reactive protein levels in uterine fluid of dairy cows.....	79

Genetics and plant breeding

Ivaniy A.A., Penzin A.A., Bondarenko O.N., Blinova A.A., Gretchenko A.E., Ivachenko LE, Timkin PD. Genotypic clustering of 51 soybean cultivars and wild forms using SSR-markers	88
--	----

Plant protection

Zeitar E.M., Sukhenko L.T., Mohammed S.R. Biological efficacy of chitosan nanoparticles and black poplar buds ethanolic extract against potato dry rot	102
--	-----

Protective afforestation

Minniakhmetov I.S., Timeryanov A.S., Shafeeva E.I., Dotsenko E.A. Forestry development in Buzdyak district of the Republic of Bashkortostan	115
--	-----

Morphology and ontogenesis of animals

Shumeiko A.V., Slesarenko N.A., Kolyadina N.I. Quantitative assessment of fetal blood flow in dogs.....	126
--	-----

Genetics and selection of animals

Amulungu P.K., Tkachev A.V., Tkacheva O.L. Physiological features of the antioxidant system of the *Equus caballus* organism of different genotypes 139

Titov V.Y., Kochish I.I., Myasnikova O.V., Dolgorukova A.M., Zaytseva M.A., Romanov P.S., Vardanyan H.R. Effects of nitric oxide associated with expression of some genes at embryonic stage of avian development..... 151

Veterinary science

Lenchenko E.M., Ponomarev V.V. Dynamics of changes in bacteriological and morphometric parameters at decreasing colonization resistance of bird intestine 162



Терапевтический кейс благополучия животных Therapeutic case of animal welfare

От редакции

В тематическом номере журнала представлены научные статьи, в которых раскрываются как фундаментальные, так и прикладные аспекты благополучия животных. Это понятие включает в себя такие ключевые показатели, как физическое, психическое и эмоциональное состояние, условия содержания и кормления, терапевтический, научно-исследовательский аспекты, правовые нормативные акты, а также ежедневный контроль и мониторинг всего спектра перечисленных норм. Такое разнообразие требует от ветеринарного врача разносторонних знаний и навыков, позволяющих отслеживать многочисленные вводные на всем протяжении жизни животного, технологических циклов выращивания и получения продукции. В этой связи научное сопровождение является неотъемлемой частью производства продукции и требует от исследователя глубокого погружения в проблему технологической сохранности поголовий, а также решения частных задач, возникающих в общем объеме контроля над благополучием животных, дающие наукоемкие выводы, обеспечивающие практический потенциал.

В научной статье «Мониторинг биохимических показателей сыворотки крови телят на фоне применения бетулинсодержащей кормовой добавки» представлены результаты клинических испытаний кормовой добавки, содержащей природный адаптоген Бетулин. Научным коллективом изучено действие бетулинсодержащей кормовой добавки на биохимические показатели сыворотки крови племенных телят и молочного высокопродуктивного крупного рогатого скота. Ученые из Белгородского государственного аграрного университета им. В.Я. Горина провели исследования эффективности применения кормовой добавки Бацелл-МТ в рационе сухостойных коров при подготовке их к отелу, а также для повышения продуктивности и улучшения состояния приплода. При этом установлено, что применение Бацелл-МТ способствует сохранности поголовья, нормализации биохимических показателей крови, повышению качества получаемого молока и приплода. Авторы статьи «Лечение локального пододерматита у крупного рогатого скота в условиях интенсивных технологий молочного производства» показали, что однократное применение мази Вет-Копин приводило к сокращению площади патологии, уменьшению болезненности, при пятикратном применении клинические признаки воспаления исчезали, дно патологии восполнялось здоровой грануляционной тканью, с последующей эпителизацией и рубцеванием окружающей тканей на протяжении всего срока исследования. Весьма актуально исследование «Влияние мультиэнзимного комплекса на морфометрические и химические показатели тушек курочек кросса

„Росс 308“». Научные изыскания коллектива специалистов в области хирургической инфекции определили «преимущества и недостатки метода локального отрицательного давления при лечении ран у лошадей» в одноименной статье. При этом установлено, что средняя скорость заживления ран при использовании ЛОД была на 30...40 % выше по сравнению с лечением с применением антисептических и антибактериальных препаратов. В научном труде «Анализ уровня С-реактивного белка в жидкости из полости матки у дойных коров» установили, что определение концентрации белка острой фазы в жидкости матки может быть действенным методом для выявления воспалительных состояний в этом органе.

Технологические нарушения, стрессы, несоблюдение зоогигиенических норм, низкий уровень ветеринарного обслуживания могут повлечь возникновение заболеваний. В связи с этим оценка благополучия животных должна быть научно обоснованной и максимально объективной. Необходим многогранный подход, учитывающий не только объективные показатели, но и субъективную картину состояния животного в его попытках приспособиться к вынужденной для него среде обитания. Важной составляющей благополучия является терапевтическое обеспечение, при этом его соблюдение и поддержание не только имеет значение для животных, но и отражает производственные, моральные и этические ценности.

Ю.А. Ватников, главный редактор

ENG

From the editorial

The thematic issue of RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries presents scientific articles, which reveal both fundamental and applied aspects of animal welfare. This concept includes key indicators such as physical, mental and emotional state, conditions of detention and feeding, therapeutic, research aspects, legal normative acts, as well as daily control and monitoring of the entire range of these norms. Such diversity requires a veterinarian to have versatile knowledge and skills that allow to monitor numerous factors throughout the animal's life, technological cycles of raising and producing. In this regard, scientific support is in an integral part of production and requires the researcher to have a deep understanding of the problem of technological safety of farm animals, as well as solving specific problems that arise in the overall control over animal welfare, providing science-intensive conclusions that ensure practical potential.

The scientific article "Monitoring of biochemical parameters of blood serum of calves against the background of the use of a betulin-containing feed additive" presents the results of clinical testing of the feed additive containing natural adaptogen Betulin. The scientific team studied the effect of the botulin-containing feed additive on biochemical indicators

of blood serum of pedigree calves and highly productive dairy cattle. Scientists from Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin conducted research on the effectiveness of using the Batsell-MT feed additive in the diet of dry cows when preparing them for calving, as well as to increase productivity and improve the condition of the offspring. It was found that the use of Batsell-MT contributes to livestock preservation, normalization of biochemical parameters of blood, improvement of the quality of milk and offspring. In the article "Treatment of local pododermatitis in cattle in conditions of intensive technologies", the authors show that a single application of Vet-Kopin ointment led to reduction of pathology and decrease in pain. After five applications, the clinical signs of inflammation disappeared, the bottom of the pathology was replaced by healthy granulation tissue, followed by epithelialization and scarring of the surrounding tissues throughout the entire study period. The study "Effect of a multi-enzyme complex on morphometric and chemical parameters of carcasses of Ross 308 cross chickens" is quite relevant. The scientific research of a team of specialists in the field of surgical infection identified "Advantages and disadvantages of negative pressure wound therapy in equine wound treatment", as described in their article of the same name. It was found that the average rate of wound healing using local negative pressure was 30...40% higher compared to treatment with antiseptic and antibacterial drugs. The scientific article "Analysis of C-reactive protein levels in uterine fluid of dairy cows" established that determining the concentration of acute phase protein in uterine fluid can be an effective method for detecting inflammatory conditions in this organ.

Technological disorders, stress, non-compliance with zoohygienic standards, and a low level of veterinary care can lead to diseases. Hence, the assessment of animal welfare should be science-based and as objective as possible. A multifaceted approach to assessing animal welfare is needed considering not only objective indicators but also the subjective picture of the animal's condition in its attempts to adapt to its forced environment. An important component of well-being is therapeutic support, and its compliance and maintenance are significant not only for the animals but also reflect production, moral, and ethical values.

Y.A. Vatnikov, Editor-in-Chief



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-12-26

EDN HAVFSP

УДК 619:616.9:636.088:636.4

Научная статья / Research article

Мониторинг биохимических показателей сыворотки крови телят на фоне применения бетулиносодержащей кормовой добавки

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

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии —
МВА им. К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация
 lag22004@mail.ru

Аннотация. Исследования проводили в молочных комплексах племенного хозяйства СХП Колхоз «Сознательный» Zubцовского района Тверской области, на базе кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных и лечебно-диагностического центра Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина. Бетулиносодержащую кормовую добавку давали пяти- и десятимесячным телятам опытных групп перорально в дозе 10 мг/кг веса с водой индивидуально 1 раз в день в течение 14 дней. Для оценки влияния бетулина на организм телят, а также для исключения сопутствующих заболеваний в начале и конце эксперимента проведены клиническое исследование всех опытных животных, биохимический анализ сыворотки крови. Приведены результаты клинических испытаний кормовой добавки, содержащей природный адаптоген — бетулин. Изучено ее действие на биохимические показатели сыворотки крови племенных телят и молочного высокопродуктивного крупного рогатого скота. Установлено, что применение бетулиносодержащей кормовой добавки телятам пяти- и десятимесячного возраста перорально в дозе 10 мг/кг веса с водой индивидуально 1 раз в день в течение 14 дней нормализует уровень билирубина в сыворотке крови, аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы, щелочной фосфатазы лактатдегидрогеназы. К концу эксперимента у телят опытной группы также отмечено повышение в пределах физиологической нормы уровня общего белка сыворотки крови. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение бетулиносодержащей кормовой добавки по указанной схеме дает противовоспалительный, кардио- и гепатопротекторный эффект. Повышение количества общего белка у телят после применения кормовой добавки свидетельствует о компенсаторном усилении синтеза белков глобулиновой фракции.

Ключевые слова: бетулин, племенное хозяйство, анализ крови, терапевтическая доза, пероральное введение, живая масса

© Гнездилова Л.А., Мурадян Ж.Ю., Круглова Ю.С., Розинский С.М., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов: Гнездилова Л.А. — формирование идеи, формулировка или развитие ключевых целей и задач; Мурадян Ж.Ю., Круглова Ю.С., Розинский С.М. — проведение экспериментов, анализ и интерпретация полученных данных. Все авторы ознакомлены с окончательным вариантом статьи и одобрили его.

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

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 6 декабря 2024 г., принята к публикации 11 января 2025 г.

Для цитирования: 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. Т. 20. № 1. С. 12—26. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-12-26 EDN: HAVFSP

Monitoring in biochemical parameters of blood serum of calves against the background of the use of betulin-containing feed additive

Larisa A. Gnezdilova  , Zhora Yu. Muradyan ,
Yulia S. Kruglova , Serafim M. Rozinsky 

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after
K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation
 lag22004@mail.ru

Abstract. The studies were conducted at the dairy complexes of the breeding farm of the Agricultural Enterprise Kolkhoz “Soznatelny”, Zubtsovsky District, Tver Region, by the Department of Disease Diagnostics, Therapy, Obstetrics and Reproduction of Animals and the Medical and Diagnostic Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — Moscow State Academy of Veterinary Medicine named after K.I. Skryabin. Betulin-containing feed additive was given to five- and ten-month-old calves of the experimental groups orally at a dose of 10 mg/kg of weight with water individually once a day for 14 days. To assess the effect of betulin on the body of calves, as well as to exclude concomitant diseases, a clinical study of all [poiuy’lkhgfdsl experimental animals and a biochemical analysis of blood serum were conducted at the beginning and end of the experiment. The study presents the results of clinical trials of a feed additive containing the natural adaptogen betulin. The effect of betulin-containing feed additive on the biochemical parameters of the blood serum of breeding calves and highly productive dairy cattle was studied. It was established that the use of betulin-containing feed additive to calves of five and ten months of age orally at a dose of 10 mg/kg of weight with water individually 1 time per day for 14 days, normalizes the level of bilirubin in the blood serum, alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase, alkaline phosphatase lactate dehydrogenase. By the end of the experiment, the calves of the experimental group also showed an increase in the level of total serum protein within the physiological norm. The results obtained indicate that the use of betulin-containing feed additive according to the specified scheme has an anti-inflammatory, cardio- and hepatoprotective effect. An increase in the amount of total protein in calves after using the feed additive indicates a compensatory increase in the synthesis of globulin fraction proteins.

Keywords: betulin, breeding farm, blood test, therapeutic dose, oral administration, live weight

Author contribution: Gnezdilova L.A. — idea generation, formulation or development of key goals and objectives; Muradyan Zh. Yu., Kruglova Yu.S., Rozinsky S.M. — experiments, analysis, and interpretation of the obtained data. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding. The research was funded by a grant from the Russian Science Foundation “Natural adaptogens for restoration of reproductive function in cattle with mycotoxicosis” (agreement No. 23-26-00150).

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Article history: received 6 December 2024; accepted 11 January 2025.

For citation: Gnezdilova LA, Muradyan ZhYu, Kruglova YuS, Rozinsky SM. Monitoring of biochemical parameters of blood serum of calves against the background of the use of a betulin-containing feed additive. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1):12—26. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-12-26 EDN: HAVFSP

Введение

Продуктивность и высокие показатели воспроизводительной способности коров напрямую зависят от производственных стрессов. Условия, которые создают дополнительный стресс для животных, например, неправильно сбалансированный рацион, инфекционные и инвазионные болезни или акушерско-гинекологические заболевания, усугубляют ситуацию [1–3]. При анализе качества корма необходимо обращать внимание на естественные загрязнители, в т. ч. микотоксины, которые продолжают оказывать серьезное воздействие на здоровье животных [4–6].

Интересен положительный опыт применения растительных тритерпеноидов в ветеринарной практике в качестве иммуностимуляторов при различных патологических состояниях у животных разных видов. Весьма перспективными объектами для разработки новых лекарственных препаратов, в т. ч. и ветеринарных, являются лупановые тритерпеноиды, а именно бетулоновая и бетулиновая кислоты [5, 6].

В области ветеринарной медицины активно развивается новое направление решения проблемы инфекционных болезней — создание и применение экологически чистых препаратов растительного происхождения, способных оказывать бактерицидное, бактериостатическое, вирулицидное и иммуномодулирующее действие на больной организм [7–9]. Для практикующего ветеринарного врача важно иметь в арсенале лекарственные средства с хорошей терапевтической активностью, обладающих политропным действием и невысокой себестоимостью [10–12]. Это позволит при применении одного препарата оказывать разностороннее влияние на возбудителей болезни, стадии развития патологического процесса, а также стимулировать процессы выздоровления. К средствам, подавляющим отдельные звенья патологии, добавляются лекарственные вещества, стимулирующие защитные силы организма [13, 14].

Бетулин — природный пентациклический тритерпеноид лупанового ряда. Он содержится в большом количестве растений (орешник, календула, солодка

и пр.), но в промышленных масштабах его получают экстракцией из бересты — наружного слоя коры березы белой (*betula alba*), повислой (*betula pendula*) [15–17]. В свободном виде вещество не встречается. Многочисленными исследованиями, проведенными более чем в 40 зарубежных и российских научно-исследовательских центрах, продемонстрирована эффективность использования тритерпеновых соединений в качестве прямых регуляторов активности ферментативных систем организма [18–20].

Иммуностимулирующая активность бетулина проявляется в способности индуцировать выработку эндогенного интерферона в организме, а также повышать клеточный и гуморальный иммунитет, усиливать активность некоторых иммунокомпетентных клеток, в частности активизируя все показатели фагоцитоза (способность фагоцитов разрушать вирусы и бактериальные клетки) [21–24].

Цель исследования — изучить действие природного адаптогена бетулина на биохимический статус молодняка крупного рогатого скота в условиях племенного стада.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в молочных комплексах племенного хозяйства СХП Колхоз «Сознательный» Зубцовского района Тверской области, на базе кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных и лечебно-диагностического центра Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина.

Для изучения действия бетулина на биохимические показатели сыворотки крови сформировали:

- 2 группы телят сычевской породы (опытная и контрольная), по 10 голов в каждой, возраст — 5 месяцев, живой массой 150...165 кг;

- 2 группы телят сычевской породы (опытная и контрольная), по 10 голов в каждой, возраст — 10 месяцев, живой массой 286...316 кг.

У опытных животных проводились все плановые диагностические мероприятия (хозяйство благополучно по лейкозу, туберкулезу, бруцеллезу).

Бетулиносодержащую кормовую добавку давали каждому животному группы перорально в дозе 10 мг/кг веса с водой индивидуально 1 раз в день в течение 14 дней.

Для оценки влияния бетулина на организм опытных животных, а также для исключения сопутствующих заболеваний в начале и в конце эксперимента проводили клиническое исследование всех животных, биохимический анализ.

Для проведения биохимических исследований сыворотки крови использовали автоматический биохимический анализатор EOS BRAVO v.200, произведенный в России (рис. 1). При этом определили количество общего белка, альбуминов, глобулинов, креатинина, мочевины, билирубина, АСТ, АЛТ, ЛДГ, щелочной фосфатазы, глюкозы холестерина, фосфора и общего кальция.



Рис. 1. Автоматический биохимический анализатор EOS BRAVO v.200

Источник: выполнено Л.А. Гнездиловой Л.А., Ж.Ю. Мурадяном, Ю.С. Кругловой, С.М. Розинским.

Статистическая обработка полученных результатов. Обработка экспериментальных данных выполнена при помощи стандартных программ Microsoft Office Excel пакета «Анализ данных». Достоверность разницы показателей между группами животных приводили с использованием символа * — отношения показателей I, II и III групп к контрольной группе; при разных уровнях вероятности: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты биохимического исследования сыворотки крови пятимесячных телят опытной группы до и после применения бетулинсодержащей кормовой добавки приведены в табл. 1.

Анализируя полученные данные (табл. 1), можно сделать вывод о том, что в начале эксперимента биохимические показатели сыворотки крови пятимесячных телят, как в опытной, так и в контрольной группах не имели существенных различий. Спустя 14 дней применения бетулинсодержащей кормовой добавки у телят опытной группы отмечали повышение в пределах физиологической нормы количества общего билирубина и общего белка и снижение аланинаминотрансферазы (АЛТ), щелочной фосфатазы и лактатдегидрогеназы (ЛДГ). В начале опыта количество общего билирубина сыворотки крови находилось на довольно низком уровне и составило $1,84 \pm 0,12$ в опытной и $2,11 \pm 0,53$ моль/л в контрольной группе при норме от 0 до 27,4 мкмоль/л (рис. 2). Через 14 дней количество общего билирубина в опытной группе повысилось на 78 % ($p \leq 0,05$) и составило $3,28 \pm 0,53$ мкмоль/л. В группе контроля в конце опыта значения общего билирубина оставались без изменений и составили $2,43 \pm 0,65$ мкмоль/л. Сравнение конечного результата опытной и контрольной групп показали достоверное различие между группами ($p \leq 0,05$).

Таблица 1

Биохимические показатели сыворотки крови пятимесячных телят до и после при-менения добавки бетулина перорально в дозе 10 мг/кг веса внутрь с водой индиви-дуально 1 раз в день в течение 14 дней

n/n	Билирубин общий, ммоль/л	АСТ, ед/л	АЛТ, ед/л	Щелочная фосфатаза, ед/л	Мочевина, ммоль/л	Креатинин, ммоль/л	Общий белок, г/л	Альбумин, г/л	Глюкоза ммоль/л	ЛДГ, ед/л	Холесте- рин, ммоль/л	Фосфор, ммоль/л	Кальций общий, ммоль/л
	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После
	Телята в возрасте 5 месяцев, n = 10. Опытная группа. До и спустя 14 дней после перорального введения бетулинсодержащей кормовой добавки												
1	1,8/2,9	77/89,2	29,2/28,9	103/100	2,84/2,64	82/90	61,84/65,07	34,1/32,3	4,41/4,11	1229/1211	3,22/2,49	2,57/2,64	2,27/2,17
2	1,8/3,87	78,2/91,7	32,4/30,9	229/147	2,2/1,99	92/90	59,1/61,45	37,1/35,6	4,48/4,41	1345/1215	2,9/2,66	2,68/2,71	2,08/2,14
3	1,8/4,12	74,9/80,5	30,1/28,1	136/105	2,86/2,62	85/87	64,65/65,23	37,9/34,6	4,59/4,51	1129/1107	1,89/1,6	2,83/2,59	2,21/2,24
4	1,8/2,91	99,7/85	26,5/27,5	153/127	2,66/2,05	85/99	68,27/69,10	39,6/35,9	3,97/3,54	1190/1024	3,1/1,69	2,8/3,01	2,36/2,01
5	2,4/3,85	96,2/97,6	30,9/27,6	129/112	2,23/2,46	85/93	58,73/62,59	35,4/34,8	3,94/3,88	1642/1398	3,06/2,75	2,5/2,45	2,17/2,2
6	1,8/2,8	69,3/79,3	29,9/29,6	147/130	3,86/3,79	99/115	68,45/66,25	41,7/39,3	5,04/4,43	1195/946	2,55/1,91	2,58/2,63	2,3/2,29
7	1,8/3,4	94,5/82,2	32,2/30,2	186/162	3,26/3,65	83/85	62,15/66,12	37,2/37,5	4,62/4,61	1324/1229	3,15/2,98	2,56/2,61	2,19/2,20
8	1,8/2,81	86,3/81,5	28,6/27,1	148/132	4,36/3,61	87/86	63,51/66,44	38,4/38,1	4,25/4,34	1548/1369	2,08/2,88	2,75/2,81	2,18/2,21
9	2,2/3,48	78,3/81,2	32,3/29,1	126/120	2,74/2,27	95/90	60,22/63,43	36,3/34,5	4,59/4,52	1285/1147	2,96/2,77	2,63/2,51	2,16/2,15
10	1,8/2,68	75,6/71,1	30,5/27,3	133/115	3,26/3,12	88/90	59,23/64,12	39,5/36,7	3,88/3,76	1328/1112	3,12/2,92	2,66/2,62	2,11/2,16
M ± m	1,84±0,12*/ 3,28±0,53 (p ≤ 0,05)	83,0±10,4/ 83,93±7,3 (p ≤ 0,01)	30,26 ± 1,8*/ 28,63±1,3 (p ≤ 0,01)	149,0±35,3/ 125,0 ± 19,0	3,02±0,68/ 2,82 ± 0,67	88,1 ± 5,5/ 92,5 ± 8,8	62,6 ± 3,59**/ 65,3 ± 1,81 (p ≤ 0,01)	37,72±2,2/ 35,93 ± 2,04	4,37 ± 0,3/ 4,21 ± 0,3	1321,5±161*/ 1175,8 ± 140 (p ≤ 0,01)	2,80±0,47/ 2,46 ± 0,52	2,65 ± 0,10/ 2,65 ± 0,15	2,20 ± 0,08/ 2,17 ± 0,07
Телята в возрасте 5 месяцев, n = 10. Контрольная группа													
1	1,8/1,8	76,8/91,5	27,3/28,4	146/144	3,15/3,25	88/86	64,17/63,02	37,2/35,2	3,28/3,52	1268/1287	3,26/3,52	2,54/2,56	2,12/2,15
2	1,8/2,22	95,6/98,3	32,4/32,4	135/138	2,43/2,65	96/103	59,66/59,12	36,4/34,3	4,52/4,68	1359/1299	3,44/3,21	2,66/2,69	2,11/2,18
3	1,8/2,45	72,5/81,6	28,2/30,2	137/142	2,76/3,48	89/88	62,55/63,31	36,8/37,8	4,84/5,02	1452/1652	3,69/3,14	2,78/2,82	2,26/2,17
4	1,8/1,8	77,2/88	30,6/30,4	138/136	2,64/2,66	86/85	67,82/69,13	40,2/40,1	4,12/4,16	1122/1325	2,64/1,95	2,73/2,71	2,23/2,27
5	1,8/3,2	82,3/98	29,5/32,5	143/139	3,32/3,23	94/88	62,47/62,85	34,1/34,8	4,15/4,28	1297/1356	3,54/3,96	2,81/2,86	2,31/2,25
6	2,4/2,1	84,4/96,6	27,2/28,6	125/128	2,79/3,15	102/100	64,35/69,87	37,6/37,8	4,21/4,11	1589/1687	2,68/3,33	2,54/2,58	2,18/2,22
7	2,92/3,1	89,7/96	30,3/30,1	135/130	4,12/3,95	93/90	66,12/67,16	38,2/37,6	3,99/4,06	1127/1269	2,22/2,45	2,32/2,62	2,26/2,28
8	3,2/3,65	86,2/90,4	32,8/32,9	152/149	2,99/2,82	88/87	69,48/64,23	39,6/37,5	4,56/4,55	1134/1195	2,86/2,95	2,9/2,85	2,21/2,19
9	1,8/1,9	78,6/93,1	28,2/31,5	152/143	3,45/3,75	86/90	62,85/62,23	36,9/37,3	5,38/4,42	1245/1296	3,06/3,11	2,78/2,82	2,24/2,21
10	1,8/2,12	74/88,9	29,8/28,9	166/174	4,08/4,22	92/89	64,57/63,49	37,8/38,2	3,96/4,15	1158/1169	1,95/2,24	2,63/2,67	2,15/2,19
M ± m	2,11 ± 0,53/ 2,43 ± 0,65*/ Различия с опытной группой (p ≤ 0,05)	81,73 ± 7,3*/ 92,24 ± 5,2*/ Различия с опытной группой (p ≤ 0,05)	29,63 ± 1,9/ 30,59 ± 1,6*/ Различия с опытной группой (p ≤ 0,05)	142,9 ± 11,6/ 142,3 ± 12,8**/ Различия с опытной группой (p ≤ 0,01)	3,17 ± 0,57/ 3,31 ± 0,53	91,4 ± 5,06/ 90,6 ± 6,0	64,04 ± 2,83/ 64,44 ± 3,31	37,48 ± 1,7/ 37,06 ± 1,77	4,30 ± 0,5/ 4,29 ± 0,4	1275,1 ± 155/ 1353,5 ± 175**/ Различия с опытной группой (p ≤ 0,01)	2,93 ± 0,57/ 2,98 ± 0,61	2,66 ± 0,16/ 2,71 ± 0,11	2,20 ± 0,06/ 2,21 ± 0,04
Рефе- ренсные значения	0...27,4	60...125	5...40	18...153	2...8	44...194	67...75	25...38	2,2...5,6	308,6...938,1	1,6...5,0	1,8...2,6	2,0...2,8

Примечание. * — различия достоверны при p ≤ 0,05; ** — различия достоверны при p ≤ 0,01.

Источник: составлено Ю.С. Кругловой, Ж.Ю. Мурадяном по результатам эксперимента.

В начале опыта показатели аспартатаминотрансферазы (АСТ) сыворотки крови телят находились в пределах физиологической нормы. К концу опыта значение АСТ у телят опытной группы оставалось без изменений. В то же время, у животных контрольной группы показатель повысился на 12,8 % ($p \leq 0,05$) с $81,73 \pm 7,3$ до $92,24 \pm 5,2$ ед/л. Сравнение конечного результата между опытной и контрольной группами показало, что в группе контроля значение АСТ было выше на 9,9 % ($p \leq 0,05$), чем у животных опытной группы ($92,24 \pm 5,2$ и $83,93 \pm 7,3$ ед/л соответственно) (рис. 3).



Рис. 2. Показатели билирубина сыворотки крови пятимесячных телят

Источник: диаграмму составил С.М. Розинский.



Рис. 3. Показатели АСТ сыворотки крови пятимесячных телят

Источник: диаграмму выполнил С.М. Розинский.

Показатели АЛТ сыворотки крови телят опытной и контрольной групп в начале опыта также находились в пределах физиологической нормы. При анализе изменений значения АЛТ у телят опытной группы отмечали снижение показателя на 5,4 % ($p \leq 0,01$) к концу опыта. У животных контрольной группы наблюдали незначительное повышение показателя с $29,63 \pm 1,9$ до $30,59 \pm 1,6$ ед/л. Конечный результат показал достоверные различия между опытной и контрольной группами ($p \leq 0,05$) (рис. 4).

Уровень щелочной фосфатазы (ЩФ) сыворотки крови в начале опыта у некоторых животных как опытной, так и контрольной групп превышал референсные значения (от 18 до 153 ед/л). Среднее значение щелочной фосфатазы опытной группы в начале опыта составило $149,0 \pm 35,3$ ед/л, контрольной — $142,9 \pm 11,6$ ед/л. Через 14 дней после применения бетулинсодержащей кормовой добавки уровень щелочной фосфатазы у телят опытной группы снизился на 17 % — с $149,0 \pm 35,3$ до $125,0 \pm 19,0$ ед/л, тогда как у животных контрольной группы значение щелочной фосфатазы оставалось прежним (рис. 5).



Рис. 4. Показатели АЛТ сыворотки крови пятимесячных телят

Источник: диаграмму составил С.М. Розинский.



Рис. 5. Показатели ЩФ сыворотки крови пятимесячных телят

Источник: диаграмму составил С.М. Розинский.

При анализе уровня щелочной фосфатазы сыворотки крови в конце опыта отмечено, что у животных опытной группы этот показатель составил $125,0 \pm 19,0$ ед/л, что на 12 % ниже ($p \leq 0,01$), чем в контроле ($142,3 \pm 12,8$ ед/л).

Значения общего белка сыворотки крови пятимесячных телят в начале опыта находились ниже референсных значений и при норме от 67 до 75 г/л составили $62,6 \pm 3,59$ и $64,04 \pm 2,83$ г/л соответственно.

К 14-му дню эксперимента у животных опытной группы количество общего белка повысилось на 4,3 % и составило $6,53 \pm 1,81$ г/л ($p \leq 0,01$). В контрольной группе показатель оставался практически без изменений и составил $64,44 \pm 3,31$ г/л по сравнению с $64,04 \pm 2,83$ г/л в начале опыта (рис. 6).

Существенные изменения отмечены при анализе количества ЛДГ сыворотки крови (рис. 7). В начале опыта у животных обеих групп значения ЛДГ превышали референсные значения на 40,86 % в опытной и на 35,92 % в контрольной группе и составили $1321,5 \pm 161$ Ед/л и $1275,1 \pm 155$ ед/л соответственно. Через 14 дней применения бетулиносодержащей кормовой добавки количество ЛДГ сыворотки крови у телят опытной группы снизилось на 11 % и составило $1175,8 \pm 140$ ед/л ($p \leq 0,01$). У животных контрольной группы к 14-му дню опыта уровень ЛДГ, напротив, повысился на 6 % и составил $1353,5 \pm 175$ ед/л по сравнению с $1275,1 \pm 155$ ед/л в начале опыта.

Анализ конечного результата уровня ЛДГ опытной и контрольной групп показал, что у телят опытной группы значение ЛДГ было на 13 % ниже, чем у животных группы контроля ($p \leq 0,01$).

Значения мочевины, креатинина, альбумина, глюкозы, холестерина, фосфора и общего кальция сыворотки крови не имели существенных различий как в начале, так и в конце опыта.

Результаты биохимического исследования сыворотки крови десятимесячных телят опытной группы до и после применения бетулинсодержащей кормовой добавки приведены в табл. 2.



Рис. 6. Показатели общего белка сыворотки крови пятимесячных телят

Источник: диаграмму составил С.М. Розинский.



Рис. 7. Показатели ЛДГ сыворотки крови пятимесячных телят

Источник: диаграмму составил С.М. Розинский.

Анализируя полученные данные табл. 2 можно сделать заключение, что изучаемые биохимические показатели сыворотки крови десятимесячных телят в начале эксперимента существенных различий между группами не имели. К концу эксперимента показатели опытной и контрольной групп достоверно различались между собой по значениям общего билирубина, АЛТ, общего белка и ЛДГ.

В начале опыта количество общего билирубина сыворотки крови у 10-месячных телят обеих групп, так же, как и у 5-месячных телят в подобном эксперименте, находилось на низком уровне и составило $1,8 \pm 0$ мкмоль/л в опытной и $1,87 \pm 0,14$ мкмоль/л в контрольной группе (норма от 0 до 27,4 мкмоль/л). Через 14 дней после применения бетулинсодержащей кормовой добавки у телят опытной группы этот показатель поднялся на 66 % ($p \leq 0,05$) — с $1,8 \pm 0$ до $3,0 \pm 0,62$ мкмоль/л, тогда как в контрольной группе изменения были незначительными (рис. 8). Сравнение конечного результата опытной и контрольной групп показали достоверное различие между группами ($p \leq 0,05$).

Показатели АСТ у телят опытной и контрольной групп к концу опыта незначительно понизились с $97,6 \pm 8,2$ до $94,3 \pm 12,6$ ед/л. В контрольной группе значение АСТ практически не менялось и составило $94,3 \pm 12,6$ ед/л в начале и $93,2 \pm 6,5$ ед/л в конце опыта (рис. 9).

Таблица 2

Биохимические показатели сыворотки крови десятимесячных телят до и после применения бетулинсодержащей кормовой добавки перорально в дозе 10 мг/кг веса внутрь с водой индивидуально 1 раз в день в течение 14 дней

№	Билирубин общий мкмоль/л	АСТ ед/л	АЛТ ед/л	Щелочная фосфатаза ед/л	Мочевина ммоль/л	Креатинин мкмоль/л	Общий белок г/л	Альбумин г/л	Глюкоза ммоль/л	ЛДГ ед/л	Холестерин ммоль/л	Фосфор ммоль/л	Кальций общий ммоль/л
	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После	До/После
Телята в возрасте 10 месяцев, n = 10. Опытная группа. До и спустя 14 дней после перорального введения бетулинсодержащей кормовой добавки													
1	1,8/2,63	111,9/84,7	25,2/21,9	119/120	3,22/3,47	92/94	70,47/70,01	35,4/33,5	3,71/3,86	1207/1015	2,13/1,84	2,24/2,47	2,35/2,31
2	1,8/3,41	94,8/96,9	30,4/25,7	114/96	4,6/2,25	109/110	64,89/69,18	30,8/29,1	3,93/4,01	1304/1019	2,5/1,94	2,34/2,45	2,22/2,27
3	1,8/4,26	88,5/127,1	30,6/24,2	101/101	3,01/2,62	91/87	73,98/76,14	35,9/32,5	3,64/3,47	1304/915	1,44/1,33	2,29/2,19	2,11/2,08
4	1,8/3,54	96,5/88,4	28,2/26,2	108/104	3,15/3,02	96/95	72,12/76,45	34,2/32,8	3,66/3,52	1112/856	2,4/2,56	2,21/2,35	2,15/2,12
5	1,8/2,86	89,7/86,2	25,1/23,7	102/96	2,32/3,45	89/92	68,22/71,23	33,5/31,4	3,85/3,75	1256/960	2,6/2,4	2,24/2,25	2,26/2,24
6	1,8/2,26	106,2/98,4	29,6/24,3	103/100	4,2/3,74	102/100	65,68/69,45	30,5/29,5	3,74/3,86	1302/1023	1,88/1,7	2,23/2,38	2,29/2,12
7	1,8/3,13	88,2/84,1	27,5/22,3	99/95	2,78/2,95	94/96	70,23/74,54	33,9/32,4	3,52/3,56	1250/850	2,25/2,45	2,31/2,33	2,22/2,23
8	1,8/2,18	95,7/92,6	24,2/22,4	100/88	3,45/3,26	88/92	72,12/75,46	35,2/31,6	3,75/3,77	1307/1115	2,6/2,5	2,28/2,26	2,26/2,25
9	1,8/2,84	106,8/88,3	30,1/29,5	103/102	3,65/3,26	93/95	67,45/72,55	35,4/32,9	3,62/3,65	1228/845	1,89/2,07	2,23/2,24	2,31/2,36
10	1,8/2,92	98,3/96,5	24,6/24,1	101/100	3,56/3,12	87/83	63,57/66,54	32,5/31,1	3,95/3,96	1209/964	2,5/2,47	2,24/2,25	2,3/2,26
M ± m	1,8 ± 0,1/ 3,0 ± 0,62 (p ≤ 0,05)	97,6 ± 8,2/ 94,3 ± 12,6	27,55 ± 2,5**/ 24,43 ± 2,2 (p ≤ 0,01)	105,0 ± 6,63/ 100,2 ± 8,31	3,39 ± 0,66/ 3,11 ± 0,43	94,1 ± 6,8/ 94,4 ± 7,2	68,8 ± 3,4**/ 72,1 ± 3,4 (p ≤ 0,01)	33,73 ± 1,9**/ 31,68 ± 1,4 (p ≤ 0,01)	3,73 ± 0,1/ 3,74 ± 0,1	1247,9 ± 62*/ 956,2 ± 89 (p ≤ 0,05)	2,21 ± 0,38/ 2,12 ± 0,41	2,26 ± 0,04/ 2,31 ± 0,09	2,24 ± 0,07/ 2,22 ± 0,09
Телята в возрасте 10 месяцев, n = 10. Контрольная группа													
1	1,8/1,9	97,4/96,3	24,8/24,3	102/100	3,17/3,25	93/92	64,18/64,26	32,8/32,7	3,61/3,64	1263/1254	2,14/2,05	2,28/2,36	2,31/2,33
2	1,8/1,8	95,2/95,1	28,7/25,9	107/108	3,54/3,62	100/95	65,24/63,15	30,5/30,8	3,63/3,72	1237/1354	2,5/2,31	2,33/2,35	2,26/2,28
3	1,8/2,12	87,3/86,5	29,6/31,2	112/114	2,88/2,95	88/85	75,55/64,52	33,5/31,4	3,73/3,68	1425/1387	1,95/1,87	2,26/2,25	2,31/2,28
4	1,8/1,8	96,5/93,2	28,5/28,4	96/98	3,47/3,12	96/100	78,22/78,24	36,5/34,5	3,58/3,64	1154/1231	2,36/2,4	2,32/2,33	2,16/2,14
5	1,8/1,8	89,4/95,3	24,6/23,4	99/99	3,62/4,15	98/101	68,56/64,51	33,7/32,4	3,67/3,52	1287/1267	2,12/1,95	2,34/2,41	2,24/2,18
6	1,9/2,3	103,5/100,1	30,3/29,8	100/99	4,5/4,1	103/104	63,57/62,45	30,5/32,4	3,75/3,82	1132/1214	1,55/1,7	2,29/2,27	2,12/2,06
7	2,1/1,9	86,2/85,1	27,6/27,4	108/104	2,48/2,54	95/92	65,86/64,87	32,6/34,1	3,83/3,94	1269/1257	2,16/1,95	2,27/2,31	2,36/2,35
8	1,8/2,15	96,8/96,3	28,3/27,6	116/115	3,54/3,24	94/96	70,32/71,45	32,2/32,1	3,87/3,85	1312/1295	2,5/2,2	2,26/2,25	2,3/2,25
9	1,8/1,8	83,9/82,4	31,3/31,2	111/105	2,87/2,88	91/88	72,54/73,45	35,2/33,6	3,68/3,66	1128/1116	1,64/1,52	2,34/2,48	2,24/2,22
10	2,2/2,6	106,3/102,4	25,2/24,6	110/112	3,12/3,26	106/108	72,65/70,25	35,4/35,2	3,91/3,95	985/962	2,23/2,33	2,31/2,42	2,26/2,23
M ± m	1,87 ± 0,14/ 2,01 ± 0,27* Различия с опыт- ной группой (p ≤ 0,05)	94,3 ± 12,6/ 93,2 ± 6,5	27,89 ± 2,8/ 27,55 ± 2,5** Различия с опыт- ной группой (p ≤ 0,01)	106,1 ± 6,5 105,4 ± 6,5	3,31 ± 0,55/ 3,31 ± 0,51	96,4 ± 5,4/ 96,1 ± 7,2	69,6 ± 5,0/ 67,7 ± 5,3** Различия с опыт- ной группой (p ≤ 0,01)	33,29 ± 2,0/ 32,92 ± 1,4	3,72 ± 0,1/ 3,74 ± 0,1	1233,7 ± 121* Различия с опыт- ной группой (p ≤ 0,05)	2,11 ± 0,32/ 2,02 ± 0,28	2,3 ± 0,03/ 2,34 ± 0,07	2,25 ± 0,07/ 2,23 ± 0,08
Рефе- ренсные значения	0...27,4	60...125	5...40	18...153	2...8	44...194	67...75	25...38	2,2...5,6	308,6...938,1	1,6...5,0	1,8...2,6	2,0...2,8

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

Источник: составлено Ю.С. Кругловой, Ж.Ю. Мурадяном по результатам эксперимента.

Значение АЛТ у телят опытной группы к концу эксперимента понизилось на 12 % с $27,55 \pm 2,5$ до $24,43 \pm 2,2$ ед/л ($p \leq 0,01$), оставаясь в пределах физиологической нормы. У телят контрольной группы показатель оставался без изменений (рис. 10).



Рис. 8. Показатели билирубина сыворотки крови десятимесячных телят

Источник: диаграмму составил С.М. Розинский.

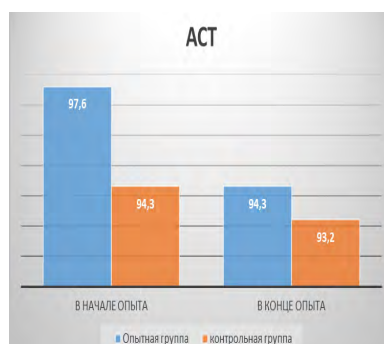


Рис. 9. Показатели АСТ сыворотки крови десяти-месячных телят

Источник: диаграмму составил С.М. Розинский.

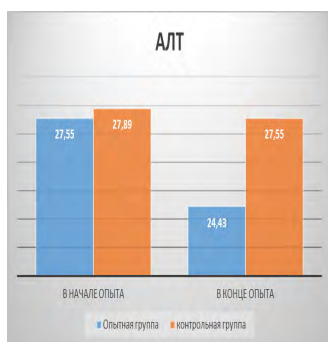


Рис. 10. Показатели АЛТ сыворотки крови десятимесячных телят

Источник: диаграмму составил С.М. Розинский.



Рис. 11. Показатели общего белка сыворотки крови десятимесячных телят

Источник: диаграмму составил С.М. Розинский.

Спустя 14 дней после перорального применения бетулинсодержащей кормовой добавки у телят опытной группы отмечали снижение ЩФ на 4,6 % и мочевины на 8,3 %. Различия были недостоверны и находились в пределах физиологических значений. У телят контрольной группы показатели оставались прежними (рис. 13).

При анализе содержания общего белка сыворотки крови отмечали его достоверное повышение к концу эксперимента у телят опытной группы на 4,8 % — с $68,8 \pm 3,4$ до $72,1 \pm 3,4$ г/л ($p \leq 0,01$). У телят контрольной группы уровень общего белка, наоборот, несколько снизился. Сравнение конечного результата опытной и контрольной групп показали достоверное различие между группами ($p \leq 0,01$) (рис. 11).

Кроме того, у телят опытной группы наблюдали снижение в пределах физиологической нормы количества альбумина к концу эксперимента на 6 % — с $33,73 \pm 1,9$ до $31,68 \pm 1,4$ г/л ($p \leq 0,01$). У телят контрольной группы показатель оставался прежним.

В начале эксперимента у телят как опытной, так и контрольной группы отмечали очень высокий уровень ЛДГ: $1247,9 \pm 62$ ед/л у телят опытной и $1219,2 \pm 122$ ед/л у телят контрольной группы, при референсных значениях от 308,6 до 938,1 ед/л. К 14-му дню после перорального применения бетулинсодержащей кормовой добавки значение ЛДГ у телят опытной группы заметно снизилось, почти приблизилось к верхней физиологической норме и составило $956,2 \pm 89$ ед/л ($p \leq 0,05$). В контрольной группе показатель оставался прежним и составил $1233,7 \pm 121$ ед/л. Сравнение конечного результата опытной и контрольной групп показали достоверное различие между группами ($p \leq 0,05$) (рис. 12).



Рис. 12. Показатели ЛДГ сыворотки крови десятимесячных телят

Источник: диаграмму составил
С.М. Розинский.



Рис. 13. Показатели ЩФ сыворотки крови десятимесячных телят

Источник: диаграмму составил
С.М. Розинский.

Не было установлено каких-либо изменений при анализе содержания креатинина, глюкозы, холестерина, фосфора и общего кальция сыворотки крови.

Анализ полученных результатов показал, что применение бетулинсодержащей кормовой добавки оказывает заметное влияние на организм опытных животных. Так, было отмечено, что бетулинсодержащая кормовая добавка нормализует уровень билирубина в сыворотке крови. По данным Н.А. Куликовой [12], количество билирубина в крови менее 2,5 мкмоль/л является критически низким. В нашем опыте до начала применения бетулинсодержащей кормовой добавки у 100 % телят опытных групп и 80 % животных контрольной группы телят 5-месячного возраста и у 100 % телят контрольной группы 10-месячного возраста уровень билирубина

был менее 2,5 мкмоль/л. Значения билирубина на нижней границе нормы могут свидетельствовать о гипоксии тканей.

После перорального применения бетулинсодержащей кормовой добавки уровень билирубина в сыворотке крови животных опытных групп поднялся выше критических значений у телят 5-месячного возраста с $1,84 \pm 0,12$ до $3,28 \pm 0,53$ мкмоль/л ($p \leq 0,05$), а у телят 10-месячного возраста с $1,8 \pm 0$ до $3,0 \pm 0,62$ мкмоль/л ($p \leq 0,05$).

При анализе биохимических показателей сыворотки крови большое значение имеют показатели АСТ и АЛТ. Локализованы эти ферменты в цитозоле клеток многих органов, но наибольшее их количество находится в клетках печени и миокарда. При повреждении клеток активность ферментов в крови увеличивается. У 5-месячных телят в начале опыта значения АСТ в сыворотке крови в обеих группах были практически идентичны, находились в пределах физиологической нормы и составляли $83,0 \pm 10,4$ и $81,73 \pm 7,3$ соответственно ($p \leq 0,05$). К концу опыта количество АСТ у телят опытной группы оставалось на прежнем уровне, тогда как у телят контрольной группы оно повысилось на 12,8 %. По данным Э.И. Ашенбреннер и др. [14] у животных с жировой дистрофией печени наблюдается значительное увеличение ферментативной активности АСТ.

Значения аланинаминотрансферазы в опытной группе 5-месячных телят показали незначительное, но достоверное снижение этого показателя к концу опыта ($p \leq 0,01$). В опытной группе 10-месячных телят мы наблюдали снижение АЛТ на 12 % по сравнению с началом опыта ($p \leq 0,01$), тогда как в контрольной группе изменений не отмечалось. Таким образом, можно сказать, что бетулинсодержащая кормовая добавка оказывает противовоспалительный, кардио- и гепатопротекторный эффект.

О положительном влиянии бетулинсодержащей кормовой добавки на функцию печени и желчного пузыря свидетельствуют и изменения содержания ЩФ сыворотки крови. Щелочная фосфатаза — фермент, содержащийся во многих тканях животного организма, в особенности в растущих костях, паренхиме печени и стенках желчных протоков. Повышение активности ЩФ возможно при холестазах, обструктивных заболеваниях печени, токсическом гепатите, отравлении гепатотоксинами [16].

Заключение

Установлено, что в начале эксперимента количество ЩФ сыворотки крови 5-месячных телят было выше референсных значений у 30 % животных, а у 70 % находилось на верхней границе нормы, то к концу эксперимента у телят опытной группы уровень ЩФ понизился с $149,0 \pm 35,3$ до $125,0 \pm 19,0$. В то же время в контрольной группе каких-либо изменений значения ЩФ не отмечалось. Похожие, но менее выраженные изменения мы наблюдали и в группах 10-месячных телят. Такой эффект можно объяснить выраженным желчегонным и гепатопротекторным свойствами бетулина.

О противовоспалительном и гепатопротекторном эффекте бетулиносодержащей кормовой добавки свидетельствуют и результаты изучения уровня ЛДГ в сыворотке крови телят. Лактатдегидрогеназа, как и аланинаминотрансфераза, является цитоплазматическим ферментом сыворотки крови. Уровень ЛДГ у животных с патологией печени выше, чем у клинически здоровых.

О наличии проблем свидетельствовало то, что уровень ЛДГ в начале опыта превышал верхнюю норму во всех опытных группах. После применения бетулинсодержащей кормовой добавки значение ЛДГ в сыворотке крови телят опытных групп значительно снизилось и приблизилось к норме ($p \leq 0,01$ у 5-месячных и $p \leq 0,05$ у 10-месячных телят). В то же время у телят контрольных групп этот показатель стал еще выше.

При анализе уровня общего белка наблюдали сниженный его уровень в начале опыта у 5-месячных телят и на нижней границе физиологической нормы у 10-месячных телят. Повышение показателя у телят опытных группы к концу эксперимента ($p \leq 0,01$) свидетельствует о том, что бетулинсодержащая кормовая добавка способствует компенсаторному усилению синтеза белков глобулиновой фракции.

Таким образом, можно утверждать, что бетулинсодержащая кормовая добавка повышает глобулиновую фракцию белка, а также оказывает гепатопротекторное, желчегонное и противовоспалительное действие.

Список литературы

1. 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. Vol. 100. № 3. P. 1856—1869. doi: 10.3168/jds.2016-11612 EDN: YZOGXH
2. Kemboi D.C., Antonissen G., Ochieng P.E., Croubels S., Okoth S., Kangethe E.K., Faas J., Lindahl J.F., Gathumbi J.K. A review of the impact of mycotoxins on dairy cattle health: Challenges for food safety and dairy production in sub-Saharan Africa // *Toxins*. 2020. Vol. 12. № 4. P. 222. doi: 10.3390/toxins12040222 EDN: AEFJYC
3. Попова С.А., Скопцова Т.И., Лосякова Е.В. Микотоксины в кормах: причины, последствия, профилактика // *Известия Великолукской ГСХА*. 2017. № 1. С. 16—23. EDN: YMSAQJ
4. Мурадян Ж.Ю., Рогов Р.В., Круглова Ю.С. Влияние пробиотического препарата «Муцинол-Экстра» на гематологические показатели крови молодняка крупного рогатого скота // *Аграрная наука*. 2021. № 5. С. 11—13. doi: 10.32634/0869-8155-2021-349-5-11-13 EDN: KDSGQN
5. Косолапова В.Г., Халифа М.М., Ишмуратов Х.Г. Влияние микотоксинов на здоровье и продуктивность молочного скота // *Кормопроизводство*. 2021. № 9. С. 38—46. doi: 10.25685/krm.2021.9.2021.004 EDN: IZOAEE
6. Makau C.M., Matofari J.W., Muliro P.S., Bebe B.O. Aflatoxin B 1 and Deoxynivalenol contamination of dairy feeds and presence of Aflatoxin M 1 contamination in milk from smallholder dairy systems in Nakuru, Kenya // *International journal of food contamination*. 2016. No. 3. P. 1—10. doi: 10.1186/s40550-016-0033-7 EDN: FHCPJG
7. Zhang F., Liu L., Ni S., Deng J., Liu G.-J., Middleton R., Inglis D.W., Wang S., Liu G. Turn-on Fluorescence Aptasensor on Magnetic Nanobeads for Aflatoxin M1 Detection Based on an Exonuclease III-Assisted Signal Amplification Strategy // *Nanomaterials*. 2019. Vol. 9. № 1. P. 104. doi: 10.3390/nano9010104 EDN: EUQUPP
8. 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. С. 70—80. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202304007 EDN: TWSRQA
9. 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. Vol. 12. № 3. P. 333. doi: 10.3390/ani12030333 EDN: PPRHGM

10. Valgaeren B., Théron L., Croubels S., Devreese M., De Baere S., Van Pamel E., Daeseleire E., De Boevre M., De Saeger S., Vidal A., Di Mavungu J.D., Fruhmann P., Adam G., Callebaut A., Bayrou C., Frisée V., Rao A.S., Knapp E., Sartelet A., Pardon B., Deprez P., Antonissen G. The role of roughage provision on the absorption and disposition of the mycotoxin deoxynivalenol and its acetylated derivatives in calves: From field observations to toxicokinetics // *Archives of toxicology*. 2019. Vol. 93. P. 293—310. doi: 10.1007/s00204-018-2368-8 EDN: TDBZUT
11. Солдатенко Н.А., Дробин Ю.Д., Бокун Е.А., Алиев А.Ю. Наличие микотоксинов в органах молодняка животных и птиц при скормливание кормов, загрязненных микотоксинами // *Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*. 2020. № 4(36). С. 439—442. doi: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202004005 EDN: MTOOQK
12. Куликова Н.А. Исследование содержания билирубина в крови крупного рогатого скота // *Международный студенческий научный вестник*. 2017. № 4 (часть 5). С. 616—618. EDN: ZEGMKH
13. Гнездилова Л.А., Федотов С.В., Мурадян Ж.Ю., Розинский С.М. Влияние микотоксинов на качественные показатели молока у коров в условиях крупного животноводческого комплекса // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2024. Т. 19. № 1. С. 30—38. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-30-38 EDN: AJZQTM
14. Ашенбрэннер А.И., Беляева Н.Ю., Чекунова Ю.А., Хаперский Ю.А. Биохимические маркеры дисфункции гепатобилиарной системы у новотельных коров // *Вестник Красноярский ГАУ*. 2023. № 10 (199). С. 202—207. doi: 10.36718/1819-4036-2023-10-202-207 EDN: VHGQNA
15. Гнездилова Л.А., Федотов С.В., Мурадян Ж.Ю., Розинский С.М. Влияние микотоксинов на гемостаз коров в условиях интенсивного животноводства // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 4 (205). С. 78—87. doi: 10.36718/1819-4036-2024-4-78-87 EDN: QUDFOC
16. Соболева Ю.Г. Возрастные и физиологические особенности активности щелочной фосфатазы в сыворотке крови крупного рогатого скота // *Молодежь и наука в XXI веке : сборник статей молодых ученых*. Витебск, 2008. С. 74—78. EDN: BRYXNV
17. Xiong J.L., Wang Y.M., Nennich T.D., Li Y., Liu J.X. Transfer of dietary aflatoxin B1 to milk aflatoxin M1 and effect of inclusion of adsorbent in the diet of dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98. № 4. P. 2545—2554. doi: 10.3168/jds.2013-7842

Об авторах:

Гнездилова Лариса Александровна — доктор ветеринарных наук, профессор, заведующая кафедрой диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: lag22004@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1007-3441 SPIN-код: 2376-1425

Мурадян Жора Юрикович — кандидат биологических наук, доцент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: zh_muradyan@mail.ru

ORCID: 0000-0003-2516-7627 SPIN-код: 4892-9182

Круглова Юлия Сабировна — кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: y7272@mail.ru

ORCID: 0000-0003-2953-0745 SPIN-код: 7902-6183

Розинский Серафим Михайлович — ассистент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: ser.roz1@yandex.ru

ORCID: 0009-0001-1937-6919 SPIN-код: 8705-3851



DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-1-27-37

EDN ННСПСТ

УДК 636.2:636.084.5:636.087

Научная статья / Research article

Бацелл-МТ в рационе сухостойных коров

В.И. Котарев¹ , Т.А. Ерина², А.А. Сырьев³ ¹Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, г. Воронеж, Российская Федерация²ООО «Кормовые технологии», г. Воронеж, Российская Федерация³Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, г. Белгород, Российская Федерация
 a.syrev@yandex.ru

Аннотация. Изучена эффективность применения кормовой добавки Бацелл-МТ (микробная масса живых бактерий *Bacillus subtilis* 945 (B-5225) в количестве не менее — 1×10^8 КОЕ/г, микробная масса живых бактерий *Bacillus amylolique faciens* КЛС (B-14047) в количестве не менее — 1×10^8 КОЕ/г) в рационе сухостойных коров при подготовке их к отелу, а также для повышения продуктивности и улучшения состояния приплода. Исследования проведены на коровах голштинской породы красно-пестрой масти. Коровы подобраны по принципу пар-аналогов и разделены на три группы по 20 голов в каждой. Условия содержания, кормления и поения животных опытных и контрольной групп были одинаковы, разница была только в том, что опытные группы получали кормовую добавку Бацелл-МТ, контрольная группа получала обычный рацион. Установлено, что применение Бацелл-МТ способствует сохранности поголовья, нормализации биохимических показателей крови, повышению качества получаемого молока и приплода. Дана рекомендация по использованию в рационах сухостойного периода пробиотических добавок для профилактики метаболических нарушений и обеспечения здоровья как коров, так и их потомства.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, молоко, пробиотические добавки, продуктивность коров

Вклад авторов: Котарев В.И. — научное руководство, подготовка программы исследования; Ерина Т.А. — описание и интерпретация полученных результатов; Сырьев А.А. — выполнение экспериментальной части. Все авторы ознакомлены с окончательным вариантом статьи и одобрили его.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Кормовая добавка для проведения исследования была предоставлена компанией ООО «БИОТЕХАГРО» в хозяйство на безвозмездной основе.

История статьи: поступила в редакцию 16 декабря 2024 г., принята к публикации январю 10 января 2025 г.

© Котарев В.И., Сырьев А.А., Ерина Т.А., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Для цитирования: Котарев В.И., Сырьев А.А., Ерина Т.А. Бацелл-МТ в рационе сухостойных коров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 1. С.27—37. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-27-37 EDN: ННСПСТ

Bacell-MT in the diet of dry cows

Vyacheslav I. Kotarev¹ , Tatyana A. Erina², Aleksey A. Syryev³ 

¹All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Voronezh, Russian Federation

²Feed Technologies LLC, Voronezh, Russian Federation

³Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin, Belgorod, Russian Federation
 a.syrev@yandex.ru

Abstract. The efficiency of using the feed additive Bacell-MT (the microbial mass of live bacteria *Bacillus subtilis* 945 (B-5225) in an amount of not less than 1×10^8 CFU/g, the microbial mass of live bacteria *Bacillus amylolique faciens* KLS (B-14047) in an amount of not less than 1×10^8 CFU/g) in the diet of dry cows during their preparation for calving, as well as to increase productivity and improve the condition of the offspring. The studies were conducted on Holstein cows of red-and-white color. The cows were selected on the principle of pairs of analogues and divided into three groups of 20 heads each. The conditions of keeping, feeding and water supply of animals of the experimental and control groups were the same, the only difference was that the experimental groups received the feed additive Bacell-MT, the control group received a basic diet. It was found that the use of Bacell-MT contributes to the safety of livestock, normalization of biochemical parameters of blood, improvement of the quality of milk and offspring. A recommendation is given for the use of probiotic supplements in dry period diets to prevent metabolic disorders and ensure the health of both cows and their offspring.

Keywords: cattle, milk, probiotic supplements, cow productivity

Authors' contribution: Kotarev V.I. — scientific supervision, research administration; Erina T.A. — description and interpretation of the obtained results; Syryev A.A. — implementation of the experimental part. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The feed supplement for the study was provided to the farm by "Biotekhhagro" LLC free of charge.

Article history: received 16 December 2024, accepted 10 January 2025.

For citation: Kotarev VI, Syryev AA, Erina TA. Bacell-MT in the diet of dry cows. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1):27—37. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-27-37 EDN: ННСПСТ

Введение

Сухостойный период — критически важный этап для подготовки животных к отелу и получению от них здорового молодняка. Неправильное ведение данного периода часто становится причиной серьезных экономических потерь, включая снижение продуктивности, ухудшение показателей качества молока и повыше-

ние заболеваемости коров, а также преждевременное выбытие их из стада [1, 2]. Метаболические нарушения, возникающие из-за дисбаланса микробиома рубца, особенно распространены в этот период и являются существенной проблемой [3].

Перспективным направлением для профилактики данных нарушений, поддержания молочной продуктивности и профилактики нарушения метаболизма у жвачных животных представляется применение пробиотических добавок, способных модулировать состав микрофлоры рубца [4, 5].

Цель исследования — изучение влияния кормовой добавки «Бацелл-МТ» на сухостойных коров с целью профилактики метаболических нарушений, повышения сохранности поголовья, улучшения продуктивности и качества молока, а также повышения жизнеспособности приплода.

Материалы и методы исследования

Экспериментальная работа проведена в период с 12.09.24 по 12.12.24 в Воронежской области на площадке ООО «АГРОТЕХ-ГАРАНТ» Нащедино в группе сухостойных коров голштинской породы красно-пестрой масти за 60 дней до отела. Все животные, участвующие в опыте, были клинически здоровы, имели средний возраст 36 месяцев, среднюю живую массу 600 кг.

Всего в испытании участвовало 60 животных. Коровы подобраны по принципу пар-аналогов и разделены на три группы по 20 голов в каждой. Условия содержания, кормления и поения животных опытных и контрольной групп были одинаковы.

Способ содержания животных — групповой беспривязный, на глубокой соломенной подстилке. За 10...15 дней до отела животных переводили в предродовую секцию, а при появлении предвестников родов в родовую секцию, где проходит отел. Отел у всех коров проходил самостоятельно без осложнений.

Рацион сухостойных коров состоял из сена разнотравного, силоса кукурузного, концентрированных кормов (размола пшеницы, ячменя и кукурузы, шрота подсолнечного). По группам фронт кормления — 70 см/гол; фронт поения — 10 см/гол.

В рацион опытных животных в течение 60 дней ежедневно от момента перевода в группу сухостоя и до отела вводили кормовую добавку Бацелл-МТ.

Кормовая добавка Бацелл-МТ представляет собой сыпучий порошок от светло-коричневого до темно-серого цвета со специфическим запахом. Не содержит генно-модифицированных организмов. Содержание вредных примесей не превышает предельно допустимых норм; в 1 г содержится: действующие вещества — микробная масса живых бактерий *Bacillus subtilis* 945 (B-5225) в количестве не менее — 1×10^8 КОЕ/г, микробная масса живых бактерий *Bacillus amylolique faciens* КЛС (B-14047) в количестве не менее — 1×10^8 КОЕ/г, вспомогательные вещества — подсолнечный шрот — 74,0...84,0 %, мел кормовой — 10,0...20,0 %, влажность не более 15,0 % [6, 7]. Разработчик кормовой добавки ООО «БИОТЕХАГРО» Краснодарский край, р-н Тимашевский, г. Тимашевск, ул. Промышленная, зд. 6Ж.

Согласно схеме эксперимента (табл. 1) коровы 1-й опытной группы в дополнение к основному рациону получали кормовую добавку Бацелл-МТ с нормой ввода

60 г на голову в день. Коровы 2-й опытной группы в дополнении к основному рациону получали кормовую добавку Бацелл-МТ с нормой ввода 100 г на голову в день. Контрольная группа получала только основной рацион.

После отела за коровами и полученными от них телятами вели клинические наблюдения. У коров в течение 30 дней лактации отмечали сохранность, основные патологии, причину выбраковки, продуктивность и основные качественные показатели молока.

Таблица 1

Схема опыта

Группа	Количество животных в группе, голов	Длительность опыта, дней	Характеристика кормления
Контрольная	20	90	Основной рацион (ОР)
Опытная 1	20	90, в т.ч.:	ОР + КД «Бацелл-МТ» 60 г/голову
		60 (до отела)	
		30 (клинические наблюдения)	Основной рацион (ОР)
Опытная 2	20	90, в т.ч.:	ОР + КД «Бацелл-МТ» 100 г/голову
		60 (до отела)	
		30 (клинические наблюдения)	Основной рацион (ОР)

Источник: выполнено В.И. Котаревым, Т.А. Ериной, А.А. Сырьевым.

Table 1

Experimental design

Group	Number of animals in a group, capita	Duration of the experiment, days	Feeding characteristics
Control	20	90	Basic diet (BD)
Experimental 1	20	90, including:	BD + Feed additive (FA) "Bacell-MT" 60 g/capita
		60 (before calving)	
		30 (clinical observations)	Basic diet (BD)
Experimental 2	20	90, including:	BD + FA "Bacell-MT" 100 g/capita
		60 (before calving)	
		30 (clinical observations)	Basic diet (BD)

Source: completed by V.I. Kotarev, T.A. Erina, A.A. Syryev.

Новорожденных телят в соответствии с действующим регламентом предприятия размещали в индивидуальных клетках для выращивания до 2-месячного возраста. Первую порцию молозива выпаивали в первые 2 часа жизни. В течение 3 дней им выпаивали молозиво/молоко матери, а затем молоко, подвергнутое сквашиванию муравьиной кислотой. С 4-дневного возраста телята имели свободный доступ

к воде и кормушкам со стартерным комбикормом, с 12-го дня получали сено злаковое разнотравное.

Результаты исследования и обсуждение

Индивидуальным взвешиванием установлено, что телята, рожденные от коров контрольной группы, имели живую массу тела в интервале 32,0...35,0 кг, в течение первого часа жизни у них наблюдалось легкое угнетение, самостоятельно животные поднимались через $1,1 \pm 0,4$ ч, проявление сосательного рефлекса было отмечено через $0,8 \pm 0,1$ ч, выделение мекония — через $9,2 \pm 1,2$ ч [8, 9].

Телята, полученные от коров опытных групп, рождались с живой массой тела — 33,0...37,0 кг, были активны, поднимались и устойчиво стояли через $0,5 \pm 0,1$ ч. Проявление сосательного рефлекса отмечалось через $0,5 \pm 0,1$ ч, меконий выделялся через $9,0 \pm 0,5$ ч, т.е. все послеродовые показатели были несколько лучше в сравнении с телятами контрольной группы.

Результаты производственного испытания (табл. 2–4) считали достоверными при уровне вероятности $p \leq 0,05$.

Таблица 2

Сохранность животных после использования кормовой добавки Бацелл-МТ в производственных условиях

Показатели	Группа		
	Контрольная	Опытная 1	Опытная 2
Количество при постановке, голов	20	20	20
Количество в конце опыта, голов	17	20	20
Выбраковка, голов в течении 30 дней после отела по причине:	3	1	–
кетоз	1	1	–
болезни печени (гепатоз, цирроз, жировая дистрофия печени)	1	–	–
смещение сычуга	1	–	–
Выбраковка, %	15	5	–
Сохранность, %	85	95	100

Источник: выполнено В.И. Котаревым, Т.А. Ериной, А.А. Сырьевым.

Table 2

Animal survival after using the feed additive Bacell-MT in production conditions

Indicators	Group		
	Control	Experimental 1	Experimental 2
Number during the experiment, capita	20	20	20
Number at the end of the experiment, capita	17	20	20

Окончание табл. 2

Indicators	Group		
	Control	Experimental 1	Experimental 2
Culling, capita within 30 days after calving due to:	3	1	–
ketosis	1	1	–
liver diseases (hepatosis, cirrhosis, fatty liver disease)	1	–	–
abomasum displacement	1	–	–
Culling, %	15	5	–
Survivability, %	85	95	100

Source: completed by V.I. Kotarev, T.A. Erina, A.A. Syryev.

Приведенные данные (см. табл. 2) отражают результаты анализа сохранности поголовья коров в течение 30 дней после отела и демонстрируют влияние кормовой добавки Бацелл-МТ на уровень заболеваемости и выбытия животных. Анализ причин выбраковки позволил оценить эффективность добавки в профилактике послеродовых заболеваний. Опытная группа 2 показала абсолютную сохранность (100 %), что может свидетельствовать о дозозависимом действии [10]. Телята от коров, получавших Бацелл-МТ, демонстрировали более высокую активность и жизнеспособность, что может быть связано с улучшением качества молозива [11].

В контрольной группе из 20 коров, участвовавших в начале исследования, к концу 30-дневного периода после отела осталось 17 голов. 3 коровы выбыли из-за следующих патологий:

- кетоз — 1 животное. Кетоз является метаболическим нарушением, связанным с недостатком энергии и может быть вызван нарушением обмена веществ в период после отела;

- заболевания печени (гепатоз, цирроз, жировая дистрофия печени) — 1 животное. Эти заболевания свидетельствуют о проблемах с функцией печени, которые могут быть вызваны нарушениями кормления, интоксикацией или метаболическими стрессами;

- смещение сычуга — 1 животное. Смещение сычуга — это патология, при которой сычуг (один из отделов желудка жвачных животных) смещается, что может быть вызвано резкими изменениями в кормлении или механическими факторами.

Общий уровень выбраковки в контрольной группе составил 15 %, что говорит о значительной подверженности коров послеродовым заболеваниям.

Опытная группа 1: из 20 коров 1 животное выбраковано из-за кетоза. Выбраковка в этой группе составила 5 %, что указывает на снижение заболеваемости по сравнению с контрольной группой.

Опытная группа 2: все 20 коров оставались здоровыми и не выбывали из группы. Выбраковка в этой группе составила 0 %, что свидетельствует о высокой эффективности кормовой добавки в предотвращении послеродовых заболеваний.

Кормовая добавка Бацелл-МТ оказывает значительное влияние на сохранность коров в послеродовой период, снижая заболеваемость и уровень выбраковки. Кон-

трольная группа показала самый высокий уровень заболеваемости, что указывает на необходимость применения профилактических мер для снижения риска послеродовых патологий. Опытная группа 2 продемонстрировала наилучшие результаты, что свидетельствует о превосходстве высокой дозировки добавки Бацелл-МТ в профилактике послеродовых заболеваний.

Применение добавки Бацелл-МТ способствует снижению риска таких заболеваний, как кетоз, болезни печени и смещение сычуга, что подтверждает ее положительное влияние на метаболическое состояние коров.

Анализ причин выбраковки подчеркивает важность мониторинга состояния здоровья коров в послеродовой период и необходимость проведения профилактических мероприятий для предотвращения заболеваний.

Этот результат согласуется с данными других исследований, которые также подчеркивают роль пробиотиков в поддержании здоровья и снижении заболеваемости коров [12, 13]. Результаты анализа показывают, что добавка Бацелл-МТ является эффективным средством для профилактики послеродовых заболеваний у коров. Особенно это касается высокой дозировки (100 г), которая обеспечила полное отсутствие выбытия животных по причине болезни. Это указывает на важность применения пробиотических препаратов для повышения резистентности животных и снижения экономических потерь в молочном животноводстве, связанных с заболеваемостью и выбытием поголовья.

Таблица 3

Основные показатели продуктивности на 30 день лактации

Показатели	Группа		
	Контрольная	Опытная 1	Опытная 2
Среднесуточный удой на 30 день лактации, кг/день	25,2 ± 1,2	27,5 ± 0,4	28,6 ± 0,5
Жир, %	3,82 ± 0,1	4,11 ± 0,1	4,20 ± 0,1
Белок, %	3,32 ± 0,1	3,61 ± 0,1	3,83 ± 0,1
Содержание соматических клеток, тыс./см³	400 ± 0,2	240 ± 0,1	200 ± 0,3

Источник: выполнено В.И. Котаревым, Т.А. Ериной, А.А. Сырьевым.

Table 3

Key performance indicators on day 30 of lactation

Indicators	Group		
	Control	Experimental 1	Experimental 2
Average daily milk yield on day 30 of lactation, kg/day	25.2 ± 1.2	27.5 ± 0.4	28.6 ± 0.5
Fat, %	3.82 ± 0.1	4.11 ± 0.1	4.20 ± 0.1
Protein, %	3.32 ± 0.1	3.61 ± 0.1	3.83 ± 0.1
Somatic cell count, thousand/cm³	400 ± 0.2	240 ± 0.1	200 ± 0.3

Source: completed by V.I. Kotarev, T.A. Erina, A.A. Syryev.

Применение Бацелл-МТ способствует улучшению количественных и качественных показателей продуктивности коров (см. табл. 3). На 30-й день лактации коровы опытных групп имели достоверное превосходство по продуктивным показателям коров контрольной группы, что соответствует результатам, полученным в исследованиях по влиянию пробиотиков на молочную продуктивность [14].

Следовательно, добавка Бацелл-МТ способствует повышению молочной продуктивности и улучшению качественных показателей молока, при этом более высокая дозировка в опытной группе 2 показала лучшие результаты, чем в опытной группе 1.

На 30-й день лактации опытных и контрольных животных осуществляли забор крови для определения биохимических показателей целевых групп животных (табл. 4).

Таблица 4

Биохимические показатели крови дойных коров на 30 день лактации

Показатель	Группа			Норма
	Контрольная	Опытная 1	Опытная 2	
АЛТ, ед/л	45,00 ± 1,17	27,00 ± 0,47	24,00 ± 0,71	5...40
АСТ, ед/л	53,30 ± 6,20	35,50 ± 1,40	30,70 ± 2,40	10...50
ЩФ, ед/л	115,00 ± 0,17	107,00 ± 0,14	104,00 ± 0,13	42...200
Холестерин, ммоль/л	3,15 ± 0,04	2,75 ± 0,03	1,90 ± 0,05	1,3...4,4
Глюкоза, ммоль/л	2,72 ± 0,32	2,50 ± 0,14	2,50 ± 0,35	2,2...3,3
Альбумин, г/л	40,40 ± 1,51	31,11 ± 1,40	30,15 ± 1,1	27,5...39,4
Общий белок, г/л	90,03 ± 1,41	81,17 ± 2,10	82,12 ± 1,17	72...86
Кальций, ммоль/л	2,20 ± 0,04	2,60 ± 0,04	2,70 ± 0,02	2,5...3,1
Фосфор, ммоль/л	1,15 ± 0,20	1,15 ± 0,11	1,15 ± 0,12	1,14...1,29
Креатинин, мкмоль/л	87,00 ± 1,18	80,00 ± 2,40	80,00 ± 3,14	39,8...120,0
Мочевина, ммоль/л	2,91 ± 0,27	4,82 ± 0,25	4,72 ± 0,21	3,3...6,7
Триглицериды, ммоль/л	0,44 ± 0,03	0,31 ± 0,01	0,31 ± 0,01	0,22...0,60

Источник: выполнено В.И. Котаревым, Т.А. Ериной, А.А. Сырьевым.

Table 4

Biochemical parameters of blood of dairy cows on the 30th day of lactation

Indicator	Group			Normal reference
	Control	Experimental 1	Experimental 2	
ALT, U/L	45.00 ± 1.17	27.00 ± 0.47	24.00 ± 0.71	5...40
AST, U/L	53.30 ± 6.20	35.50 ± 1.40	30.70 ± 2.40	10...50
ALP, U/L	115.00 ± 0.17	107.00 ± 0.14	104.00 ± 0.13	42...200
Cholesterol, mmol/L	3.15 ± 0.04	2.75 ± 0.03	1.90 ± 0.05	1.3...4.4
Glucose, mmol/L	2.72 ± 0.32	2.50 ± 0.14	2.50 ± 0.35	2.2...3.3
Albumin, g/L	40.40 ± 1.51	31.11 ± 1.40	30.15 ± 1.1	27.5...39.4

End of tabl. 4

Indicator	Group			Normal reference
	Control	Experimental 1	Experimental 2	
Total protein, g/L	90.03 ± 1.41	81.17 ± 2.10	82.12 ± 1.17	72...86
Calcium, mmol/L	2.20 ± 0.04	2.60 ± 0.04	2.70 ± 0.02	2.5...3.1
Phosphorus, mmol/L	1,15 ± 0.20	1.15 ± 0.11	1.15 ± 0.12	1.14...1.29
Creatinine, μmol/L	87.00 ± 1.18	80.00 ± 2.40	80.00 ± 3.14	39.8...120.0
Urea, mmol/L	2,91 ± 0.27	4.82 ± 0.25	4.72 ± 0.21	3.3...6.7
Triglycerides, mmol/L	0.44 ± 0.03	0.31 ± 0.01	0.31 ± 0.01	0.22...0.60

Source: completed by V.I. Kotarev, T.A. Erina, A.A. Syryev.

Анализ полученных биохимических показателей крови (см. табл. 4) показал, что у коров контрольной группы имелись отклонения, а в опытных группах показатели были в пределах нормы, что является важным свидетельством метаболического улучшения и, вероятно, связано с позитивным влиянием пробиотика на пищеварительную систему.

Из показателей, характеризующих белковосинтезирующую функцию печени, у коров контрольной группы повышена активность аспартаминотрансферазы в сравнении с опытными группами 1 и 2. На возросшую функциональную нагрузку печени животных контрольной группы указывают повышенные показатели активности глутамилтрансферазы. В опытных группах 1 и 2 эти показатели либо в нормальном интервале, либо близки к норме.

Концентрация альбуминов в контрольной группе составила $40,40 \pm 1,51$ г/л при оптимальных значениях 27,5...39,4 г/л, что выше показателей в опытной группе 1 на 30 % и показателей опытной группы 2 на 34 %.

Содержание общего белка в контрольной группе повышено и составило $90,03 \pm 1,41$ соответственно, что превышает максимальные значения оптимальных величин 72...86. Показатель опытных групп 1 и 2 соответствуют оптимальным значениям.

Повышенный уровень белка в контрольной группе может быть обусловлен избыточным поступлением протеина, а также нарушением функционального состояния печени и возможным дистрофическим ее поражением, в результате которого из лизированных гепацитов в кровяное русло поступают липопротеиды и выявляются вместе с белком (завышают уровень белка в крови).

Концентрация кальция в крови дойных коров контрольной группы составила $2,20 \pm 0,04$ мМ/л и находится на уровне минимального показателя оптимальных величин (2,5...3,1). В опытных группах 1 и 2 концентрация общего кальция выше на 18 и 23 %.

Содержание мочевины в контрольной группе $2,91 \pm 0,27$, что ниже оптимальных значений (3,3...6,7), это может быть следствием замедленного течения белкового метаболизма у коров или нарушением метаболической функции печени — утилизации аммиака как продукта белкового обмена. В обеих опытных группах концентрация мочевины, вполне, удовлетворительная.

Во всех 3 группах концентрации ЩФ, холестерина, фосфора, глюкозы, триглицеридов соответствуют оптимальным величинам.

Следовательно, Бацелл-МТ способствует нормализации метаболических процессов у коров, улучшая показатели работы печени, белкового обмена и минерального баланса. Наличие отклонений от нормы в контрольной группе может указывать на проблемы с питанием животных.

Полученные результаты испытаний и клинических наблюдений свидетельствуют о том, что применение кормовой добавки Бацелл-МТ в рационе сухостойных коров за 60 дней до отела:

1) повысило сохранность поголовья на 10,0...15,0 % в сравнении с контрольной группой;

2) оказало положительное влияние и на общее состояние телят, так в опытных группах новорожденные телята были более активны, быстрее поднимались на ноги и устойчиво стояли, сосательный рефлекс проявлялся быстрее, чем у телят в контрольной группе;

3) способствовало в последующие 30 дней после отела повышению среднесуточного удоя на 9,1 и 13,5 %, жира в молоке на 0,3 и 0,4 %, белка в молоке на 0,3 и 0,5 %, снижению содержания соматических клеток в молоке на 40 и 50 % в опытных группах 1 и 2 соответственно по сравнению с контрольной группой;

4) показатели биохимической картины крови контрольной и опытных групп животных на 30-й день лактации соответствовали нормативным значениям, что подтверждает безопасность применения кормовой добавки Бацелл-МТ.

Заключение

Применение кормовой добавки Бацелл-МТ в рационе сухостойных коров способствует сохранности поголовья, повышению удоев, улучшению качественных показателей молока, нормализации биохимических показателей крови, положительному влиянию на клиническое состояние новорожденных телят. Таким образом, Бацелл-МТ является многофункциональной кормовой добавкой и может рассматриваться как перспективное решение для оптимизации управления сухостойным периодом и повышения общей рентабельности молочного животноводства.

Список литературы / References

1. Van Saun RJ. Dry cow nutrition: the transition period. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 2006;22(2):301—330. doi: 10.1016/s0749-0720 (15) 30785-4
2. Grummer RR. Nutritional and management strategies during the transition period to improve the productivity of dairy cows. *Anim Prod.* 2008;2:624—633.
3. D'Angelo SL, Della Rocca G. The role of gut microbiota in dairy cattle health and productivity. *Animals.* 2023;13(4):655. doi: 10.1146/annurev-animal-021419-083952
4. Pinloche E, Le Blou S, Dunière L. Use of probiotics for dairy cows: emphasis on the dry period. *Anim Feed Sci Technol.* 2020;268:114614. doi: 10.14202/vetworld.2021.319-328
5. Mills SJ, Takahashi J, Klajn JL. The effects of probiotic supplementation on rumen fermentation and productivity of dairy cattle: a meta-analysis. *J Dairy Sci.* 2017;100(3):2240—2255.

6. Kotarev VI, Ivanov AA, Petrov SS. Influence of a probiotic supplement on metabolism of cows during the dry period. *Vet Med (Moscow)*. 2020;45(2):12–18. (In Russ.).

Котарев В.И., Иванов А.А., Петров С.С. Влияние пробиотической добавки на метаболизм коров в сухостойный период // Ветеринарная медицина. 2020. Т. 45. № 2. С. 12–18.

7. Rastani RR, Grummer RR. Nutritional strategies for improving metabolic health and milk production in transition dairy cows. *Appl Anim Sci*. 2018;34(6):780–789.

8. Nagaraja TG, Newbold KJ. Microbial ecology of the rumen. In: *Rumen Microbiology*. Cham: Springer; 2020. p. 1–33.

9. Goff JP. Monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. *Vet Clin North Am Food Anim Pract*. 2008;24(2):243–270. doi: 10.1016/j.tvjl.2007.12.020

10. Guan LL, Jenkins TC. Effect of supplemental microbial phytase on phosphorus utilization and milk production in lactating dairy cows. *J Dairy Sci*. 2000;83(11):2499–2506.

11. Swanson KS, Caldwell RB. Effects of a microbial culture and feed additives on nutrient digestibility and productivity in young dairy calves. *J Dairy Sci*. 2005;88(12):4414–4422.

12. Khafipour E, Plaizier JC, Derksen ES. Effects of addition of a live yeast culture on performance and rumen fermentation of periparturient dairy cows. *J Dairy Sci*. 2009;92(8):3928–3937.

13. Morgavi DP, Schwab CG. Probiotics in ruminant nutrition. *Anim Feed Sci Technol*. 2004;114(1-4):1–28.

14. Hristov AN, Jouany JP. Factors affecting ruminal methane production. *Anim Feed Sci Technol*. 2005;123:553–574.

Об авторах:

Котарев Вячеслав Иванович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 114Б; e-mail: kotarev60@ya.ru
ORCID: 0000-0003-4411-9372 SPIN-код: 6492-4315

Ерина Татьяна Анатольевна — ветеринарный врач-эпизоотолог, кандидат ветеринарных наук, директор, ООО «Кормовые технологии», Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Латненская, д. 15в; e-mail: k_tehnologii@mail.ru
SPIN-код: 3622-2121

Сырьев Алексей Александрович — аспирант, Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Вавилова, д. 1, поселок Майский; e-mail: a.syrev@yandex.ru

About authors:

Kotarev Vyacheslav Ivanovich — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, 114B Lomonosov st., Voronezh, Russian Federation; e-mail: kotarev60@ya.ru
ORCID: 0000-0003-4411-9372 SPIN-code: 6492-4315

Erina Tatyana Anatolyevna — Veterinarian-epizootologist, Candidate of Veterinary Sciences, Director, Feed Technologies LLC, Russian Federation, 15B Latnenskaya st., Voronezh, Russian Federation; e-mail: k_tehnologii@mail.ru
SPIN-code: 3622-2121

Syryev Aleksey Aleksandrovich — PhD student, Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin, Maiskiy, 1 Vavilov st., Belgorod, Russian Federation; e-mail: a.syrev@yandex.ru



DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-1-38-48

EDN HITFIS

УДК 619:615: 636.2

Научная статья / Research article

Лечение локального пододерматита у крупного рогатого скота в условиях интенсивных технологий молочного производства

И.В. Ненашев¹ , Е.М. Марьин²  ¹Самарский государственный аграрный университет, п.г.т. Усть-Кинельский, Российская Федерация²Ульяновский государственный аграрный университет, г. Ульяновск, Российская Федерация
 evgenimari@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования — изучение динамики планиметрических данных при лечении локального пододерматита в пяточной области копытцев у крупного рогатого скота. Результаты клинических исследований показали, что однократное применение мази Вет-Копин (действующее вещество тетрациклинового ряда) приводило к сокращению площади патологии, уменьшению болезненности, при пятикратном применении (в 1-, 3-, 7-, 14- и 21-й день) — клинические признаки воспаления исчезали, дно патологии восполнялось здоровой грануляционной тканью, с последующей эпителизацией и рубцеванием окружающей тканей на протяжении всего срока исследования. Установлено, что к 3-м суткам в контрольной и опытной группах площадь язвенной поверхности в области копытцев существенно уменьшилась по отношению к исходному результату и составила 74,21 и 58,95 %. Максимальный индекс скорости заживления (28,44 %) наблюдался в контрольной группе на 14-е сутки, а в опытной на 3-и сутки и равнялся 41,05 %. Площадь поврежденной поверхности в области копытцев за сутки по отношению к предыдущему результату максимально составлял в контрольной на 21-е и 28-е сутки соответственно 7,28 и 7,26 %, в опытной на 3-и и 28-е сутки 10,26 и 13,6 %. Выздоровление животных в контрольной группе в среднем составляло $30 \pm 1,390$, а в опытной — $23,9 \pm 0,809$ при $p < 0,01$. Применение мази Вет-Копин позволяет сократить сроки заживления в среднем на 6,1 дня по сравнению с контрольной группой и повысить эффективность лечения язвенных дефектов у ортопедически больных коров крупного рогатого скота.

Ключевые слова: КРС, ортопедическая расчистка, мазь, заживление, локальное повреждение

Вклад авторов: Ненашев И.В. изучал динамику планиметрических данных при лечении локального пододерматита в пяточной области копытцев у крупного рогатого скота; Марьин Е.В. проводил статистическую обработку результатов. Все авторы ознакомлены с окончательным вариантом статьи и одобрили его.

© Ненашев И.В., Марьин Е.М., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Мазь Вет-Копин является разработкой И.В. Ненашева, Е.М. Марьина, прошедшей клиническую апробацию в условиях молочных комплексов, доклинические исследования, результаты которых опубликованы в научных статьях.

История статьи: поступила в редакцию 18 ноября 2024 г., принята к публикации 19 декабря 2024 г.

Для цитирования: Ненашев И.В., Марьин Е.М. Лечение локального пододерматита у крупного рогатого скота в условиях интенсивных технологий молочного производства // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 1. С. 38—48. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-38-48 EDN HITFIS

Treatment of local pododermatitis in cattle in conditions of intensive technologies

Igor V. Nenashev¹ , Evgeny M. Maryin²  

¹Samara State Agrarian University, Samara region, Russian Federation

²Ulyanovsk State Agricultural University, Ulyanovsk, Russian Federation

 evgenimari@yandex.ru

Abstract. The aim of the research was to study dynamics of planimetric data in treatment of local pododermatitis in calcaneal region of hooves in cattle. The results of clinical studies showed that a single application of Vet-Kopin ointment (a.i. tetracycline) led to reduction in the area of pathology, decrease in soreness; after five times application (on 1st, 3rd, 7th, 14th and 21st days) — clinical signs of inflammation disappeared, bottom of pathology was replenished with healthy granulation tissue, followed by epithelialization and scarring of surrounding tissues throughout the study. It was found that by the 3rd day in the control and experimental groups, area of ulcerative surface in hooves significantly decreased in relation to the initial result and amounted to 74.21 and 58.95%, respectively. The maximum index of healing rate (28.44%) was observed in the control group on the 14th day, and in the experimental group — on the 3rd day and was 41.05%. The area of the damaged surface in the hoof area per day in relation to the previous result was maximum in the control group on the 21st and 28th days and amounted to 7.28 and 7.26%, respectively; in the experimental group on the 3rd and 28th days it was 10.26 and 13.6%, respectively. Recovery of animals in the control group averaged 30 ± 1.390 , and in the experimental group — 23.9 ± 0.809 at $p < 0.01$. Therefore, the use of Vet-Kopin ointment results in reducing the healing time by an average of 6.1 days compared with the control group and increases the effectiveness of treatment of ulcerative defects in orthopedically diseased cattle.

Keywords: cattle, orthopedic trimming, ointment, healing, local injury

Authors' contribution. Nenashev I.V. studied the dynamics of planimetric data in the treatment of local pododermatitis in heel area of hooves in cattle; Maryin E.V. performed statistical processing of the obtained results. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests. Vet-Kopin ointment was developed by Nenashev I.V. and Maryin E.M., it has undergone clinical testing in dairy complexes, preclinical studies, the results of which were published in scientific articles.

Article history: received 18 November 2024; accepted 19 December 2024.

For citation: Nenashev IV, Maryin EM. Treatment of local pododermatitis in cattle in conditions of intensive technologies. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1):38—48. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-38-48 EDN HITFIS

Введение

В условиях стремительного роста числа животноводческих ферм как в государственных, так и в частных организациях, наблюдается увеличение заболеваний инфекционной и неинфекционной этиологии [1, 2].

Болезни копыт у крупного рогатого скота являются одной из основных проблем после мастита и бесплодия [3, 4], эти заболевания приводят к снижению продуктивности и, следовательно, к экономическим потерям [5]. Болезни дистального отдела конечностей приводят к снижению надоев молока, отсутствием привеса, низкой плодовитостью и, зачастую, выбраковкой животных [6]. На тяжесть заболевания влияют факторы окружающей среды (температура, влажность) и технологические факторы риска для животных, что затрудняет искоренение этого многогранного заболевания и борьбу с ним [7, 8]. Распространенность болезней дистального отдела конечностей в молочных стадах колеблется от 55...75 % [9–11]. Профилактика, раннее выявление и своевременное лечение могут свести к минимальным потерям продуктов животноводства, ускорить выздоровление животных [12, 13].

При заболеваниях дистальных отделов конечностей нередко прибегают к парентеральному введению антибиотиков широкого спектра действия, что сказывается на качестве молока [14]. Поэтому необходимы новые способы и методические подходы к лечению патологий дистального отдела конечностей у дойных коров.

Цель исследования — изучение динамики планиметрических данных при лечении локального пододерматита в пяточной области копыт у крупного рогатого скота.

Материалы и методы исследования

Клинические исследования проводились на базе племенного хозяйства ГУП СО Купинское (переименованное в АО Купинское) в Безенчукского района Самарской области. Объектом изучения выступали дойные коровы голштинской породы, возраст которых колебался и составлял от трех до восьми лет, со средней массой от 550 до 600 кг. Животные на молочной ферме разделены на группы и находятся в отдельных секциях, места для отдыха застелены резиновыми ковриками. Для дойных коров составлен рацион, который соответствует нормам и физиологическому состоянию. Патологии дистального отдела конечностей выявляли при ортопедической расчистке, в течение 2023 г. всего 1601 животное. Для определения эффективности мазевых препаратов на процесс заживления локального пододерматита были сформировали две группы по десять животных, в контрольной применяли мазь Ungula Vita+), которая обладает антимикробным действием (изготовлена с применением продуктов сухой возгонки дерева и ягод облепихи), а опытной мазь Вет-Копин (действующее вещество тетрациклинового ряда) [15]. После ортопедической расчистки и установления патологии у подопытных первой и второй групп на здоровый палец подошвенной поверхности копыта после обезжиривания наклеивали ортопедическую

колодку (оставляли до полного излечения) (рис. 1) при помощи двухкомпонентного клея ТЕСННОНООФ. В дальнейшем выполняли туалет дистального отдела копытец, осторожно удаляли некротизированную ткань, стараясь не повредить здоровую, далее местно в качестве аппликаций наносили исследуемые мази, ровным слоем на пораженный участок, закрывали марлевой салфеткой, после выполняли перевязку ветеринарным самофиксирующим эластичным бинтом (рис. 1), смену повязки и перевязки повторяли через 3–4 суток первую неделю, а затем каждые семь дней до полного выздоровления. В процессе клинических исследований планиметрические измерения проводили на 1-, 3-, 7-, 14-, 21-, 28- и 31-е сутки, для этого применялась методика Л.Н. Поповой [16]. Она заключалась в следующем: на гнойно-некротические язвы в области копытец накладывали стерильную пластинку целлофана и на нее наносили контуры патологии (рис. 2), затем по этим контурам определяли площадь раны при помощи приложения ImageMeter.



Рис. 1. Наложение самофиксирующей перевязки и приклеенная ортопедическая колодка при локальном пододерматите, левая тазовая конечность, корова № 20216

Источник: сделано И.В. Ненашевым.

Fig. 1. Application of self-fixing bandage and a glued orthopedic block for local pododermatitis, left pelvic limb, cow no. 20216

Source: taken by I.V. Nenashev.

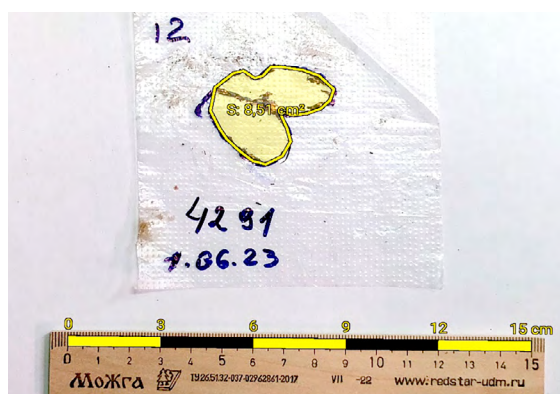


Рис. 2. Планиметрические размеры патологии, левая тазовая конечность, корова № 4291

Источник: сделано И.В. Ненашевым.

Fig. 2. Planimetric dimensions of pathology, left pelvic limb, cow No. 4291

Source: taken by I.V. Nenashev.

В дальнейшем вычисляли процент уменьшения площади гнойно-некротической поверхности в области копытца за сутки по отношению к предыдущему результату по формуле

$$\Delta S = (S - S_n) / (S_t) \times 100 \%,$$

где S — величина площади раны при предыдущем измерении; S_n — величина площади раны при данном измерении; t — число дней между измерениями. Индекс скорости заживления вычисляли по формуле

$$I_v = Y_t - Y_{t-1},$$

где Y_t обозначает процент уменьшения площади раны от ее начального размера на текущий период наблюдения; Y_{t-1} представляет процент уменьшения площади раны от исходного размера на предыдущем этапе изучения. Такой подход позволяет точно оценить динамику заживления, выявляя изменения в состоянии патологии на протяжении времени. Изучали динамику сокращения площади ран, это позволяло отследить поэтапные изменения в размерах поражений по сравнению с предыдущими периодами наблюдения по формуле

$$Y_t = 100 (S_o - S_t) / S_o,$$

где S_o — начальная площадь раны; S_t — ее площадь на день t .

Полученные в ходе исследований данные обрабатывали с использованием биометрических методик. Для определения достоверности различий в показателях td между группами животных применялся критерий Стьюдента, учитывающий число степеней свободы для малых выборок. Процесс обработки числовых данных осуществлялся с использованием программы MS Excel, что способствовало высокой надежности и точности анализа.

Результаты исследования и обсуждение

Ортопедическая обработка копыт у дойных коров проходила в течение 2023 г., за этот период расчищено и осмотрено 1601 животное, заболеваемость дистального отдела конечностей составила 18,42 % от общего количества. Установлено, что наиболее часто встречались такие патологии: язва пальцевого мякиша — 44,30 %, гнойный пододерматит — 22,8 %, специфическая язва — 19,87 %.

В результате клинического исследования установлено, что в контрольной группе до начала лечения средняя площадь локальных повреждений основы кожи в области копыт находилась на уровне $7,22 \pm 0,729 \text{ см}^2$, спустя 3 суток площадь язвенной поверхности в области копыт по отношению к исходному результату составила 74,21 %, в дальнейшем постепенно снижаясь, и к 31-м суткам — 2,83 %, индекс скорости заживления — 25,79 %, а площадь — $5,35 \pm 0,622 \text{ см}^2$. Заметная динамика снижения площади язв была отмечена на 14-е сутки после начала лечения — 69,99 % — и продолжалась вплоть до 31-х суток при $p < 0,001$ (рис. 3).

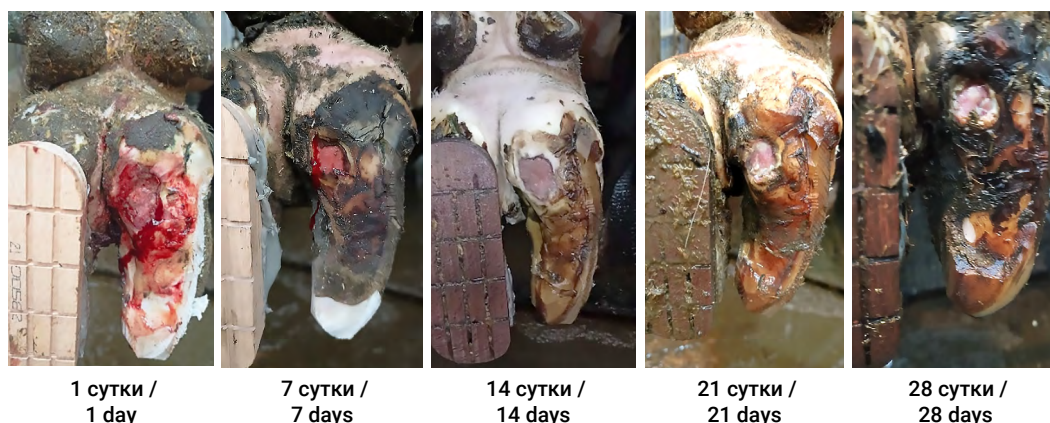


Рис. 3. Динамика заживления локального пододерматита у коровы № 3467, контрольной группы, правая тазовая конечность

Источник: сделано И.В. Ненашевым.

Fig. 3. Dynamics of healing of local pododermatitis in cow no. 3467, control group, right pelvic limb
Source: taken by I.V. Nenashev.

Индекс скорости заживления максимально наблюдался на 14-е сутки и составлял 28,44 %, а минимальные на 31-е сутки — 2,83 %. Индекс Поповой в контрольной группе плавно изменялся до 31 суток, максимальные значения были отмечены на 21-е и 28-е сутки 7,28 и 7,26 % соответственно, а минимальные на 7-е сутки — 5,30 % (табл.). Выздоровление животных в контрольной группе в среднем составляла $30,0 \pm 1,390$ дней.

Динамика площади локальных повреждений основы кожи копытка у ортопедически больных коров в процессе лечения ($\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$; $n = 10$)

Группы	Показатели	Сутки исследований						
		0	3	7	14	21	28	31
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контрольная	$S, \text{см}^2$	$7,22 \pm 0,729$	$5,35 \pm 0,622$	$4,22 \pm 0,538$ **	$2,16 \pm 0,291$ ***	$1,06 \pm 0,260$ ***	$0,52 \pm 0,139$ ***	$0,20 \pm 0,091$ ***
	$Y_t, \%$	–	25,79	41,55	69,99	85,30	92,77	97,16
	$I_v, \%$	–	25,79	15,75	28,44	15,30	7,47	4,39
	$\Delta S, \%$	–	6,44	5,30	6,95	7,28	7,26	15,18
% к исходной S		100	74,21	58,45	30,01	14,70	7,22	2,839
Опытная	$S, \text{см}^2$	$8,47 \pm 1,592$	$4,99 \pm 0,948$	$3,36 \pm 0,675$ **	$2,26 \pm 0,594$ **	$0,88 \pm 0,294$ ***	$0,04 \pm 0,028$ ***	–
	$Y_t, \%$	–	41,05	60,34	73,28	89,54	99,50	–
	$I_v, \%$	–	41,05	19,28	12,93	16,26	9,95	–
	$\Delta S, \%$	–	10,26	8,18	4,66	8,69	13,60	–
% к исходной S		100	58,95	39,65	26,71	10,45	0,49	–

Примечание. * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ относительно исходных данных до начала лечения.

Источник: составлено И.В. Ненашевым.

Dynamics of the area of local damage to the base of hoof skin in cows with orthopedic diseases during treatment ($\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$; $n = 10$)

Groups	Indicators	Days of research						
		0	3	7	14	21	28	31
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control	S, cm^2	7.22 ± 0.729	5.35 ± 0.622	4.22 ± 0.538 **	2.16 ± 0.291 ***	1.06 ± 0.260 ***	0.52 ± 0.139 ***	0.20 ± 0.091 ***
	$Y_t, \%$	–	25.79	41.55	69.99	85.30	92.77	97.16
	$I_v, \%$	–	25.79	15.75	28.44	15.30	7.47	4.39
	$\Delta S, \%$	–	6.44	5.30	6.95	7.28	7.26	15.18
% of the initial S		100	74.21	58.45	30.01	14.70	7.22	2.839
Experimental	S, cm^2	8.47 ± 1.592	4.99 ± 0.948	3.36 ± 0.675 **	2.26 ± 0.594 **	0.88 ± 0.294 ***	0.04 ± 0.028 ***	–
	$Y_t, \%$	–	41.05	60.34	73.28	89.54	99.50	–
	$I_v, \%$	–	41.05	19.28	12.93	16.26	9.95	–
	$\Delta S, \%$	–	10.26	8.18	4.66	8.69	13.60	–
% of the initial S		100	58.95	39.65	26.71	10.45	0.49	–

Note. * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$ relative to the initial data before the start of treatment.

Source: compiled by I.V. Nenashev.

В опытной группе средняя площадь язвенных дефектов в области копытцев была на уровне $8,47 \pm 1,592 \text{ см}^2$, в дальнейшие сроки было отмечено плавное снижение линейных размеров воспалительного процесса (см. табл., рис. 4). Так, динамика сокращения площади язв максимально было отмечено на 3-и, 7-е и 21-е сутки, при этом процент сокращения составлял 41,05 % при $p > 0,05$; 60,34 и 89,54 % соответственно при $p < 0,001$. Индекс скорости заживления максимально наблюдался на 3 и 7-е сутки и составлял 41,05 и 19,28 % соответственно. Индекс Поповой также имел разнонаправленную динамику, начиная с 3-х суток — 10,26 %, на 7-е сутки происходило снижение до 8,18 % с постепенным повышением к 28-м суткам до 13,60 % (см. табл.). Выздоровление животных в опытной группе составило $23,9 \pm 0,809$ суток при $p < 0,01$.

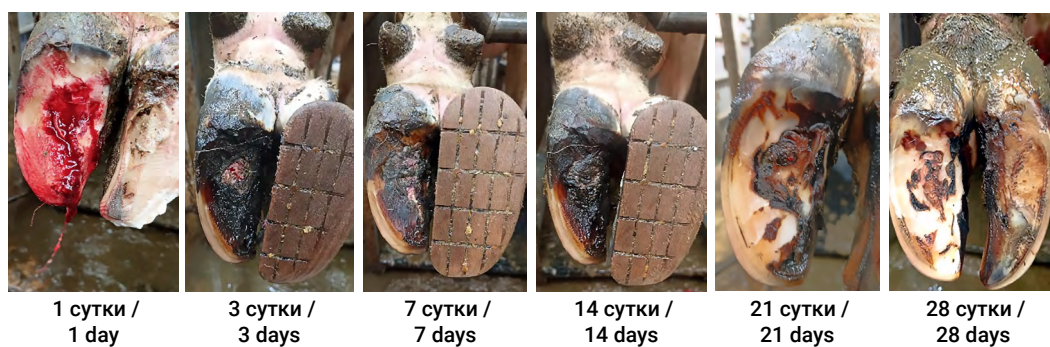


Рис. 4. Динамика заживления локального пододерматита опытной группы у коровы № 20437, левая тазовая конечность

Источник: сделано И.В. Ненашевым.

Fig. 4. Dynamics of healing of local pododermatitis in the experimental group in cow no. 20437, left pelvic limb

Source: taken by I.V. Nenashev.

Применение мази Вет-Копин позволяет сократить сроки заживления в среднем на 6,1 дня по сравнению с контрольной группой и повысить эффективность лечения язвенных дефектов у ортопедически больных коров крупного рогатого скота.

Полученные нами данные при лечении локального пододерматита соответствуют сообщению В.В. Байлова [17], автор отмечает, что при лечении у коров язв накладывают тампон, пропитанный буковым дегтем. На здоровое копытце при помощи смолы «Демотек 90» прикрепляли деревянный блок для снятия напряжения с пораженного пальца. Автором в ходе лечения специфической язвы подошвы установлено следующее: отмечалось уменьшение хромоты, болезненности, местной температуры, припухлости ткани, а также улучшение общего состояния. На 13-е сутки общее состояние было удовлетворительное, аппетит хороший, хромота отсутствовала. Большая часть язвенного дефекта была закрыта молодым рубцовым рогом. В центральной части отмечалась плотная грануляция с островками эпителизации. На 18-е сутки хромота не отмечалась, язвенный дефект был

полностью покрыт молодым рубцовым рогом. Полное клиническое выздоровление коров с язвой Рустергольца у опытной группы наступало на 23–25-й день [17].

Также сроки выздоровления ортопедически больных коров согласуются с результатами, которые получил В.А. Журба, применявший перевязочный материала (салфеток) с комплексным содержанием наночастиц, меди, серебра, цинка при лечении коров с язвами [18], на месте поражений наблюдались следующие клинические изменения: в 1-й день наблюдения отмечалась отечность тканей вокруг раны. Ткани в зоне отека горячие, болезненные с выделением экссудата наблюдались у всех животных. На 3-й день в опытной группе выделялся в незначительном количестве жидкий фибринозный экссудат. Ширина зоны травматического отека тканей по окружности раны составляла $46,9 \pm 2,33$ мм. На 5–7 день у животных произошла полная очистка язвенной поверхности от экссудата. Воспалительная припухлость и болезненность тканей в области раны значительно уменьшились. На 8–9-й день воспалительная припухлость и болезненность тканей в зоне раны были незначительны. Поверхность раны сухая, местная температура окружающих тканей не повышена. Выздоровление в среднем наступало на 19–21-й день.

Заключение

Установлено, что к 3 суткам в контрольной и опытной группах площадь язвенной поверхности в области копытцев существенно уменьшилась по отношению к исходному результату и составила 74,21 и 58,95 %. В контрольной группе индекс скорости заживления был максимальным на 14-е сутки 28,44 %, а в опытной — на 3-и сутки и равнялся 41,05 %. Площадь поврежденной поверхности в области копытцев за сутки по отношению к предыдущему результату максимально составлял в контрольной группе на 21- и 28-е сутки 7,28 и 7,26 %, в опытной — 3 и 28 сутки 10,26 и 13,6 % соответственно. Выздоровление животных в контрольной группе в среднем составляла $30 \pm 1,390$, а в опытной $23,9 \pm 0,809$ при $p < 0,01$. Таким образом, применение мази Вет-Копин позволяет сократить сроки заживления в среднем на 6,1 дня по сравнению с контрольной группой и повысить эффективность лечения язвенных дефектов у ортопедически больных коров крупного рогатого скота.

Список литературы

1. Смоловская О.В., Ульрих Е.В., Плешков В.А., Касьянов Р.О. Профилактика заболеваний конечностей крупного рогатого скота // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 1. С. 280—288. doi: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-280-288 EDN: IFITRQ
2. Решетка М.Б. Распространение мастита у коров и разработка средства профилактики мастита в период сухостоя // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 88. С. 826—840. EDN: WKUPMF
3. Симонов П.Г., Семенихина Н.М. Распространение гинекологических заболеваний у коров в Алтайском крае // Аграрная наука-сельскому хозяйству. 2016. С. 282—284. EDN: VYNYLV
4. Mellado M., Saavedra E., Gaytán L., Veliz F.G., Macías-Cruz U., Avendaño-Reyes L., García E. The effect of lameness-causing lesions on milk yield and fertility of primiparous Holstein cows in a hot environment // Livestock science. 2018. Vol. 217. P. 8—14. doi: 10.1016/j.livsci.2018.09.008

5. Badruzzaman A.T.M., Siddiqui M.S.I., Faruk M.O., Lucky N.S., Zinnah M.A., Hossain F.M.A., Rahman M.M. Prevalence of infectious and non-infectious diseases in cattle population in Chittagong district of Bangladesh // *International Journal of Biological Research*. 2015. Vol. 3. № 1. P. 1—4. doi: 10.14419/ijbr.v3i1.3760
6. Соколовская Н. Распространенность заболеваний конечностей в стадах молочного скота // *Știința zootehnică — factor important pentru o agricultură de tip european*. 29 septembrie — 1 octombrie 2015, Maximovca. Maximovca: Print-Caro SRL, 2016. P. 653—659.
7. Королев А.В. Использование CLEANHOOF для профилактики заболеваний копыт // *Эффективное животноводство*. 2020. № 9. С. 48—50. EDN: RUYLWP
8. Землянкин В.В., Ненашев И.В., Семиволос А.М. Профилактика патологий копытцев коров в условиях интенсивного производства молока // *Аграрный научный журнал*. 2022. № 5. С. 47—51. doi: 10.28983/asj.y2022i5pp47-51 EDN: KFRWEA
9. Банников В. Основные факторы успеха здоровья копыт // *Ветеринария Кубани*. 2010. № 1. С. 27—29. EDN: KZDIFX
10. Бегунов В.С., Бородулина В.И. Особенности профилактики заболеваний копытцев молочного скота на промышленных комплексах // *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2022. № 2. С. 50—54. EDN: ZMDEDZ
11. Сайтханов Э.О., Беседин Д.С. Ортопедическая диспансеризация коров и анализ эффективности ветеринарно-санитарных мероприятий по профилактике болезней копытцев // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2019. № 2 (42). С. 156—161. EDN: ZHVMPL
12. Шнякина Т.Н., Абдыраманова Т.Д., Щербаков Н.П. Лечение фузобактериоза крупного рогатого скота в условиях КФХ «Крель АН» Октябрьского района Челябинской области // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020. № 2 (184). С. 137—141. EDN: OSFCFU
13. Чучулин А.В., Семенов В.Г., Царевский И.В., Никитин Д.А., Петров Н.С. Ветеринарно-гигиенические приемы профилактики хромоты и терапии заболеваний копытцев коров // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. НЭ Баумана*. 2019. Т. 238. № 2. С. 229—237. doi: 10.31588/2413-4201-1883-238-2-229-237 EDN: SRPRZY
14. Руколь В.М., Кочетков А.В., Понаськов М.А. Качественные показатели молока при лечении коров с болезнями конечностей с применением препарата «Репидерма» // *Актуальные вопросы ветеринарной хирургии: Всемирная научно-практическая конференция, посвященная Дню Российской науки: сборник*. Омск, 2016. С. 143—151.
15. Ненашев И.В., Марьин Е.М., Шаронина Н.В. Токсикологическая оценка мази «ВЕТ-КОПИН» // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 6 (104). С. 272—277. EDN: LGXROE
16. Савченко Ю.П., Федосов С.Р. Методы определения размеров раневой поверхности // *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2007. Т. 166. № 1. С. 102—105. EDN: ISVFL
17. Байлов В.В., Спыну М.Д., Трудова Л.Н., Суховольский О.К. Лечение коров при язве Рустергольца с применением букового дегтя // *Medicină veterinară*. 2014. Т. 40. С. 271—272. doi: 10.2307/24243884
18. Журба В.А. Эффективность использования салфеток с наночастицами при лечении язв рустергольца у коров // *Ветеринарный фармакологический вестник*. 2019. № 1 (6). С. 73—78. doi: 10.17238/issn2541-8203.2019.1.73 EDN: ZATYBV

References

1. Smolovskaya OV, Ulrich EV, Pleshkov VA, Kasyanov RO. Prevention of limb diseases in cattle. *Bulletin of NSAU*. 2024;(1):280—288. (In Russ.). doi: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-280-288 EDN: IFITRQ
2. Reshetka MB. The spread of mastitis in cows and development of means of prophylaxis of mastitis in the period of deadwood. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2013;(88):826—840. (In Russ.). EDN: WKUPMF
3. Simonov PG, Semenikhina NM. The spread of gynecological diseases in cows in the Altai Territory. In: *Agrarian science for agriculture: conference proceedings*. Barnaul; 2016. p.282—284. (In Russ.). EDN: VYNYLV
4. Mellado M, Saavedra E, Gaytán L, Veliz FG, Macías-Cruz U, Avendaño-Reyes L, et al. The effect of lameness-causing diseases on milk yield and fertility of primiparous Holstein cows in a hot environment. *Livestock science*. 2018;217:8—14. doi: 10.1016/j.livsci.2018.09.008

5. Badruzzaman ATM, Siddiqui MSI, Faruk MO, Lucky NS, Zinnah MA, Hossain FMA, et al. Prevalence of infectious and non-infectious diseases in cattle population in Chittagong district of Bangladesh. *International Journal of Biological Research*. 2015;3(1):1–4. doi: 10.14419/ijbr.v3i1.3760
6. Sokolovskaya N. Prevalence of limb diseases in dairy cattle herds. In: *Știința zootehnică — factor important pentru o agricultură de tip european*. Moldova; 2016. p.653–659. (In Russ.).
7. Korolev AV. The use of CLEANHOOF for the prevention of hoof diseases. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2020;(9):48–50. (In Russ.). EDN: RUYLWP
8. Zemlyankin VV, Nenashev IV, Semivolos AM. Prevention of pathologies of the hooves of cows in conditions of intensive milk production. *Agrarian Scientific Journal*. 2022;(5):47–51. (In Russ.). doi: 10.28983/asj.y2022i5pp47-51 EDN: KFRWEA
9. Bannikov V. The main success factors of hoof health. *Veterinaria Kubani*. 2010;(1):27–29. (In Russ.). EDN: KZDIFX
10. Begunov VS, Borodulina VI. Features of the prevention of diseases of the hooves of dairy cattle in industrial complexes. *Zhivotnovodstvo i veterinarnaya meditsina*. 2022;(2):50–54. (In Russ.). EDN: ZMDEDZ
11. Saytkhanov EO, Besedin DS. Orthopedic medical examination of cows and analysis of efficiency of veterinary and sanitary actions for prevention of diseases of hooves. *Herald of Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev*. 2019;(2):156–161. (In Russ.). EDN: ZHVMPL
12. Shnyakina TN, Abdymanova TD, Shcherbakov NP. The treatment of fusobacteriosis in cattle on the farm of KFKH “Krel A.N.” of the Oktyabrsky district of the Chelyabinsk region. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2020;(2):137–141. (In Russ.). EDN: OSFCFU
13. Chuchulin AV, Semenov VG, Tsarevsky IV, Nikitin DA, Petrov NS. Veterinary and hygienic methods of prevention of lameness and therapy of diseases of hooves of cows. *Scientific notes Kazan Bauman state academy of veterinary medicine*. 2019;238(2):229–237. (In Russ.). doi: 10.31588/2413-4201-1883-238-2-229-237 EDN: SRPRZY
14. Rukol VM, Kochetkov AV, Ponaskov MA. Qualitative indicators of milk in the treatment of cows with limb diseases using the drug ‘Repiderma’. In: *Topical issues of veterinary surgery: conference proceedings*. Omsk; 2016. p.143–151. (In Russ.).
15. Nenashev IV, Maryin EM, Sharonina NV. Toxicological evaluation of the ointment “VET-KOPIN”. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2023;(6):272–277. (In Russ.). EDN: LGXROE
16. Savchenko YP, Fedosov SR. Methods of determination of sizes of the wound surface. *Grekov’s bulletin of surgery*. 2007;166(1):102–105. (In Russ.). EDN: ISVFL
17. Baylov VV, Spynu MD, Trudova LN, Sukhovolsky OK. Treatment of cows with Rustergoltz ulcer with the use of beech tar. In: *Scientific papers: conference proceedings*. 2014. p.271–272. (In Russ.). doi: 10.2307/24243884 EDN: XBLUXV
18. Zhurba VA. Efficiency in the use of napkins with nanoparticles in the treatment of Rusterholca in cows. *Bulletin of Veterinary Pharmacology*. 2019;(1):73–78. (In Russ.). doi: 10.17238/issn2541-8203.2019.1.73 EDN: ZATYBV

Об авторах:

Ненашев Игорь Владимирович — кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры анатомии, акушерства и хирургии, Самарский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 2; e-mail: Nenashev1974@inbox.ru

ORCID: 0000-0002-3340-885X SPIN-код: 2826-6650

Марьин Евгений Михайлович — доктор ветеринарных наук, доцент кафедры хирургии, акушерства, фармакологии и терапии, Ульяновский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 432017, г. Ульяновск, бульвар Венец, д. 1; e-mail: evgenimari@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-5909-2371 SPIN-код: 8933-5683

About authors:

Nenashev Igor Vladimirovich — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of Anatomy, Obstetrics and Surgery, Samara State Agrarian University, 2 Uchebnaya st., Ust-Kinelsky vill., Samara region, 446442, Russian Federation; e-mail: nenashev1974@inbox.ru

ORCID: 0000-0002-3340-885X SPIN-code: 2826-6650

Maryin Evgeny Mikhailovich — Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of Surgery, Obstetrics, Pharmacology and Therapy, Ulyanovsk State Agricultural University, 1 Venets Boulevard, Ulyanovsk, 432017, Russian Federation; e-mail: evgenimari@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-5909-2371 SPIN-code: 8933-5683



DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-1-49-60

EDN HJXIXB

УДК 636.57:636.087

Научная статья / Research article

Влияние мультиэнзимного комплекса на морфометрические и химические показатели тушек курочек кросса «Росс 308»

В.Д. Родионов¹  , Д.В. Никитченко¹ , Е.О. Рысцова¹ ,
Г.В. Сноз², И.Д. Боголюбов¹ 

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация²Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии —

МВА имени К.И. Скрябина, Москва, Российская Федерация

 servicedog@yandex.ru

Аннотация. На курочках кросса «Росс 308» до 42-суточного возраста, выращенных на рационах с повышенным содержанием клетчатки и включением в него мультиэнзимного комплекса протеазы и ксиланазы, изучали динамику роста живой массы, морфометрические показатели тушек и химический состав мышц. Экспериментальные исследования проводили в отделе кормления ФНЦ «ВНИТИП», виварии СГЦ «Загорское ЭПХ», а морфометрические и химические показатели определяли в департаменте ветеринарной медицины Российского университета дружбы народов. При достижении бройлерами возраста 28, 35 и 42 сут. осуществляли убой по 3 курочки из каждой возрастной группы. Исходным материалом служили суточные цыплята. По окончании срока выращивания определяли живую массу птицы, производили ее убой и изучали морфометрические показатели тушек, гистологическим исследованиям подвергали поверхностные грудные мышцы, а химическим — мышцы голени. Живая масса к 42 сут. курочек из контрольной группы достигла $2432 \pm 38,3$ г, опытных — $2556 \pm 28,5$ г, при $p \leq 0,05$ с разницей 124 г, или больше на 4,85 %, масса тушек — 1778 и 1870 г соответственно, с разницей на 4,20 % ($p \leq 0,05$). На 42-е сутки грудная часть тушки составляет 35,19...36,39 %, увеличение с возрастом — на 1,20 %, а относительная масса бедренной части уменьшилась на 0,68 %, голени — на 0,72 %. В грудных мышцах увеличилось: содержание белка — на 22,10 %, жира — на 1,89 %, влаги — на 6,15 %. Установлено у опытной группы цыплят увеличение диаметра мышечных волокон поверхностных грудных мышц к 42 сут. в 6,8 раз. Выявлены на различных стадиях нарушения структуры мышечной ткани поверхностных грудных мышц.

Ключевые слова: ферменты, цыплята-бройлеры, рост, масса, мышцы, ткани, волокна, морфологический состав, химический состав

© Родионов В.Д., Никитченко Д.В., Рысцова Е.О., Сноз Г.В., Боголюбов И.Д., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов: Никитченко Д.В. — концепция, анализ полученных данных и дизайн исследования; Родионов В.Д. — сбор, обработка материалов и написание текста; Рысцова Е.О. — обработка материала и написание текста; Сноз Г.В. — анализ данных; Боголюбов И.Д. — сбор и обработка материала. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила 18 сентября 2024 г., принята к публикации 5 ноября 2024 г.

Для цитирования: Родионов В.Д., Никитченко Д.В., Рысцова Е.О., Сноз Г.В., Боголюбов И.Д. Влияние мультимензимного комплекса на морфометрические и химические показатели тушек курочек кросса «Росс 308» // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 1. С. 49–60. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-49-60 EDN HJXIXB

Effect of a multi-enzyme complex on morphometric and chemical parameters of carcasses of Ross 308 cross chickens

Vadim D. Rodionov¹  , Dmitry V. Nikitchenko¹ ,
Ekaterina O. Rystsova¹ , Grigory V. Snoz², Ivan D. Bogolyubov¹ 

¹RUDN University of Russia, Moscow, Russian Federation

²Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after
K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation
 servicedog@yandex.ru

Abstract. The dynamics of live weight growth, morphometric indices of carcasses, and chemical composition of muscles were studied on Ross 308 cross chickens up to 42 days of age raised on diets with increased fiber content and inclusion of multi-enzyme complex of protease and xylanase. Experimental studies were carried out in the feeding department of FSC ARRTPI, and vivarium of GSC “Zagorskoe EBF”, and morphometric and chemical parameters were determined at the Department of Veterinary Medicine of the Peoples’ Friendship University of Russia. When broilers reached the age of 28, 35, and 42 days, 3 chickens from each age group were slaughtered. Day-old chicks served as starting material. At the end of the growing period, the live weight of birds was determined, slaughtered, and morphometric indices of carcasses were studied; superficial pectoral muscles were subjected to histological studies, and shin muscles were subjected to chemical studies. Live weight of chickens from the control group reached 2432 ± 38.3 g by 42 days of age, experimental chickens — 2556 ± 28.5 g, at $p \leq 0.05$ with a difference of 124 g, or more by 4.85%, carcass weight — 1778 and 1870 g respectively, with a difference of 4.20% ($p \leq 0.05$). On the 42nd day, the thoracic part of the carcass is 35.19...36.39%, increasing with age — by 1.20%, and the relative mass of the femoral part decreased by 0.68%, the tibia — by 0.72%. Pectoral muscles increased in: protein content — by 22.10%, fat — by 1.89%, and moisture — by 6.15%. The experimental group of chickens showed an increase in the diameter of muscle fibers of superficial pectoral muscles by 42 days in 6.8 times. The structure of the muscle tissue of the superficial pectoral muscles was found to be disturbed at various stages.

Keywords: enzymes, broiler chickens, growth, weight, muscles, tissues, fibers, morphological composition, chemical composition

Authors’ contributions: Nikitchenko D.V. — conception, analysis of the obtained data and research design; Rodionov V.D. — collection, processing of materials and text writing; Rystsova E.O. — material processing and text writing; Snoz G.V. — data analysis; Bogolyubov I.D. — material collection and processing. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Conflict of interest statement. The authors declare no conflict of interest.

Article history: received 18 September 2024; accepted 5 November 2024.

For Citation: Rodionov VD, Nikitchenko DV, Rystsova EO, Snoz GV, Bogolyubov ID. Influence of a multi-enzyme complex on morphometric and chemical parameters of carcasses of Ross 308 cross chickens. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1): 49—60. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-49-60 EDN HJXIXB

Введение

Выращивание бройлеров обеспечивает до 36 % потребностей населения страны в высококачественной мясной продукции и сопровождается относительно меньшими экономическими затратами, что делает товар востребованным среди представителей разных вероисповеданий и социально-экономических слоев. Форма реализации по анатомическим частям особенно актуальна в условиях современной тенденции к роботизации предприятий, так как упрощает автоматизацию процессов хранения, погрузки и разгрузки. Поэтому государство выделяет птицеводческим предприятиям экономическую поддержку [1].

В мясном птицеводстве широко используют кроссы: «Смена 9», «Кобб 500», «Росс 308», «Хаббард» и др. Эти кроссы обладают высоким генетическим потенциалом и высокой скоростью роста, увеличением доли мышц в тушках и снижением срока их выращивания [2–4]. Но при этом в некоторых тушках обнаруживают дистрофии и миопатии: белая полоса, деревянная грудка, мышцы спагетти [5, 6], снижающие качество продукции [7, 8].

Для увеличения мясной продуктивности птицы на птицефабриках используют пребиотики, фитобиотики, пробиотики и разные кормовые добавки [9, 10].

Для раскрытия генетического потенциала птицы особенно важно полноценное питание, так как расходы на кормление бройлеров составляют около 70 % от общего объема затрат [11, 12].

Растительные корма содержат значительное количество целлюлозы (клетчатки). Содержание бетаглюканов увеличивает вязкость кормов. Поэтому использование таких культур как ячмень, овес, пшеница, отруби снижает эффективность кормления птиц. Для более эффективного расщепления клетчатки используют ферментные добавки. Благодаря ферментам усвоение питания (веществ растительного происхождения и микроэлементов) в организме животного происходит не только на порядок быстрее, но и эффективнее. Ученые сообщают, что: «без использования ферментосодержащих препаратов организм скота или птицы в состоянии усвоить всего лишь 15...30 % корма или смеси. Если же в корма добавлять ферментные препараты или биоактивные добавки на основе ферментов, то усвоение повышается в среднем на треть» [12, 13].

В состав комбикормов входят основные компоненты: пептиды и аминокислоты, образующиеся в результате гидролиза, катализируемого протеазой, а также крахмалистые полисахариды, образующиеся в результате гидролиза гликозидных

связей некрахмалистых полисахаридов под действием ксиланазы. Глюканы, ксиланы и арабосиланы (пентозы) способствуют разрушению клеточных стенок растений, что ведет к увеличению доступности крахмала, белков и жиров. Это также улучшает переваримость некрахмалистых полисахаридов, повышает обменную энергию зерновых кормов, компенсирует недостаток эндогенных ферментов у молодняка сельскохозяйственных животных и птицы, снижает вязкость химуса и уменьшает влажность помета [14].

Кроме того, в [15] указывается, что препарат Витаestimul может быть использован для повышения жизнеспособности и продуктивности птицы в условиях поствакцинального стресса. Целесообразность его применения подтверждают высокие показатели сохранности поголовья 97,9...98,1 % и больше прироста живой массы цыплят на уровне 11,98 г по сравнению с контрольной группой.

Целью исследования стало изучение динамики роста живой массы, морфометрических показателей тушек курочек, а также химического состава мышц цыплят-бройлеров кросса «Росс 308», выращенных на рационах с повышенным содержанием клетчатки и добавлением мультиэнзимного комплекса протеазы.

Материалы и методы исследования

Выделенное Правительством РФ финансирование развития птицеводства в ФНЦ ВНИТИП было направлено в т.ч. на изучение кормления бройлеров при включении в их рацион ферментативных препаратов. Экспериментальные исследования проводили в отделе кормления ВНИТИП и виварии СГЦ «Загорское ЭПХ», а морфометрические и химические показатели измеряли в департаменте ветеринарной медицины АТИ РУДН им. Патриса Лумумбы.

По данным Ленковой и соавт., продуцентом ферментов протеаза и ксиланаза является штамм гриба *Penicillium verruculosum* PER. Эти ферменты способствуют повышению переваримости питательных веществ в кормах и улучшению их усвоения. Препараты выпускаются в форме микрогранулированного порошка [13].

Как сообщают Егоров и соавт., а также Околелова и Енгашев, ферменты, применяемые для дополнения рациона, эффективно функционируют во всех отделах кишечника птицы. Благодаря этому они рассматриваются как альтернатива антибиотикам, способствуя повышению активности пищеварительных ферментов и обеспечивая возможность получения экологически чистого и безопасного мяса. Применение ферментных добавок позволяет существенно улучшить качество рационов, снизить затраты на закупку кормов, увеличить прирост поголовья и сократить расходы на обслуживание и ведение хозяйства [11, 12].

Материалом для исследования служили цыплята-бройлеры зарубежного кросса «Росс 308», которых выращивали в виварии до 42-суточного возраста в батареях типа Р-15. Рационы мясных бройлеров были сбалансированы в соответствии с нормами ВНИТИП. Опытная группа дополнительно получала мультиэнзимный комплекс.

При достижении бройлерами 28, 35 и 42 сут. осуществляли убой по 3 курочки из каждой возрастной группы. Исходным материалом служили суточные цыплята.

По окончании срока выращивания определяли живую массу птицы, производили ее убой и изучали морфометрические показатели тушек по методике проведения анатомической разделки тушек¹.

После убоя птицы и обработки тушек их взвешивали и помещали в холодильник на 24 ч при температуре 0...4 °С. Затем одну половину тушек разделяли, отделяя кости, мышцы, жир и другие ткани, включая кожу с остатками жира, а также фрагменты легких и почек, и повторно взвешивали. Другую половину отправляли на анализ в химико-бактериологическую лабораторию Останкинского мясокомбината, где в мышцах голени и грудных определяли содержание влаги², белка³ и жира⁴.

Микробиологические исследования мяса проводили согласно установленным методикам микробиологического контроля безопасности пищевой продукции. При бактериологическом анализе определяли общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ)⁵, бактерии группы кишечной палочки (БГКП, колиформы)⁶, *Staphylococcus aureus*⁷, бактерии рода *Proteu*⁸, сульфитредуцирующие клостридии⁹, а также возбудителей *Salmonella spp*¹⁰, и *Listeria monocytogenes*¹¹.

Материалом для гистологических исследований служили поверхностные грудные мышцы и мышцы голени. Отбор проб и получение гистологических срезов осуществлялись в соответствии с методическими рекомендациями по подготовке биологических образцов для гистологических исследований¹². Гистологические срезы толщиной 5...8 мкм окрашивали гематоксилином и эозином. Этот метод использовали для выявления дистрофий и миопатий в мышцах.

Биологическую ценность мяса бройлеров изучали в соответствии с рекомендациями¹³.

Для статистической обработки данных применяли программное обеспечение JMP Trial версии 14.1.0. Достоверность различий оценивалась с использованием t-критерия Стьюдента.

¹ Методика проведения анатомической разделки тушек, органолептической оценки качества мяса и яиц сельскохозяйственной птицы / В.С. Лукашенко, М.А. Лысенко, Т.А. Столляр, А.Ш. Кавтарашвили и др. Сергиев Посад, 2013. 35 с.

² ГОСТ 9793–2016. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли влаги. М., 2018.

³ ГОСТ 25011–2017. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общего белка. М., 2018

⁴ ГОСТ 23042–2015. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли жира. М., 2019.

⁵ ГОСТ 31747–2012. Продукты пищевые. Метод определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. М., 2013.

⁶ ГОСТ Р 54374–2011. Продукты пищевые. Метод выявления и подсчета бактерий группы кишечной палочки (колиформ). М., 2012.

⁷ ГОСТ 31746–2012. Продукты пищевые. Метод выявления и подсчета *Staphylococcus aureus*. М., 2013.

⁸ ГОСТ 28560–1990. Продукты пищевые. Метод выявления и определения бактерий рода *Proteus*. М., 1991.

⁹ ГОСТ 7702.2.6–2015. Мясо и мясные продукты. Метод выявления сульфитредуцирующих клостридий. М., 2016.

¹⁰ ГОСТ 31468–2012. Продукты пищевые. Метод выявления *Salmonella spp*. М., 2013.

¹¹ ГОСТ 32031–2022. Продукты пищевые. Метод выявления *Listeria monocytogenes*. М., 2023.

¹² ГОСТ 31931–2012. Продукция пищевая. Метод отбора проб и подготовка гистологических срезов для микроскопического исследования. М., 2013.

¹³ Методические рекомендации для использования экспресс-метода биологической оценки продуктов и кормов. Утверждены ВАСХНИЛ. М., 1990. 16 с.

Результаты исследования и обсуждение

В ходе эксперимента удалось сохранить 100 % поголовья курочек. Затраты корма на 1 кг прироста живой массы составили 11,55 кг. Живая масса подвєргнутых убою курочек к 42-суточному возрасту составила у контрольной группы $2432 \pm 38,3$ г, опытных — $2556 \pm 28,5$ г, масса тушек — $1778 \pm 20,7$ и $1870 \pm 22,6$ г соответственно.

Морфологический состав тушек. Динамика морфометрических показателей (рис. 1): в период с 1 по 28 день среднесуточный прирост живой массы кур в контрольной группе составил 44,13 г, в то время как в опытной группе он достиг 48,85 г. В последующие периоды, с 29 по 35 день, приросты составили 81,43 и 81,71 г соответственно, а с 36 по 42 день — 83,43 и 82,00 г. За весь период выращивания среднесуточный прирост массы составил 57,90 г в контрольной группе и 60,86 г в опытной. Увеличение живой массы 42-дневных кур по сравнению с суточными особями составило 56,90 раза в контрольной группе и 59,85 раза в опытной. Убойный выход цыплят в возрасте 42 дней составил 73,05 % в контрольной группе и 73,16 % в опытной.

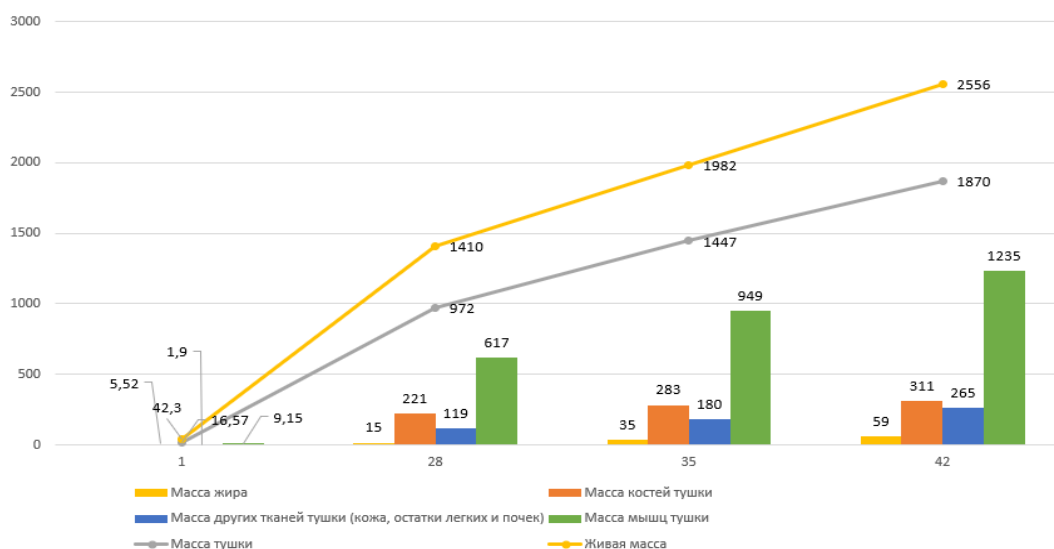


Рис. 1. Динамика роста живой массы, массы тушек и морфологический состав
 Источник: выполнено В.Д. Родионовым, Д.В. Никитченко, Е.О. Рысцовой, Г.В. Снозом, И.Д. Боголюбовым.

Понимание механизмов, регулирующих мышечный рост птицы, имеет огромное значение в оценке кросса. Ведь увеличение количества нарастания мышц в тушке показывает повышение ее качества путем накопления полноценного белка и незаменимых аминокислот.

Одной из основных задач мясного птицеводства является селекция птицы с целью увеличения скорости роста и наращивания мышечной массы, при этом обеспечивая сохранение высокого качества мяса.

Формирование мышечных волокон начинается до вылупления цыпленка [16], а их последующий рост происходит за счет увеличения диаметра, связанного с образованием новых миофибрилл, а также удлинения мышечного волокна за счет формирования новых саркомеров [17]. Таким образом, увеличение мышечной массы обусловлено количеством мышечных волокон и их гипертрофией. Динамика роста различных морфологических частей тушек в обеих группах демонстрирует преимущественный рост мышечной ткани по сравнению с другими типами тканей.

До 28-суточного возраста у курочек контрольной группы масса мышц достигла 567 г, их относительная масса составила 63,07 %, масса костей — 206 г или 22,91 %. К 42-му дню масса мышц увеличилась до 1169 г, составив 65,73 %, что на 10,51 % больше по сравнению с показателями на 28-й день. Масса костей к 42-м суткам составила 298 г (16,76 %), что на 16,55 % меньше по сравнению с показателями на 28-й день.

В опытной группе к 28 суткам масса мышц составила 617 г, или 63,48 %, масса костей — 221 г, или 22,74 %. К 42-му дню масса мышц достигла 1235 г (66,04 %), что на 10,82 % больше по сравнению с показателями на 28-й день. Масса костей составила 311 г (16,63 %), что на 16,68 % меньше по сравнению с показателями на 28-й день.

В сравнении с суточными цыплятами, к 42-м суткам масса мышц в контрольной группе увеличилась в 127,76 раза, костей — в 53,99 раза. В опытной группе прирост мышечной массы составил 134,97 раза, костей — 56,34 раза. Среднесуточный прирост мышечной массы за весь период выращивания составил 27,83 г в контрольной группе и 29,40 г в опытной. Для костей среднесуточный прирост составил 7,10 и 7,41 г соответственно.

В 1 группе курочек в 28-суточном возрасте соотношение мышц и костей равнялось 2,75:1 и 42 суток — 3,92:1; в 2 группе — 2,79...3,97 соответственно. Жировые отложения в тушке являются важным качественным показателем мясной продуктивности животных. Синтез белка и жира в мышечной ткани играет ключевую роль в оценке мясной продуктивности. Жир может откладываться как в подкожной жировой клетчатке, так и в соединительной ткани между мышцами и мышечными волокнами. Анализ изменений массы съедобных и несъедобных частей туши играет ключевую роль в оценке продуктивности.

С биологической точки зрения птичий жир превосходит жиры других сельскохозяйственных животных, так как он богат водорастворимыми незаменимыми жирными кислотами и содержит витамины А, D и Е.

При вылуплении цыпленка в мышцах содержится исключительно структурный жир. С возрастом птицы начинает откладываться резервный жир, формирующий так называемое «жировое депо», которое играет важную роль в трофике и энергообеспечении организма, обеспечивая его как механической, так и химической энергией.

Данные исследований показывают, что в 28-суточном возрасте тушки курочек контрольной группы содержат жира 15 г (1,67 %), опытной — 1,54 %, в 42 сут. — 56 г (3,17 %) и 59 г (3,16 %) соответственно. Более половины жира приходится на абдоминальный жир.

Другие ткани (кожа с остатками жира, остатки почек и легких) в тушках 1 группы 28...42 суточного возраста колебалось в пределах 111...255 г (12,35...14,37 %), 2 группы — 119...265 г (12,24...14,17 %).

Анатомическую разделку тушек курочек проводили только на опытной группе, поскольку данные о массе анатомических частей в контрольной группе оказались недостоверными.

Из рис. 2 видно, что наибольший выход в тушках бройлеров всех возрастных групп приходится на грудку. В возрасте 28 сут. ее относительная масса составляет 35,19 %, а в 42 сут. — 36,39 %, что представляет собой увеличение на 1,20 %. Масса каркаса составляет 20,47 % в 28 сут. и 20,73 % в 42 сут., что увеличивается на 0,26 %. В то же время относительная масса остальных анатомических частей уменьшается: бедро — с 17,49 до 16,81 % (снижение на 0,68 %); голень — с 14,51 до 13,79 % (снижение на 0,72 %); крыло — с 11,42 до 10,34 % (снижение на 1,08 %).

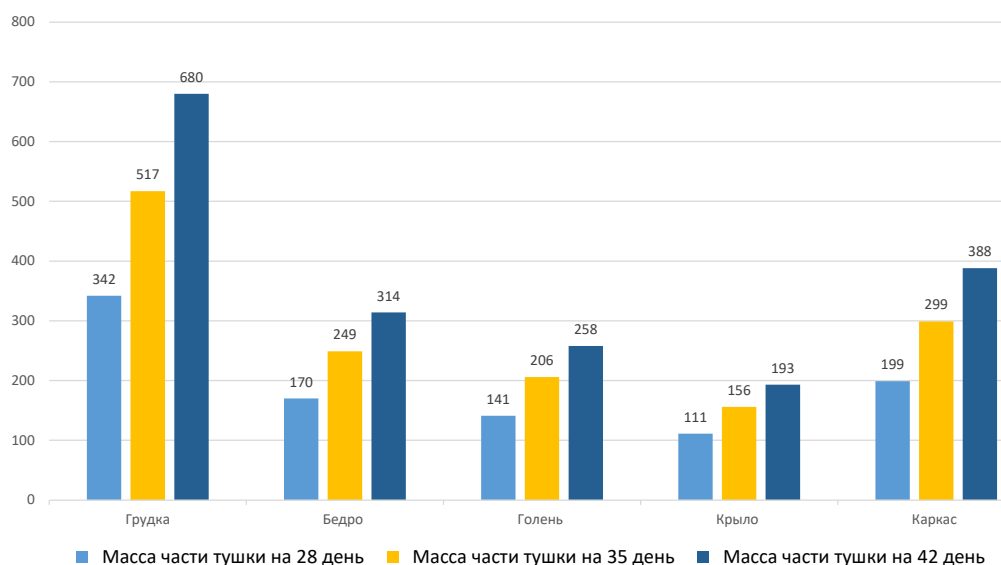


Рис. 2. Возрастная динамика изменения массы частей тушек, полученных при анатомической разделке курочек-бройлеров опытной группы (с использованием в рационе кормовой добавки АГРОПРОТ)

Источник: выполнено В.Д. Родионовым, Д.В. Никитченко, Е.О. Рысцовой, Г.В. Снозом, И.Д. Боголюбовым.

Химический состав мышц. Исследования показали, что химические показатели контрольной и опытной групп кур одного возраста не имели статистически значимых различий, поэтому приводятся данные только по опытной группе на рис. 3.

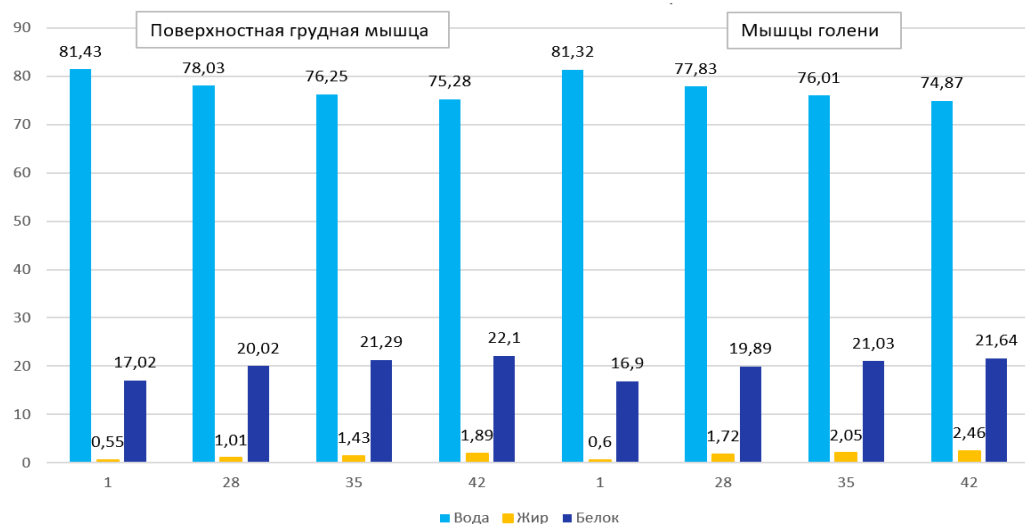


Рис. 3. Химический состав грудных мышц и мышц голени

Источник: выполнено В.Д. Родионовым, Д.В. Никитченко, Е.О. Рысцовой, Г.В. Снозом, И.Д. Боголюбовым.

В поверхностных грудных мышцах суточных цыплят содержание воды составляло 81,43 %, а в мышцах голени — 81,32 %. К 42-м суткам уровень воды снизился до 75,30 % в грудных мышцах и до 74,84 % в мышцах голени, что означает уменьшение на 8,06 % за весь период выращивания.

Что касается содержания жира, то оно возросло в грудных мышцах с 0,55 до 1,89 %, а в мышцах голени — с 0,60 до 2,46 %. Содержание белка увеличилось с 17,02 до 22,10 % в грудных мышцах и с 16,90 до 21,64 % в мышцах голени.

Гистологические исследования. Постэмбриональный рост мышц продолжает расти сразу после вылупления цыпленка. Если у суточного цыпленка диаметр мышечных волокон поверхностной грудной мышцы составляет 8,05 мкм, то у 28-суточных — 28,68 мкм, т.е. ежесуточный прирост диаметра волокон равнялся 1,021 мкм; далее от 28 сут. до 35 сут. ежесуточный прирост повысился — 1,76 мкм, что в сумме за 7 сут. составило 12,32 мкм; к 42 сут. ежесуточный прирост снизился до 0,9 мкм, что в сумме составило 6,3 мкм, а в общем за весь период выращивания диаметр мышечных волокон увеличился до 55,62 мкм, или по сравнению суточными курочками — в 6,91 раза.

Мышцы домашней птицы в отличие от таковых у млекопитающих животных развиты неравномерно. Максимально они развиты на грудном отделе и тазовых конечностях. По нашим данным они составляют около 65 % живой массы всех скелетных мышц.

Курочки кросса «Смена 9» при клеточной технологии выращивания к 42-суточному возрасту достигают несколько больше живой массы, чем кросс «Росс 308»

2573 г против 2556 г, массу тушек — 1897 г против 1870 г, но дистрофий мышечной ткани у кросса «Смена 9» встречается реже [18, 19].

По данным [16], при интенсивной технологии выращивания бройлеров кросса «Росс 308» до 42-суточного возраста у некоторых особей в поверхностной грудной мышце выявлены утолщения эндомизия и накопления межволоконной жидкости с вакуолизацией мышечных волокон.

Анализ, проведенный Сантосом и соавт., а также Барбутом, показал, что частота возникновения миопатий грудных мышц (деревянная грудка, белые полосы и мышцы спагетти) увеличилась в разных компаниях от 10 до 70 %, нанося экономический ущерб, достигающий сотен миллиардов долларов. Авторы отмечают, что повышение скорости роста и увеличения выхода грудного мяса у быстрорастущих линий птиц связано с развитием указанных мышечных патологий. При миопатиях наблюдаются дегенерация и регенерация мышечных волокон, фиброз, фрагментация, некроз и инфильтрация пораженных участков. Также подчеркивается, что при переработке мяса, пораженного миопатиями, снижаются качественные характеристики продукта, однако это не обязательно приводит к нарушению его пищевой безопасности [5, 6].

В нашем опыте у 28-суточных курочек выявлена дистрофия поверхностных грудных мышц в виде расширения диаметра эндомизия и перимизия с накоплением тканевой жидкости и образованием разного объема вакуолей в мышечных волокнах с инфильтрацией иммунокомпетентными клетками (лейкоцитами, фагоцитами). К 42 суткам процесс усугубляется, часть мышечных волокон округляется, развивается фиброз, их фрагментация и некроз (рис. 4). Некоторые волокна рассасываются, замещаются жировой тканью и ростом рыхлой коллагеновой соединительной ткани. Происходит повышение инфильтрации иммунокомпетентными клетками. Эти морфологические признаки характерны для миопатии — белая полоса.

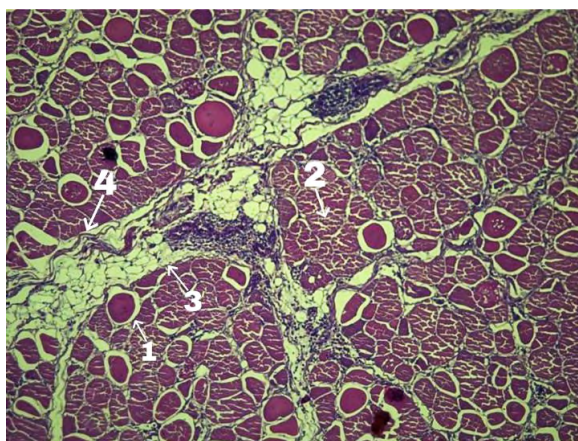


Рис. 4. Миопатия — белая полоса в поверхностной грудной мышце, петух 42-сут.:
1 — округление мышечных волокон; 2 — фиброз мышечных волокон; 3 — жировая ткань;
4 — рыхлая соединительная ткань

Источник: выполнено В.Д. Родионовым, Д.В. Никитченко, Е.О. Рысцовой, Г.В. Снозом, И.Д. Боголюбовым.

Для предупреждения возникновения миопатий Сантос и соавт., а также Барбут рекомендуют проведение дополнительных генетических исследований, направленных на выведение менее восприимчивых птиц, а также улучшение кормления и технологических факторов содержания [5, 6].

Заключение

Установили, что к 42 сут. курочки контрольной группы достигают живой массы $2432 \pm 38,3$ г, опытной — $2556 \pm 28,5$ г, при ($p \leq 0,05$) с разницей 124 г, или больше на 4,85 %, массу тушек — 1778 и 1870 г, на 4,20 % ($p \leq 0,05$). В тушках курочек в 28...42 сут., по отношению к другим анатомическим частям больше всего составляет грудная часть — 35,19...36,39 %, увеличение которой с возрастом составило 1,20 %, в то время как относительная масса бедренной части уменьшилась на 0,68 %, голени — на 0,72 %. В течение периода с одного дня до конца 42-го дня выращивания содержание белка в грудных мышцах увеличивается с 17,02 до 22,10 %, содержание жира — с 0,55 до 1,89 %, при этом наблюдается снижение содержания влаги на 6,15 %. К концу периода откорма диаметр мышечных волокон поверхностных грудных мышц цыплят опытной группы достигает 60,01 мкм, что в 6,8 раза больше по сравнению с суточными показателями; среднесуточный прирост составляет 1,318 мкм.

У некоторых кур из контрольной и экспериментальной групп в условиях интенсивной промышленной технологии выращивания, характеризующихся стрессом и гипокинезией, выявлены нарушения структурной организации мышечной ткани. Эти нарушения включают накопление тканевой жидкости, вакуольную дистрофию, фрагментацию мышечных волокон и ценкеровский некроз.

Список литературы

1. Фисинин В.И. Мировое и российское птицеводство: состояние, динамика развития // Мировое и российское птицеводство: состояние, динамика развития, инновационные перспективы : материалы XX Междунар. конф. ВНАП. Сергиев Посад, 2020. С. 734—739. EDN: CDPPMH
2. Ройтер Я.С., Егорова А.В., Тяпугин Е.Е. и др. Промышленное птицеводство / под ред. В.И. Фисинина : монография. М. : ФНЦ «ВНИТИП» РАН, 2016. 534 с.
3. Эккерт Л.Н., Харлов Д.А. Сравнительная характеристика мясной продуктивности бройлеров кроссов «Hubbard Isa F15» и «Кобб-500» // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2019. № 1 (27). С. 47—49. EDN: NDSQPG
4. Лукашенко В.С., Овсечик Е.А. Оценка продуктивности цыплят-бройлеров разных кроссов // Птица и птицепродукты. 2024. № 4. С. 14—17. doi: 10.30975/2073-4999-2024-26-4-14-17 EDN: HYZJNP
5. Santos M.N., Rothschild D., Widowski T.M., Barbut S., Kiarie E.G., Mandell I., Guerin M.T., Edwards A.M., Torrey S. In pursuit of a better broiler carcass traits and muscle myopathies in conventional and slower-growing strains of broiler chickens // Poultry Science. 2021. Vol. 100. № 9. P. 1—22. doi: 10.1016/j.psj.2021.101309 EDN: RONYBT
6. Barbut S. Recent myopathies in broiler's breast meat filets // World's Poultry Science Journal. Vol. 75. № 4. P. 559—582. doi: 10.1017/S0043933919000436
7. Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Кондрашкина К.М., Панахова О.С., Переpletчикова М.С. Миопатии цыплят-бройлеров в промышленном птицеводстве (обзор) // Птица и птицепродукты. 2022. № 3. С. 60—64. doi: 10.30975/2073-4999-2022-24-3-60-84 EDN: OWPVHW

8. Kuttappan V.A., Hargis B.M., Owens C.M. White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review // Poultry Science. 2016. Vol. 95. № 11. P. 2724–2733. doi: 10.3382/ps/pew216
9. Буяров В.С. Эффективность современных технологий производства мяса бройлеров // Биология в сельском хозяйстве. 2020. № 1 (26). С. 15–21. EDN: SOUSXL
10. Саломатин В.В., Ряднов А.А., Ряднова Т.А., Ряднова Ю.А. Влияние биологически активной добавки на морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров // Птицеводство. 2021. № 3. С. 45–49. doi: 10.33845/0033-3239-2021-70-3-45-49 EDN: YSCYHT
11. Егоров И.А., Егорова Т.В., Мосеев П.А. Ферментные препараты отечественного производства в комбикормах для цыплят-бройлеров // Птицеводство. 2018. № 1. С. 16–19. EDN: YQNNEL
12. Околелова Т.М., Енгашев С.В. Научные основы кормления и содержания сельскохозяйственной птицы: монография. М. : РИОР, 2021. 439 с. doi: 10.29039/02037-1 EDN: XEQFWW
13. Ленкова Т.Н., Егоров И.А., Егорова Т.А., Манукян В.А. Микробиота кишечника и продуктивные качества бройлеров при использовании фитазы для повышения усвояемости фосфора и питательных веществ из комбикормов // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 2. С. 406–416. doi: 10.15389/agrobiology.2020.2.406rus
14. Матеос Г.Г., Фондевила Г., Камара Л., Агуире Л.А., Де Хуан А.Ф. Новые достижения в кормлении и питании сельскохозяйственной птицы: форма корма, размер частиц и использование волокнистых ингредиентов // Мировое и российское птицеводство: состояние, динамика развития, инновационные перспективы : материалы XX Междунар. конф. ВНАП. г. Сергиев Посад, 2020. С. 270–272.
15. Бугун Ю.П. Влияние фитокомпозиции «Витастимул» на процессы адаптации организма птицы разного возраста, продуктивность и сохранность // Сб. науч. тр. Северо-Кавказского НИИ животноводств. 2015. Т. 4. № 1. С. 65–70. EDN: UNQAIH
16. Swartz D.R., Lim S.-S., Faseel T., Greaser M.L. Mechanisms of myofibril assembly // Reciprocal Meat Conf. Proc. 1994. № 47. P. 141–153.
17. Williams P., Goldspink G. Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilized muscle // J. Anat. 1978. Vol. 127. P. 459–446.
18. Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Кондрашкина К.М. Морфометрические и химические показатели тушек петухов кросса «Смена 9» при клеточном и напольно-выгульном выращивании // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2 (62). С. 135–142. doi: 10.18286/1816-4501-2023-2-135-142 EDN: NQPVGH
19. Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Андрианова Д.В., Серегин И.Г. Проблемы возникновения миопатий у бройлеров, выращенных на интенсивном промышленном откорме // Птица и птицепродукты. 2020. № 3. С. 32–35. doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-3-32-35 EDN: ASIYVI

Об авторах:

Родионов Вадим Дмитриевич — аспирант департамента ветеринарной медицины АТИ, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: servicedog@yandex.ru ORCID: 0009-0005-4016-7061

Никитченко Дмитрий Владимирович — доктор биологических наук, профессор департамента ветеринарной медицины АТИ, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: dvnikitchenko@mail.ru ORCID: 0000-0003-0531-0377 SPIN-код: 3495-1830

Рысцова Екатерина Олеговна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент департамента ветеринарной медицины АТИ, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: rystsova-eo@rudn.ru ORCID: 0000-0002-0516-6056 SPIN-код: 2027-4235

Сноз Григорий Васильевич — доктор ветеринарных наук, профессор кафедры диагностика болезней, терапии, акушерства и репродуктивных животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: snozgv@mail.ru SPIN-код: 4336-7314

Боголюбов Иван Дмитриевич — студент департамента ветеринарной медицины АТИ, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: bogolyubov.ivan@mail.ru ORCID: 0009-0003-2707-2610



DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-1-61-78

EDN HNEISW

УДК 619:616-001.4:636.1

Научная статья / Research article

Преимущества и недостатки метода локального отрицательного давления при лечении ран у лошадей

А.А. Скворцова¹  , Е.А. Павловская¹ , В.Н. Оболенский^{2,3} ¹Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии —

МВА им. К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация

²Филиал № 1 ГБУЗ ГКБ им. В.П. Демикова, г. Москва, Российская Федерация³Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова

Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация

 anastasiaeqvet@gmail.com

Аннотация. Подробно описана подготовка раневой поверхности к применению метода локального отрицательного давления (ЛОД). Представлены особенности крепления повязки в зависимости от анатомической локализации раны. Приведены сроки заживления ран в экспериментальной и контрольной (с применением антисептических и антибактериальных препаратов) группах, а также результаты цитоморфологических и бактериальных исследований. Выявлена наиболее благоприятная фаза раневого процесса для применения метода ЛОД. Наблюдалось ускорение формирования грануляционной ткани и эпителизации раневой поверхности. Средняя скорость заживления ран при использовании ЛОД была на 30...40 % выше по сравнению с лечением антисептическими и антибактериальными препаратами. Выявлены преимущества и недостатки в применении ЛОД в клинической практике.

Ключевые слова: вакуум-терапия, раневой процесс, заживление ран, послеоперационные раны, осложненные раны, экссудат, грануляция, повязка.

Вклад авторов: Все авторы внесли равнозначный вклад в разработку концепции исследования, сбор и анализ данных, написание и редактирование текста статьи.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 6 декабря 2024 г., принята к публикации 11 января 2025 г.

Для цитирования: Скворцова А.А., Павловская Е.А., Оболенский В.Н. Преимущества и недостатки метода локального отрицательного давления при лечении ран у лошадей // Вестник Российского универси-

© Скворцова А.А., Павловская Е.А., Оболенский В.Н., 2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

тета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 1. С. 61–78. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-61-78 EDN HNEISW

Advantages and disadvantages of negative pressure wound therapy in equine wound treatment

Anastasiya A. Skvortsova¹  , Ekaterina A. Pavlovskaya¹ ,
Vladimir N. Obolenskiy^{2,3} 

¹Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after
K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation

²City Clinical Hospital named after V.P. Demihov, Moscow, Russian Federation

³Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation
 anastasiaeqvet@gmail.com

Abstract. The method of wound surface preparation for application of local negative pressure (LNP) is described in detail. The features of dressing attachment depending on the anatomical localization of the wound are presented. The duration of wound healing in the experimental and control (with application of antiseptic and antibacterial preparations) groups, as well as the results of cytomorphological and bacterial studies are given. The most favorable phase of the wound process for application of the LNP method is revealed. Acceleration of granulation tissue formation and epithelialization of the wound surface is observed. The average rate of wound healing with LNP was 30...40% higher compared to treatment with antiseptic and antibacterial preparations. The advantages and disadvantages of LNP application in clinical practice are revealed.

Keywords: vacuum therapy, local negative pressure, wound process, horses, wound healing, postoperative wounds, chronic wounds

Authors' contribution. All authors made an equal contribution to the development of the study concept, data collection and analysis, writing and editing the text of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Article history: received 6 December 2024; accepted 11 January 2025.

For citation: Skvortsova AA, Pavlovskaya EA, Obolensky VN. Advantages and disadvantages of negative pressure wound therapy in equine wound treatment. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1): 00—00. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-000-000 EDN HNEISW

Введение

Лечение ран у лошадей остается одной из ключевых задач ветеринарной медицины, особенно в случаях сложных повреждений, сопровождающихся инфекцией и замедленной регенерацией [1–4].

Традиционные методы, такие как использование антисептиков и перевязочных материалов, часто не обеспечивают необходимой скорости и качества заживления,

особенно в случаях, осложненных инфекцией или при длительно незаживающих ранах [2–5].

Применение физико-химических методов воздействия на раневую поверхность характеризуется обширной исторической ретроспективой, предшествующей развитию антибактериальной терапии. Традиционный терапевтический арсенал включал методы термического воздействия, фототерапии и криоаппликации. В современной хирургической практике лечения гнойно-некротических процессов активно применяются высокотехнологичные физические методы, такие как лазерная терапия, ультразвуковое воздействие, криохирургические методики, гидрохирургический дебридмент и вакуум-терапия [2–4, 6–13]. В связи с этим в последние годы активно развиваются новые технологии и материалы, направленные на оптимизацию регенерации тканей и сокращение времени заживления, а также профилактику вероятных осложнений.

Одним из таких инновационных методов является терапия локальным отрицательным давлением (ЛОД, *negative pressure wound therapy*, NPWT) [6–19]. Этот метод основан на создании контролируемого отрицательного давления в области раны, что способствует удалению экссудата, уменьшению отека и стимуляции кровообращения. Механизм действия ЛОД заключается в улучшении микроциркуляции и активации клеточных процессов, способствующих ускоренному заживлению и снижению риска инфекционных осложнений.

Улучшение микроциркуляции и активация клеточных процессов инициирует ряд сложных биохимических реакций:

1) *регуляцию интерстициального гидростатического давления*. ЛОД способствует снижению интерстициального давления, что приводит к уменьшению отека путем усиления лимфодренажа и активизации процессов в сосудах микроциркуляторного русла. Этот эффект улучшает перфузию тканей, обеспечивая более оперативную доставку кислорода и нутриентов к зоне повреждения;

2) *удаление избыточного экссудата*. Отрицательное давление обеспечивает активное удаление раневого экссудата, содержащего продукты клеточного распада, матриксные металлопротеиназы и провоспалительные цитокины. Это способствует снижению воспалительной реакции и создает оптимальные условия для пролиферации и миграции фибробластов. Вследствие этих процессов снижается вероятность возникновения посттравматических осложнений, таких как серома;

3) *поддержание оптимального уровня влажности*. Герметизация раневой поверхности обеспечивает сохранение влажной среды, критически важной для эффективной эпителизации. Влажная среда способствует активации факторов роста, таких как эпидермальный фактор роста (EGF) и фактор роста фибробластов (FGF), стимулирующих пролиферацию и миграцию кератиноцитов;

4) *стимуляцию ангиогенеза и неоваскуляризации*. ЛОД индуцирует экспрессию проангиогенных факторов, включая фактор роста эндотелия сосудов (VEGF) и ангиопоэтин-2. Это приводит к формированию новых капилляров и улучшению микроциркуляции в зоне повреждения, что особенно важно для обеспечения адек-

ватного снабжения кислородом и питательными веществами регенерирующих тканей;

5) *снижение бактериальной контаминации.* Активное удаление экссудата и улучшение микроциркуляции способствуют снижению бактериальной контаминации за счет своевременного удаления продуктов распада, некротизированных тканей и инородных частиц. Кроме того, ЛОД может стимулировать продукцию антимикробных пептидов, таких как дефензины и кателицидины, усиливая местный иммунный ответ;

6) *механотрансдукцию и ремоделирование внеклеточного матрикса.* Отрицательное давление создает механическое напряжение в тканях, которое через интегрин-опосредованные сигнальные пути стимулирует пролиферацию и дифференцировку фибробластов. Это приводит к усилению синтеза коллагена и других компонентов внеклеточного матрикса, способствуя формированию более прочной и функциональной соединительной ткани.

Зарубежные исследования подтверждают перспективность метода локального отрицательного давления в лечении ран у лошадей, особенно при сложных и инфицированных повреждениях (табл. 1). Отмечается ускорение заживления, снижение бактериальной обсемененности и улучшение качества грануляционной ткани. Однако в публикациях подчеркивается необходимость дальнейших исследований для стандартизации протоколов и оптимизации применения метода в зависимости от анатомических особенностей и типа раны.

Таблица 1

**Литература с указанием продолжительности и частоты смены повязок
во время лечения методом ЛОД**

Источник	Продолжительность лечения	Частота смены повязок
Gemeinhardt K.D. and Molnar J.A. [15]	29 дней	Каждые 3–4 дня
Rijkenhuizen et al. [19]	1-й случай: 19 дней 2-й случай: 18 дней	1-й случай: на 8-, 11- и 14-й дни после операции 2-й случай: через 11 дней
Jordana M. et al. [17]	5 дней	Не меняли повязку
Van Hecke L. et al. [13]	24 часа	Через 6, 12, 18, 24 часа после начала эксперимента ex vivo
Gaus, M. et al. [14]	6 дней	Не меняли повязку
Florczyk A., Rosser J. [10]	14 дней	Каждые 3–4 дня
Rettig M.J., Lischer C.J. [12]	12 дней	Каждые 2 дня
Elce Y. et al. [9]	От 11 до 22 дней	Каждые 3–4 дня
Kamus L. et al. [11]	Экспериментальная рана – 7 дней	Экспериментальное исследование: до 3-4 раз в день из-за нарушения поддержания вакуума
Haspeslagh M. et al. [16]	6 дней – инфицированные раны 9 дней – неинфицированные раны	Данные не представлены
Launois T. et al. [18]	2–36 дней (в среднем 11 дней)	1–7 дней (в среднем 4 дня)
Askey T. et al. [8]	От 4 до 70 дней (в среднем 19 дней)	Каждые 7 дней

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Table 1

**List of references indicating the duration and frequency
of dressing changes during treatment with the LNP method**

Reference	Duration of treatment	Frequency of dressing changes
Gemeinhardt K.D. and Molnar J.A. [15]	29 days	Every 3–4 days
Rijkenhuizen et al. [19]	Case 1: 19 days Case 2: 18 days	Case 1: on days 8, 11, and 14 after surgery Case 2: after 11 days
Jordana M. et al. [17]	5 days	No dressing change
Van Hecke L. et al. [13]	24 hours	After 6, 12, 18, 24 hours after the start of the ex vivo experiment
Gaus, M. et al. [14]	6 days	No dressing change
Florczyk A., Rosser J. [10]	14 days	Every 3–4 days
Rettig M.J., Lischer C.J. [12]	12 days	Every 2 days
Elce Y. et al. [9]	11 to 22 days	Every 3–4 days
Kamus L. et al. [11]	Experimental wound – 7 days	Experimental study: up to 3-4 times a day due to failure to maintain vacuum
Haspeslagh M. et al. [16]	6 days – infected wounds 9 days – non-infected wounds	Data not presented
Launois T. et al. [18]	2–36 days (average 11 days)	1–7 days (average 4 days)
Askey T. et al. [8]	4 to 70 days (average 19 days)	Every 7 days

Source: completed by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.

Таким образом, метод ЛОД представляет собой многофакторный подход к оптимизации процесса заживления ран, воздействуя на ключевые молекулярные и клеточные механизмы регенерации тканей. Применение данной технологии открывает новые перспективы в ветеринарной медицине, предлагая эффективные решения для лечения осложненных инфекцией.

Цель исследования — комплексный анализ эффективности, преимуществ и недостатков метода локального отрицательного давления при лечении ран различной этиологии у лошадей.

Материалы и методы исследования

Исследование провели на 4 лошадях различных пород и возрастов с ранами различной этиологии (травматические и послеоперационные), которые разделили на 2 группы (табл. 2):

1) контрольная группа: лечение лошадей с ранами традиционным способом, включавшим использование стандартных антисептических растворов (Хлоргексидин) и местной антибактериальной терапией (Тетрацилин и Сульфеприм);

2) экспериментальная группа: лечение осложненных ран методом локального отрицательного давления (ЛОД-терапия) с применением специально разработанной повязки для создания контролируемого отрицательного давления в области раневой поверхности, предварительно обработанной раствором Бетадина.

Таблица 2

Характеристика ран по локализации и этиологии

Лошадь	Локализация	Этиология
Экспериментальная группа		
1	В области живота	Осложненная инфекцией послеоперационная рана
2	Область предплечья	Рваная травматическая рана
Контрольная группа		
1	В области живота	Осложненная инфекцией послеоперационная рана
2	Вентральная стенка грудной области	Рваная травматическая рана

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Table 2

Characteristics of wounds by location and etiology

Horse	Localization	Etiology
Experimental group		
1	In the abdominal area	Postoperative wound complicated by infection
2	Forearm area	Avulsive traumatic wound
Control group		
1	In the abdominal area	Postoperative wound complicated by infection
2	Ventral wall of the thoracic area	Avulsive traumatic wound

Source: completed by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.

В исследовании использовали комплексный методический подход, включающий: сбор анамнестических данных, клинический осмотр животного, исследование зоны патологического процесса, цитоморфологическое и бактериологическое исследования, которые проводились на 1-, 7-, 14- и 30-й дни.

Метод локального отрицательного давления применялся с использованием стандартных вакуумных систем, включающих губчатый материал, герметизирующую пленку и устройство для создания отрицательного давления. Уровень отрицательного давления варьировался от –80 до –125 мм рт. ст. в зависимости от локализации и характера раны.

В нашем исследовании была применена методика терапии ЛОД для лечения осложненных послеоперационных и травматических ран у лошадей. В качестве компонентов современной повязки для ЛОД мы использовали одноразовые стерильные расходные материалы (рис. 1):

1) *пенополиуретановая губка*: использовалась губка с размером пор от 400 до 2000 мкм. Выбор данного диапазона обусловлен оптимальным балансом между эффективным дренированием раневого экссудата и стимуляцией грануляционной ткани. Пористая структура губки способствует равномерному распределению отри-

цательного давления по всей поверхности раны, что улучшает микроциркуляцию и стимулирует ангиогенез;

2) *адгезивное пленочное покрытие Suprasorb (Германия) или Холмекс (Китай)*: данное покрытие применялось для создания герметичной среды вокруг раны. Оно обеспечивает барьер для внешних контаминантов и поддерживает влажную среду, необходимую для оптимального заживления. Выбор Suprasorb обусловлен его высокими адгезивными свойствами и газопроницаемостью;

3) *гибкая дренажная трубка*: использовалась трубка достаточной длины для эффективного отведения экссудата. Необходимую длину трубки определяли в зависимости от локализации раны и места фиксации вакуумного стабилизатора. Гибкость трубки минимизирует дискомфорт животного и снижает риск механического повреждения окружающих тканей;

4) *вакуумный аспиратор ВаСма (НПП МЕДИКА, Москва)*: данное устройство применялось для создания и поддержания субатмосферного давления в диапазоне от –50 до –125 мм рт. ст. Выбор конкретного уровня давления зависел от типа, размера раны и стадии заживления. С динамикой уменьшения площади поверхности раны субатмосферное давление необходимо снижать;

5) *контейнер для сбора экссудата*: использовался градуированный контейнер объемом 500...1000 мл, что позволяло точно оценивать количество и характер экссудата, важные показатели для мониторинга процесса заживления. Также при сборе экссудата в данный контейнер есть возможность параллельного осуществления отбора материала для цитологических и микробиологических исследований;

6) *бандаж или подвесной чехол*: применялся для надежной фиксации оборудования на лошади, обеспечивая стабильность системы, безопасность и комфорт животного во время лечения. В зависимости от локализации необходима разработка различных модификаций бандажей (рис. 2).



Рис. 1. Оборудование и расходные материалы для терапии ЛОД

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Fig. 1. Equipment and consumables for NPWT

Source: completed by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.

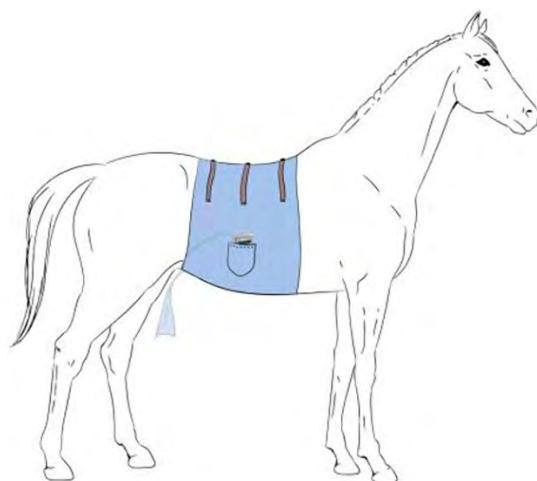


Рис. 2. Особенности бандажа для крепления устройства

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Fig. 2. Features of the bandage for attaching the device

Source: completed by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.

Методика применения

Подготовка раневой поверхности к применению метода ЛОД является ключевым этапом, определяющим эффективность последующего лечения. Первоначально проводится тщательная механическая санация раневой поверхности с удалением некротических тканей и инородных тел до появления капиллярного кровотечения. После достижения адекватного гемостаза осуществляется антисептическая обработка раны с использованием современных антисептических растворов, не оказывающих цитотоксического действия на ткани. Особое внимание уделяется подготовке околораневой области, которая включает удаление шерстного покрова и обработку кожи антисептическими растворами. Для улучшения адгезии герметизирующей пленки производится тщательное обезжиривание кожных покровов вокруг раны. Кожа вокруг раны выбривалась в радиусе 5...7 см для улучшения адгезии. Затем область обрабатывалась мыльным раствором (рН 5,5) и антисептиком Бетадин (10 % раствор повидон-йода). После высушивания на кожу наносилась паста Абуцел для выравнивания поверхности и улучшения адгезии пленочного покрытия (рис. 3). Пенополиуретановая губка вырезалась по форме раны с запасом 1–2 см и помещалась непосредственно на раневую поверхность (рис. 4). Затем рана герметично закрывалась адгезивным пленочным покрытием Suprasorb от центра к периферии, выходящим за края раны на 3...5 см. В пленке выполнялось отверстие диаметром 1–2 см для подключения дренажной трубки (рис. 5, 6).

Крепление вакуумной повязки в области живота и на конечностях у лошадей имеет существенные различия, обусловленные анатомическими и функциональными особенностями этих зон. Эти различия влияют на выбор материалов, технику фиксации и общую эффективность метода локального отрицательного давления.

В области живота основной сложностью является высокая подвижность брюшной стенки, связанная с дыхательными движениями и активностью животного. Брюшная стенка постоянно изменяет свою форму, что создает трудности для поддержания герметичности системы. Важно учитывать, что в области живота требуется более тщательная подготовка кожи, включая обезжиривание и удаление шерсти, чтобы обеспечить надежное сцепление пленки с кожей (рис. 3–5).



Рис. 3. Нанесение пасты вокруг раны

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Fig. 3. Applying paste around the wound

Source: completed by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.



Рис. 4. Крепление ППУ губки и адгезивного пленочного покрытия к ране

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Fig. 4. Attaching the urethane-foam sponge and adhesive film to the wound

Source: completed by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.

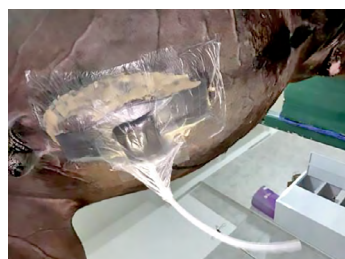


Рис. 5. Вид повязки для метода ЛОД

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Fig. 5. Type of dressing for the LNP method

Source: completed by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.

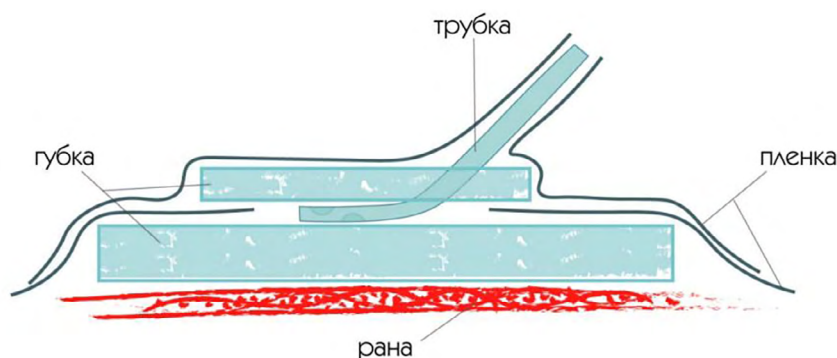


Рис. 6. Конфигурация повязки для метода ЛОД

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

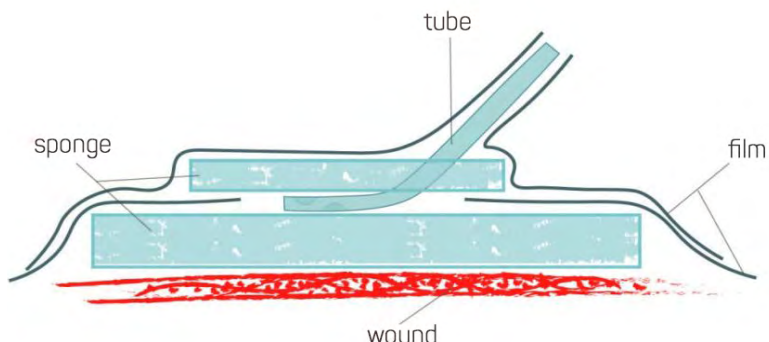


Fig. 6. Configuration of the dressing for the LNP method

Source: completed by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.

На конечностях сложная анатомическая структура, включающая суставы, сухожилия и костные выступы. Эти особенности создают неровности поверхности, которые могут препятствовать герметичному прилеганию повязки. Кроме того, конечности лошади подвержены значительным механическим нагрузкам и трению, что увеличивает риск смещения повязки (рис. 11).

Важным аспектом является правильный подбор уровня отрицательного давления, который обычно варьируется в пределах от -80 до -125 мм рт. ст., в зависимости от характера раны. Особое значение при проведении вакуум-терапии в области живота имеют контроль состояния повязки и мониторинг общего состояния животного. Необходимо регулярно оценивать целостность герметизирующей пленки, степень наполнения контейнера экссудатом. Периодичность смены повязки определяется индивидуально, основываясь на герметичности повязки, количестве экссудата и динамике раневого процесса. Длительность применения ЛОД определяется индивидуально, основываясь на динамике раневого процесса и общем состоянии животного. Обычно курс лечения составлял от 5 до 14 дней.

Результаты исследования и обсуждение

У исследуемых лошадей, в целях профилактики послеоперационных и посттравматических инфекционных осложнений, проводилась обработка кожных швов раствором хлоргексидина с последующим орошением тетрацицина в форме спрея. Кроме того, аппликационно был использован антибиотик сультеприм. Однако, данные меры не предотвратили возникновение осложнений. При осмотре было зафиксировано расхождение швов с последующим развитием инфекционного процесса. Раневая поверхность имела признаки воспаления: выраженная гиперемия окружающих тканей, отек, экссудация серозно-гнойного характера, и болезненность при пальпации. Отмечалось наличие некротических тканей в области швов. Края раны были неровные, не сопоставлены, а в глубине раневого канала определялся патологический секрет с неприятным запахом (табл. 3).

Таблица 3

Срок заживления ран в экспериментальной и контрольной группах

Экспериментальная группа				
Ло- шадь	Характеристика раны	Частота смены повязки, продолжительность применения	Параметры ЛОД	Срок заживле- ния
1	Гиперемия окружающих тканей, отек, наличие некротизированных участков ткани, экссудация серозно-гнойного характера, и болезненность при пальпации. Фаза воспаления	Повязки менялись еже- дневно, –125 мм.рт.ст. Продолжительность – 14 дней	–125 мм.рт.ст прерывистый	30 дней
2	Гиперемия окружающих тканей, отек, наличие некротизированных участков ткани, экссудация серозно-гнойного ха- рактера, и болезненность при пальпации. Фаза воспаления	Повязка менялась каж- дые 3 дня, –125 мм.рт.ст. Продолжительность – 14 дней	–125 мм.рт.ст прерывистый	70 дней
Контрольная группа				
1	Гиперемия окружающих тканей, отек, наличие некротизированных участков ткани, экссудация серозно-гнойного ха- рактера, и болезненность при пальпации. Фаза воспаления	Ежедневно	—	64 дня
2	Обширный некроз тканей, экссудация серозно-гнойного характера. Фаза воспаления	Ежедневно	—	80 дней

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Table 3

Wound healing time in the experimental and control groups

Experimental group				
Horse	Wound characteristics	Frequency of dressing change, duration of use	LNP parameters	Healing period
1	Hyperemia of surrounding tissues, edema, presence of necrotic tissue areas, serous-purulent exudation, and tenderness on palpation. Inflammatory phase	Dressings were changed daily, –125 mmHg. Duration – 14 days	–125 mmHg intermittent	30 days
2	Hyperemia of surrounding tissues, edema, presence of necrotic tissue areas, serous-purulent exudation, and tenderness on palpation. Inflammatory phase	Dressing was changed every 3 days, –125 mmHg. Duration – 14 days	–125 mmHg intermittent	70 days
Control group				
1	Hyperemia of surrounding tissues, edema, presence of necrotic tissue areas, serous-purulent exudation, and tenderness on palpation. Inflammatory phase	Daily	—	64 days
2	Extensive tissue necrosis, serous-purulent exudation. Inflammatory phase	Daily	—	80 days

Source: completed by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.

Результаты цитоморфологического и бактериологического исследований, которые проводились на 1, 7, 14 и 30 дни приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты лабораторных исследований					
Ло- шадь	Лаборатор- ные иссле- дования	1 день	7 день	14 день	30 день
Экспериментальная группа					
1	Цитология	Нейтрофильная и лимфоцитарная инфильтрация, обильная кокковая флора +++	Нейтрофильная и лимфоцитарная инфильтрация, умеренная кокковая флора ++	Нейтрофильная инфильтрация + кератиноциты ++	—
	Микробио- логия	Escherichia coli от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон; Streptococcus spp. от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/тампон, Staphylococcus spp. от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон	Staphylococcus aureus от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон;	Staphylococcus aureus от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/тампон	—
2	Цитология	Нейтрофильная и лимфоцитарная инфильтрация, обильная кокковая флора +++	Нейтрофильная и лимфоцитарная инфильтрация, умеренная кокковая флора ++	Нейтрофильная инфильтрация + Кератиноциты +++	—
	Микробио- логия	Proteus mirabilis от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон. Enterobacter aerogenes от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/тампон. Staphylococcus epidermidis от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/тампон.	Staphylococcus epidermidis от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/тампон.	Staphylococcus epidermidis от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/тампон.	—
Контрольная группа					
1	Цитология	Нейтрофильная и лимфоцитарная инфильтрация, обильная кокковая флора +++	Нейтрофильная и лимфоцитарная инфильтрация, обильная кокковая флора +++	Нейтрофильная и лимфоцитарная инфильтрация, умеренная кокковая флора ++	Нейтрофильная и лимфоцитар- ная инфильтра- ция, умеренная кокковая флора +
	Микробио- логия	Staphylococcus aureus от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон. Proteus mirabilis от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/тампон. Escherichia coli от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон.	Staphylococcus aureus от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон. Escherichia coli от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/там- пон.	Staphylococcus aureus от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон. Proteus mirabilis от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/тампон. Escherichia coli от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон.	Escherichia coli от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон.

Окончание табл. 3

Ло- шадь	Лаборатор- ные иссле- дования	1 день	7 день	14 день	30 день
2	Цитология	Нейтрофильная и лимфоцитарная инфильтрация, обильная кокковая флора +++	Нейтрофильная и лимфоцитарная инфильтрация, обильная кокковая флора +++	Нейтрофильная и лимфоцитарная инфильтрация, умеренная кокковая флора ++	Нейтрофильная и лимфоцитар- ная инфильтра- ция, умеренная кокковая флора + Кератиноциты +
	Микробио- логия	Staphylococcus aureus от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон, Proteus mirabilis от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/там- пон, Enterobacter aerogenes от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон.	Staphylococcus aureus от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон, Proteus mirabilis от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/тампон, Staphylococcus epidermidis от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/тампон.	Staphylococcus aureus от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон, Proteus mirabilis от 10 ² КОЕ до 10 ⁴ КОЕ/тампон	Staphylococcus aureus от 10 ⁴ КОЕ до 10 ⁶ КОЕ/тампон

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Table 4

Laboratory results

Horse	Laboratory research	1 day	7 day	14 day	30 day
Experimental group					
1	Cytology	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, abundant coccal flora +++	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, moderate coccal flora ++	Neutrophilic infiltration + Keratinocytes ++	—
	Microbiology	Escherichia coli from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/ swab; Strep-tococcus spp. from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/swab, Staphylococcus spp. from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab	Staphylococcus aureus from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab;	Staphylococcus aureus from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/swab	—
2	Cytology	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, abundant coccal flora +++	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, moderate coccal flora ++	Neutrophilic infiltration + Keratinocytes +++	—
	Microbiology	Proteus mirabilis from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/tampon. Enterobacter aerogenes from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/tampon. Staphylococcus epidermidis from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/tampon.	Staphylococcus epidermidis from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/swab.	Staphylococcus epidermidis from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/swab.	—
Control group					
1	Cytology	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, abundant coccal flora +++	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, abundant coccal flora +++	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, moderate coccal flora ++	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, moderate coccal flora +

End of tabl. 4

Horse	Laboratory research	1 day	7 day	14 day	30 day
1	Microbiology	Staphylococcus aureus from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab. Proteus mirabilis from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/swab. Escherichia coli from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab.	Staphylococcus aureus from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab. Escherichia coli from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab.	Staphylococcus aureus from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab. Proteus mirabilis from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/swab. Escherichia coli from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab.	Escherichia coli from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab.
	Cytology	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, abundant coccal flora +++	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, abundant coccal flora +++	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, moderate coccal flora ++	Neutrophilic and lymphocytic infiltration, moderate coccal flora + Keratinocytes +
2	Microbiology	Staphylococcus aureus from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab, Proteus mirabilis from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/swab, Enterobacter aerogenes from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab.	Staphylococcus aureus from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab, Proteus mirabilis from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/swab, Staphylococcus epidermidis from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/swab.	Staphylococcus aureus from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab, Proteus mirabilis from 10 ² CFU to 10 ⁴ CFU/swab	Staphylococcus aureus from 10 ⁴ CFU to 10 ⁶ CFU/swab

Source: completed by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.

В ходе исследования были выявлены следующие сложности:

1. *Потеря герметичности*: адгезивное пленочное покрытие теряло свои клеящие свойства в течение первого часа после фиксации. Для решения этой проблемы была применена паста Абуцел, которая улучшала адгезию пленки к коже. Паста наносилась тонким слоем и распределялась равномерно по периметру раны, создавая гладкую поверхность для лучшего прилегания пленки.

2. *Различия в эффективности в зависимости от локализации*: на конечностях повязка сохраняла герметичность до 72 часов, в то время как на области живота — не более 24 часов. Это может быть связано с различиями в подвижности тканей и интенсивности экссудации в разных анатомических областях.

Применение метода ЛОД в лечении ран у лошадей показало перспективные результаты. Наблюдалось ускорение формирования грануляционной ткани и эпителизации раневой поверхности (рис. 7–12). Средняя скорость заживления ран при использовании ЛОД была на 30...40 % выше по сравнению с лечением с применением антисептических и антибактериальных препаратов (рис. 13–15).

Однако исследование выявило ряд технических проблем, требующих дальнейшего изучения и оптимизации:

1. *Длительность герметизации*: необходимость ежедневной перевязки, особенно в области живота, снижает эффективность терапии и увеличивает стресс для животного. Требуется разработка более стойких адгезивных материалов или альтернативных методов фиксации, которые позволят увеличить срок между перевязками.

2. *Особенности топографии*: различия в эффективности метода в зависимости от локализации раны и морфофункциональных особенностей затронутых тканей указывают на необходимость разработки специфических протоколов применения ЛОД для разных областей тела лошади.

3. *Оптимизация параметров терапии*: необходимо провести дополнительные исследования для разработки оптимальных уровней отрицательного давления и режимов его применения (постоянный или переменный) для различных типов ран у лошадей.



Рис. 7. До применения ЛОД
Источник: выполнено
А.А. Скворцовой,
Е.А. Павловской,
В.Н. Оболенским.

Fig. 7. Before using LNP
Source: compiled
by A.A. Skvortsova,
E.A. Pavlovskaya,
V.N. Obolenskiy.



Рис. 8. Через 14 дней после ЛОД
Источник: выполнено
А.А. Скворцовой,
Е.А. Павловской,
В.Н. Оболенским.

Fig. 8. 14 days after LNP
Source: compiled
by A.A. Skvortsova,
E.A. Pavlovskaya,
V.N. Obolenskiy.



Рис. 9. Через 30 дней после ЛОД
Источник: выполнено
А.А. Скворцовой,
Е.А. Павловской,
В.Н. Оболенским.

Fig. 9. 30 days after LNP
Source: compiled
by A.A. Skvortsova,
E.A. Pavlovskaya,
V.N. Obolenskiy.



Рис. 10. Рана на конечности
до применения ЛОД
Источник: выполнено
А.А. Скворцовой,
Е.А. Павловской,
В.Н. Оболенским.

Fig. 10. Wound on a limb
before applying LNP
Source: compiled
by A.A. Skvortsova,
E.A. Pavlovskaya,
V.N. Obolenskiy.



Рис. 11. Повязка для метода ЛОД
Источник: выполнено
А.А. Скворцовой, Е.А. Павлов-
ской, В.Н. Оболенским.

Fig. 11. Bandage for LNP
Source: compiled
by A.A. Skvortsova,
E.A. Pavlovskaya,
V.N. Obolenskiy.



Рис. 12. Состояние раны
через 14 дней после
применения ЛОД, сразу
после снятия повязки

Источник: выполнено
А.А. Скворцовой,
Е.А. Павловской,
В.Н. Оболенским.

Fig. 12. The condition of the
wound 14 days after the use
of LNP, immediately after
removing the dressing
Source: compiled
by A.A. Skvortsova,
E.A. Pavlovskaya,
V.N. Obolenskiy.



Рис. 13. Состояние раны и расхождение швов на 7 день

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Fig. 13. Condition of wounds and suture dehiscence on day 7

Source: compiled by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.



Рис. 14. Состояние раны на 14 день

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Fig. 14. Condition of the wound on day 14

Source: compiled by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.



Рис. 15. Состояние раны на 30 день

Источник: выполнено А.А. Скворцовой, Е.А. Павловской, В.Н. Оболенским.

Fig. 15. Condition of the wound on day 30

Source: compiled by A.A. Skvortsova, E.A. Pavlovskaya, V.N. Obolenskiy.

Заключение

Метод локального отрицательного давления вызывает значительный интерес в ветеринарной медицине, особенно в контексте лечения ран у лошадей. Однако, для его успешного внедрения в клиническую практику требуется дальнейшее изучение метода и адаптация крепления конструкции к конкретному участку тела. Необходимо сосредоточиться на разработке более эффективных материалов для герметизации ран. Такие материалы должны учитывать анатомические и физиологические особенности различных областей тела лошадей, что позволит обеспечить более надежный и долговременный контакт конструкции с раневой поверхностью, что, в свою очередь, может способствовать ускорению процессов заживления и снижению риска инфекционных осложнений. Также требуется проведение исследований, направленных на определение оптимальных параметров терапии для различных типов ран. Это включает в себя изучение таких факторов, как продолжительность и интенсивность воздействия.

Важно отметить, что метод ЛОД наиболее целесообразно применять в первую фазу раневого процесса для удаления избыточного экссудата, снижения воспалительной реакции и стимуляции возникновения грануляции. Использование данного метода рекомендовано в условиях ветеринарных клиник, где имеется необходимое оборудование и возможность обеспечить надлежащий контроль за процессом лечения. Использование данного метода в условиях конюшни представляется менее возможным из-за сложности поддержания необходимого уровня стерильности, отсутствия специализированного оборудования и затрудненности регулярного мониторинга состояния раны. В клинических условиях

метод может продемонстрировать максимальную эффективность благодаря возможности строгого соблюдения протокола лечения и оперативного реагирования на возможные осложнения.

Применение ЛОД у лошадей с осложненными послеоперационными и посттравматическими ранами способствует более быстрому купированию воспалительного процесса, стимуляции регенерации тканей и снижению риска развития гнойно-септических осложнений. Данные выводы подтверждены результатами цитологических и микробиологических исследований, что делает ЛОД перспективным методом лечения ран у лошадей в клинической практике.

Таким образом, дальнейшие исследования и разработки в этой области представляют собой важное направление для повышения уровня ветеринарной помощи, особенно в аспекте стационарного лечения лошадей в специализированных клиниках. Внедрение метода ЛОД в клиническую практику может значительно улучшить качество лечения ран у лошадей, обеспечивая более быстрые и надежные результаты при условии соблюдения всех необходимых требований к проведению терапии.

Список литературы / References

1. Skvortsova AA, Pavlovskaya EA, Pozyabin SV. Features of the healing of deep traumatic wounds in horses in moving areas of the body. *Veterinary, Animal Science and Biotechnology*. 2024;(1):60–69. (In Russ.). doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202401007 EDN: JXQNBND
Скворцова А.А., Павловская Е.А., Позябин С.В. Особенности заживления глубоких травматических ран у лошадей в подвижных областях тела // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2024. № 1. С. 60–69. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202401007 EDN: JXQNBND
2. Eggleston RB. Wound management: wounds with special challenges. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2018;34(3):511–538. doi: 10.1016/j.cveq.2018.07.003
3. Hanson RR. Complications of equine wound management and dermatologic surgery. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2008;24(3):663–696. doi: 10.1016/j.cveq.2008.10.005
4. Maher M, Kuebelbeck L. Nonhealing wounds of the equine limb. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2018;34(3):539–555. doi: 10.1016/j.cveq.2018.07.007
5. Leise BS. Topical wound medications. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2018;34(3):485–498. doi: 10.1016/j.cveq.2018.07.006
6. Obolensky VN. Method of local negative pressure in the complex treatment of acute purulent-inflammatory diseases of soft tissues. *Medical Alphabet*. 2015;4(20):24–28. (In Russ.). EDN: WMQDBP
Оболеньский В.Н., Ермолов А.А., Родоман Г.В. Метод локального отрицательного давления в комплексном лечении острых гнойно-воспалительных заболеваний мягких тканей // Медицинский алфавит. 2015. Т. 4. № 20. С. 24–28. EDN: WMQDBP
7. Obolensky VN. Method of local negative pressure in the prevention and treatment of wound infections (literature review). *Medical Alphabet*. 2017;(5):49–52. (In Russ.).
Оболеньский В.Н., Ермолов А.А. Метод локального отрицательного давления в профилактике и лечении раневых инфекций (обзор литературы) // Медицинский алфавит. 2017. Т. 1. № 5 (302). С. 49–52.
8. Askey T, Major D, Arnold C. Negative pressure wound therapy for the management of surgical site infections with zoonotic, drug-resistant pathogens on the upper body of the horse. *Equine Veterinary Education*. 2023;35(8):e531–e536. doi: 10.1111/eve.13789
9. Elce YA, Ruzickova P, Almeida da Silveira E, Lavertyet S. Use of negative pressure wound therapy in three horses with open, infected olecranon bursitis. *Equine Veterinary Education*. 2020;32(1):12–17. doi: 10.1111/eve.12930
10. Florczyk A, Rosser J. Negative-pressure wound therapy as management of a chronic distal limb wound in the horse. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2017;55:9–11. doi: 10.1016/j.jevs.2017.01.005
11. Kamus L, Rameau M, Theoret C. Feasibility of a disposable canister-free negative-pressure wound therapy (NPWT) device for treating open wounds in horses. *BMC Veterinary Research*. 2019;15(1):1–10. doi: 10.1186/S12917-019-1829-5

12. Rettig MJ, Lischer CJ. Treatment of chronic septic osteoarthritis of the antebrachiocondylar joint with a synovial-cutaneous fistula utilizing arthroscopic lavage combined with ultrasonic-assisted wound therapy and vacuum-assisted closure with a novel wound lavage system. *Equine Veterinary Education*. 2017;29(1):27–32. doi: 10.1111/eve.12390
13. Van Hecke LL, Haspelslagh M, Hermans K, Martens AM. Comparison of antibacterial effects among three foams used with negative pressure wound therapy in an ex vivo equine perfused wound model. *American journal of veterinary research*. 2016;77(12):1325–1331. doi: 10.2460/ajvr.77.12.1325
14. Gaus M, Rohn K, Roetting AK. Applicability and effect of a vacuum-assisted wound therapy after median laparotomy in horses. *Pferdeheilkunde — Equine Medicine*. 2017;33(6):9–17. doi: 10.21836/PEM20170604
15. Gemeinhardt KD, Molnar JA. Vacuum-assisted closure for management of a traumatic neck wound in a horse. *Equine Veterinary Education*. 2005;17(1):27–33. doi: 10.1111/j.2042-3292.2005.tb00331.x
16. Haspelslagh M, Van Hecke LL, Hermans K, Chiers K, Pint E, Wilmink JM, Martens AM. Limited added value of negative pressure wound therapy compared with calcium alginate dressings for second-intention healing in a noncontaminated and contaminated equine distal limb wound model. *Equine veterinary journal*. 2022;54(3):592–600. doi: 10.1111/evj.13487
17. Jordana M, Pint E, Martens A. The use of vacuum-assisted wound closure to enhance skin graft acceptance in a horse. *Vlaams Diergeneeskund Tijdschr*. 2011;80(5):343–350. doi: 10.21825/vdt.87287
18. Launois T, Moor PL, Berthier A, Merlin N, Rieu F, Schlotterer C, Siegel A, Fruit G, Dugdale A, Vandeweerd JM. Use of negative pressure wound therapy in the treatment of limb wounds: a case series of 42 horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2021;106:103725. doi: 10.1016/j.jevs.2021.103725
19. Rijkenhuizen ABM, van den Boom R, Landman M, Cornelissen BPM. Can vacuum-assisted wound management enhance graft acceptance? *Pferdeheilkunde*. 2005;21(5):413–419. doi: 10.21836/PEM20050503

Об авторах:

Скворцова Анастасия Алексеевна — ассистент кафедры ветеринарной хирургии, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: anastasiaeqvet@gmail.com

ORCID: 0009-0001-8513-9946 SPIN-код: 6454-5819

Павловская Екатерина Андреевна — кандидат биологических наук, доцент кафедры ветеринарной хирургии, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: vetgroomer@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8768-5086 SPIN-код: 4663-2225

Оболенский Владимир Николаевич — кандидат медицинских наук, врач хирург и травматолог-ортопед, заведующий центром гнойной хирургии, филиал № 1 ГБУЗ ГКБ им. В.П. Демикова ДЗМ; 115280, Российская Федерация, г. Москва, ул. Велозаводская, д. 1/1; доцент кафедры общей хирургии л/ф, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова; Российская Федерация, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1; e-mail: gkb13@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1276-5484 SPIN-код: 5843-2934

About authors:

Skvortsova Anastasia Alekseevna — assistant of the department of veterinary surgery, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Skryabin, 23 Academician Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: anastasiaeqvet@gmail.com

ORCID: 0009-0001-8513-9946 SPIN-code: 6454-5819

Pavlovskaya Ekaterina Andreevna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary Surgery, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Skryabin, 23 Academician Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: vetgroomer@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8768-5086 SPIN-code: 4663-2225

Obolensky Vladimir Nikolaevich — Candidate of Medical Sciences, surgeon and orthopedic traumatologist, head of the Center for Septic Surgery, City Clinical Hospital named after V.P. Demikhova Department No. 1, 1 Velozavodskaya st., bldg. 1, Moscow, 115280, Russian Federation; Associate Professor, Department of General Surgery, Pirogov Russian National Research Medical University; 1 Ostrovityanova st., Moscow, 17997, Russian Federation; e-mail: gkb13@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1276-5484 SPIN-code: 5843-2934



DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-1-79-87

EDN HOTXPC

УДК 619:618+619:616.9

Научная статья / Research article

Анализ уровня С-реактивного белка в жидкости из полости матки у дойных коров

Г.М. Фирсов 

Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

✉ firsovgm@yandex.ru

Аннотация. Нарушения в работе иммунной системы, травмы половых путей и изменения в микробиотическом составе матки в послеродовой период часто становятся причиной метрита или, в долгосрочной перспективе, возникновения гнойных выделений из влагалища. Ранее осуществленные анализы выявили, что концентрация сывороточного белка С-реактивного протеина у коров, пораженных метритом, значительно превышает показатели в группе здоровых животных, выступающей в роли контроля. Цель исследования — изучение изменения концентрации С-реактивного белка (СРБ), который служит индикатором воспалительных процессов при диагностике, в экссудате из маточной полости у молочных животных после родов. Научные работы проводили с 2020 по 2024 г. на базе ООО «СП «Донское» (Волгоградская область). Уровень СРБ в жидкостях, полученных после промывания матки, а также в плазменных пробах определяли с использованием иммуноферментного анализа (ELISA), применительно к серии образцов и набору для диагностики данного биомаркера. Исследования в лаборатории проводили согласно инструкциям, предоставленным производителем аналитического оборудования и необходимых реактивов. Выявлены модификации в содержании СРБ в составах для спринцевания матки у коров на протяжении опыта. В растворах для промывания полости матки у здоровых коров из контрольного ряда средний уровень СРБ достигал $23,62 \pm 8,94$ нг/мл, тогда как у животных экспериментальной группы, страдающих метритом, этот показатель был значительно выше и составлял $67,26 \pm 26,32$ нг/мл. Наблюдался разброс в концентрациях СРБ у коров двух групп, что свидетельствует об их различной иммунной активности. Сделан вывод о том, что определение концентрации СРБ в жидкости матки может быть действенным методом для выявления воспалительных состояний в этом органе.

Ключевые слова: ELISA, острая фаза, острый воспалительный ответ, промывание матки, Волгоградская область

Благодарности. Автор выражает благодарность всем сотрудникам кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, заразных болезней и морфологии Волгоградского государственного аграрного университета за помощь в проведении исследований.

Заявление о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

© Фирсов Г.М., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

История статьи: поступила в редакцию 6 декабря 2024 г., принята к публикации 11 января 2025 г.

Для цитирования: Фирсов Г.М. Анализ уровня С-реактивного белка в жидкости из полости матки у дойных коров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 1. С. 79—87. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-79-87 EDN HOTXPC

Analysis of C-reactive protein levels in uterine fluid of dairy cows

Grigory M. Firsov 

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

✉ firsovgm@yandex.ru

Abstract. The aim is to study changes in the concentration of C-reactive protein, which serves as an indicator of inflammatory processes in diagnostics, in the exudate from the uterine cavity of dairy animals after parturition. In the period from 2020 to 2024, in the Volgograd Region, scientific work was carried out on the basis of LLC "SP 'Donskoye'". The level of C-reactive protein in the fluids obtained after uterine lavage and in plasma samples was determined using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) on a series of samples and a diagnostic kit for this biomarker. The studies in the laboratory were carried out according to the instructions provided by the manufacturer of the analytical equipment and the necessary reagents. The study revealed modifications in the content of C-reactive protein (CRP) both in blood plasma and in the uterine syringing solutions in cows throughout the experiment. In the uterine lavage solutions of healthy cows from the control series, the average CRP level reached 23.62 ± 8.94 ng/ml, whereas in the animals of the experimental group suffering from metritis this indicator was significantly higher and amounted to 67.26 ± 26.32 ng/ml. There is a spread in the concentrations of C-reactive protein in cows of the two groups, which indicates their different immune activity. The study aims to evaluate C-reactive protein as a potential indicator of inflammation during uterine healing after labor. Based on the results, it can be concluded that determining the concentration of this protein in uterine fluid may be an effective method for identifying inflammatory conditions in this organ.

Keywords: ELISA, acute phase, acute inflammatory response, uterine lavage, Volgograd region

Acknowledgments. The author expresses gratitude to all employees of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Infectious Diseases and Morphology of the Volgograd State Agrarian University for their assistance in conducting the research.

Conflicts of interest. The author declares no conflict of interest.

Article history: received 6 December 2024, accepted 11 January 2025.

For citation: Firsov GM. Analysis of the level of C-reactive protein in the fluid from the uterine cavity of dairy cows. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025; 20(1): 79—87. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-79-87 EDN HOTXPC

Введение

Фаза послеродового периода представляет собой ключевой момент для благополучия и молочной продуктивности коров [1]. После рождения теленка репродуктивная система коровы возвращается к своему обычному состоянию до беременности.

В матке происходят сокращение мышечного слоя и воспалительные процессы в слизистой оболочке, что необходимо для избавления от плаценты и предотвращения инфекций, включая те, которые вызываются патогенными бактериями. Микроорганизмы бактериального происхождения, задерживающиеся в маточной полости после процесса родов, обнаруживаются системой врожденного иммунитета. В результате этого процесса наблюдается перемещение воспалительных элементов крови, включая лимфоциты и нейтрофилы, к участкам репродуктивной системы, где локализованы патогенные микроорганизмы.

Протеины острого воспалительного ответа выполняют разнообразные функции, благодаря которым они борются с бактериальными агентами, снижают степень травмирования тканей и способствуют их восстановлению [2]. В ветеринарной практике С-реактивный белок (СРБ) применяется как показатель наличия воспалительного процесса, а также для мониторинга эффективности терапевтических мероприятий в случае воспалительных патологий [3]. Исследования, проведенные ранее в Беларуси (2020) и нами в Волгоградской области (2023) [1, 4], показали, что у коров, страдающих метритом, уровень сывороточного СРБ был значительно выше, чем у здоровых животных из контрольной группы. Составляющим элементом СРБ является негликолизированный протеин, включающий пять компонентов. Он взаимодействует с липополисахаридными структурами, которые обнаруживаются в оболочках микроорганизмов, таких как бактерии и грибы [5]. В клинических исследованиях, направленных на анализ СРБ в качестве показателя системного воспаления, преобладает изучение его концентрации, но случаи использования СРБ в качестве индикатора для отслеживания воспалительных реакций в конкретных органах, включая матку, встречаются крайне редко. Исследование Ando, Y et al. из Японии [6] обнаружило повышенное содержание $\text{PGF}_{2\alpha}$ и СРБ в эндометрии. Высокие уровни этих веществ в крови могут служить признаками, позволяющими определить животных с риском развития задержки плаценты или метрита [7].

СРБ не только обладает высокой способностью обнаруживать воспалительные процессы, он также эффективно откликается на лечебные процедуры. Это делает СРБ ценным инструментом для мониторинга и управления терапевтическим процессом в случае различных заболеваний, характеризующихся увеличением уровня этого маркера [8–15].

Цель исследования — анализ колебаний уровня СРБ, являющегося неспецифическим показателем, указывающим на наличие острого воспаления в жидкости из полости матки после отела у животных молочного направления.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в 2020–2024 гг. в ООО «СП „Донское“», расположенном в Калачевском районе Волгоградской области России, с опорой на диагностические данные, предоставленные коровами голштинской породы с примесью фризской, достигшими трех-пятилетнего возраста и имеющими

средний годовой объем молока в пределах 8560...8942 кг. В процессе экспериментального исследования участвовали коровы контрольной группы здоровых животных ($n = 16$) и опытной группы ($n = 16$) больных метритом коров. Критерии для установления клинических диагнозов в случае послеродовых патологий у коров включали следующие положения: метрит считался клиническим, если воспаление матки возникало в первые три недели после родов, характеризуясь увеличением ее размеров и наличием гнойных выделений из половых путей; эндометрит диагностировался как клинический, когда инфекционный процесс начинался спустя 21 день после отела, сопровождаясь слизисто-гнойными или гнойными выделениями, которые могли быть обнаружены с помощью ректального обследования и ультразвукового сканирования; субклинический эндометрит определяли при отсутствии явных симптомов воспаления матки после родов, что обнаруживалось в ходе репродуктивной диагностики. Для анализа цитологического материала использовали цитощетку, образцы с которой наносили на стекла, фиксировали и окрашивали по методу Райта — Гимза. Подсчет клеток матки и нейтрофилов проводился микроскопически. Диагноз ставился при выявлении более 5 % полиморфноядерных нейтрофилов среди 200 клеток. Во время проведения исследований не был установлен диагноз воспаления цервикального канала матки.

Уровень СРБ определяли посредством иммуноферментного анализа в формате sandwich с применением стандартных наборов для ELISA. Измерение оптических плотностей осуществляли с помощью автоматизированного ридера для микропланшетов.

Перед процедурой орошения полости матки выполняли вагинальный осмотр. Перед вагинальным осмотром проводилась тщательная гигиеническая обработка половых губ с использованием воды и мыла, а также осуществлялась дезинфекция рук врача этанолом для предотвращения риска инфекционных осложнений в области влагалища и цервикального канала. Проводили пальпаторное ректальное исследование прямой кишки для анализа секрета из маточных труб в область шейки матки, определения степени раскрытия зева матки и оценки состояния репродуктивных органов непосредственно перед началом орошения.

Примеры образцов для лаважа были переданы в исследовательскую лабораторию в кратчайшие сроки, всего за один час, помещены в центрифугу и вращались с ускорением 760 об/мин на протяжении пяти минут. Содержание СРБ в растворах, полученных при промывке матки, а также в плазменных образцах измеряли методом иммуноферментного анализа (ELISA) с применением повторных порций и комплекта для определения данного белка. Лабораторные исследования были выполнены согласно рекомендациям, которые предоставил производитель оборудования и реагентов. Значения представлены в виде среднего показателя $\pm$ стандартного отклонения. Для выявления статистических различий между средними величинами применялся анализ дисперсии с повторными замерами и U-критерий Манна — Уитни. Различия признавались значимыми при значениях p , меньших 0,05.

Результаты исследования и обсуждение

Анализы выявили, что у коров с метритом отмечается достоверное снижение концентрации мочевины и креатинина по сравнению с группой здоровых особей ($p < 0,05$). У животных, страдающих метритом, уровень ферментов аспарагинаминотрансферазы и γ -глутамилтранспептидазы в плазме крови был значительно повышен ($p < 0,05$) относительно показателей контрольной группы. При этом у коров с воспалением матки наблюдалось уменьшение содержания холестерина и кальция ($p < 0,05$).

Уровень СРБ в жидкости, используемой для промывания матки (рис. 1), был значительно ниже у животных контрольной группы по сравнению с показателями животных опытной группы. Средняя концентрация СРБ в растворах для промывания матки у коров контрольной группы составила $23,62 \pm 8,94$ нг/мл против $67,26 \pm 26,32$ нг/мл у коров опытной группы больных метритом. U-критерий Манна — Уитни составил 0,000 при асимптотической двусторонней значимости 0,001. Таким образом средняя концентрация СРБ у коров контрольной группы и у коров опытной группы больных метритом статистически достоверна при значении $p \geq 0,001$.

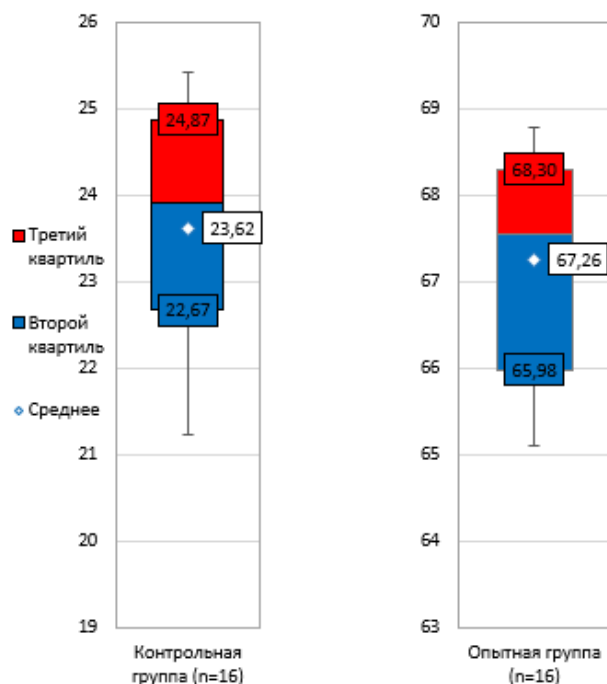


Рис. 1. Уровень С-реактивного белка, нг/мл, в растворах для промывания матки у коров контрольной и опытной групп

Источник: составлено Г.М. Фирсовым.

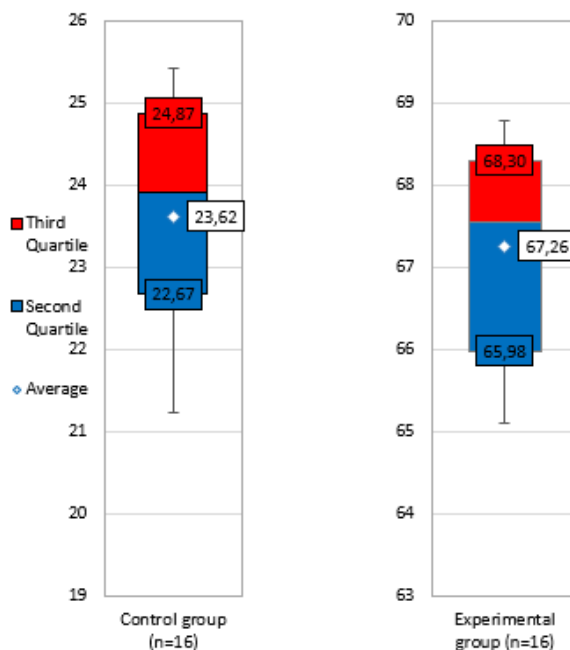


Fig. 1. The level of C-reactive protein, ng/ml, in solutions for uterine lavage in cows of the control and experimental groups

Source: compiled by G.M. Firsov.

На рис. 2 отмечено отсутствие взаимосвязи между содержанием СРБ в жидкостях из матки и сыворотки крови. Однако выявлена статистически значимая связь ($r = 0,54$, $p < 0,1$) между концентрацией СРБ в промывных жидкостях и соотношением суммы нейтрофилов и лимфоцитов на 1-, 5- и 10-й день контрольной и опытной групп послеродового периода.

Беременность оказывает серьезное воздействие на функционирование иммунной системы. Важные взаимоотношения между иммунными механизмами и элементами репродуктивной системы играют ключевую роль в обеспечении успешного вынашивания плода, однако они же способствуют ослаблению иммунитета, что увеличивает вероятность развития заболеваний. Рождение телят и сопутствующие метаболические осложнения могут стать серьезным испытанием для здоровья коровы. В ответ на стресс в организме животного может запуститься механизм острого воспалительного ответа, что обычно сопровождается повышенной продукцией белков острой фазы в печени. Исследователи [8] выявили корреляцию между увеличенным уровнем белков острого воспалительного ответа и травматизацией тканей, обусловленной усиленной деятельностью миометрия в период отхождения плода, процессами инволюции матки, а также явлениями дегенерации и восстановления эндометрия.

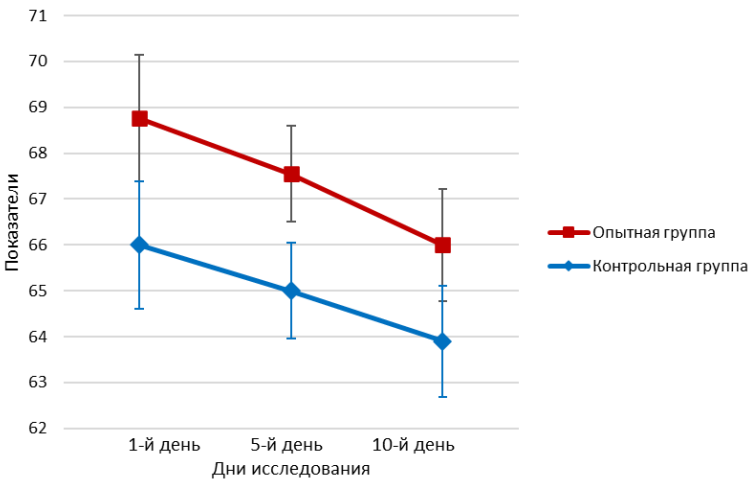


Рис. 2. Уровни СРБ в матке и сыворотке крови на 1-й, 5-й и 10-й день контрольной и опытной групп послеродового периода
Источник: сделано Г.М. Фирсовым.

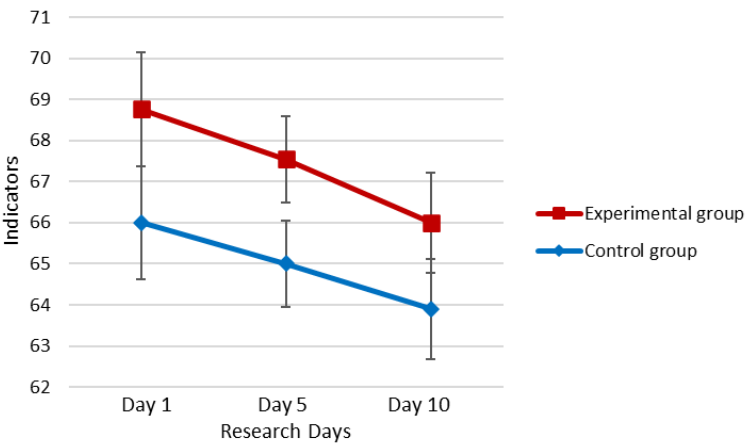


Fig. 2. CRP levels in the uterus and blood serum on the 1st, 5th and 10th day of the control and experimental groups of the postpartum period
Source: compiled by G.M. Firsov.

Исследования в Испании [9] показывают, что у крупного рогатого скота высокие уровни белков, связанных с острым воспалением (в частности СРБ), коррелируют с увеличением концентрации кортизола в ответ на стрессовые ситуации. Тем не менее, несмотря на общую тенденцию к подобной реакции, ее интенсивность может значительно колебаться среди разных особей: одни животные проявляют ярко выраженный ответ, в то время как другие реагируют слабо или почти незаметно. Подобное было установлено в нашем исследовании. Исследование Бригадирова Ю.Н. и др. из Беларуси [3] выявило, что синтез острых фазовых белков неодинаков как между разными видами животных, так

и среди особей одного вида. Различная степень вариабельности в уровнях СРБ у коров обеих групп указывает на их разнообразную активность. Сопоставимые результаты получены и нами.

Заключение

Изучался С-реактивный белок в качестве возможного показателя воспалительного процесса в период восстановления матки после родов. Полученные данные подтвердили, что анализ уровня СРБ в маточной жидкости может служить эффективным способом диагностики воспалительных процессов в матке. В течение определенного контролируемого временного промежутка были отмечены заметные колебания в уровнях СРБ. Тем не менее, анализ этих метаболитов необходимо осуществлять в комплексе с детальным изучением истории болезни и всесторонним ветеринарным осмотром каждого животного.

Список литературы / Referenses

1. Skorikov V, Mikhalev V, Chusova G, Akulova K. Morphological blood indicators and level of proinflammatory cytokines in clinically healthy cows and those with postpartum metritis. *uchenyie-zapiski-uovgvm*. 2023;59(3):34—38. (In Russ.). doi: 10.52368/2078-0109-2023-59-3-34-38. EDN: OZMSOT
Скорилов В.Н., Михалев В.И., Чусова Г.Г., Акулова К.О. Морфологические показатели крови и уровень провоспалительных цитокинов у клинически здоровых коров с послеродовым метритом // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины». 2023. Т. 59. № 3. С. 34—38. doi: 10.52368/2078-0109-2023-59-3-34-38. EDN: OZMSOT
2. Talha A, Koca D, Nak Y, Şahin ME, Özyiğit MÖ, Nak D. Investigation of relationships between serum lactate, acute phase proteins, pro/antiinflammatory cytokine levels, and metritis formation in Holstein dairy heifers. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 2023 Jan 1;47(3):176—84. doi: 10.55730/1300-0128.4284 EDN: YNSWMO
3. Brigadirov YuN, Kotsarev VN, Ermolova TG, Perepelkina IS, Kopytina KO, Vladimirova YuYu, Ponomareva Yu O. The state of homeostasis in sows with inflammatory processes in the reproductive organs. *Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine*. 2020;56(4):26—31. (In Russ.). EDN: PPGAHE
Бригадиров Ю.Н., Коцарев В.Н., Ермолова Т.Г., Перепелкина И.С., Копытина К.О., Владимирова Ю.Ю., Пономарева Ю.О. Состояние гомеостаза у свиноматок при воспалительных процессах в репродуктивных органах // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины». 2020. Т. 56. № 4. С. 26—31. EDN: PPGAHE
4. Firsov GM, Ryadnov AA, Ryadnova TA, Morozova ZCh, Budtuev OV. Study of non-specific infections of the cow uterus. *Izvestiya NV AUK*. 2024;(1):180—188. (In Russ.). doi: 10.32786/2071-9485-2024-01-20 EDN: YWYMKB
Фирсов Г.М., Ряднов А.А., Ряднова Т.А., Морозова З.Ч., Будтуев О.В. Исследование неспецифических инфекций матки коров // Известия НВ АУК. 2024. № 1(73). С. 180—188. doi: 10.32786/2071-9485-2024-01-20 EDN: YWYMKB
5. Garzon A, Habing G, Lima F, Silva-del-Rio N, Samah F, Pereira R. Defining clinical diagnosis and treatment of puerperal metritis in dairy cows: A scoping review. *Journal of Dairy Science*. 2022 Apr;105(4):3440—3452. doi: 10.3168/jds.2021-21203 EDN: YDOGHC
6. Yuki A., Dai I., Hideshige S., Natsumi E., Tomomi T. Changes in the C-reactive protein and 13,14-dihydro-15-keto-prostaglandin F_{2α} concentrations of uterine lavage samples after the administration of povidone-iodine in cows. *J Vet Med Sci*. 2022;84(10):1373—1376. doi: 10.1292/jvms.22-0249
7. Figueiredo C, Merenda V, de Oliveira E, Lima F, Chebel R, Galvão K, et al. Failure of clinical cure in dairy cows treated for metritis is associated with reduced productive and reproductive performance. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(6):7056—7070. doi: 10.3168/jds.2020-19661

8. Avcilar T, Koca D, Nak Y, Şahin ME, Özyiğit MÖ, Nak D. Investigation of relationships between serum lactate, acute phase proteins, pro/antiinflammatory cytokine levels, and metritis formation in Holstein dairy heifers. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 2023;47(3):176–184. doi: 10.55730/1300-0128.4284
9. Vallejo-Mateo PJ, Contreras-Aguilar MD, Muñoz-Prieto A, Botia M, Tvarijonaviciute A, Rubio CP, et al. Saliva as a Potential Source of Biomarkers in Cows with Metritis: A Pilot Study. *Veterinary Sciences*. 2024;11(9):446. doi: 10.3390/vetsci11090446
10. Schmitt R, Pieper L, Gonzalez-Grajales LA, Swinkels J, Gelfert C, Staufenbiel R. Evaluation of different acute-phase proteins for herd health diagnostics in early postpartum Holstein Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Research*. 2021;88(1):33–37. doi: 10.1017/S0022029921000078
11. Casaro S, Prim J, Gonzalez T, Bisinotto R, Chebel R, Marrero M, et al. Unraveling the immune and metabolic changes associated with metritis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(12):9244–9259. doi: 10.3168/jds.2023-23289
12. Chebel RC. Predicting the risk of retained fetal membranes and metritis in dairy cows according to prepartum hemogram and immune and metabolic status. *Preventive Veterinary Medicine*. 2021 Feb;187:105204. doi: 10.1016/j.prevetmed.2020.105204
13. Yáñez U, Herradón PG, Becerra JJ, Peña AI, Quintela LA. Relationship between Postpartum Metabolic Status and Subclinical Endometritis in Dairy Cattle. *Animals*. 2022 Jan 20;12(3):242. doi: 10.3390/ani12030242
14. Silva JCC, Brighenti L, Siqueira LC, Rodrigues MX, Zinicola M, Pomeroy B, et al. Testing the Induction of Metritis in Healthy Postpartum Primiparous Cows Challenged with a Cocktail of Bacteria. *Animals*. 2023;13(18):2852. doi: 10.3390/Ani13182852
15. Malledevarahalli Chandrappa S, Pascottini OB, Opsomer G, Meineri G, Martino NA, Banchi P, et al. Circulating and endometrial cell oxidative stress in dairy cows diagnosed with metritis. *Theriogenology*. 2023;198:217–223. doi: 10.1016/j.theriogenology.2022.12.045

Об авторах:

Фирсов Григорий Михайлович — кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, заразных болезней и морфологии, Волгоградский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26; e-mail: firsovgm@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-1262-6532 SPIN-код: 8781-7218

About authors:

Firsov Grigory Mikhailovich — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Infectious Diseases and Morphology, Volgograd State Agrarian University, 26 Universitetsky ave., Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: firsovgm@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-1262-6532 SPIN-code: 8781-7218



Генетика и селекция растений Genetics and plant breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-88-101

EDN HYSNGO

УДК 582.739

Научная статья / Research article

Генотипическая кластеризация 51 сорта культурной и форм дикой сои с использованием SSR-маркеров

А.А. Иваний^{id}✉, А.А. Пензин^{id}, О.Н. Бондаренко^{id},
А.А. Блинова^{id}, А.Е. Гретченко^{id}, Л.Е. Иваченко^{id}, П.Д. Тимкин^{id}

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»,
г. Благовещенск, Российская Федерация
✉ iaa@vniisoi.ru

Аннотация. Сорта сои характеризуются в основном морфологическими и биохимическими признаками. Однако при попытке использовать данные параметры в идентификации и дифференциации сортов исследователи сталкиваются с затруднениями, что усложняет работу с близкородственными сортовыми линиями. Микросателлитные маркеры, или SSR (простые повторы последовательности), являются отличным инструментом для идентификации и дифференциации сортов, выявления степени их генетического родства и защите авторских прав. Цель исследования — получение молекулярно-генетических формул для сортов культурной и форм дикой сои с последующим выявлением их генетического родства. Материалом исследования служил 51 образец культурной и дикой сои (39 культурных сортов сои селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои и 12 форм дикой сои). Из исследуемых образцов выделялось геномная ДНК, которая затем была амплифицирована. Полученные ампликоны разделили в 2%-м агарозном геле и детектировали длину получившихся фрагментов в двух повторностях. Для молекулярно-генетической характеристики использовали 9 микросателлитных локусов (*Satt1*, *Satt2*, *Satt5*, *Satt9*, *Soyhsp176*, *Satt681*, *Sat_263*, *Satt141*, *Satt181*). Результаты, демонстрирующие длину каждого локуса, проанализировали алгоритмом UPGMA для регистрации генетического родства или отдаленности. Получены молекулярно-генетические формулы исследуемых образцов, которые в дальнейшем можно использовать для составления генетических паспортов. На основе алгоритма UPGMA 51 генотип сои сгруппировали в 13 основных кластеров. Большинство форм дикой сои, произрастающих в Амурской области, продемонстрировали

© Иваний А.А., Пензин А.А., Бондаренко О.Н., Блинова А.А., Гретченко А.Е.,
Иваченко Л.Е., Тимкин П.Д., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

генетическую близость благодаря принадлежности к трем близко расположенным кластерам. Однако форма дикой сои из Хабаровского края (Дикая соя 31) и одна из форм Амурской области (КЗ-6337), не входящая в указанные кластеры, оказались генетически отдалены от других групп дикой сои. Эти результаты свидетельствуют об адекватности использования 9 SSR-локусов для задач идентификации, выявления родства и дальнейшей паспортизации сои.

Ключевые слова: *Glycine max*, *Glycine soja*, SSR-анализ, ДНК-маркеры, микросателлитные локусы, молекулярно-генетическая паспортизация

Вклад авторов: Иваний А.А. — внесла основной вклад в написание работы: проведение анализа, написание статьи; Пензин А.А. — проведение эксперимента, редактирование статьи; Бондаренко О.Н. — проведение амплификации; Блинова А.А. — выделение ДНК и проведение электрофореза; Гретченко А.Е. — проведение электрофореза; Иваченко Л.Е. — участвовала в написании и редактировании работы; Тимкин П.Д. — написание статьи, проведение эксперимента, редактирование статьи, формулирование основной идеи.

Финансирование. Работа была выполнена в рамках темы научно-исследовательской работы № FNGE-2024-0014.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 7 мая 2024 г., принята к публикации января 14 октября 2024 г.

Для цитирования: Иваний А.А., Пензин А.А., Бондаренко О.Н., Блинова А.А., Гретченко А.Е., Иваченко Л.Е., Тимкин П.Д. Генотипическая кластеризация 51 сорта культурной и форм дикой сои с использованием SSR-маркеров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 1. С. 88—101. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-88-101 EDN HYSNGO

Genotypic clustering of 51 soybean cultivars and wild forms using SSR-markers

Alena A. Ivaniy  , Andrey A. Penzin , Olga N. Bondarenko ,
Anastasia A. Blinova , Alina E. Gretchenko ,
Lyubov E. Ivachenko , Pavel D. Timkin 

Russian Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russian Federation
 iaa@vniisoi.ru

Abstract. Soybean cultivars are characterized mainly by morphological and biochemical traits. However, researchers encounter difficulties when trying to use these parameters in cultivar identification and differentiation, making it difficult to work with closely related cultivar lines. Microsatellite markers or SSRs (simple sequence repeats) are an excellent tool for variety identification and differentiation, revealing the degree of genetic relatedness and copyright protection. The aim of the research was to obtain molecular genetic formulas for cultivated and wild soybean varieties with subsequent identification of their genetic relatedness. The object of the study was 51 samples of soybean (39 cultivars and 12 wild forms). Genomic DNA was isolated from the studied samples and then amplified. The obtained amplicons were separated in 2% agarose gel and the length of the fragments was detected in two replications. Nine microsatellite loci (Satt1, Satt2, Satt5, Satt9, Soyhsp176, Satt681, Sat_263, Satt141, Satt181) were used for molecular genetic characterization. Results demonstrating the length of each locus were analyzed by the UPGMA algorithm to record genetic relatedness or remoteness. The molecular genetic formulae of the studied samples were obtained, which can be further used to compile genetic

passports. Based on the UPGMA algorithm, 51 soybean genotypes were grouped into 13 main clusters. Most of the soybean wild forms growing in the Amur Region demonstrated genetic proximity due to belonging to three closely located clusters. However, the soybean wild form from the Khabarovsk Territory (Dikaya soya 31) and one of the forms from the Amur Region (KZ-6337) were genetically distant from other groups of soybean wild forms. These results indicate the adequacy of the use of 9 SSR locuses for identification tasks, identification of relatedness and further passportization of soybeans.

Keywords: *Glycine max*, *Glycine soja*, SSR analysis, DNA markers, microsatellite loci, molecular genetic passportization

Authors' contribution. Ivaniy A.A. — analysis, scientific writing; Penzin A.A. — conducting the experiment, editing the article; Bondarenko O.N. — amplification; Blinova A.A. — DNA release and electrophoresis; Gretchenko A.E. — conducting electrophoresis; Ivachenko L.E. — scientific writing and editing; Timkin P.D. — scientific writing and editing, conducting the experiment, formulating the main idea.

Funding. The study was performed as part of the research work No. FNGE-2024-0014.

Conflict of interest. The authors declared no conflict of interests.

Article history: received 7 May 2024; accepted 14 October 2024.

For citation: Ivaniy AA, Penzin AA, Bondarenko ON, Blinova AA, Gretchenko AE, Ivachenko LE, Timkin PD. Genotypic clustering of 51 soybean cultivars and wild forms using SSR-markers. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1):88—101. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-88-101 EDN HYSNGO

Введение

Идентификация сортов сои — важная задача в прикладной селекции, семеноводстве, торговле и т.д. Решение такой задачи возможно с использованием двух методов: оценки морфологических признаков и анализа молекулярно-генетических маркеров. Методы не взаимоисключают, а дополняют друг друга [1, 2]. Несмотря на то, что для проверки однородности и стабильности растений используют морфологические признаки, последние не подходят для селекции с узким генетическим разнообразием. На сегодняшний день исследователи сосредоточены на применении молекулярных маркеров.

Благодаря молекулярным маркерам идентификация и дифференциация различных сортов растений становятся менее затратными по времени и более простыми [3, 4]. Для поиска молекулярно-генетических маркеров широко используется платформа секвенирования нового поколения (NGS). Маркеры для генетического изучения культурных растений могут быть представлены простыми повторами последовательностей (SSR), одонуклеотидными полиморфизмами (SNP), полиморфизмами длин рестрикционных фрагментов (RFLP), полиморфизмами длин амплифицированных фрагментов (AFLP), вставками/делециями (InDels) и др. [5–7].

Микросателлиты (SSR) встречаются в геномах большинства эукариот и являются очень информативными, многоаллельными и воспроизводимыми. Метод SSR-анализа является наиболее перспективным и пригодным для практического использования, благодаря таким критериям, как высокая точность и надежность результатов [8–10].

Цель исследования — получение молекулярно-генетических формул для сортов культурной и форм дикой сои с последующим выявлением их генетического родства.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования были семена культурных сортов сои селекции ВНИИ сои и формы дикой сои, ареал которых Амурская область (КЗ-6337, КБл-29, КА-1413, КА-32, КБел-72, КБл-24, КА 346, КТ-156, КЗ-578, КБл-90, КБл-77) и Хабаровский край (Дикая соя 31).

Геномную ДНК выделяли с использованием коммерческого набора ДНК-экстракт-3 (ООО «Синтол», Россия) по протоколу, приложенному к реактивам, из семян сои с модификацией. Для проведения исследований отбирали по 6 семян сои и замачивали их в дистиллированной воде при +25 °С в течение суток. Далее семена подвергали шоковой заморозке в течение 30 минут при температуре –86 °С. Затем из каждого семени отбирали навеску 0,025 г [11].

Степень очистки и концентрацию ДНК определяли на спектрофотометре EZdrop (Китай). Пределы измерения концентрации брали от 50 до 200 нг/мкл. Образцы считались чистыми при соотношении длин волн 260/280, равных $1,8 \pm 0,1$. Для амплификации выделенной ДНК форм дикой сои и сортов культурной сои применяли 9 пар праймеров к SSR-локусам (*Satt1*, *Satt2*, *Satt5*, *Satt9*, *Soyhsp176*, *Satt681*, *Sat_263*, *Satt141*, *Satt181*), отобранных на основании литературных источников [12–14]. ПЦР проводили в 2-кратной повторности. Для каждой из представленных пар праймеров рассчитали температуру отжига (в веб-версии программы PrimerBLAST) и провели их оптимизацию экспериментальным путем (табл. 1). В этих целях с каждой парой праймеров проводили ПЦР, где ДНК образцов сои амплифицировали по установленному протоколу, изменяя температуру отжига в каждом опыте на 3...5 °С. Выбор оптимального значения температуры отжига основывался на получении четких, хорошо различимых амплифицированных фрагментов в характерном для каждого локуса диапазоне количества пар нуклеотидов (н.п). В таком случае температуру, при которой получались хорошо различимые ампликоны, называли фактической. Амплификацию ДНК сои на амплификаторе CFX96 (Real-time) (Bio-Rad laboratories Inc., США) выполняли в 50 мкл готовой реакционной смеси расширенного набора для проведения ПЦР с HS-Taq (ООО «Биолабмикс»). Продукты реакции разделяли методом электрофореза в 2%-м агарозном геле, окрашенном бромистым этидием, в 0,5 × TBE буфере.

Анализ и визуализацию осуществляли с использованием гель-документирующей системы GelDoc EZ (Bio-Rad laboratories Inc., США). Для анализа молекулярной массы использовали готовый набор ДНК (DNA Ladder, 50+bp). Идентификацию и определение размеров аллелей микросателлитных локусов проводили с использованием программы Image Lab Version 6.0.1 4 Standard Edition. Аллельное состояние каждого локуса обозначали в соответствии с размером продуктов амплификации — пар нуклеотидов (н.п.). Статистическую обработку полученных данных осуществляли с применением пакета программы POPGENE версии 1.32 [15].

Для визуализации обнаруженных генетических дистанций между исследуемыми образцами построили дендрограмму методом невзвешенного попарно-группового анализа (unweighted pair wise group method analysis — UPGMA).

Таблица 1

Оптимальная температура отжига праймеров

Наименование локуса	Температура отжига, °C	
	Фактическая	Расчетная
Satt1	60	60
Satt2	60	63
Satt5	55	58
Satt9	45	61
Soyhsp176	60	67
Satt681	58	65
Sat_263	65	56
Satt141	63	60
Satt181	63	50

Источник: составлено О.Н. Бондаренко, А.А. Пензиным на основе экспериментальных данных.

Table 1

Optimum annealing temperature

Locus	Annealing temperature, °C	
	Actual	Calculated
Satt1	60	60
Satt2	60	63
Satt5	55	58
Satt9	45	61
Soyhsp176	60	67
Satt681	58	65
Sat_263	65	56
Satt141	63	60
Satt181	63	50

Source: compiled by O.N. Bondarenko, A.A. Penzin based on experimental data.

Результаты исследования и обсуждение

В ходе исследования получены длины всех микросателлитных локусов для каждого сорта культурной и форм дикой сои и составлены молекулярно-генетические формулы, отображающие длину аллелей (табл. 2), которые позволят использовать их при регистрации сортов, а также для дальнейшей паспортизации и защиты прав селекционеров.

Таблица 2

Молекулярно-генетические формулы 51 генотипа сои,
полученные путем микросателлитного анализа

№	Наименование сорта культурной / формы дикой сои	Формула*
1	Кружевница	$A_{137}B_{154}C_{150}D_{206}H_{115}J_{244}K_{135}L_{148}M_{225}$
2	Сентябринка	$A_{145}B_{154}C_{136}D_{200}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
3	Веретейка	$A_{137}B_{154}C_{150}D_{212}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{225}$
4	Лидия	$A_{137}B_{154}C_{150}D_{186}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{208}$
5	Умка	$A_{137}B_{154}C_{136}D_{159}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{225}$
6	Даурия	$A_{145}B_{154}C_{150}D_{168}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{218}$
7	Золушка	$A_{154}B_{154}C_{160}D_{176}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
8	Лазурная	$A_{145}B_{154}C_{150}D_{154}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{185}$
9	Топаз	$A_{145}B_{154}C_{136}D_{138}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{170}$
10	Олимп	$A_{145}B_{154}C_{160}D_{186}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{218}$
11	Ляна	$A_{145}B_{146}C_{160}D_{154}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{185}$
12	Грэй	$A_{137}B_{146}C_{160}D_{186}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{218}$
13	ВНИИС18	$A_{145}B_{146}C_{160}D_{186}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
14	Алпетра	$A_{145}B_{146}C_{160}D_{186}H_{120}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
15	Золотница	$A_{137}B_{154}C_{160}D_{212}H_{115}J_{244}K_{156}L_{210}M_{170}$
16	Апис	$A_{125}B_{154}C_{160}D_{212}H_{115}J_{244}K_{156}L_{210}M_{208}$
17	Лучистая	$A_{125}B_{146}C_{160}D_{212}H_{115}J_{244}K_{156}L_{210}M_{208}$
18	Тисей	$A_{125}B_{146}C_{160}D_{206}H_{115}J_{244}K_{180}L_{210}M_{208}$
19	Пепелина	$A_{137}B_{154}C_{160}D_{168}H_{115}J_{244}K_{156}L_{210}M_{208}$
20	Чародейка	$A_{154}B_{163}C_{160}D_{186}H_{115}J_{200}K_{165}L_{210}M_{208}$
21	Персона	$A_{125}B_{146}C_{160}D_{212}H_{105}J_{220}K_{135}L_{187}M_{175}$
22	Статная	$A_{125}B_{146}C_{165}D_{212}H_{105}J_{228}K_{135}L_{187}M_{170}$
23	Евгения	$A_{145}B_{154}C_{175}D_{212}H_{105}J_{228}K_{135}L_{187}M_{205}$
24	Журавушка	$A_{145}B_{154}C_{160}D_{220}H_{105}J_{220}K_{135}L_{187}M_{208}$
25	Бонус	$A_{137}B_{137}C_{175}D_{200}H_{105}J_{244}K_{156}L_{187}M_{195}$
26	Лебедушка	$A_{137}B_{146}C_{160}D_{120}H_{105}J_{220}K_{145}L_{187}M_{208}$
27	Куханна	$A_{137}B_{146}C_{185}D_{120}H_{105}J_{244}K_{135}L_{187}M_{208}$
28	МК 100	$A_{137}B_{146}C_{185}D_{206}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{208}$
29	Невеста	$A_{137}B_{146}C_{185}D_{186}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{208}$
30	Нега 1	$A_{137}B_{146}C_{175}D_{168}H_{115}J_{244}K_{145}L_{187}M_{195}$
31	Октябрь 70	$A_{145}B_{146}C_{185}D_{154}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{208}$
32	Грация	$A_{137}B_{146}C_{165}D_{148}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{185}$
33	Интрига	$A_{137}B_{146}C_{185}D_{200}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{195}$
34	Ласточка	$A_{145}B_{154}C_{185}D_{212}H_{105}J_{244}K_{156}L_{210}M_{185}$
35	Татьяна	$A_{137}B_{137}C_{160}D_{212}H_{105}J_{256}K_{156}L_{187}M_{208}$
36	Гармония	$A_{154}B_{146}C_{175}D_{212}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{218}$
37	Соната	$A_{154}B_{146}C_{175}D_{212}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{208}$
38	Китросса	$A_{154}B_{146}C_{175}D_{176}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{225}$
39	Алена	$A_{154}B_{137}C_{150}D_{168}H_{115}J_{200}K_{135}L_{187}M_{185}$

Окончание табл. 2

№	Наименование сорта культурной / формы дикой сои	Формула*
40	Дикая соя 31	$A_{137}B_{154}C_{185}D_{120}H_{126}J_{228}K_{135}L_{187}M_{170}$
41	КЗ-6337	$A_{108}B_{146}C_{160}D_{186}H_{115}J_{200}K_{135}L_{148}M_{170}$
42	КБл-29 ¹	$A_{145}B_{176}C_{175}D_{120}H_{126}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
43	КА-14131	$A_{145}B_{176}C_{175}D_{120}H_{126}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
44	КА-32	$A_{125}B_{176}C_{175}D_{120}H_{126}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
45	КБел-72	$A_{145}B_{176}C_{160}D_{120}H_{126}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
46	КБл-241	$A_{145}B_{176}C_{175}D_{120}H_{126}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
47	КА 3462	$A_{137}B_{176}C_{175}D_{138}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
48	КТ-156 ²	$A_{137}B_{176}C_{175}D_{138}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
49	КЗ-5782	$A_{137}B_{176}C_{175}D_{138}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
50	КБл-90	$A_{125}B_{176}C_{175}D_{186}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
51	КБл-77	$A_{154}B_{176}C_{175}D_{138}H_{115}J_{244}K_{2135}L_{210}M_{208}$

Примечание. *Код локуса А – Satt1, В – Satt2, С – Satt5, D – Satt9, Н – Soyhsp176, J – Satt681, К – Sat_263, L – Satt141, М – Satt181.

Источник: составлено А.А. Иваний, А.А. Пензиным, О.Н. Бондаренко, П.Д. Тимкиным на основе экспериментальных данных.

Table 2

The molecular genetic formulas of 51 soy genotype obtained by microsatelite analysis

№	Soy culivar / wild form	Formula*
1	Kruzhevitsa	$A_{137}B_{154}C_{150}D_{206}H_{115}J_{244}K_{135}L_{148}M_{225}$
2	Sentyabrinka	$A_{145}B_{154}C_{136}D_{200}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
3	Vereteika	$A_{137}B_{154}C_{150}D_{212}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{225}$
4	Lidiya	$A_{137}B_{154}C_{150}D_{186}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{208}$
5	Umka	$A_{137}B_{154}C_{136}D_{159}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{225}$
6	Dauriya	$A_{145}B_{154}C_{150}D_{168}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{218}$
7	Zolushka	$A_{154}B_{154}C_{160}D_{176}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
8	Lazurnaya	$A_{145}B_{154}C_{150}D_{154}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{185}$
9	Topaz	$A_{145}B_{154}C_{136}D_{138}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{170}$
10	Olimp	$A_{145}B_{154}C_{160}D_{186}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{218}$
11	Lyana	$A_{145}B_{146}C_{160}D_{154}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{185}$
12	Grei	$A_{137}B_{146}C_{160}D_{186}H_{115}J_{244}K_{165}L_{210}M_{218}$
13	VNIIS18	$A_{145}B_{146}C_{160}D_{186}H_{115}J_{244}K_{156}L_{210}M_{208}$
14	Alpetra	$A_{145}B_{146}C_{160}D_{186}H_{120}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
15	Zolotnitsa	$A_{137}B_{154}C_{160}D_{212}H_{115}J_{244}K_{156}L_{210}M_{170}$
16	Apis	$A_{125}B_{154}C_{160}D_{212}H_{115}J_{244}K_{156}L_{210}M_{208}$
17	Luchistaya	$A_{125}B_{146}C_{160}D_{212}H_{115}J_{244}K_{156}L_{210}M_{208}$

¹ Сорта, относящиеся к X кластеру и имеющие сходные молекулярно-генетические формулы.

² Сорта, относящиеся к IX кластеру и имеющие сходные молекулярно-генетические формулы.

End of tabl. 2

Nº	Soy cultivar / wild form	Formula*
18	Tisei	$A_{125}B_{146}C_{160}D_{206}H_{115}J_{244}K_{180}L_{210}M_{208}$
19	Pepelina	$A_{137}B_{154}C_{160}D_{168}H_{115}J_{244}K_{156}L_{210}M_{208}$
20	Charodeika	$A_{154}B_{163}C_{160}D_{186}H_{115}J_{200}K_{165}L_{210}M_{208}$
21	Persona	$A_{125}B_{146}C_{160}D_{212}H_{105}J_{220}K_{135}L_{187}M_{175}$
22	Statnaya	$A_{125}B_{146}C_{165}D_{212}H_{105}J_{228}K_{135}L_{187}M_{170}$
23	Evgeniya	$A_{145}B_{154}C_{175}D_{212}H_{105}J_{228}K_{135}L_{187}M_{205}$
24	Zhuravushka	$A_{145}B_{154}C_{160}D_{220}H_{105}J_{220}K_{135}L_{187}M_{208}$
25	Bonus	$A_{137}B_{137}C_{175}D_{200}H_{105}J_{244}K_{156}L_{187}M_{195}$
26	Lebedushka	$A_{137}B_{146}C_{160}D_{120}H_{105}J_{220}K_{145}L_{187}M_{208}$
27	Kukhanna	$A_{137}B_{146}C_{185}D_{120}H_{105}J_{244}K_{135}L_{187}M_{208}$
28	MK 100	$A_{137}B_{146}C_{185}D_{206}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{208}$
29	Nevesta	$A_{137}B_{146}C_{185}D_{186}H_{115}J_{244}K_{156}L_{187}M_{208}$
30	Nega 1	$A_{137}B_{146}C_{175}D_{168}H_{115}J_{244}K_{145}L_{187}M_{195}$
31	Oktyabr 70	$A_{145}B_{146}C_{185}D_{154}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{208}$
32	Gratsiya	$A_{137}B_{146}C_{165}D_{148}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{185}$
33	Intriga	$A_{137}B_{146}C_{185}D_{200}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{195}$
34	Lastochka	$A_{145}B_{154}C_{185}D_{212}H_{105}J_{244}K_{156}L_{210}M_{185}$
35	Tatiana	$A_{137}B_{137}C_{160}D_{212}H_{105}J_{256}K_{156}L_{187}M_{208}$
36	Garmoniya	$A_{154}B_{146}C_{175}D_{212}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{218}$
37	Sonata	$A_{154}B_{146}C_{175}D_{212}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{208}$
38	Kitrossa	$A_{154}B_{146}C_{175}D_{176}H_{115}J_{244}K_{135}L_{187}M_{225}$
39	Alena	$A_{154}B_{137}C_{150}D_{168}H_{115}J_{200}K_{135}L_{187}M_{185}$
40	Dikaya soya 31	$A_{137}B_{154}C_{185}D_{120}H_{126}J_{228}K_{135}L_{187}M_{170}$
41	KZ-6337	$A_{108}B_{146}C_{160}D_{186}H_{115}J_{200}K_{135}L_{148}M_{170}$
42	KBI-29 ³	$A_{145}B_{176}C_{175}D_{120}H_{126}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
43	KA-14133	$A_{145}B_{176}C_{175}D_{120}H_{126}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
44	KA-32	$A_{125}B_{176}C_{175}D_{120}H_{126}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
45	KBel-72	$A_{145}B_{176}C_{160}D_{120}H_{126}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
46	KBI-24 ³	$A_{145}B_{176}C_{175}D_{120}H_{126}J_{244}K_{165}L_{210}M_{208}$
47	KA 346 ⁴	$A_{137}B_{176}C_{175}D_{138}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
48	KT-156 ⁴	$A_{137}B_{176}C_{175}D_{138}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
49	KZ-578 ⁴	$A_{137}B_{176}C_{175}D_{138}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
50	KBI-90	$A_{125}B_{176}C_{175}D_{186}H_{115}J_{244}K_{135}L_{210}M_{208}$
51	KBI-77	$A_{154}B_{176}C_{175}D_{138}H_{115}J_{244}K_{2135}L_{210}M_{208}$

Note. *Lokus code A – *Satt1*, B – *Satt2*, C – *Satt5*, D – *Satt9*, H – *Soyhsp176*, J – *Satt681*, K – *Sat_263*, L – *Satt141*, M – *Satt181*.

Source: compiled by A.A. Ivaniy, A.A. Penzin, O.N. Bondarenko, P.D. Timkin based on experimental data.

³ Varieties belonging to the X cluster and having similar molecular genetic formulas.

⁴ Varieties belonging to the IX cluster and having similar molecular genetic formulas.

Для упрощения визуальной идентификации сортов составлены молекулярные профили, которые приведены в виде электрофореграммы со всеми исследованными локусами для каждого сорта (рис. 1).

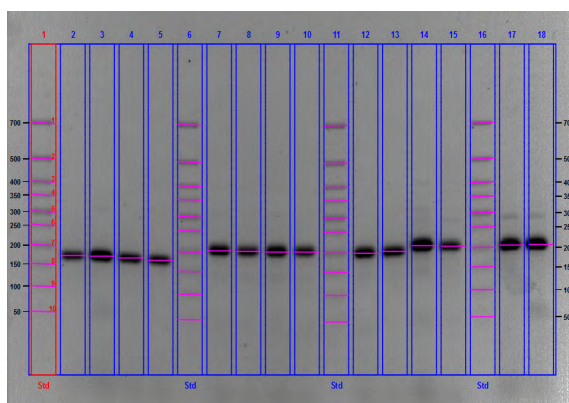


Рис. 1. Электрофореграмма продуктов амплификации ДНК по сортам: 2–3 – Персона; 4–5 – Статная; 7–8 – Евгения; 9–10 – Журавушка; 12–13 – Бонус; 14–15 – Лебедушка; 17–18 – Куханна с использованием локуса *Satt181*

Fig. 1. Electrophoregram of DNA amplification products by cultivars: 2–3 – Persona; 4–5 – Statnaya; 7–8 – Evgeniya; 9–10 – Zhuravushka; 12–13 – Bonus; 14–15 – Lebedushka; 17–18 – Kukhanna using *Satt181* locus

Source: compiled by A.A. Ivaniy, A.A. Blinova, A.E. Gretchenko based on experimental data.

Результаты полученной электрофореграммы показали, что каждая пара праймеров гибридизовалась со своей мишенью и эффекта off-target не наблюдалось, следовательно, используемые нами праймеры и температурные режимы способствуют высокой специфичности.

Для выяснения взаимосвязи между генотипами проведен кластерный анализ в виде циркулярной дендрограммы (рис. 2). Дендрограмма генетического родства демонстрирует наличие нескольких обособленных кластеров.

Анализ полученной дендрограммы позволил выделить 13 отдельных кластеров сои. Для генотипов исследуемых сортов культурной сои получены уникальные наборы аллелей, которые можно использовать для составления молекулярно-генетических формул и последующей паспортизации. Можно наблюдать, что формы дикой сои не являются родственными сортам культурной сои, следовательно, использования 9 пар праймеров достаточно для получения генетических паспортов сортов культурной и форм дикой сои с последующим выявлением их генетического родства. Тот факт, что дендрограмма на основе UPGMA сгруппировала 51 генотип сои в 13 обособленных кластеров, указывает на то, что большинство сортов имеют общих родителей. Кластеры XI, XIII состоят только из 1 генотипа, что свидетельствует об уникальности аллельных наборов у формы дикой сои КЗ-6337 и Дикая соя 31 соответственно. Для форм дикой сои в кластерах IX (КБл-29, КА-1413, КБЛ-24) и X (КА-346, КТ-156, КЗ-578) не было обнаружено уникальных наборов аллелей из-за чего применение данной технологии в дифференциации форм дикой

сои не представляется возможным, а молекулярно-генетические формулы не релевантны для использования в целях паспортизации с помощью данной маркерной системы и требуют дополнительных исследований.

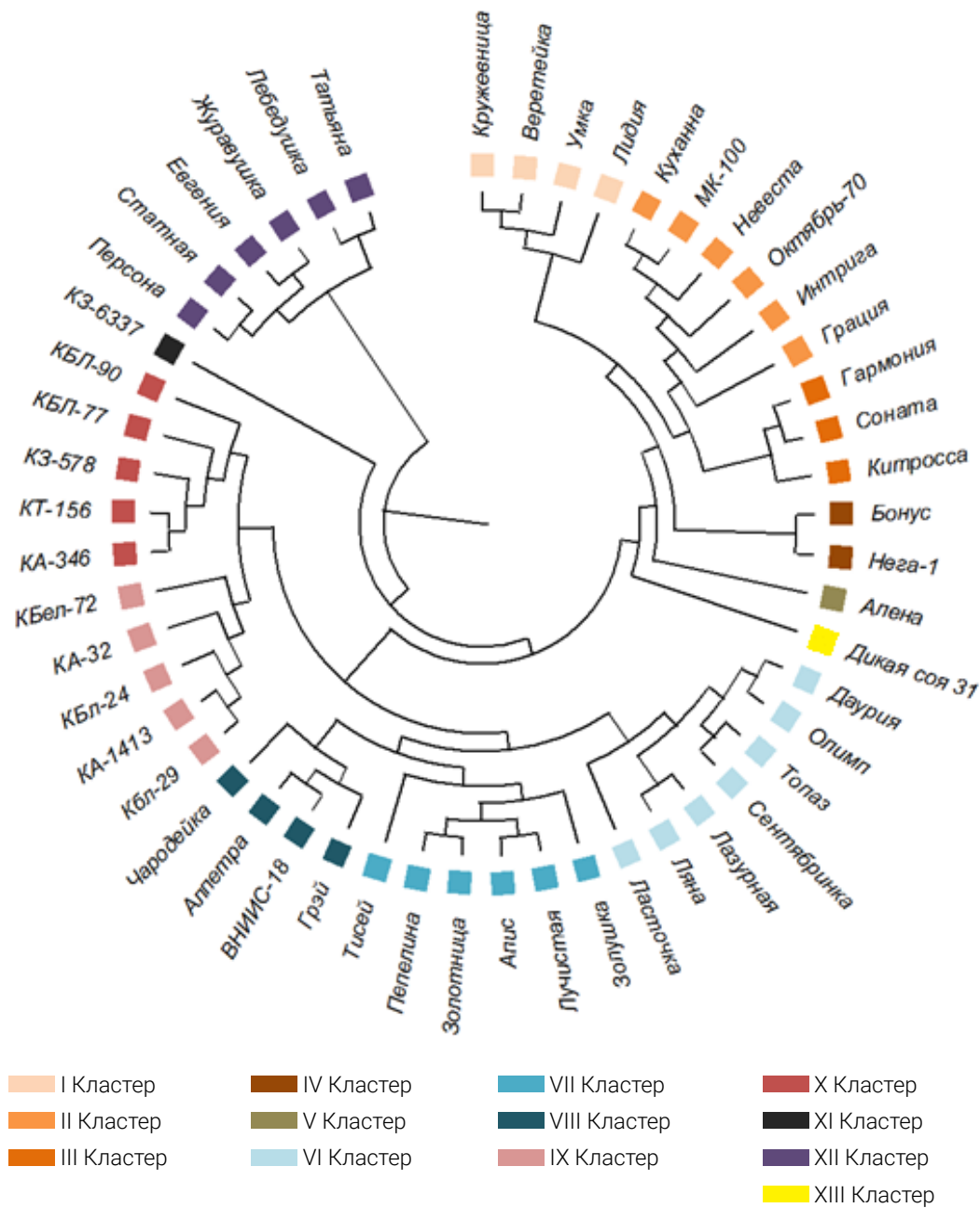


Рис. 2. Дендрограмма 51 генотипа сои (39 сортов культурной и 12 форм дикой сои)
Источник: составлено А.А. Иваний на основе экспериментальных данных.

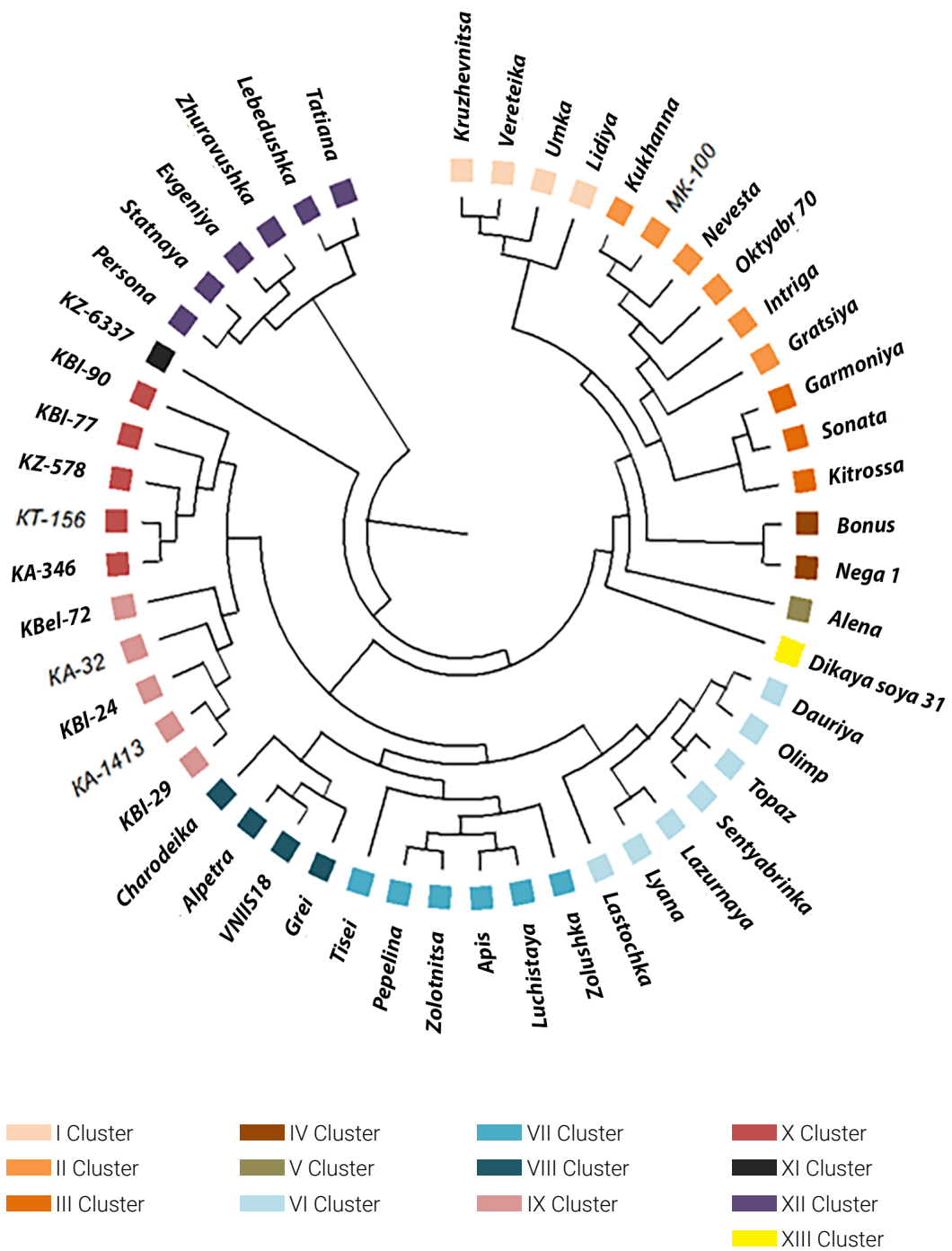


Fig. 2. Dendrogram for 51 soybean genotype (39 cultivars and 12 wild forms)

Source: compiled by A.A. Ivaniy based on experimental data.

Заключение

С использованием системы из 9 SSR-маркеров идентифицирован 51 генотип сои. Для каждого из культурных сортов получены уникальные наборы аллелей. Построена UPGMA-дендрограмма и выявлена степень генетического родства форм дикой и сортов культурной сои с целью их дальнейшей молекулярно-генетической паспортизации. На основе полученных уникальных генетических характеристик сортов культурной и сортообразцов дикой сои в дендрограмме произведена их группировка по 13 кластерам, характеризующимся родственным генотипом. Формы дикой сои преимущественно располагаются в отдельном кластере, что свидетельствует об адекватности выбранных локусов для популяционно-генетического анализа. Исключением стали две формы дикой сои — КЗ-6337 и Дикая соя 31, которые находятся в отдельных кластерах, что может быть следствием отдаленного от остальных форм ареала или объясняться другими эволюционными причинами. При анализе полученной дендрограммы можно выделить форму дикой сои — Дикая соя 3, генетически отдаленную от остальных сортов дикой сои, но генетически близкую с сортами культурной сои, откуда следует, что маркерная система не подошла для дифференцирования форм дикой сои. Таким образом, использованный в исследовании набор 9 пар праймеров к микросателлитным маркерам *Satt1*, *Satt2*, *Satt5*, *Satt9*, *Soyhsp176*, *Satt681*, *Sat_263*, *Satt141*, *Satt181* обладает достаточной информативностью и может быть рекомендован к применению с целью идентификации сортов культурной сои и составления генетических паспортов. Для форм дикой сои требуется использование дополнительного набора локусов или более точные аналитические методы, например секвенирование по Сенгеру, которое даст возможность оценить полиморфизм по нуклеотидному составу, а не по длине.

Список литературы / References

1. Korir NK, Han J, Shangguan L, Wang C, Kayesh E, Zhang Y, et al. Plant Variety and cultivar identification: advances and prospects. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2013;33(2):111—125. doi: 10.3109/07388551.2012.675314
2. Kim YH, Park HM, Hwang TY, Lee SK, Choi MS, Jho S, et al. Variation block-based genomics method for crop plants. *BMC Genomics*. 2014;15(1):477. doi: 10.1186/1471-2164-15-477
3. Gautam AK, Verma RK, Avasthi S, Sushma, Bohra Y, Devadatha B, et al. Current insight into traditional and modern methods in fungal diversity estimates. *Journal of Fungi*. 2022;8(3):226. doi: 10.3390/jof8030226 EDN: SXJPCZ
4. Oliveira M, Azevedo L. Molecular markers: An overview of data published for fungi over the last ten years. *Journal of Fungi*. 2022;8(8):803. doi: 10.3390/jof8080803 EDN: JRTUAE
5. Hou X, Li L, Peng Z, Wei B, Tang S, Ding M, et al. A platform of high-density INDEL/CAPS markers for map-based cloning in *Arabidopsis*. *The Plant Journal*. 2010;63(5):880—888. doi: 10.1111/j.1365-3113x.2010.04277.x
6. Chaudhary R, Maurya GK. Restriction fragment length polymorphism. In: Vonk J, Shackelford TK. (eds.) *Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior*. Cham, Switzerland: Springer; 2019. doi: 10.1007/978-3-319-47829-6_175-1
7. Atoui A, El Khoury A. PCR-RFLP for *Aspergillus* species. In: Moretti A, Susca A. (eds.) *Mycotoxigenic Fungi. Methods in Molecular Biology*, volume 1542. New York, USA: Humana Press; 2017. p.313—320. doi: 10.1007/978-1-4939-6707-0_20
8. Ibrahimi M, Brhadda N, Ziri R, Fokar M, Iraqi D, Gaboun F, et al. Analysis of genetic diversity and population structure of Moroccan date palm (*Phoenix dactylifera* L.) using SSR and DAMD molecular markers. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2023;21(1):66. doi: 10.1186/s43141-023-00516-7 EDN: JYOHAN

9. Abugalieva SI, Zatybekov AK, Enuarbek SN, et al. *Izuchenie geneticheskogo raznoobraziya i pasportizatsiya sortov soi Glycine max (L.) Merr.* [Study of genetic diversity and certification of soybean varieties *Glycine max* (L.) Merr.]. Almaty; 2017. (In Russ.).

Абугалиева С.И., Затыбеков А.К., Энурбек Ш.Н. и др. Изучение генетического разнообразия и паспортизация сортов сои *Glycine max* (L.) Merr. Алматы, 2017. 100 с.

10. Zatybekov AK, Turuspekov YT, Doszhanova BN, Abugalieva SI. A study of the genetic diversity in the world soybean collection using microsatellite markers associated with fungal disease resistance. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020;181(3):81—90. doi: 10.30901/2227-8834-2020-3-81-90 EDN: MMIRVY

11. Ivaniy AA, Penzin AA. Comparative analysis of the yield of DNA released by a set of DNA-extran 3 when working with seeds and seedlings. In: *Agro-industrial complex: problems and development prospects: conference proceedings*. Blagoveshchensk; 2023. p.58—62. (In Russ.). doi: 10.22450/9785964205385_1_58 EDN: DPUUAN

Иваний А.А., Пензин А.А. Сравнительный анализ выхода ДНК, выделяемой набором ДНК-экстран 3 при работе с семенами и проростками. 20-21 апреля 2023. Т. 1. С. 58—62. doi: 10.22450/9785964205385_1_58 EDN: DPUUAN

12. Ramazanov SA. Identification of soybean (*Glycine max* L.) cultivars using microsatellite DNA loci. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tehnicheskii byulleten' Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*. 2016;(2):63—67. (In Russ.). EDN: WXSMT

Рамазанова С.А. Идентификация сортов сои (*Glycine max* L.) с использованием локусов микросателлитной ДНК. Масличные культуры // Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2016. № 2. С. 63—67. EDN: WXSMT

13. Kumar SP, Susmita C, Sripathy KV, Agarwal DK, Pal G, Singh AN, et al. Molecular characterization and genetic diversity studies of Indian soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars using SSR markers. *Molecular Biology Reports*. 2021;49(3):2129—2140. doi: 10.1007/s11033-021-07030-4

14. Mukuze C, Tukamuhabwa P, Maphosa M, Dari S, Dramadri IO, Obua T, et al. Genetic diversity analysis among soybean genotypes using SSR markers in Uganda. *Afr J Biotech*. 2020;19(7):439—448. doi: 10.5897/AJB2020.17152 EDN: ZRJMEW

15. Bondarenko ON, Blinova AA, Ivachenko LE, Lavrentieva SI. Selection of microsatellite DNA loci for creating molecular genetic passports of wild forms and varieties of Amur soybean breeding. *Vestnik of the Far East branch of the Russian Academy of Sciences*. 2022;(2):37—48. (In Russ.). doi: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_3 EDN: TJLSZW

Бондаренко О.Н., Блинова А.А., Иваченко Л.Е., Лаврентьева С.И. Подбор микросателлитных локусов ДНК для создания молекулярно-генетических паспортов диких форм и сортов сои амурской селекции // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2022. № 2. С. 37—48. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_3 EDN: TJLSZW

Об авторах:

Иваний Алена Андреевна — младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: iaa@vniisoi.ru
ORCID: 0009-0004-7304-7771

Пензин Андрей Андреевич — научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: paa@vniisoi.ru
ORCID: 0000-0002-8578-9818 SPIN-код: 1467-9500

Иваченко Любовь Егоровна — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: ivachenko-rog@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-4870-2223 SPIN-код: 4641-4820

Бондаренко Ольга Николаевна — научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: ton@vniisoi.ru
ORCID: 0000-0002-5051-7695 SPIN-код: 1592-0588

Блинова Анастасия Андреевна — научный сотрудник, заведующий лабораторией биотехнологии, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: baa@vniisoi.ru
ORCID: 0000-0002-7234-0595 SPIN-код: 8575-0595

Гретченко Алина Евгеньевна — научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: gae@vniisoi.ru
ORCID: 0000-0003-3930-5672 SPIN-код: 3750-4348

Тимкин Павел Дмитриевич — младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: tpd@vniisoi.ru
ORCID: 0000-0001-6655-1049 SPIN-код: 2729-2815

About authors:

Ivaniy Alena Andreevna — Junior Researcher, Laboratory of Biotechnology, Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatievskoye Shosse, Blagoveshchensk, Amur region, 675027, Russian Federation; e-mail: iaa@vniisoi.ru
ORCID: 0009-0004-7304-7771

Penzin Andrey Andreyevich — Research Associate, Laboratory of Biotechnology, Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatievskoye Shosse, Blagoveshchensk, Amur region, 675027, Russian Federation; e-mail: paa@vniisoi.ru
ORCID: 0000-0002-8578-9818 SPIN-code: 1467-9500

Ivachenko Lyubov Egorovna — Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Biotechnology, Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatievskoye Shosse, Blagoveshchensk, Amur region, 675027, Russian Federation; e-mail: ivachenko-rog@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-4870-2223 SPIN-code: 4641-4820

Bondarenko Olga Nikolaevna — Research Associate, Laboratory of Biotechnology, Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatievskoye Shosse, Blagoveshchensk, Amur region, 675027, Russian Federation; e-mail: ton@vniisoi.ru
ORCID: 0000-0002-5051-7695 SPIN-code: 1592-0588

Blinova Anastasia Andreevna — Researcher, Head of the biotechnology laboratory, Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatievskoye Shosse, Blagoveshchensk, Amur region, 675027, Russian Federation; e-mail: baa@vniisoi.ru
ORCID: 0000-0002-7234-0595 SPIN-code: 8575-0595

Gretchenko Alina Evgenyevna — Researcher, Laboratory of plant physiology and biochemistry, Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatievskoye Shosse, Blagoveshchensk, Amur region, 675027, Russian Federation; e-mail: gae@vniisoi.ru
ORCID: 0000-0003-3930-5672 SPIN-code: 3750-4348

Timkin Pavel Dmitrievich — Junior Researcher, Laboratory of Biotechnology, Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatievskoye Shosse, Blagoveshchensk, Amur region, 675027, Russian Federation; e-mail: tpd@vniisoi.ru
ORCID: 0000-0001-6655-1049 SPIN-code: 2729-2815



Защита растений Plant protection

DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-1-102-114
EDN ICAAZP
UDC 633.491:632.4:632.9

Research article / Научная статья

Biological efficacy of chitosan nanoparticles and black poplar buds ethanolic extract against potato dry rot

Elsayed M. Zeitar^{1,2}  , Liudmila T. Sukhenko² , Sabah R. Mohammed¹ 

¹Damanhour University, Damanhour, Egypt

²Astrakhan State University, Astrakhan, Russian Federation

 elsayedzeitar@gmail.com

Abstract. The purpose of the recent study was to evaluate the effectiveness of chitosan nanoparticles (CSNP) and black poplar buds extract (BpE) to protect potato tubers from post-harvest *Fusarium* dry rot. A high virulent *Fusarium* isolate was recovered from natural infected tubers in Astrakhan region and subjected to molecular identification using ITS rDNA gene and identified as *Fusarium sambucinum*. CSNP were successfully prepared by ionic gelation method with size ranged from 79.4 to 186.4 nm as observed by scanning electron microscopy (SEM), and a positive zeta potential of 53.1 mv. CSNP at a concentration of 2 g/l, and BpE at a concentration of 40 g/l completely inhibited *Fusarium* fungal growth on PDA medium *in vitro*. CSNP at a rate of 20 g/t and BpE at a rate of 400 g/t significantly reduced the incidence of dry rot under natural infection during 8 months of storage by 54.7 and 58.5% and reduced the disease index by 65.7 and 72.3%, respectively, and there was not a significant difference between the two treatments. These results demonstrate the potential of CSNP and BpE for protection of potato tubers against the fungal postharvest decay.

Keywords: Nanotechnology, *Fusarium*, plant diseases, antifungal, plant extracts

Author contributions. Zeitar E.M., Mohammed S.R. — formation of the research idea, selection and carry out of the research methods, results analysis, preparation of the manuscript; Sukhenko L.T. — visualization, supervision, revision.

© Zeitar E.M., Sukhenko L.T., Mohammed S.R., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Funding. Zeitar E.M. is funded by a scholarship under the joint (executive program between the Arab Republic of Egypt and the Russian Federation).

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Article history: received 25 October 2024; accepted 19 January 2025.

For citation: Zeitar EM, Sukhenko LT, Mohammed SR. Biological efficacy of chitosan nanoparticles and black poplar buds ethanolic extract against potato dry rot. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1):102—114. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-102-114 EDN ICAAZP

Биологическая эффективность наночастиц хитозана и экстракта почек тополя черного в отношении сухой гнили картофеля

Е.М. Зеитар^{1, 2} , Л.Т. Сухенко² , С.Р. Мохаммед¹ 

¹Даманхурский университет, г. Даманхур, Египет

²Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, г. Астрахань, Российская Федерация

 elsayedzeitar@gmail.com

Аннотация. Цель исследования — оценка эффективности наночастиц хитозана (CSNP) и экстракта почек тополя черного (ВрЕ) для защиты клубней картофеля от послеуборочной фузариозной сухой гнили. Высоковирулентный изолят *Fusarium* выделен из зараженных естественным путем клубней в Астраханской области, подвергнут молекулярной идентификации с использованием гена ITS-rDNA и идентифицирован как *Fusarium sambucinum*. CSNP успешно получены методом ионного гелеобразования с размером в диапазоне от 79,4 до 186,4 нм, наблюдаемым с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), и положительным дзета-потенциалом 53,1 мВ. CSNP при концентрации 2 г/л и ВрЕ при концентрации 40 г/л полностью подавляли рост грибов рода *Fusarium* на среде КДА *in vitro*. CSNP в дозе 20 г/т и ВрЕ в дозе 400 г/т значительно снизили частоту сухой гнили при естественном заражении в течение 8 месяцев хранения на 54,7 и 58,5 %, а также снизили индекс заболеваемости на 65,7 и 72,3 % соответственно, и между этими двумя обработками не было существенной разницы. Эти результаты демонстрируют потенциал наночастиц хитозана и экстракта почек тополя черного для защиты клубней картофеля от грибковой послеуборочной гнили.

Ключевые слова: нанотехнологии, фузариоз, болезни растений, противогрибковое средство, растительные экстракты

Вклад авторов: Зеитар Е.М., Мохаммед С.Р. — формирование идеи исследования, выбор методов анализа, анализ полученных результатов, подготовка текста статьи; Сухенко Л.Т. — визуализация, редактирование, руководство.

Финансирование. Исследователь Е.М. Зеитар финансируется за счет стипендии в рамках совместной исполнительной программы между Арабской Республикой Египет и Российской Федерацией.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила 25 октября 2024 г., принята к публикации 19 января 2025 г.

Для цитирования: Zeitar E.M., Sukhenko L.T., Mohammed S.R. Biological efficacy of chitosan nanoparticles and black poplar buds ethanolic extract against potato dry rot // Вестник российского университета дружбы

Introduction

Post-harvest potato dry rot caused by *Fusarium* spp. has the potential to be a devastating disease in various parts of the world [1]. Surface sterile in 10% sodium hypochlorite for 10 s, rinsed twice in sterile distilled water, and blotted with sterile filter paper. The tissue pieces were plated on half-strength potato dextrose agar (PDA). It could affect tubers during storage and seed pieces in the field [2]. Losses by this disease are between 6 to 25%, and could reach up to 60% [3]. The chemical fungicides application are the main method to control dry rot [4].

Considering to escalate pathogen resistance to fungicides and their toxic effects on the environment and human, it has become imperative to identify novel natural substances by utilizing innovative technologies [5]. Avoiding the chemicals use could be achieved by introducing plant extracts in plant protection field [6].

The black poplar (*Populus nigra* L.), a member of the Salicaceae family, is considered an abundant tree in deciduous forests. Many of its parts and residues can be bio-resources for active ingredients in medical applications [7]. *P. nigra* buds have been characterized as a vital source of phenolics and terpenoids, which are responsible for the biological effectiveness [8]. *P. nigra* leaf extract improved the growth parameters and fruit quality of *Capsicum annuum* infected with pepper mild mottle virus [9].

Chitosan, alone or in combination with other chemical agents showed a significant effect on plant development, tuber yield, and disease incidence under field conditions against potato fungal pathogens [10, 11]. It possesses innate antimicrobial potential and induces the release of hydrolytic enzymes in plant parts, which actively contribute to plant defense against a range of pathogens [12].

Chitosan nanoparticles (CNP) have emerged as a significant innovation in plant protection, offering a sustainable alternative to traditional chemical pesticides. Their unique properties, including biodegradability and non-toxicity, enable them to enhance plant health and productivity while minimizing environmental impact.

The purpose of the research was to evaluate the biological effectiveness of chitosan nanoparticles and black poplar buds extract to protect potato tubers from *Fusarium* dry rot under long storage conditions.

Materials and Methods

Chitosan with a molecular weight of 150 kDa, and deacetylation degree 85% was purchased from Chitosan-Technology company. Sodium tripolyphosphate (STPP), and glacial acetic acid were purchased from Len-Reactiv (Saint Petersburg, Russian Federation). The components of black poplar were extracted by percolation in 70% ethanol [13] (Fig. 1). Potato tubers of variety Rivera obtained from local commercial farm.



Fig. 1. *Populus nigra*: *a* – buds; *b* – ethanolic extract
Source: compiled by E.M. Zeitar, L.T. Sukhenko, S.R. Mohammed.

Isolation and morphological identification of the pathogen. The fungal pathogen was isolated from natural infected tubers (Fig. 2) on PDA medium [5, 14]. Colony features of color, shape, edge, elevation and radial growth were visually examined from the top and back of pure cultures. For further verification, the vegetative and reproductive structures of the isolates (macroconidia, microconidia and chlamydospores) were examined under a compound microscope with 40x magnification by using the morphological key [15].



Fig. 2. Typical symptoms of *Fusarium* dry rot: *a* – in potato tubers; *b* – longitudinal section
Source: compiled by E.M. Zeitar, L.T. Sukhenko, S.R. Mohammed.

Molecular identification of fungal Isolate. *DNA extraction:* Genomic DNA extraction was performed from 7-day fresh cultures using a genomic DNA mini kit (Geneaid) according to the manufacturer’s protocol.

PCR amplification: The ITS region of the rDNA repeats from the 3’ and 5’ ends of the 28S gene was amplified using the two primers, ITS-1 and ITS-4 which were synthesized by MWG-Biotech, Germany based on conserved regions of the eukaryotic rRNA gene [16]. Details of the primers are clarified in Table 1.

Table 1

Primers sequences used in amplification of ITS rDNA region of the fungal isolate

Primer name	Sequence 5’→3’	Reference
ITS1 (Forward)	TCCGTAGGTGAACCTGCGG	[17]
ITS4 (Reverse)	TCCTCCGCTTATTGATATGC	

Source: [17].

DNA sequencing of fungal ITS rDNA gene: For each fungal isolate, after purification of ITS fragments, excised the target band and purified by DNA gel Extraction Kit (Fermentas, Germany), and the purified PCR products were sequenced by BigDye Terminator Cycle Sequencing kit (Perkin Elmer) on an ABI Prism 310 Genetic Analyzer (Applied Biosystems) by Macrogen (macrogen com, Korea) and deposited the generated sequences in the GenBank (EMBL database).

Sequence analysis and phylogeny: The consensus sequences of fungal isolate obtained from both ITS1 and ITS4 primers were first edited and subjected to BLAST search to assign putative identity with similar sequences using database of NCBI <http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>. Each fungal isolate was then designed to its operational taxonomic unit (OTU) based on measures of sequence similarities, and inferences of phylogenetic trees. Sequences were then aligned with other similar sequences downloaded from GenBank using ClustalX [18], BioEdit [19] and Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software ver. 6.0 [20]. Alignments were manually edited where necessary. All nucleotide sequences of the pathogenic fungi have been submitted to GenBank for accession numbers.

Sequences obtained were split into different datasets to assess phylogenetic relationships at the familial and species level. Phylogenetic trees were constructed using neighbor Joining (NJ) method and molecular evolutionary analyses were conducted using MEGA software, ver. 11.0 [20].

Preparation of Chitosan nanoparticles. CSN were prepared by the ionic gelation method as described by [21] with chitosan solution (1%).

Morphology, size and Zeta potential of nanoparticles. The morphology of nanoparticles was studied using scanning electron microscopy (SEM) (TESCAN VEGA,

Czech Republic). The dried nanoparticles (1 mg) were dispersed in deionized water (20 ml) and treated with ultrasound for 10 minutes. One drop of dispersion containing chitosan nanoparticles was applied to a silicon wafer and dried at room temperature. Then the dried nanoparticles were coated with carbon under a high vacuum. The zeta-potential of freshly prepared nanoparticles in suspension were measured using a Malvern nano-series Zeta-sizer (UK) with a helium-neon laser operating at a scattering angle of 90° and a wavelength of 633 nm at 25 °C. Three replicate samples were analyzed, and the mean value was reported.

Antifungal activity on mycelial growth. Antifungal assay was performed with the pour-plate method as described by [22], and the mycelial growth was measured within 7–10 days after inoculation. Mycelial growth inhibition was calculated as follows:

$$\text{Mycelial growth inhibition \%} = \frac{C - T}{C} \times 100,$$

where C and T are the mycelial radial growth, mm, of fungus in the control and treatments, respectively.

Biological efficacy on potato tubers under natural infection. The effectiveness of chitosan nanoparticles and black poplar buds extract against *Fusarium* dry rot was evaluated during storage period on the Riviera variety grown with natural infection in the field of “KFH Jafarov Nazhmudin Vagidovich” (Limansky district, Astrakhan region, Russian Federation, 2020–2022) up to 8 months at 4 °C, the selection of tubers for the experiment was carried out 7 days after harvesting potatoes. Tubers were treated using a UNITRAUM sprayer before laying potato in storage, followed by natural drying, at the following rate of application: CSNP 20 g/t; BpE 400 g/t; Chi 100 g/t, with a working fluid consumption of 10 l/t. Each treatment had 10 kg tubers (placed in a grid mesh) and four replications [23]. The disease index X according to [24] calculated by the formula

$$X = \frac{dh}{DH} \times 100,$$

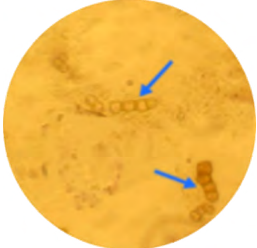
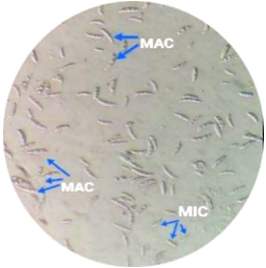
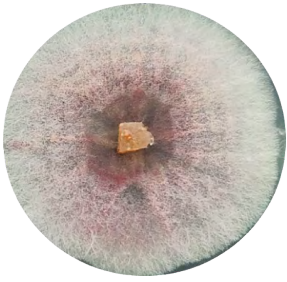
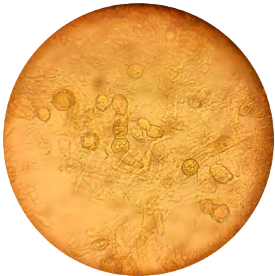
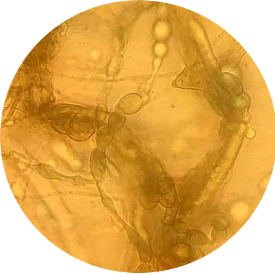
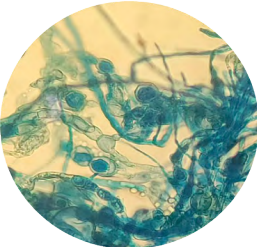
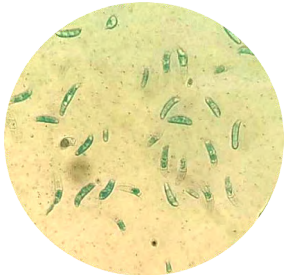
where d and h are the lesion (rot) width, and depth, mm; D and H are the tuber width, and depth, mm.

Results and discussion

Morphological and molecular identification of *Fusarium* spp. For morphological identification of the pathogen, fungal isolates forming salmon-pink, white-pink, and white colonies on potato-dextrose agar after 7–14 days of incubation and producing curved macroconidia were identified as *Fusarium* sp. The conidia were uniform in type and size. Macroconidia were abundant, with 3–5 septa, with a pointed apical cell. Microconidia were rare, elliptical, with partitions 0-1. Isolates produced chlamydospores singly or in pairs (Table 2), and these results are similar to the results obtained by [25] and [26].

Table 2

Morphological features of different *Fusarium* species recovered from potato tubers

Isolates key	The appearance of the colonies	Chlamydospores	Macroconidia (MAC), Microconidia (MIC)
FA3			
FA26			
FR23			
FS12			

Note. (FA3, FA 26) *Fusarium sambucinum*, (FR 23, FS12) *Fusarium solani*.
Source: compiled by E.M. Zeitar, L.T. Sukhenko, S.R. Mohammed.

According to the pathogenicity test, the most aggressive isolate was subjected to molecular identification using sequencing of ITS rDNA gene (Fig. 3). The obtained ITS consensus sequence of fungal isolate, was compared with the available sequences

GenBank (NCBI, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). The isolate exhibited relatedness to the genus *Fusarium*. The phylogenetic analysis revealed that strain SSD-MREZ had high similarity with *Fusarium sambucinum* strain Fsa0553-P isolated from potato tuber in Poland and *Fusarium sambucinum* isolate TR1 isolated from potato in India. The achieved sequence was submitted to GenBank with accessed accession number OR144017. The phylogenetic tree was constructed by MEGA software with the closely related *Fusarium* species as presented in Fig. 3.

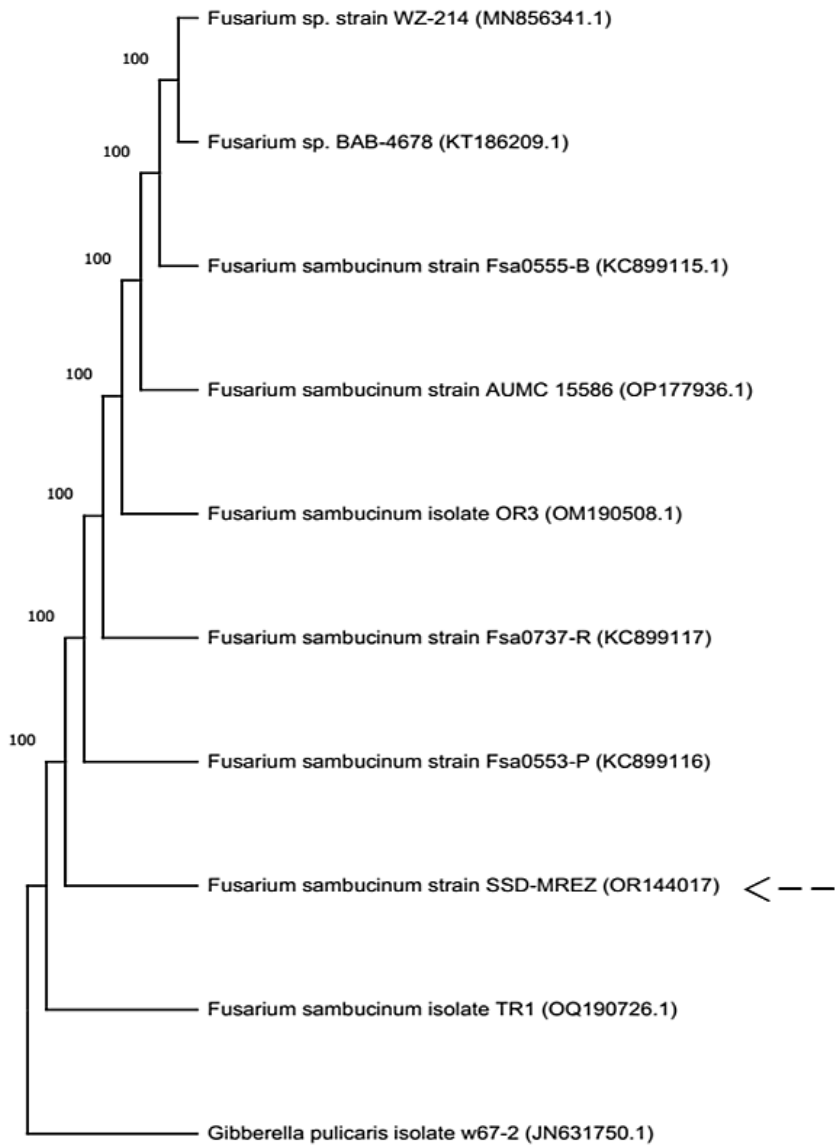


Fig. 3. Phylogenetic tree of *Fusarium* isolate based on ITS sequence data. The number above branches indicate bootstrap values

Source: compiled by E.M. Zeitar, L.T. Sukhenko, S.R. Mohammed.

Morphology, size and ZP of nanoparticles. CSNP were prepared by ionic gelation method using TPP molecules as cross-linker. The particles morphology and nano size were observed by SEM. The SEM images of the CSNP demonstrate spherical shape (Fig. 4). The size of CSNP ranged between 79.4 and 186.4 nm. Similar results were observed when CSNP were prepared by ionic gelation method, where CSNP with average size of 375 nm [27], 20–60 nm [28], 40–80 nm [21], 50–100 nm [29], 85–115 nm [30]. The ZP of successfully prepared nanoparticles was measured through Malvern, CSNP gave a positive ZP value of +51.9 mV (Fig. 5), the Z-potential distribution has a single peak, indicating excellent uniformity of chitosan nanoparticles. [31] prepared CSNP with ZP of 53.1 mv with chitosan solution of 0.3% concentration.

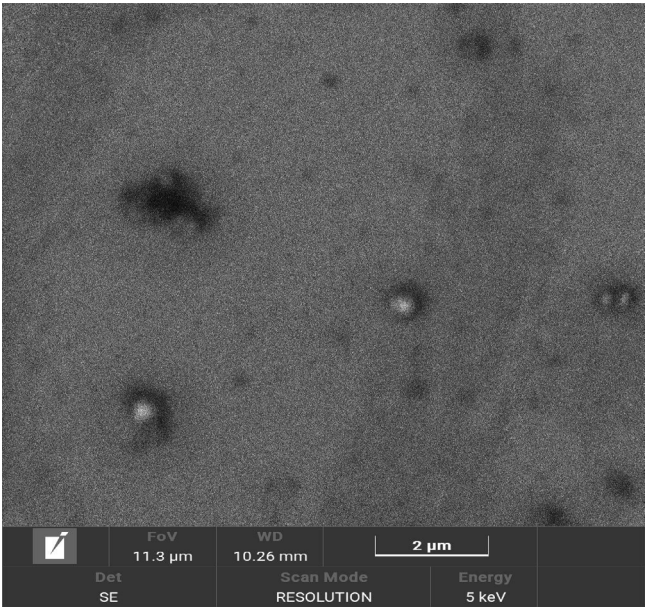


Fig. 4. SEM image of chitosan nanoparticles prepared by ionic gelation method with chitosan solution 1.0%

Source: compiled by E.M. Zeitar, L.T. Sukhenko, S.R. Mohammed.

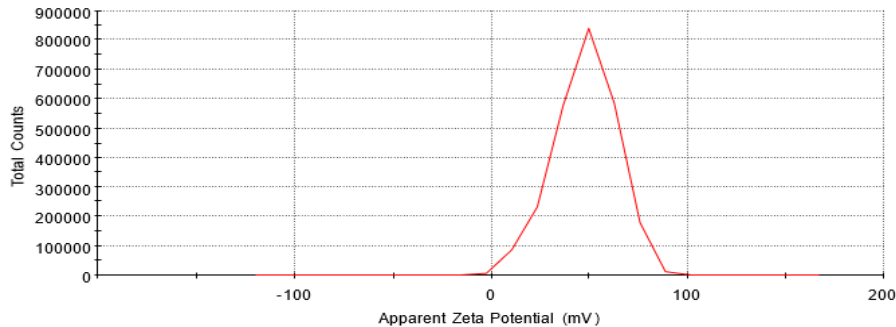


Fig. 5. Zeta potential of CSNP, prepared by ionic gelation method with chitosan solution 1.0%

Source: compiled by E.M. Zeitar, L.T. Sukhenko, S.R. Mohammed.

Antifungal activity on mycelial growth in vitro. Antifungal activity results of Chi, CSNP, and BpE at different concentrations in relation to the mycelial growth on PDA are shown in (Fig. 6). The inhibition of mycelial growth was directly proportional to the concentration of the tested materials. The minimum inhibitory concentrations (MICs) of Chi, CSNP, and BpE were 10.0 g/l, 2.0 g/l, and 40.0 g/l, respectively (Fig. 6). [32] indicated that chitosan at concentration of 1.0% completely inhibited *Rhizoctonia solani* mycelial growth. [31] reported that chitosan nanoparticles at 1500 ppm completely inhibited fungal growth of *Botrytis cinerea*.

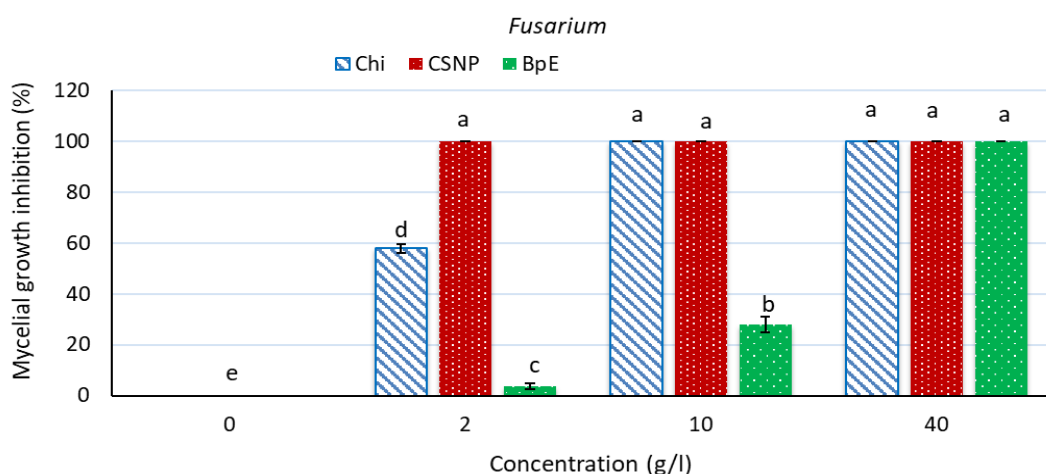


Fig. 6. Antifungal activity of chitosan (Chi), chitosan nanoparticles (CSNP) and black poplar buds extract (BpE) in relation to the mycelial growth of *Fusarium* sp. *in vitro*

Source: compiled by E.M. Zeitar, L.T. Sukhenko, S.R. Mohammed.

Biological efficacy on potato tubers under natural infection. Treatment tubers under a natural infection of *Fusarium* dry rot with CSNP at a rate of 20 g/t and BpE 400.0 g/t significantly reduced the incidence of dry rot by 54.7 and 58.5%, and reduced the disease index by 65.7 and 72.3%, respectively, and there was not a significant difference between the two treatments. The lowest reduction of dry rot incidence was 32.4%, and diseases index 31.4% was observed with treatment by chitosan at a rate of 100 g/t compared with the control (Table 3).

Various factors can influence the biological efficacy of certain components upon interaction with fruit tissue. In agreement with results in our study, [31] reported CSNP showed a gray mould disease severity reduction up to 46.5% on strawberries during storage against *Botrytis cinerea*, and [33] found that CSNP showed 70% disease severity reduction on cucumbers against *Phytophthora drechsleri*.

Table 3

**Effect of chitosan (Chi), chitosan nanoparticles (CSNP)
and black poplar buds extract (BpE) on the disease incidence and index
of dry rot during potato storage under natural infection**

Treatments	Disease Incidence, % (Weight share in the yield, %)	Reduction of Disease Incidence, %	Disease Index (severity), %	Reduction of Disease Index (severity), %
Control	15.7±1.06 (a)	0.0 (d)	10.5±1.03 (a)	0.0 (d)
Chi 100.0 g/t	10.6±0.79 (b)	32.4 (c)	7.2±0.23 (b)	31.4 (c)
CSNP 20.0 g/t	7.1±1.35 (d)	54.7 (b)	3.6±0.82 (c)	65.7 (b)
BpE 400.0 g/t	6.5±0.61(d)	58.5 (b)	2.9±0.53(c)	72.3 (b)
LSD _{0.05}	1.56	7.41	1.34	7.28

Source: compiled by E.M. Zeitar, L.T. Sukhenko, S.R. Mohammed.

Conclusion

In this study, a high virulent *Fusarium* isolate was isolated from natural infected tubers in Astrakhan region and subjected to molecular identification using ITS rDNA gene and identified as *Fusarium sambucinum*. Chitosan nanoparticles were successfully prepared by ionic gelation method with size ranged from 79.4 to 186.4 nm, and a positive zeta potential of 53.1 mv. CSNP at a concentration of 2 g/l and BpE at a concentration of 40 g/l completely inhibited *Fusarium* fungal growth on PDA medium. CSNP at a rate of 20 g/t and BpE at a rate of 400 g/t significantly reduced the incidence of dry rot during 8 months under natural infection at 4 °C by 54.7 and 58.5% and reduced the disease index by 65.7 and 72.3%, respectively, and there were not significant differences between the two treatments. These results demonstrate the potential of CSNP and BpE for protection of potato tubers against the fungal postharvest decay.

References

1. Gachango E, Kirk W, Hanson L, Rojas A, Tumbalam P, Shetty K. First report of in vitro fludioxonil-resistant isolates of *Fusarium spp.* causing potato dry rot in Michigan. *Plant Dis.* 2011;95(2):228. doi: 10.1094/PDIS-10-10-0737
2. Choiseul J, Allen L, Carnegie SF. Fungi causing dry tuber rots of seed potatoes in storage in Scotland. *Potato Res.* 2006;49:241—253. doi: 10.1007/s11540-007-9020-y
3. Hooker WJ. (ed.) *Compendium of potato diseases*. St. Paul, Minn: American Phytopathological Society; 1981.
4. Carnegie SF, Ruthven AD, Lindsay DA, Hall TD. Effects of fungicides applied to seed potato tubers at harvest or after grading on fungal storage diseases and plant development. *Ann Appl Biol.* 1990;116(1):61—72. doi: 10.1111/j.1744-7348.1990.tb06586.x
5. Mohammed SR, Eskov ID, Zeitar EM. Combined influence of chitosan and calcium chloride on fusarium dry rot disease under field conditions. *Open Agric J.* 2020;14(1):339—344. doi: 10.2174/1874331502014010339 EDN: XMINLQ

6. Calo JR, Crandall PG, O'Bryan CA, Ricke SC. Essential oils as antimicrobials in food systems — A review. *Food Control*. 2015;54:111—119. doi: 10.1016/j.foodcont.2014.12.040
7. Bradshaw HD, Ceulemans R, Davis J, Stettler R. Emerging model systems in plant biology: Poplar (*Populus*) as a model forest tree. *J Plant Growth Regul*. 2000;19(3):306—313. doi: 10.1007/s003440000030 EDN: ASTECB
8. Greenaway G, May J, Scaysbrook T, Whatley FR. Compositions of bud and leaf exudates of some *populus* species compared. *Z Für Naturforschung C*. 1992;47c:329—334. doi: 10.1515/znc-1992-0602
9. Gharib HA, Mandour AM. Effect of *Populus nigra* spring and autumn leaves extract on *Capsicum annum* infected with pepper mild mottle virus. *Scientific Reports*. 2022;12:22194. doi: 10.1038/s41598-022-24786-2 EDN: HFFQVK
10. Zeitar EM, Eskov ID, Mohammed SR. Combined effect of chitosan and calcium chloride on potato black scurf disease under field conditions. *Plant Archives*. 2020;20(2):6124—6130.
11. Mohammed SR, Eskov ID, Zeitar EM. Effect of chitosan and calcium chloride application on tuber yield and vegetative parameters against potato gangrene under field conditions. *Plant Archives*. 2020;20(2):3149—3153.
12. Mandal S, Kar I, Mukherjee AK, Acharya P. Elicitor-Induced Defense Responses in *Solanum lycopersicum* against *Ralstonia solanacearum*. *Sci World J*. 2013;2013(1):561056. doi: 10.1155/2013/561056
13. Okińczyc P, Szumny A, Szperlik J, Kulma A, Franciczek R, Żbikowska B, et al. Profile of polyphenolic and essential oil composition of Polish propolis, black poplar and aspens buds. *Molecules*. 2018;23(6):1262. doi: 10.3390/molecules23061262 EDN: YGSOGT
14. Yikilmazsoy G, Tosun N. Characterization of *Fusarium sambucinum* isolates associated with potato dry rot and evaluation of cultivar susceptibility and fungicides. *Turk J Agric For*. 2021;45(2):222—233. doi: 10.3906/tar-2006-100 EDN: PORSGE
15. Leslie JF, Summerell BA. *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing; 2006. doi: 10.1002/9780470278376 EDN: SRFUQN
16. Liu A, Bao F, Li M, Shi M, Shen P. Biodiversity of cultivable fungi in hair samples from tree shrews. *Advanced Research Journal of Immunology and Virology*. 2013;1(4):069—072.
17. Baturó-Ciesniewska A, Leszek L, Grabowski A, Lukanowski A. Characteristics of Polish isolates of *Fusarium sambucinum*: Molecular identification, pathogenicity, diversity and reaction to control agents. *American Journal of Potato Research*. 2014;92:49—61. doi: 10.1007/s12230-014-9410-z EDN: VTDLME
18. Thompson JD, Gibson TJ, Higgins DG. Multiple sequence alignment using ClustalW and Clustal X. *Curr Protoc Bioinforma*. 2002;00(1):2.3.1—2.3.22. doi: 10.1002/0471250953.bi0203s00
19. Hall TA. Bioedit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/ NT. *Nucleic acids symposium series*. 1999;(41):95—98.
20. Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M, Kumar S. MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Molecular biology and evolution*. 2011;28(10):2731—2739. doi: 10.1093/molbev/msr121
21. Keawchaoon L, Yoksan R. Preparation, characterization and *in vitro* release study of carvacrol-loaded chitosan nanoparticles. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2011;84(1):163—171. doi: 10.1016/j.colsurfb.2010.12.031
22. Askarne L, Talibi I, Boubaker H, Boudyach EH, Msanda F, Saadi B, et al. *In vitro* and *in vivo* antifungal activity of several Moroccan plants against *Penicillium italicum*, the causal agent of citrus blue mold. *Crop Prot*. 2012;40:53—58. doi: 10.1016/j.cropro.2012.04.023
23. Gusev SA, Nazarenko LG, Sazonova ZV. Sortovyye osobennosti semennogo i prodovol'stvennogo kartofelya pri khraneni. Tekhnologiya proizvodstva kartofelya. 1987;106—114. (In Russ.).
Гусев С.А., Назаренко Л.Г., Сазонова З.В. Сортвые особенности семенного и продовольственного картофеля при хранении // Технология производства картофеля. 1987. С. 106—114.
24. Bebre GT. *Razrabotka metodov otsenki klubnei kartofelya na ustoichivost' k fuzarioznoi gnili i izuchenie selektsionnogo materiala po etomu priznaku* [Development of methods for evaluating potato tubers for resistance to fusarium rot and study of breeding material for this trait]. [Dissertation]. Moscow; 1988. (In Russ.).
Бebre Г.Т. Разработка методов оценки клубней картофеля на устойчивость к фузариозной гнили и изучение селекционного материала по этому признаку : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1988.
25. Peters JC, Lees AK, Cullen DW, Sullivan L, Stroud GP, Cunningham AC. Characterization of *Fusarium* spp. responsible for causing dry rot of potato in Great Britain. *Plant Pathol*. 2008;57(2), 262—271. doi: 10.1111/j.1365-3059.2007.01777.x
26. Aydin MH, Pala F, Kaplan C. Potato tuber sprout rot caused by *Fusarium sambucinum* in Turkey. *Sci Pap Ser Agron*. 2016;59:189—193.

27. Oluoch G, Matiru V, Mamati EG, Nyongesa M. Nanoencapsulation of Thymol and Eugenol with Chitosan Nanoparticles and the Effect against *Ralstonia solanacearum*. *Adv Microbiol*. 2021;11(12):723–739. doi: 10.4236/aim.2021.1112052 EDN: KTJMAC

28. Shetta A, Kegere J, Mamdouh W. Comparative study of encapsulated peppermint and green tea essential oils in chitosan nanoparticles: Encapsulation, thermal stability, in-vitro release, antioxidant and antibacterial activities. *Int J Biol Macromol*. 2019;126:731–742. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.161

29. Jamil B, Abbasi R, Abbasi S, Imran M, Khan SU, Ihsan A, et al. Encapsulation of cardamom essential oil in chitosan nano-composites: In-vitro efficacy on antibiotic-resistant bacterial pathogens and cytotoxicity studies. *Front Microbiol*. 2016;7:1580. doi: 10.3389/fmicb.2016.01580 EDN: XZKQUP

30. Antoniou J, Liu F, Majeed H, Qi J, Yokoyama W, Zhong F. Physicochemical and morphological properties of size-controlled chitosan-tripolyphosphate nanoparticles. *Colloids Surf Physicochem Eng Asp*. 2015;465:137–146. doi: 10.1016/j.colsurfa.2014.10.040

31. Mohammadi A, Hashemi M, Hosseini SM. Nanoencapsulation of *Zataria multiflora* essential oil preparation and characterization with enhanced antifungal activity for controlling *Botrytis cinerea*, the causal agent of gray mould disease. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2015;28:73–80. doi: 10.1016/j.ifset.2014.12.011

32. Mohammed SR, Zeitar EM, Eskov ID. Inhibition of mycelial growth of *Rhizoctonia solani* by chitosan *in vitro* and *in vivo*. *Open Agric J*. 2019;13:156–161. doi: 10.2174/1874331501913010156 EDN: NKPCVH

33. Mohammadi A, Hashemi M, Hosseini SM. Chitosan nanoparticles loaded with *Cinnamomum zeylanicum* essential oil enhance the shelf life of cucumber during cold storage. *Postharvest Biol Technol*. 2015;110:203–213. doi: 10.1016/j.postharvbio.2015.08.019

About authors:

Zeitar Elsayed Mohammed — PhD student, Department of Biotechnology, Aquaculture, Soil Science and Land Management, Faculty of Agro-biology, Astrakhan State University, 20a Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russian Federation; Researcher, Plant Pathology Department, Faculty of Agriculture, Damanhour University, 27 Jalal quraytem square, Damanhour, 22516, Egypt; e-mail: elsayedzeitar@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2106-556X; Scopus ID: 57221497255

Sukhenko Liudmila Timofeevna — Doctor of Biological Sciences, Department of Biotechnology, Aquaculture, Soil Science and Land Management, Faculty of Biology, Astrakhan State University, 20a Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russian Federation; e-mail: sukhenko@list.ru
ORCID: 0000-0001-5841-655X SPIN-code: 8200-1324 Researcher ID: GWN-0323-2022

Mohammed Sabah Rabie — Candidate of Agricultural Sciences, Plant Protection Department, Faculty of Agriculture, Damanhour University, 27 Jalal quraytem square, Damanhour, 22516, Egypt; e-mail: srabie106@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1995-0730 Scopus ID: 57221498810

Об авторах:

Зеитар Елсайд Мохаммед — аспирант, кафедра биотехнологии, биоэкологии, почвоведения и управления земельными ресурсами, агробиологический факультет, Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 20а; ассистент кафедры фитопатологии сельскохозяйственного факультета, Даманхурский университет, Египет, 22516, г. Даманхур, площадь Джалала Курайтема, д. 27; e-mail: elsayedzeitar@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2106-556X Scopus ID: 57221497255

Сухенко Людмила Тимофеевна — доктор биологических наук, профессор, доцент кафедры микробиологии, Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 20а; e-mail: sukhenko@list.ru
ORCID: 0000-0001-5841-655X SPIN-код: 8200-1324 ResearcherID: GWN-0323-2022

Мохаммед Сабех Раби — кандидат сельскохозяйственных наук, кафедра защиты растений, сельскохозяйственный факультет, Даманхурский университет, Египет, 22516, г. Даманхур, площадь Джалала Курайтема, д. 27; e-mail: srabie106@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1995-0730 Scopus ID: 57221498810



Защитное лесоразведение Protective afforestation

DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-1-115-125

EDN IHRILP

УДК 630*6(470.57)

Научная статья / Research article

Развитие лесного хозяйства Буздякского района Республики Башкортостан

И.С. Миннихметов  , А.Ш. Тимерьянов ,
Э.И. Шафеева , Е.А. Доценко 

Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Российская Федерация
 irek1109@mail.ru

Аннотация. Проанализированы опыт работы Буздякского лесничества и научные исследования в области лесоводства. Рассмотрены этапы развития лесного хозяйства (ЛХ) Буздякского района Республики Башкортостан (РБ). ЛХ осуществляет изучение, учет, воспроизводство и охрану лесов, регулирование лесопользования и др. Лесной фонд Буздякского административного района территориально относится к Туймазинскому лесничеству и делится на 3 участковые лесничества: Буздякское (5526 га), Кузеевское (6958 га) и Ярмунчинское (8195 га). Установлено, что в созданных защитных лесных насаждениях доминируют хвойные породы, такие как сосна обыкновенная и лиственница Сукачева, характеризующиеся более долгим периодом функционирования защитных свойств. По лесорастительному районированию леса всех трех участковых лесничеств отнесены к защитным и эксплуатационным лесам. На основе многолетних научно-производственных опытов, проведенных на территории республики и района, даны рекомендации по повышению продуктивности и защитных свойств лесных насаждений. В разрабатываемых проектах при посадке защитных лесных полос увеличивается процентное соотношение таких пород как сосна и лиственница, имеющих более долгий срок жизни и дающих больший выход деловой древесины при рубках ухода. Ставится задача создания не отдельных лесопосадок и даже не отдельных систем полос, а агролесомелиоративных комплексов, сбалансированных с окружающей средой.

Ключевые слова: лесопользование, лесовосстановление, лесоразведение, охрана лесов, лесной фонд

© Миннихметов И.С., Тимерьянов А.Ш., Шафеева Э.И., Доценко Е.А., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов: Миннихметов И.С. — анализ и интерпретация данных, написание текста; Тимерьянов А.Ш. — сбор и обработка материалов; Шафеева Э.И. — концепция и дизайн исследования; Доценко Е.А. — написание текста. Все авторы прочитали окончательную версию рукописи и согласны с ней.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 20 апреля 2023 г., принята к публикации 29 ноября 2024 г.

Для цитирования: Миннихметов И.С., Тимерьянов А.Ш., Шафеева Э.И., Доценко Е.А. Развитие лесного хозяйства Буздякского района Республики Башкортостан // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 1. С. 115—125. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-115-125 EDN IHRLIP

Forestry development in Buzdyak district of the Republic of Bashkortostan

Irek S. Minniakhmetov  , Azat S. Timeryanov ,
Elina I. Shafeeva , Evgeniy A. Dotsenko 

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation
 irek1109@mail.ru

Abstract. The experience and researches of Buzdyak forestry were analyzed. The stages of development of forestry in Buzdyak district of the Republic of Bashkortostan were considered. The forestry carries out the study, accounting, reproduction and protection of forests, the regulation of forest use, etc. The forest fund of the Buzdyak administrative district is territorially related to Tuymazinsky forestry and is divided into 3 district forestries: Buzdyakskoye (5526 ha), Kuzeyevskoye (6958 ha) and Yarmunchinskoye (8195 ha). It was found that coniferous trees dominate in the created protective forest stands, such as Scots pine and Russian larch, characterized by a longer period of functioning of protective properties. According to forest vegetation zoning, the forests of all three district forestries are classified as protective and exploitation forests. Based on long-term scientific and production experiments conducted on the territory of the republic and the district, recommendations were given to increase productivity and protective properties of forest plantations. In the projects being developed, when planting protective forest belts, the percentage of such species as pine and larch, which have a longer lifespan and provide a greater yield of commercial timber during thinning, is increased. The task is to create not individual forest plantations or even individual belt systems, but agroforestry complexes that are balanced with the environment.

Key words: forest management, reforestation, afforestation, forest protection, forest fund

Author's contribution: Minniakhmetov I.S. — data analysis and interpretation, scientific writing; Timeryanov A.S. — data collection and processing; Shafeeva E.I. — study conception and design; Dotsenko E.A. — scientific writing. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of interest. The authors declare that there is no conflicts of interest.

Article history: received 20 April 2023; accepted 29 November 2024.

For citation: Minniakhmetov IS, Timeryanov AS, Shafeeva EI, Dotsenko EA. Forestry development in Buzdyak district of the Republic of Bashkortostan. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1):115—125. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-115-125 EDN IHRLIP

Введение

Лесное хозяйство — отрасль народного хозяйства, осуществляющая изучение, учет, воспроизводство и охрану лесов, регулирование лесопользования и др. [1–5], к важнейшим функциям относятся лесовосстановление и лесоразведение. Главная особенность отрасли — продолжительный период выращивания леса (50–100 и более лет). История лесного хозяйства тесно связана с развитием земледелия. Интенсивное лесопользование на территории Башкортостана началось со 2-й половины XVIII в. в связи со строительством металлургических заводов и увеличением потребности в древесном угле и строительных материалах. В 1918 г. на территории Уфимской губернии был учрежден лесной отдел при губернском земельном комитете. Государственный лесной фонд республики состоял из бывших казенных, общественных, частных и запасных лесов. В 1966 г. образовано Министерство лесного хозяйства БАССР. На 01.01.2012 г. площадь земель Буздякского района, на которых расположены лесные насаждения, составила 25 тыс. га, или 15,7 % от общей площади территории района, в т.ч.: хвойные — 4,7, твердолиственные породы — 3,4 тыс. га. Участие липы — 23, березы — 20, осины — 17, дуба — 14, сосны — 13, ели — 8 и прочих пород — 2 % [1, 6, 7].

Цель исследования — оценка эффективности использования и развития лесного хозяйства Буздякского района РБ.

Материалы и методы исследования

Лесной фонд Буздякского административного района территориально относится к Туймазинскому лесничеству, которое делится на участковые лесничества. В Буздякском районе выделено 3 участковых лесничества: Буздякское (5526 га), Кузеевское (6958 га) и Ярмунчинское (8195 га).

Приводятся данные исследований с 1970 по 2020 гг. Применялись исторический и сравнительно-описательный методы исследования.

Результаты исследования и обсуждение

Буздякский механизированный лесхоз (в составе Буздякского, Кузеевского и Ярмунчинского лесничеств) организован в 1970 г. Территория лесхоза насчитывала 20,679 тыс. га. Основным местоположением управления лесхоза выбрано с. Буздяк. Протяженность лесного фонда с севера на юг — 80 км, с востока на запад — 45 км. Лесничество — базовая единица управления в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации (РФ).

По лесорастительному районированию леса всех трех участковых лесничеств отнесены к лесостепной зоне и району европейской части РФ, по целевому назначению — к защитным и эксплуатационным лесам. В основные задачи лесничества входят охрана и защита лесов, их своевременное и качественное воспроизводство, обеспечение населения района древесиной для различных нужд и др. Введение в 2006 г. нового Лесного кодекса РФ привело к большим изменениям в лесном

хозяйстве страны, произошло сокращение штата и упразднение должностей лесников, мастеров леса, что отрицательно сказалось на деятельности лесхозов.

В Буздякском участковом лесничестве 84,2 % лесов относятся к защитным, из них водоохранные зоны — 3,2 %, леса, защитные полосы — 0,09 %, лесные насаждения — 80,9 %; остальные леса участкового лесничества — эксплуатационные (15,8 %). Кузеевское лесничество состоит только из защитных лесов: водоохранные зоны (2,6 %), леса, расположенные в защитных полосах лесов (0,3 %), лесостепные леса (97,1 %). В Ярмунчинском участковом лесничестве преобладают эксплуатационные леса (65,7 %), а на долю защитных лесов приходится 34,3 %: леса, расположенные в водоохраных зонах (2,5 %), лесостепные леса (31,8 %).

До 1939 г. леса, находящиеся на территории Буздякского района, распределялись на 2 категории: леса государственного лесного фонда и леса местного значения. В первой из них руководство и организация ведения лесного хозяйства осуществлялись лесничим — это нынешние леса Ярмунчинского лесничества. В подчинении лесничего были объездчики и лесники, в задачи которых входили охрана леса от пожаров и лесонарушений, защита лесных массивов от вредителей и болезней. Леса местного значения были в ведении районного лесхоза, которому принадлежали леса Буздякского лесничества, леса вокруг нпп Арсланово, Кузеево, Сабаево, Старотавларово, Тюрюшево, Урзайбаш. Эти леса ежегодно отводились под рубки населению, поскольку древесина являлась тогда основным видом топлива.

В 1939 г. в лесном хозяйстве произошла реорганизация: все леса, за исключением находящихся на землях, закрепленных на вечное пользование за колхозами и совхозами, перешли в состав государственного лесного фонда. Леса Буздякского района оказались в ведении вновь организованных Буздякского и Ярмунчинского лесничеств в составе Чишминского лесхоза, который находился в подчинении Управления лесного хозяйства и охраны леса Башкортостана. Чишминский лесхоз был организован в 1940 г. и состоял из Ярмунчинского, Буздякского, Благоварского, Чишминского и Ново-Троицкого лесничеств. Лесистость района расположения лесхоза с учетом поле-почвозащитных полос составляла 15,8 % от площади Буздякского района. В силу сложившихся естественно-исторических и экономических условий лесной фонд лесхоза был представлен защитными лесами, площадь которых составляла 14364 га (69,5 %) от всей площади лесных земель, и лесами эксплуатационного назначения площадью 6315 га (30,5 %). Лесной фонд лесхоза состоял из смешанных лесов в долевом соотношении, %: хвойные — 22,3 (в т.ч.: сосна — 12,7, ель — 7,7), дуб — 14,9, береза — 21,5, осина — 17,1, липа — 23,5 и прочие породы — 0,7.

В 1984–1994 гг. увеличены насаждения с большим участием хвойных деревьев на площади 497 га путем посадки лесных культур, также вырос общий запас насаждений на 11,2 %, в т.ч. хвойных — на 54,6 % (158 тыс. м³); отмечен низкий процент гибели лесных культур (2,5 %); выполнен значительный объем промежуточного пользования лесом, в результате получено 122 тыс. м³ ликвидной древесины и улучшено санитарное состояние насаждений; площадь покрытых лесом земель увеличилась на 432 га (2,3 %).

В целях получения качественного посадочного материала с единицы площади в лесных питомниках организовано выращивание сеянцев и саженцев на высоком агротехническом уровне. Практиковался посев семян лиственных пород в летне-осеннее время (август – сентябрь), а хвойных пород (ели, сосны, лиственницы) — с установлением устойчивых морозов (конец октября – начало ноября). Имелись 2 стационарные типовые теплицы с общей площадью 0,10 га и 3 простые деревянные теплицы на 0,15 га — для ускоренного выращивания посадочного материала. Питомнику Ярмунчинского лесничества 9 раз присваивалось звание «Лесной питомник высокой культуры». С 1987 г. в лесных питомниках лесхоза начато выращивание крупномерного посадочного материала ели. В 1995 г. заложена лесосеменная плантация из привитой лиственницы: 47 клонов на площади 10 га. Была построена оросительная система в базисном питомнике Ярмунчинского лесничества. Ежегодно крупномерным посадочным материалом закладывались лесные культуры на площади 45...50 га (60...70 % от объема посадки в гослесфонде), приживаемость составляла 80...90 %, за 30 лет организации лесхоза создано 3070 га лесных культур.

В 1950-е гг. сельскохозяйственные угодья Буздякского района были практически беззащитны перед ветровой эрозией, зимой снег с полей сдувало в овраги, поэтому увеличивалась глубина промерзания почвы, летом с полей поднимались черные бури, сдувая с них всю растительность. За небольшой промежуток времени поля колхозов и совхозов были окаймлены защитными лесонасаждениями, за 30 лет создано 2978 га овражно-балочных насаждений. На неудобных для использования в сельском хозяйстве землях шло их активное облесение путем террасирования, что составило 35 % (1043 га) от общего объема овражно-балочных насаждений. Приживаемость защитных насаждений — 75,7 %. Из посаженных защитных насаждений по РБ (800 га ежегодно) 115 га высаживались лесоводами Буздякского лесхоза. За 1970–2000 гг. посадка лесополос составила 1295 га, овражно-балочных насаждений — 2858 га, в т.ч. террасированием крутосклонов — 1113 га (табл.). Буздякский лесхоз неоднократно становился победителем соревнований по созданию защитных насаждений в РБ.

Производственные показатели Буздякского лесхоза в 1970–1999 гг.

Показатели	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1999
Основные средства, тыс. р.	112,5	222,0	366,6	644,5	750,5	2242,0	6809,0
Получено прибыли, тыс. р.	7,8	34,2	39,1	51	91	145	241
Энерговооруженность, л/с	800	1110	1375	1902	2126	3805	3104
Выпуск товарной продукции вспомогательного производства, тыс. р.	—	103,6	183,1	291,0	353,3	168,5	200
Валовый выпуск продукции подсобного сельского хозяйства и побочного пользования, тыс. р.	—	8,6	32,4	36,0	62,3	63,3	60,1
Выращено стандартного посадочного материала, млн шт.:	3,0	1,4	3,3	5,1	2,5	0,95	1,9

Окончание табл.

Показатели	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1999
из них саженцы, тыс. шт.	53	58	72	124	178	149	453
Посадка полезащитных лесополос, га	125	70	25	40	20	15	15
Покрытые лесом площадь, га:	18869	18805	18757	18163	18654	18520	18870
в т.ч. хвойных, га	2636	2777	2885	3354	3500	3790	4210
Сплошные рубки главного пользования, га	13,4	17,1	23,8	13,1	16,1	13,8	17,6
Сплошные рубки главного пользования, тыс. м³	97	108	153	107	142	100	131
Заготовлено лесных семян, кг:	400	1817	570	567	561	879	630
в т.ч. хвойных, кг	129	—	246	258	294	345	54
Санитарные рубки, в тыс. м³	8,4	10,2	13,6	15,1	17,5	10,9	10,0
Рубки ухода в молодняках, га	584	704	606	609	500	260	91
Лесовосстановление посадкой, га:	147	90	55	91	75	95	70
в т.ч. саженцами, крупномерным посадочным материалом	—	—	—	—	2	89	34
Посадка овраго-балочных насаждений, га:	117	235	112	60	—	100	100
в т.ч. террасированием крутосклонов, га	—	39	72	33	40	71	5
Перевод лесных культур и естественных молодняков в покрытую лесом площадь, га	227	146	244	—	156	150	131
Случаи самовольных порубок, количество	106	82	69	16	60	145	50
Самовольные порубки, м³	19	14	2	54	12	29	28
Незаконная порубка леса, средняя кубомасса на один случай, м³	5,6	5,9	3,5	4,9	5,0	3,2	1,8
Выявляемость незаконных порубок леса, %	62	27	10	40	47	44	68

Источник: годовые отчеты Буздякского лесхоза.

Production indicators of Buzdyak forestry, 1970–1999

Indicators	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1999
Fixed assets, thousand rubles	112.5	222.0	366.6	644.5	750.5	2242.0	6809.0
Profit received, thousand rubles	7.8	34.2	39.1	51	91	145	241
Power capacity, l/s	800	1110	1375	1902	2126	3805	3104
Output of commercial products of auxiliary production, thousand rubles	—	103.6	183.1	291.0	353.3	168.5	200

End of tabl.

Indicators	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1999
Gross output of auxiliary agriculture and by-products, thousand rubles	—	8.6	32.4	36.0	62.3	63.3	60.1
Standard planting material grown, million plants	3.0	1.4	3.3	5.1	2.5	0.95	1.9
including saplings, thousand plants	53	58	72	124	178	149	453
Planting of protective forest belts, ha	125	70	25	40	20	15	15
Forested area, ha	18869	18805	18757	18163	18654	18520	18870
including conifers, ha	2636	2777	2885	3354	3500	3790	4210
Clear cuttings of the main use, ha	13.4	17.1	23.8	13.1	16.1	13.8	17.6
Clear cuttings of the main use, thousand m ³	97	108	153	107	142	100	131
Harvested forest seeds, kg	400	1817	570	567	561	879	630
including conifers, kg	129	—	246	258	294	345	54
Sanitary cuttings, thousand m ³	8.4	10.2	13.6	15.1	17.5	10.9	10.0
Cuttings in young stands, ha	584	704	606	609	500	260	91
Reforestation by planting, ha	147	90	55	91	75	95	70
including saplings, large-sized planting material	—	—	—	—	2	89	34
Planting of ravine-beam plantings, ha	117	235	112	60	—	100	100
including terracing of steep slopes, ha	—	39	72	33	40	71	5
Transfer of forest crops and natural young stands to forested area, ha	227	146	244	—	156	150	131
Cases of illegal cuttings, number	106	82	69	16	60	145	50
Illegal cuttings, m ³	19	14	2	54	12	29	28
Illegal logging, average cubic mass per case, m ³	5.6	5.9	3.5	4.9	5.0	3.2	1.8
Detection of illegal logging, %	62	27	10	40	47	44	68

Source: annual reports of Buzdyak forestry.

Посадка лесных культур на крутых склонах и на овражно-балочных землях уменьшает эрозионные процессы. В результате восстанавливается растительный покров, в т.ч. лекарственный и медоносный, также наблюдается большее видовое разнообразие грибов. Таким образом, воссоздаются лесные экосистемы.

Исследованиями [4, 8–10] установлено, что на крутых склонах необходимо сажать деревья (береза повислая, лиственница сибирская, сосна обыкновенная) и кустарники (боярышник кроваво-красный, вишня степная, ирга круглолистная, облепиха крушиновидная, смородина золотистая, шиповник майский).

Основными направлениями работы лесхоза остаются: воспроизводство, улучшение породного состава и качества лесов, организация рационального, бережного лесопользования, охрана и защита леса. По данным 2006 г., территория, занятая лесом, составляла 20679 га. В 2005 г. работники лесничеств высадили сеянцы и саженцы древесно-кустарниковых пород (80 га). Сделана подсадка вместо погибших деревьев в лесных культурах на площади 65 га и осуществлен уход за ними на 400 га. Для дальнейшего увеличения лесного фонда в лесных питомниках лесхоза выращено 1 млн 700 тыс. шт. стандартного посадочного материала. Для улучшения породного состава лесного фонда ежегодно проводились рубки ухода за лесом. Большое внимание уделялось улучшению лесосеменной базы лесхоза, помимо ежегодного ухода, закладывались новые лесосеменные участки. Одной из главных задач работников леса была охрана и защита лесов от пожаров. Ежегодно обновлялись места отдыха и курения, велась профилактическая, агитационная работа с населением, школьниками.

В 2008 г. ГУ «Буздякский лесхоз» реорганизован путем слияния с ГУП РБ «Лесцентр». С 2015 г. в результате ряда реорганизаций предприятий лесной отрасли бывший Буздякский лесхоз в какой-то части имущества находится в составе Государственного автономного учреждения РБ «Туймазинский лесхоз» и выделен в Буздякский производственный участок и мастерские участки.

Все работы, проводимые на территории Буздякского района, выполняются согласно лесохозяйственного регламента Туймазинского лесничества.

Традиционные способы создания лесных полос в районе и отсутствие рубок ухода за период 2006–2024 гг. привели к образованию, в основном, непродуваемых насаждений с уменьшенной зоной агролесомелиоративного влияния.

Если за лесными полосами не проводятся своевременные уходы, то они изменяют свою конструкцию в плотную. Такие плотные непродуваемые лесные полосы накапливают снег возле себя и не пропускают его на поля, в результате чего на полях наблюдается недостаток влаги, а возле лесных полос снег тает долгое время. В дальнейшем такие участки возле плотных лесных полос длительное время остаются переувлажненными и задерживают весенне-полевые работы. Избежать этих недостатков позволило проектирование прерывистых лесных полос [11–15].

Заключение

При анализе производственных показателей Буздякского лесхоза наблюдаются эффективное развитие отрасли и способность результативно удовлетворять разнообразные потребности в ресурсах леса.

Научно обоснованный подход при проведении противоэрозионных, снегозащитных мероприятий, посадка лесополос, создание овражно-балочных насаждений привели к сокращению водной и ветровой эрозии, пыльных бурь и глубины промерзания грунта.

Прерывистые лесные полосы высаживаются рядами, но с расположением деревьев и кустарников по блокам. Протяженность блока равняется ширине на-

саждения, но должна составлять не менее 10 метров. Блоки состоят из пород, имеющих больший срок жизни (дуб, ясень и др.) в смешении с быстрорастущими породами (береза, тополь и др.). Применяя обрезку ветвей и редкое размещение деревьев, можно будет заготавливать деловую древесину в более ранние сроки. Культивирование таких полос повышает их рекреационный потенциал, экологическую ценность и привлекательность для отдыха.

Для получения более скорого и выгодного эффекта используют защитные лесные полосы из березы и тополя. Результаты исследования показали, что продуваемые лесные полосы имеют преимущество по объему дополнительной продукции перед ажурными в 1,2...1,5 раза и перед плотными — 1,5...2 раза.

С увеличением высоты деревьев в лесных полосах возрастает и защищенная ими площадь, что способствует получению дополнительного урожая. Так же эти насаждения характеризуются высокой экологической продуктивностью.

В разрабатываемых проектах по созданию защитных лесных насаждений рекомендуется:

- увеличить долю долговечных хвойных пород, дающих больший выход деловой древесины при рубках ухода;
- создавать не отдельные лесопосадки и даже не отдельные системы полос, а агролесомелиоративные комплексы, сбалансированные с окружающей средой.

Срок окупаемости затрат по внедренным проектам составляет 5–7 лет. К тому же возрастает роль защитных лесных полос в депонировании углерода для стабилизации процесса потепления климата и экологизации землепользования.

Список литературы

1. Леса Башкортостана / под ред. А.Ф. Хайретдинов. Уфа, 2004. 400 с.
2. Ситдинов Р.Г. Лесовыращивание на Южном Урале. Уфа, 1997. 251 с.
3. Водоохранный-защитные леса Уфимского плато: экология, синтаксономия и природоохранная значимость / под ред. А.Ю. Кулагина. Уфа, 2007. 448 с.
4. Косоуров Ю.Ф. Мелиоративно-хозяйственное освоение эродированных овражно-балочных и крутосклонных земель в Башкирии. Уфа, 1996. 168 с.
5. Коновалов В.Ф. Селекция и разведение березы повислой на Южном Урале. М., 2002. 299 с.
6. Исянгулова Р.Р., Коновалов В.Ф., Талипов Э.Н. Динамика площадей основных лесобразующих видов в Республике Башкортостан // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2019. № 3 (56). С. 91—97. doi: 10.34655/bgsha.2019.56.3.014 EDN: LZZTUQ
7. Байтурина Р.Р. Лесовосстановление на территории Республики Башкортостан в условиях изменения климата // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2021. № 4 (65). С. 116—122. doi: 10.34655/bgsha.2021.65.4.016 EDN: KQZHAX
8. Рахматуллин З.З., Тимерьянов А.Ш., Рахматуллина И.Р., Одинцов Г.Е., Габделхаков А.К. Смена пород в полезащитных лесных полосах Республики Башкортостан // Лесохозяйственная информация. 2023. № 1. С. 121—128. doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2023.1.10 EDN: TNZKRA
9. Мустафин Р.Ф. Водоохранная и почвозащитная роль лесов Южного Урала на территории Республики Башкортостан : дисс. ... д-ра сельскохозяйств. наук. Уфа, 2018.
10. Рахматуллина И.Р., Рахматуллин З.З., Габделхаков А.К. Влияние морфометрических показателей рельефа на размещение лесобразующих древесных видов Бугульминско-Белебеевской возвышенности (в пределах Республики Башкортостан) // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. 2016. № 2. С. 84—92.
11. Мустафин Р.М., Валиев В.М., Нуриев Т.А., Хайретдинов А.Ф., Султанова Р.Р., Габдрахимов К.М. Принципы целевого формирования насаждений — основа повышения их продуктивности // Аграрная наука

на рубеже тысячелетий : труды научно-практической конференции. Ижевск, 2001. С. 164—166. EDN: VZABDJ

12. Чурагулова З.С., Коновалов В.Ф., Нугаев О.И., Хисматуллин Г.С. Биоразнообразие и воспроизводство лесов Башкортостана // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений : материалы 7-й Международ. науч. конф. Красноярск, 2004. С. 191—195. EDN: YNCKWG

13. Zamanova N.A., Churagulova Z., Murzabulatov B., Miniakhmetov I., Yakovleva J. Monitoring humus content of chernozems (black soils) and soil water pollution rate in the Pre-Ural forest-steppe of the Republic of Bashkortostan // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2020. Vol. 17. № 1. С. 43—50. doi: 10.3233/AJW200005 EDN: FAULJK

14. Конашова С.И., Губайдуллин А.Ф., Ишбирдина Л.М. Анализ динамики видового состава дубовых насаждений за 50-летний период // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (40). С. 114—118. doi: 10.31563/1684-7628-2016-40-4-114-118 EDN: XDBOQH

15. Timerjanov A.Sh. Lack of allozyme variation in *Larix Sukaczewii* Dyl. from the Southern Urals // Silvae Genetica. 1997. Vol. 46. № 2—3. P. 61—64. EDN: LDZBHH

References

1. Khairtdinov AF. (ed.) *Lesy Bashkortostana* [Forests of Bashkortostan]. Ufa; 2004. (In Russ.).
2. Sitdikov RG. *Lesovyrashchivanie na Yuzhnom Urale* [Forest growing in the Southern Urals]. Ufa; 1997. (In Russ.).
3. Kulagina AY. *Vodookhranno-zashchitnye lesa Ufimskogo plato: ekologiya, sintaksonomiya i prirodookhrannaya znachimost'* [Water protection forests of the Ufa Plateau: ecology, syntaxonomy and environmental significance]. Ufa; 2007. (In Russ.).
4. Kosourov YF. *Meliorativno-khozyaistvennoe osvoenie erodirovannykh ovrazhno-balochnykh i krutosklonnykh zemel' v Bashkirii* [Reclamation and economic development of eroded ravine-gully and steeply sloped lands in Bashkiria]. Ufa; 1996. (In Russ.).
5. Konovalov VF. *Selektsiya i razvedenie berezy povisloi na Yuzhnom Urale* [Selection and breeding of silver birch in the Southern Urals]. Moscow; 2002. (In Russ.).
6. Isyanyulova RR, Konovalov VF, Talipov EN. Dynamics of the areas of major forest-forming species in the Republic of Bashkortostan. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2019;(3):91—97. (In Russ.). doi: 10.34655/bgsha.2019.56.3.014 EDN: LZZTUQ
7. Bayturina RR. Forest restoration in the territory of Bashkortostan Republic under climate change. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2021;(4):116—122. (In Russ.). doi: 10.34655/bgsha.2021.65.4.016 EDN: KQZHAX
8. Rakhmatullin ZZ, Timeryanov AS, Rakhmatullina IR, Odinzov GE, Gabdelkhakov AK. Change of species in shelterbelts of the Republic of Bashkortostan. *Forestry information*. 2023;(1):121—128. (In Russ.). doi: 10.24419/LHI.2304—3083.2023.1.10 EDN: TNZKRA
9. Mustafin RF. *Vodookhrannaya i pochvozashchitnaya rol' lesov Yuzhnogo Urala na territorii Respubliki Bashkortostan* [Water and soil protection role of forests of the Southern Urals in the Republic of Bashkortostan]. Ufa; 2018. (In Russ.).
10. Rakhmatullina IR, Rakhmatullin ZZ, Gabdelkhakov AK. Influence of morphometric indexes of the relief on placement of wood views of Bugulma-Belebey upland (within the Republic of Bashkortostan). *Forest ecosystems in conditions of climate change: biological productivity and remote monitoring*. 2016;(2):84—92. (In Russ.).
11. Mustafin RM, Valiev VM, Nuriev TA, Khairtdinov AF, Sultanova RR, Gabdrakhimov KM. The principles of targeted formation of plantings as the basis for increasing their productivity. In: *Agricultural science at the turn of the millennium: conference proceedings*. Izhevsk; 2001. p.164—166. (In Russ.). EDN: VZABDJ
12. Churagulova ZS, Konovalov VF, Nugaev OI, Khismatullin GS. Biodiversity and reproduction of forests in Bashkortostan. *Fruit growing, seed production, introduction of woody plants: conference proceedings*. Krasnoyarsk; 2004. p.191—195. (In Russ.). EDN: YNCKWG
13. Zamanova NA, Churagulova Z, Murzabulatov B, Miniakhmetov I, Yakovleva J. Monitoring humus content of chernozems (black soils) and soil water pollution rate in the Pre-Ural forest-steppe of the Republic of Bashkortostan. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 2020;17(1):43—50. doi: 10.3233/AJW200005 EDN: FAULJK

14. Konashova SI, Gubaidullin AF, Ishbirdina LM. Oak forest species composition analysis for the 50 year period. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2016;(4):114—118. (In Russ.). doi: 10.31563/1684-7628-2016-40-4-114-118 EDN: XDBOQH

15. Timerjanov AS. Lack of allozyme variation in *Larix sukaczewii* Dyl. from the Southern Urals. *Silvae Genetica*. 1997;46(2–3):61—64. EDN: LDZBHH

Об авторах:

Минниахметов Ирек Сарварович — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры кадастра недвижимости и геодезии, Башкирский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34; e-mail: irek1109@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8554-9056 SPIN-код: 3757-8104

Тимерьянов Азат Шамилович — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна, Башкирский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34; e-mail: HAF628@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-4645-3158 SPIN-код: 1662-8554

Шафеева Элина Ильгизовна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры кадастра недвижимости и геодезии, Башкирский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34; e-mail: shafeeva20081@rambler.ru
ORCID: 0000-0003-2535-1520 SPIN-код: 8591-8916

Доценко Евгений Александрович — доцент кафедры физической культуры и спорта, мастер спорта СССР, Башкирский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34; e-mail: dea1960@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9769-8665 SPIN-код: 3315-0210

About authors:

Minniakhmetov Irek Sarvarovich — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Real Estate Cadastre and Geodesy, Bashkir State Agrarian University, 34 50-letiya Oktyabrya st., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450001, Russian Federation; e-mail: irek1109@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8554-9056 SPIN-code: 3757-8104

Timeryanov Azat Shamilovich — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Real Estate Cadastre and Geodesy, Bashkir State Agrarian University, 34 50-letiya Oktyabrya st., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450001, Russian Federation, e-mail: HAF628@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-4645-3158 SPIN-code: 1662-8554

Shafeeva Elina Ilgizovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Real Estate Cadastre and Geodesy, Bashkir State Agrarian University, 34 50-letiya Oktyabrya st., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450001, Russian Federation; e-mail: shafeeva20081@rambler.ru
ORCID: 0000-0003-2535-1520 SPIN-code: 8591-8916

Dotsenko Evgeny Aleksandrovich — Master of Sports of the USSR, Associate Professor, Department of Real Estate Cadastre and Geodesy, Bashkir State Agrarian University, 34 50-letiya Oktyabrya st., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450001, Russian Federation, e-mail: dea1960@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9769-8665 SPIN-code: 3315-0210



Морфология и онтогенез животных Morphology and ontogenesis of animals

DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-1-126-138

EDN IQUGGB

УДК 636.7:57.017.642:619

Научная статья / Research article

Количественная оценка фетального кровотока у собак

А.В. Шумейко  , Н.А. Слесаренко , Н.И. Колядина 

¹Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА
им. К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация
 shumeykonastya1996@gmail.com

Аннотация. Цель исследования — на основании данных ультразвукографии и ультразвукометрии представить количественные показатели, характеризующие фетальный кровоток у собак с целью прогнозирования внутриутробного развития плода. На основании использования ультразвукографии и ультразвукометрии установлен индекс резистентности сосудов пуповины у собак. Выявлены преимущества индекса резистентности пупочных артерий в сравнении с другими показателями в оценке зрелости плодов и фетального дистресса. Установлены показатели кровотока у нормального развивающихся плодов и у плодов с внутриутробными патологиями. Разработанная методология комплексной количественной оценки фетального кровотока у собак представляет собой эффективный инструмент для прогнозирования течения беременности, диагностики патологий внутриутробного развития и принятия обоснованных решений в отношении ведения беременности и родов у собак.

Ключевые слова: фетометрия, ЧСС плода, УЗИ, фетальный дистресс, плацентарный кровоток, индекс резистентности, бипариетальный диаметр черепа

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в исследование и подготовку публикации.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

© Шумейко А.В., Слесаренко Н.А., Колядина Н.И., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

История статьи: поступила в редакцию 31 октября 2024 г., принята к публикации 13 января 2025 г.

Для цитирования: Шумейко А.В., Слесаренко Н.А., Колядина Н.И. Количественная оценка фетального кровотока у собак // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 1. С. 126—138. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-126-138 EDN IQUGGB

Quantitative assessment of fetal blood flow in dogs

Anastasia V. Shumeiko  , Natalya A. Slesarenko , Natalia I. Kolyadina 

Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA by K.I. Skryabin,
Moscow, Russian Federation

 shumeykonastya1996@gmail.com

Abstract. The study aims to present quantitative features of fetal blood flow in dogs based on ultrasonography and ultrasonometry data to predict intrauterine fetal development. Based on the use of ultrasonography and ultrasonometry, the umbilical cord vessel resistance index in dogs was established. The advantages of the umbilical artery resistance index in comparison with other indices in assessing fetal maturity and fetal distress were revealed. The features of blood flow were established in normally developing fetuses and in fetuses with intrauterine pathologies. The developed methodology of a complex quantitative assessment of fetal blood flow in dogs is an effective tool for predicting the course of pregnancy, diagnosing intrauterine development pathologies, and making informed decisions regarding pregnancy management and parturition in dogs.

Keywords: fetometry, fetal heart rate, ultrasound, fetal distress, placental blood flow, resistance index, biparietal diameter

Authors' contributions. All authors have made an equivalent contribution to the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Article history: received 31 October 2024; accepted 13 January 2025.

For citation: Shumeiko AV, Slesarenko NA, Kolyadina NI. Quantitative assessment of fetal blood flow in dogs. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1):126—138. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-126-138 EDN IQUGGB

Введение

Разработка неинвазивных методов оценки фетального кровотока у собак — одна из актуальных проблем в области ветеринарной репродуктологии, поскольку позволяет оценить внутриутробное состояние плода и прогнозировать его антенатальную либо перинатальную гибель [1–4]. Оценка биофизического профиля плода (БПП) является суммарным результатом нескольких способов мониторинга фетоплацентарной системы: ультразвуковое исследование (УЗИ), определение частоты сердечных сокращений (ЧСС) плодов, фетометрия, оценка кровотока в сосудах пуповины. В ветеринарной медицине разработаны различ-

ные методы оценки сроков беременности и выявления фетального дистресса. Существуют формулы определения сроков родов у собак с учетом породы и веса самки [5, 6], а также исследования, посвященные оценке ЧСС плодов с целью выявления фетального дистресса. Однако в доступной литературе отсутствуют сведения об акцелерации сердечных сокращений в ответ на собственные движения плода в результате нормального фетального миокардиального рефлекс (МКР), выраженность которого является показателем компенсаторной возможности плода [7–9].

Тем не менее, существуют исследования, касающиеся взаимосвязи между гестационным возрастом и жизнеспособностью плода у собак [10, 11]. Так у человека были выявлены взаимосвязи между размером плода, состоянием здоровья и характеристиками кровотока в маточной (МА) и пупочной (ПА) артериях. Двухмерное ультразвуковое исследование в В-режиме, дополненное цветовой доплерографией и спектральной доплерографией (триплексная доплерография), используют в акушерской практике у человека и животных [11, 12].

Цель исследования — на основании данных ультрасонографии и ультрасонометрии представить количественные показатели, характеризующие фетальный кровоток у собак с целью прогнозирования внутриутробного развития плода.

Задачи исследования:

1. Выявить индекс резистентности (ИР) сосудов пуповины в период с 56-х по 63-и сутки беременности.
2. Оценить показатели кровотока у нормально развивающихся плодов и у плодов с выявленными внутриутробными патологиями.
3. Провести сравнительный анализ ИР пупочных артерий с другими показателями зрелости плодов и фетального дистресса.
4. Определить влияние двигательной активности плода на частоту его сердечных сокращений.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнены на базе Лечебно-диагностического ветеринарного центра Московской ветеринарной академии (ЛДВЦ МВА), Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии К.И. Скрябина, Москва. Объектом исследования стали 38 самок различных пород, в возрасте от 3 до 5 лет, массой тела от 5 до 25 кг, которые ранее воспроизводили потомство от одного до двух раз. УЗИ проводили с использованием аппарата Vetus 8 фирмы Mindray, высокоплотного линейного датчика с диапазоном волн 4,7...12,8 Гц.

УЗИ у самок без выявленных патологий беременности проводили с интервалом 2 суток. У самок с патологической беременностью, с признаками фетального дистресса плодов интервал между исследованиями составлял сутки. При проведении УЗИ собак фиксировали в дорсальном положении. Сканирование плодов выполняли через боковую брюшную стенку. Определяли следующие параметры: бипариетальный диаметр черепа у плодов, ЧСС плодов в покое

и при их движении, ИР пупочных артерий. Визуально оценивали кровоток в области плаценты, состояние органов плодов, количество околоплодных вод и их характер.

Определение бипариетального (ВР) диаметра, мм, черепа плодов проводили при его сканировании в поперечной плоскости между теменными костями (рис. 1). Количество измерений в течение одного обследования не соответствовало количеству плодов, так как ВР диаметр определяли многократно у одного и того же плода.

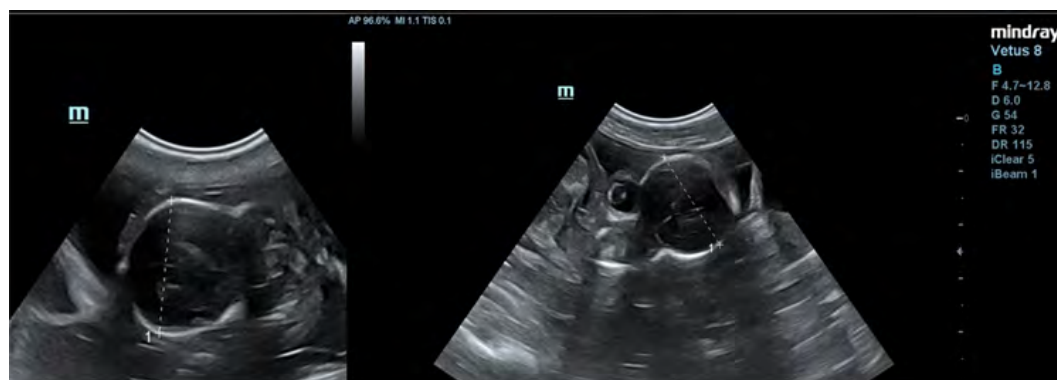


Рис. 1. Ультразвуковая картина, отражающая бипариетальный диаметр черепа у французского бульдога на 58-е сутки беременности

Источник: выполнено Н.И. Колядиной, А.В. Шумейко на аппарате Mindray Vetus 8.

Fig. 1. Ultrasound image reflecting the biparietal diameter of a French bulldog on the 58th day of pregnancy

Source: compiled by N.I. Kolyadina, A.V. Shumeyko on the Mindray Vetus 8 Ultrasound Machine.

Учитывая, что оценка состояния плодов возможна с помощью определения частоты сердечных сокращений, которая в норме составляет 240...200 уд/мин, 180...150 уд/мин оценивали как признак фетального дистресса, поскольку при 150 и ниже уд/мин возможен риск гибели плода; а параметр 120 и ниже уд/мин указывает на минимальный шанс его выживания. Физиологически нормальный пульс плода должен в два раза превышать частоту пульса матери [13, 14]. При аномалиях беременности или родах у плода может развиваться брадикардия — фетальный дистресс. Однако в доступной литературе отсутствуют данные о показателях ЧСС с учетом биологических ритмов развития плодов и их физиологических рефлексов. В связи с этим обстоятельством определение ЧСС у плодов проводили двукратно, в начале исследования и спустя 10...15 мин, при визуализации повышения двигательной активности плода (рис. 2). ЧСС определяли за 2 сердечных цикла с автоматическим вычислением среднего значения. Далее устанавливали различия между показателями ЧСС в покое и при обнаружении двигательной активности плода.

Определение ИР пупочных артерий выполняли, опираясь на данные о том, что пупочные артерии доставляют дезоксигенированную кровь плода к плаценте, в то время

как пупочные вены несут насыщенную кислородом кровь от плаценты к плоду. У собаки в отличие от человека эти сосуды являются парными (рис. 3), что подтверждается при ультразвуковом сканировании при использовании линейного датчика (рис. 4).

В режиме цветового доплеровского кодирования с учетом направления кровотока мы определили тип сосудов пуповины (рис. 5), а также ИР для оценки пульсирующего кровотока.

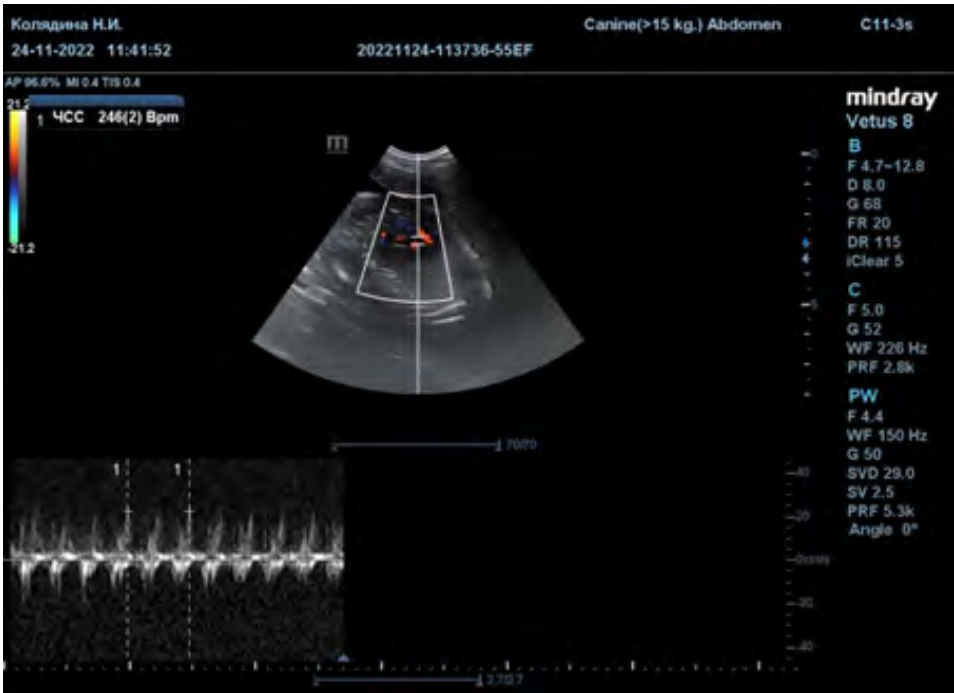


Рис. 2. Методика измерения ЧСС плодов

Источник: выполнено Н.И. Колядиной, А.В. Шумейко на аппарате Mindray Vetus 8.

Fig. 2. The method of fetal heart rate monitoring

Source: compiled by N.I. Kolyadina, A.V. Shumeyko on the Mindray Vetus 8 Ultrasound Machine.

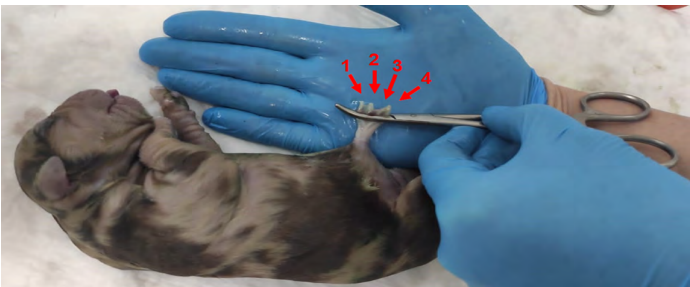


Рис. 3. Макроморфологическая картина сосудов пуповины (сосуды отмечены стрелками)

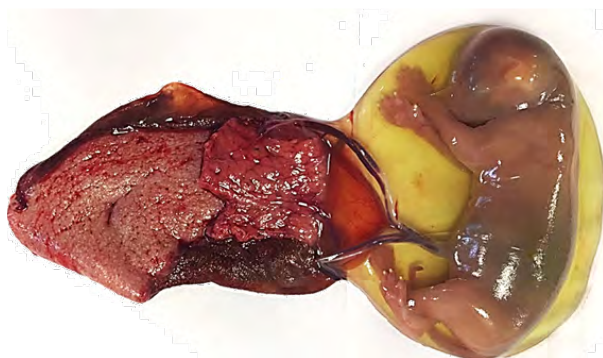
Источник: выполнено А.В. Шумейко на базе ЛДВЦ МВА.

Fig. 3. Macromorphological picture of umbilical cord vessels (marked with arrows)

Source: compiled by A.V. Shumeyko at MDVC MVA.



а



б

Рис. 4. Морфологическая картина сосудов пуповины: а — сонограмма; б — оригинальный макропрепарат

Источник: рис. 4 а выполнен Н.И. Колядиной, А.В. Шумейко на аппарате Mindray Vetus 8; рис. 4 б выполнен А.В. Шумейко на базе ЛДВЦ МБА.

Fig. 4. Morphological pattern of umbilical cord vessels: а — sonogram; б — original gross specimen

Source: fig. 4a compiled by N.I. Kolyadina, A.V. Shumeyko on the Mindray Vetus 8 Ultrasound Machine; fig. 4b compiled by A.V. Shumeyko at MDVC MVA.

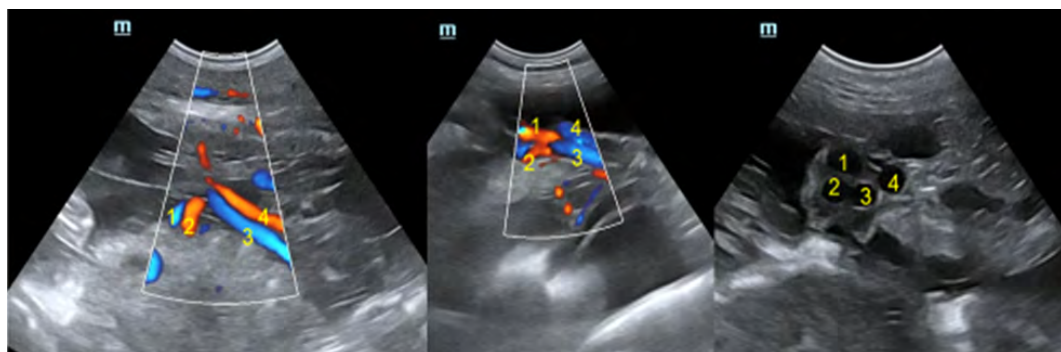


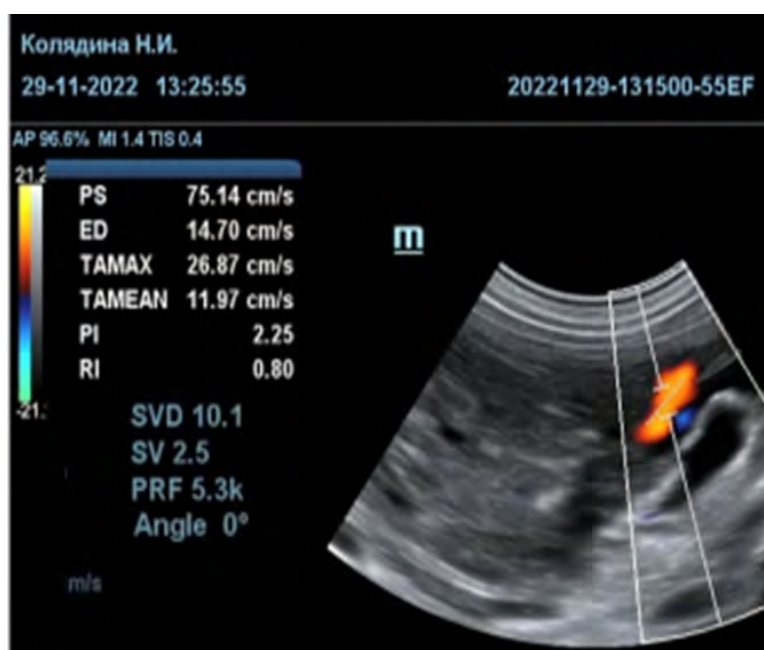
Рис. 5. Сканирование сосудов пуповины у плода собаки в цветном Допплеровском и В-режиме. Цифрами обозначены сосуды артериального (2, 4) и венозного (1, 3) русла

Источник: выполнено Н.И. Колядиной, А.В. Шумейко на аппарате Mindray Vetus 8.

Fig. 5. Scanning of umbilical cord vessels in a dog fetus in color Doppler and B-mode. The numbers indicate the vessels of the arterial (2, 4) and venous (1, 3) beds

Source: compiled by N.I. Kolyadina, A.V. Shumeyko on the Mindray Vetus 8 Ultrasound Machine.

Индекс резистентности (ИР) рассчитывали путем определения пиковой систолической скорости за вычетом конечной диастолической и последующего деления полученной величины на пиковую систолическую скорость. Если индекс сопротивления нулевой, то это означало полное отсутствие сопротивления потоку, а его увеличение до единицы — максимальное сопротивление. Важно подчеркнуть, что правильно выставленный угол инсонации определяет объективность полученных результатов (рис. 6).



а



б

Рис. 6. Методика определения индекса резистентности пупочных артерий (а) и схематический рисунок выставления угла инсонации (б)

Источник: рис. 6 а выполнен Н.И. Колядиной, А.В. Шумейко на аппарате Mindray Vetu8; рис. 6 б выполнен А.В. Шумейко в программе Microsoft Paint.

Fig. 6. The method of determining the umbilical artery resistance index (a) and a schematic drawing of the insonation angle (б)

Source: fig. 6a compiled by N.I. Kolyadina, A.V. Shumeyko on the Mindray Vetu8 Ultrasound Machine; fig. 6b created by A.V. Shumeyko in Microsoft Paint.

Угол инсонации в 10 градусов соответствует 2%-й ошибке определения скорости кровотока, а угол в 20 градусов соответствует 6%-й ошибке этого показателя. Когда параметр абсолютной скорости является диагностически важным параметром и полученный угол превышает 20 градусов, то необходимо использовать ручную корректировку вышеуказанного угла.

Оценка кровотока в системе мать — плацента — плод является информативным показателем состояния плода и внезародышевых структур (рис. 7).

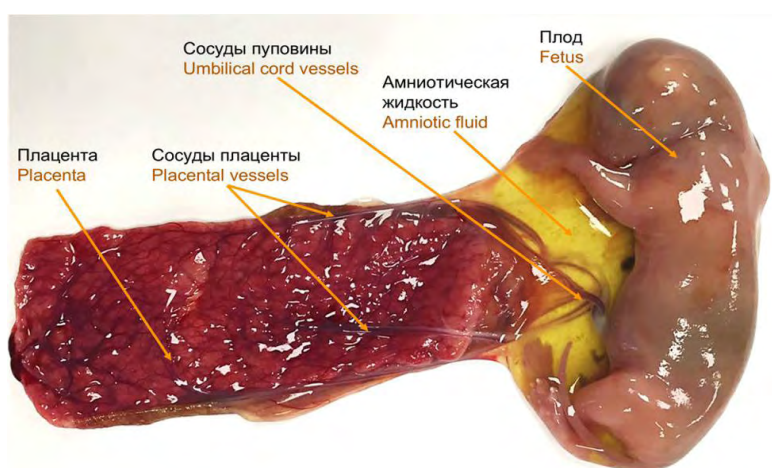


Рис. 7. Макроморфологическая картина плода и внезародышевых структур
Источник: выполнено А.В. Шумейко на базе ЛДВЦ МВА.

Fig.7. Macromorphological pattern of the fetus and extra-embryonic structures
Source: compiled by A.V. Shumeyko at MDVC MVA.

Оценку плацентарного кровотока проводили с помощью селективного выявления сосудов плаценты в режиме цветового доплеровского картирования (ЦДК) (рис. 8).



Рис. 8. Ультразвуковое отображение сосудов плаценты в режиме ЦДК у бостон-терьера
Источник: выполнено Н.И. Колядиной, А.В. Шумейко на аппарате Mindray Vetus 8.

Fig. 8. Ultrasound imaging of placental vessels in the CDI mode in a Boston Terrier female
Source: compiled by N.I. Kolyadina, A.V. Shumeyko on the Mindray Vetus 8 Ultrasound Machine.

Результаты исследования и обсуждение

При сравнительном изучении показателя бипариетального диаметра черепа у плодов собак мелких и средних пород установлено, что он является объективным критерием определения сроков беременности, что согласуется с результатами других исследователей [1, 4, 15].

При установлении ЧСС плодов мы выявили достоверные различия ее значений в покое и при двигательной активности плодов (табл.).

Показатели ЧСС у нормально развивающихся плодов и у плодов с выявленными патологиями при УЗИ на 56–60-е и 61–63-е сутки беременности

Плоды	ЧСС у плодов собак			
	мелких пород		средних пород	
	в покое	при двигательной активности	в покое	при двигательной активности
56–60-е сутки				
Без выявленных патологий	221 ± 0,8	232 ± 1,1	210 ± 0,6	217 ± 0,6
С признаками фетального дистресса	199 ± 0,2	202 ± 0,3	201 ± 0,3	203 ± 0,3
61–63-и сутки				
Без выявленных патологий	194 ± 0,2	210 ± 0,6	184 ± 0,1	203 ± 0,3
С признаками фетального дистресса	170 ± 0,09	172 ± 0,08	172 ± 0,09	173 ± 0,09

Источник: выполнено А.В. Шумейко на базе ЛДВЦ МВА.

Heart rate indicators in normally developing fetuses and in fetuses with pathologies detected by ultrasound on days 56–60, 61–63 of pregnancy

Fetuses	Fetal heart rate in dogs			
	small breeds		medium breeds	
	at rest	during physical activity	at rest	during physical activity
56–60 th days				
No identified pathologies	221 ± 0.8	232 ± 1.1	210 ± 0.6	217 ± 0.6
With signs of fetal distress	199 ± 0.2	202 ± 0.3	201 ± 0.3	203 ± 0.3
61–63 rd days				
No identified pathologies	194 ± 0.2	210 ± 0.6	184 ± 0.1	203 ± 0.3
With signs of fetal distress	170 ± 0.09	172 ± 0.08	172 ± 0.09	173 ± 0.09

Source: compiled by A.V. Shumeyko at MDVC MVA.

На основании полученных данных выявлены следующие закономерности: у всех исследуемых плодов ЧСС снижалась за несколько суток до родов. Наиболее значимое снижение этого параметра отмечали на 63-и сутки беременности, т. е.

в день предполагаемых родов. Однако при повторном определении ЧСС установлена четкая закономерность ее увеличения в результате повышенной двигательной активности плодов без выявленных патологий, а у плодов с признаками фетального дистресса или повышения ЧСС как ответа на МКР не выявлено. Этот факт свидетельствует о снижении компенсаторных возможностей плодов и является важным прогностическим критерием их жизнеспособности. Следовательно, для оценки состояния плода необходимо определять ЧСС в динамике после выявленной его двигательной активности.

При анализе ИР установлено, что его наименьшие значения в артериях пуповины имели место в течение 48—24 ч до начала периода родового процесса. В случае, если роды не происходили, регистрировали последующее кратковременное повышение значений ИР выше 0,7, до тех пор, пока не были истощены компенсаторные возможности в системе мать — плацента — плод и сам плод не стал испытывать дистресс. Падение ИР в сосудах пуповины может отражать, на наш взгляд, снижение скорости кровотока и давления на стенки сосудов (застой крови). При падении ИР до 0,5 и ниже есть все основания для безотлагательного проведения кесарева сечения (рис. 9).

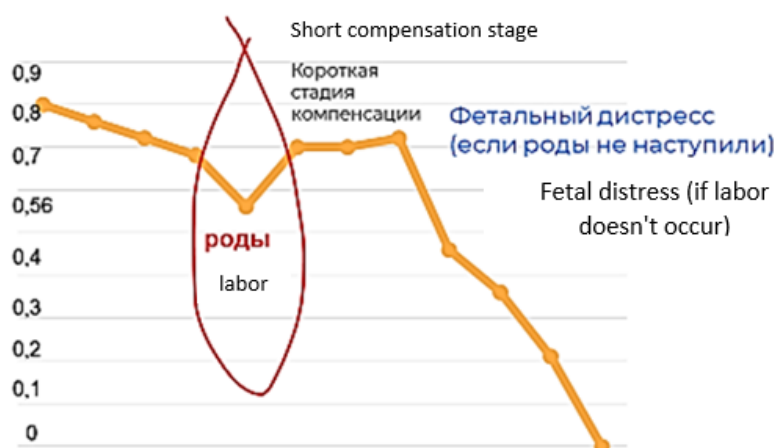


Рис. 9. Диаграмма изменения индекса резистентности пупочных артерий в конце срока беременности

Источник: выполнено А.В. Шумейко в программе PowerPoint.

Fig. 9. Diagram of changes in the umbilical artery resistance index at the end of pregnancy

Source: created by A.V. Shumeyko in PowerPoint.

Закключение

Таким образом, нами разработана методология количественной оценки фетального кровотока у собак, которая позволяет прогнозировать течение беременности, своевременно диагностировать признаки фетального дистресса, а также исключить симуляцию в оценке состояния зрелости плодов.

Список литературы

1. Gil E.M., Garcia D.A., Giannico A.T., Froes T.R. Use of B-mode ultrasonography for fetal sex determination in dogs // *Theriogenology*. 2015. Vol. 84. № 6. P. 875—879. doi: 10.1016/j.theriogenology.2015.05.020
2. Ильин Е.В. Диагностика заболеваний яичников в ветеринарной и гуманной медицине // Современные тенденции технологического развития АПК. Ижевск : Удмуртский государственный аграрный университет, 2024. С. 117—120. EDN: UXHGPI
3. Гончарова А.В., Назимкина С.Ф., Костылев В.А. Значение ультразвукографии в установлении сроков беременности у собак мелких пород // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 10(228). С. 66—69. doi: 10.53083/1996-4277-2023-228-10-66-69 EDN: KMLOZP
4. Silva P., Maronezi M.C., Padilha-Nakaghi L.C., Gasser B., Pavan L., Nogueira Aires L.P., Russo M., Spada S., Ramirez Uscategui R.A., Moraes P.C., Rossi Feliciano M.A. Contrast-enhanced ultrasound evaluation of placental perfusion in brachicephalic bitches // *Theriogenology*. 2021. Vol. 173. P. 230—240. doi: 10.1016/j.theriogenology.2021.08.010 EDN: JEBNCU
5. Шумейко А.В., Слесаренко Н.А., Колядина Н.И. Метод прогнозирования даты родов у французского бульдога // Сборник научных трудов тринадцатой Международной межвузовской конференции по клинической ветеринарии в формате Partners. М., 2024. С. 48—51.
6. Шумейко А.В., Слесаренко Н.А., Колядина Н.И., Широкова Е.О. Патент № 2812100 С1 Российская Федерация, МПК А61D 99/00, А61B 8/08, А61B 6/00. Способ прогнозирования возникновения дистоции у собак породы французский бульдог: № 2022125434: заявл. 29.09.2022; опубл. 22.01.2024.
7. Федотов С.В., Удалов Г.М., Колядина Н.И. Особенности репродукции служебных собак в условиях ЦКК // Ветеринария. 2015. № 11. С. 37—41. EDN: VBBWTF
8. Blanco P.G., Huk M., Lapuente C., Tórtora M., Rodríguez R., Arias D.O., Gobello C. Uterine and umbilical resistance index and fetal heart rate in pregnant bitches of different body weight // *Animal reproduction science*. 2020. № 212. 106255. doi: 10.1016/j.anireprosci.2019.106255 EDN: SAHPBI
9. Orlandi R., Vallesi E., Boiti C., Polisca A., Troisi A., Righi C., Bargellini P. Contrast-enhanced ultrasonography of maternal and fetal blood flows in pregnant bitches // *Theriogenology*. 2019. № 125. P. 129—134. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.10.027
10. Слесаренко Н.А., Шумейко А.В., Колядина Н.И. Нарушение развития плода в прогнозировании дистоции у самок собак // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 4(48). С. 173—179. doi: 10.48136/2222-0364_2022_4_173 EDN: QGHOJL
11. Blanco P.G., Arias D.O., Gobello C. Doppler ultrasound in canine pregnancy // *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2008. Vol. 27. № 12. С. 1745—1750. doi: 10.7863/jum.2008.27.12.1745
12. Zelck A.B., Köhler C., Kiefer I. Bildgebende Diagnostik im Rahmen der Trächtigkeit beim Hund [Diagnostic imaging during pregnancy of the dog] // *Tierärztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere*. 2023. Vol. 51. № 4. P. 264—275. doi: 10.1055/a-2147-4051 EDN: DIKILO
13. Pestelacci S., Tzanidakis N., Reichler I.M., Balogh O. Comparison of two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) ultrasonography for gestational ageing in the early to mid-pregnant bitch // *Reproduction in Domestic Animals*. 2022. Vol. 57. № 3. P. 235—245. doi: 10.1111/rda.14045 EDN: NHKWIS
14. Vieira C.A., Bittencourt R.F., Biscarde C.E.A., Fernandes M.P., Nascimento A.B., Romão E.A., Carneiro I.M.B., Silva M.A.A., Barreto R.O., Loiola M.V.G. Estimated date of delivery in Chihuahua breed bitches, based on embryo-fetal biometry, assessed by ultrasonography // *Animal Reproduction*. 2020. Vol. 17. № 3. e20200037. doi: 10.1590/1984-3143-ar2020-0037
15. Xavier G.M., Bittencourt R.F., Planzo Fernandes M., Biscarde C.E.A., Carneiro I.M.B., Costa E.O., Fuchs K.D.M., Costa T., Loiola M.V.G. Evaluation of embryo-foetal biometry and its correlation with parturition date in toy poodle bitches // *Reproduction in Domestic Animals*. 2024. Vol. 59. № 6. e14621. doi: 10.1111/rda.14621

References

1. Gil EM, Garcia DA, Giannico AT, Froes TR. Use of B-mode ultrasonography for fetal sex determination in dogs. *Theriogenology*. 2015;84(6):875–879. doi: 10.1016/j.theriogenology.2015.05.020
2. Ilyin EV. Diagnostics of ovarian diseases in veterinary and humane medicine. Izhevsk: Udmurt State Agricultural University; 2024. p. 117–120. (In Russ.). EDN: UXHGPI
3. Goncharova AV, Nazimkina SF, Kostylev VA. Importance of ultrasonography in determining pregnancy dates in small breed dogs. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2023;10(228):66–69. (In Russ.). doi: 10.53083/1996-4277-2023-228-10-66-69 EDN: KMLOZP
4. Silva P, Maronezi MC, Padilha-Nakaghi LC, et al. Contrast-enhanced ultrasound evaluation of placental perfusion in brachycephalic bitches. *Theriogenology*. 2021;173:230–240. doi: 10.1016/j.theriogenology.2021.08.010 EDN: JEBNCU
5. Shumeyko AV, Slesarenko NA, Kolyadina NI. Method for predicting the date of birth in a French bulldog. *Collection of scientific papers of the thirteenth International Interuniversity Conference on Clinical Veterinary Medicine in the Partners*. Moscow; 2024. p. 48–51. (In Russ.).
6. Slesarenko NA, Kolyadina NI, Shumeyko AV, Shirokova EO. Patent No. 2812100 C1 Russian Federation, IPC A61D 99/00, A61B 8/08, A61B 6/00. Method for predicting the occurrence of dystocia in French bulldog dogs: No. 2022125434. Declared 2022 Sep 29; Published 2024 Jan 22. (In Russ.).
7. Fedotov SV, Udalov GM, Kolyadina NI. Features of reproduction of service dogs in conditions of the Centralized Clinical Hospital. *Veterinariya*. 2015;(11):37–41. (In Russ.). EDN: VBBWTF
8. Blanco PG, Huk M, Lapuente C, et al. Uterine and umbilical resistance index and fetal heart rate in pregnant bitches of different body weight. *Animal reproduction science*. 2020;212:106255. doi: 10.1016/j.anireprosci.2019.106255
9. Orlandi R, Vallesi E, Boiti C, et al. Contrast-enhanced ultrasonography of maternal and fetal blood flows in pregnant bitches. *Theriogenology*. 2019;125:129–134. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.10.027
10. Slesarenko NA, Shumeyko AV, Kolyadina NI. Disturbance of the fetus in prediction of dystocia in female dogs. *Vestnik of Omsk SAU*. 2022;4(48):173–179. (In Russ.). doi: 10.48136/2222-0364_2022_4_173 EDN: QGHOJL
11. Blanco PG, Arias DO, Gobello C. Doppler ultrasound in canine pregnancy. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2008;27(12):1745–1750. doi: 10.7863/jum.2008.27.12.1745
12. Zelck AB, Köhler C, Kiefer I. Bildgebende Diagnostik im Rahmen der Trächtigkeit beim Hund [Diagnostic imaging during pregnancy of the dog]. *Tierärztliche Praxis. Ausgabe K, Kleintiere/Heimtiere*. 2023;51(4):264–275. doi: 10.1055/a-2147-4051 EDN: DIKILO
13. Pestelacci S, Tzanidakis N, Reichler IM, Balogh O. Comparison of two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) ultrasonography for gestational aging in the early to mid-pregnant bitch. *Reproduction in Domestic Animals*. 2022;57(3):235–245. doi: 10.1111/rda.14045 EDN: NHKWIS
14. Vieira CA, Bittencourt RF, Biscarde CEA, et al. Estimated date of delivery in Chihuahua breed bitches, based on embryo-fetal biometry, assessed by ultrasonography. *Animal Reproduction*. 2020;17(3): e20200037. doi: 10.1590/1984-3143-ar2020-0037
15. Xavier GM, Bittencourt RF, Planzo Fernandes M, et al. Evaluation of embryo-fetal biometry and its correlation with parturition date in Toy Poodle bitches. *Reproduction in Domestic Animals*. 2024;59(6): e14621. doi: 10.1111/rda.14621

Об авторах:

Шумейко Анастасия Валерьевна — кандидат биологических наук, ассистент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: shumeykonastya1996@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6062-4526 SPIN-код: 7383-2793

Слесаренко Наталья Анатольевна — доктор биологических наук, профессор кафедры анатомии и гистологии животных имени профессора А.Ф. Климова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: slesarenko2009@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8350-5965 SPIN-код: 8955-1670

Колядина Наталья Ивановна — кандидат ветеринарных наук, ветеринарный врач — репродуктолог, Лечебно-диагностический ветеринарный центр «ЛДВЦ МВА», Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, г. Москва, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: nkoliadina@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-1330-0526

About authors:

Shumeyko Anastasia Valeryevna — Candidate of Biological Sciences, Assistant of the Department of Disease Diagnosis, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Skryabin, 23 Academician Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: shumeykonastya1996@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6062-4526 SPIN-code: 7383-2793

Slesarenko Natalya Anatolyevna — Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Animal Anatomy and Histology named after Professor A.F. Klimov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Skryabin, 23 Academician Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: slesarenko2009@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8350-5965 SPIN-code: 8955-1670

Kolyadina Natalia Ivanovna — Candidate of Veterinary Sciences, veterinarian — reproductologist of the Medical and Diagnostic Veterinary Center "MDVC MVA", 23 Academician Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: nkoliadina@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-1330-0526



Генетика и селекция животных Genetics and selection of animals

DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-1-139-150

EDN IRVQJQ

УДК 57:599.723.2:576:612.6

Научная статья / Research article

Physiological features of the antioxidant system of the *Equus caballus* organism of different genotypes

Petrus K. Amulungu¹ , Aleksandr V. Tkachev^{1, 2}  , Olga L. Tkacheva^{2, 3} 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²International Veterinary Academy, Dzerzhinsky, Russian Federation

³Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

 sasha_sashaola@mail.ru

Abstract. In modern physiology, the features of the functional state of the body are increasingly being studied not in terms of breeds, age, and animal husbandry technologies, but in terms of DNA markers. Therefore, in this aspect, it is interesting to compare the functional state of the antioxidant system of the *Equus caballus* organism depending on the breed and DNA markers. The purpose of this study was to conduct a comparative analysis of the functional state of the antioxidant system of *Equus caballus* horses of different breeds and with different genotypes according to the GRM8 gene. The study of the physiological characteristics of the antioxidant system of the body of *Equus caballus* of Russian breeding was carried out from 2005 to 2023. The study involved 70 breeding stallions belonging to 9 breeds. The best superoxide dismutase activity was detected in the blood of stallions with the CC/AA genotype according to SNPrs395286150/394524550: 11.4 and 2.3% more ($p < 0.05$) than in carriers of the CT/AG and TT/GG genotypes, respectively. Catalase (CAT) activity was at a comparable level but with significant differences. We observed the highest CAT activity in the blood of stallions with the CC/AA genotype according to SNPrs395286150/394524550, which is 1.8% more in carriers of the CT/AG genotype and 7.9% ($p < 0.05$) more in carriers of the TT/GG genotype. Against this background, the activity of glutathione peroxidase (GPx) was the highest in the blood of stallions carrying the CT/AG genotype according to SNPrs395286150/394524550, which is 9.8% more ($p < 0.05$) in stallions of the CC/AA genotype and 14.8%

© Amulungu P.K., Tkachev A.V., Tkacheva O.L., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

more ($p < 0.01$) in stallions of the TT/GG genotype. The amount of malondialdehyde (MDA) was highest in carriers of the GG genotype according to SNPrs1147388106, which is 13.4% more ($p < 0.01$) in carriers of the GA genotype and 2.6% more in carriers of the AA genotype according to SNPrs1147388106. The study of the functional state of the antioxidant system of the horse body, depending on the breed, also shows the presence of significant differences between breeds of different uses.

Keywords: superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase, stallion, different breeds

Contribution of the authors: Amulungu P.K. — doing research, translation of the article into English; Tkachev A.V. — doing research, writing an article in Russian; Tkacheva O.L. — doing research, writing an article in Russian.

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: received 17 December 2024; accepted 15 January 2025.

For citation: Amulungu PK, Tkachev AV, Tkacheva OL. Physiological features of the antioxidant system of the *Equus caballus* organism of different genotypes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1):139—150. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-139-150 EDN IRVQJQ

Физиологические особенности антиоксидантной системы организма *Equus caballus* разных генотипов

П.К. Амулунгу¹ , А.В. Ткачев^{1, 2}  , О.Л. Ткачева^{2, 3} 

¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

²Международная ветеринарная академия, г. Джерджинский, Российская Федерация

³Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева,

г. Москва, Российская Федерация

 sasha_sashaola@mail.ru

Аннотация. В современной физиологии особенности функционального состояния организма все чаще изучают не в разрезе пород, возраста, технологий содержания животных, а ДНК-маркеров. Цель исследования — сравнительный анализ функционального состояния антиоксидантной системы организма лошадей *Equus caballus* разных пород и с различными генотипами по гену GRM8. Исследование физиологических особенностей антиоксидантной системы организма *Equus caballus* российской селекции проводилось с 2005 по 2023 г. В исследовании приняли участие 70 племенных жеребцов, принадлежащих к 9 породам. Наилучшая активность супероксиддисмутазы выявлена в крови жеребцов с генотипом CC/AA по SNPrs395286150/394524550: на 11,4 и 2,3 % больше ($p < 0,05$), чем у носителей генотипов CT/AG и TT/GG соответственно. Активность каталазы (КАТ) была на сопоставимом уровне, но со значительными различиями. Наибольшую активность КАТ мы наблюдали в крови жеребцов с генотипом CC/AA по SNPrs395286150/394524550, что на 1,8 и 7,9 % ($p < 0,05$) выше, чем у носителей генотипов CT/AG и TT/GG. На этом фоне активность глутатионпероксидазы была самой высокой в сперме жеребцов, несущих генотип CT/AG согласно SNPrs395286150/394524550, что на 9,8 ($p < 0,05$) и 14,8 ($p < 0,01$) % больше, чем соответственно у жеребцов генотипов CC/AA и TT/GG. Количество малонового диальдегида (MDA) было самым высоким у носителей генотипа GG согласно SNPrs1147388106, что на 13,4 ($p < 0,01$) 2,6 % больше, чем у носителей генотипов GA AA соответственно согласно SNPrs1147388106. Изучение функционального состояния антиоксидантной системы организма лошади в зависимости от породы также показывает наличие существенных различий между породами различного назначения.

Ключевые слова: супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза, жеребец, разные породы

Вклад авторов: Амулунгу П.К. — выполнение исследований, перевод статьи на английский язык; Ткачев А.В. — выполнение исследований, написание статьи на русском языке; Ткачева О.Л. — выполнение исследований, написание статьи на русском языке.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 17 декабря 2024 г., принята к публикации 15 января 2025 г.

Для цитирования: Amulungu P.K., Tkachev A.V., Tkacheva O.L. Physiological features of the antioxidant system of the *Equus caballus* organism of different genotypes // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 1. С.139—150. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-139-150 EDN IRVQJQ

Introduction

In modern physiology, the features of the functional state of the body are increasingly studied not in terms of breeds, age, and animal husbandry technologies, but in terms of DNA markers [1–3]. Therefore, in this aspect, it is interesting to compare the functional state of the antioxidant status of the *Equus caballus* organism depending on the breed and DNA markers [4–6]. Based on this approach, many researchers have successfully studied various physiological functions based on DNA markers in most countries of the world [7, 8]. However, it should be noted that a lot of physiological functions are very poorly transmitted from parents to offspring and therefore the classical approach to studying the breed factor is outdated [9]. Of particular interest to researchers is the study of gene expression during their interaction in different conditions [10], therefore, it is of interest to study the antioxidant system of the body of the same livestock, but in the context of different factors: breed and DNA marker. In our previous studies, we studied the association of the antigenic profile of erythrocytes with the physiological parameters of the reproductive system of horses [2–3]. Therefore, in this study, we want to compare the genetic factor of the breed with the functional state of the antioxidant system of the horse's body and show the advantages and disadvantages of the classical and modern approaches to assessing the influence of the genotype on the physiological functions of the body. In the available literature, we could not find publications on the features of the antioxidant system of the equine body depending on DNA markers.

However, there are a very large number of publications on the effect of DNA markers on a wide variety of physiological functions [4, 5], on animal disease resistance depending on the DNA marker [6], on the functional state of the reproductive system of the body [7, 8], to study the heritability of physiological functions [9], to study the interaction of different genes with each other and their physiological manifestation [10]. The most relevant research in this direction is the study of the association of physiological functions depending on GWAS (Genome-Wide Association Studies) to accelerate the breeding process with breeds [11].

The least studied genetic DNA markers in horses are the genes of the GRM family and their relationship to the physiological functions of the body. In humans and laboratory animals, the GRM8 gene is the most promising for research, according to which it was possible to find certain physiological features of the reproductive system [12], however, this gene has not been studied in horses due to the antioxidant system of the body. Some researchers have proposed using the genes of the GRM family as markers of human reproductive function [13, 14]. Based on this study, we decided to study the issue of the physiological association of this gene with the functional state of the antioxidant system of the *Equus caballus* organism.

The aim of this study was to conduct a comparative analysis of the functional state of the antioxidant system of *Equus caballus* horses of different breeds and with different genotypes according to the GRM8 gene.

Materials and methods

Animals and blood samples. Blood samples of *Equus caballus* were obtained from horses in compliance with the requirements of asepsis and antiseptics from the jugular vein into sterile disposable test tubes. The stallions were clinically healthy between the ages of 3 and 18. The study involved 70 breeding *Equus caballus* belonging to 9 breeds (Arab — 6 heads, thoroughbred horse — 8 heads, Ukrainian horse — 9 heads, Hanoverian — 6 heads, Belgian — 6 heads, Trakehnen — 7 heads, Westphalian — 8 heads, Russian (prize) Trotter — 10 heads and Orlov Trotter — 10 heads).

Evaluation of antioxidant system. After receiving blood samples in the laboratory, the standard parameters of the body's antioxidant system were evaluated, which are most widely used in practice in Russia: glutathione peroxidase activity, catalase activity, superoxide dismutase activity, the level of end products of lipid peroxidation of diene conjugates and malondialdehyde. The activity of antioxidant defense enzymes was measured by spectrophotometric method. Superoxide dismutase (SOD) activity was determined in U/ml; catalase (CAT) activity in U/ml, glutathione peroxidase (GPx) activity in mU/ml. The amount of end products of lipid peroxidation diene conjugates (DC) and malondialdehyde (MDA) was determined in nmol/ml.

DNA research. DNA for genetic analysis was isolated in 2022—2023 in the certified laboratory of genetics Cherkizovo LAB from blood samples of *Equus caballus* using the phenolic-chloroform method using mercaptoethanol [15]. The following primers were used to analyze the genotype of stallions by the GRM8 gene:

F: 5'-GGTCGATCGCATAAAGCATGG-3'

R: 5'-TTCTGCTACAGGGCTGACTTC-3'.

In the GRM8 gene, SNP, GA and GG, CC/AA, CT/AG, TT/GG were determined. Sanger sequencing was performed in accordance with the “Sanger Sequencing Guidelines at RAMAC”.

Statistical analysis. Statistical analysis of the obtained physiological data of *Equus caballus* blood samples was carried out according to the student's t-criterion using a specialized application package SPSS for Windows (IBM, USA) in the context of

SNP rs395286150, SNP rs394524550, SNP rs1147388106. A p-value less than 0.05 is considered significant.

Results and discussion

The obtained results of the analysis of the physiological characteristics of the antioxidant system of the body of *Equus caballus* of Russian breeding according to the preface of the breed are presented in Table 1.

Table 1

Physiological features of the body's antioxidant system *Equus caballus* of different breeds $M \pm m$

Breeds (70 heads)	Antioxidant enzymes			End products of lipid peroxidation	
	Superoxide dismutase (SOD), U/ml	Catalase (CAT), U/ml	Glutathione peroxidase (GPx), mU/ml	Diene conjugates (DC), nmol/ml	Malondialdehyde (MDA), nmol/ml
Arab (6 heads)	9.42 ± 0.8	22.02 ± 0.44	1.73 ± 0.2	12.21 ± 0.8	3.51 ± 0.4
Belgian (6 heads)	10.56 ± 0.9*	26.36 ± 0.33	1.95 ± 0.18*	8.85 ± 0.6***	2.15 ± 0.3*
Westphalian (8 heads)	9.48 ± 0.7	33.56 ± 0.19***	2.01 ± 0.21**	9.96 ± 0.7**	1.86 ± 0.2***
Hanoverian (6 heads)	8.81 ± 0.18	25.01 ± 0.25	1.84 ± 0.19	11.77 ± 0.14	3.31 ± 0.35
Orlov Trotter (10 heads)	11.76 ± 0.15**	32.44 ± 0.27*	1.22 ± 0.31	13.47 ± 0.9*	4.01 ± 0.31*
Russian (prize) Trotter (10 heads)	11.28 ± 0.16**	32.6 ± 0.26*	1.05 ± 0.4***	13.19 ± 0.16*	4.3 ± 0.29*
Trakehnen (7 heads)	9.08 ± 0.13	26.96 ± 0.3	1.75 ± 0.13	11.07 ± 0.1	3.49 ± 0.4
Ukrainian horse (9 heads)	9.38 ± 0.16	23.51 ± 0.36	1.65 ± 0.28	10.48 ± 0.15*	2.74 ± 0.76*
Thoroughbred (8 heads)	8.19 ± 0.61*	21.12 ± 0.17	1.61 ± 0.22	13.11 ± 0.1	2.93 ± 0.23

Note. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ in comparison with the Arab breed.

Source: completed by P.K. Amulungu, A.V. Tkachev, O.L. Tkacheva.

The analysis of the data in Table 1 allows us to conclude that the classical approach to assessing the physiological state of the body depending on the breed allows us to see the physiological differences in the functional state of the antioxidant system of the equine body. From the data obtained, we see that the activity of superoxide dismutase is at a comparable level in the Arabian breed, Westphalian stallions, Trakehnen breed, and in the Ukrainian riding breed from 9 to 9.5 U/ml. We observed low superoxide dismutase activity in Thoroughbred and Hanoverian breeds from 8 to 9 U/ml. The minimum activity

of this antioxidant protection enzyme was established by us in Thoroughbred stallions, which is 1.19 U/ml less ($p < 0.05$) from Ukrainian horse, 0.89 U/ml less ($p < 0.05$) from Trakehnen breed, 3.09 U/ml less from Russian (prize) Trotter, 3.57 U/ml less ($p < 0.001$) from Orlov Trotter, 0.62 U/ml less from Hanoverian, 1.29 U/ml less ($p < 0.01$) from Westphalian breed, 2.37 U/ml less ($p < 0.001$) from Belgian breed and 1.23 U/ml less ($p < 0.05$) from the Arab breed. The maximum activity of superoxide dismutase was observed in Orlov Trotter, Russian (prize) Trotter and Belgian breeds — from 10 to 12 U/ml.

The physiological features of catalase activity, depending on the breed, make it possible to group breeds into only two groups. The first group includes breeds with catalase activity from 20 to 30 U/ml: Thoroughbred, Ukrainian horse, Trakehnen, Hanoverian, Belgian and Arab breeds. The second group of breeds by catalase activity (more than 30 U/ml) includes Trotter breeds Orlov Trotter, Russian (prize) Trotter and one riding breed Westphalian. We observed the highest catalase activity in the Westphalian breed, which is 2.39 more from the Ukrainian horse, 5.84 U/ml more ($p < 0.05$) from Trakehnen, 11.48 U/ml more ($p < 0.001$) Russian (prize) Trotter, 11.32 U/ml more ($p < 0.001$) from Orlov Trotter, 3.89 U/ml more from Hanoverian, 12.44 U/ml more ($p < 0.001$) from Westphalian, 5.24 U/ml more ($p < 0.05$) from Belgian and 0.9 U/ml more from Arab breed. The data obtained allow us to conclude that the best functional activity of catalase is observed in Westphalian breeds, Russian (prize) Trotter and Orlov Trotter.

The analysis of the functional level of the antioxidant enzyme glutathione peroxidase (GPx) allows us to group the studied rocks into three groups. The first group includes breeds with the lowest glutathione peroxidase activity up to 1.5 mU/ml: Russian (prize) Trotter and Orlov Trotter. The second group includes breeds with average glutathione peroxidase activity from 1.5 to 1.8 mU/ml: Thoroughbred, Ukrainian horse, Trakehnen, Arab. The third group includes breeds with glutathione peroxidase activity of more than 1.8 mU/ml: Hanoverian, Belgian and Westphalian breeds. We observed the highest activity of glutathione peroxidase in Westphalian stallions, which is 0.06 mU/ml more than Belgian stallions, 0.28 mU/ml more than Arab stallions, 0.17 mU/ml more than Hanoverian, 0.79 mU/ml more ($p < 0.01$) Orlov Trotter, 0.96 mU/ml more ($p < 0.01$) Russian (prize) Trotter, 0.26 mU/ml more Trakehnen, 0.36 mU/ml more ($p < 0.05$) Ukrainian horse and 0.4 mU/ml more ($p < 0.05$) Thoroughbred.

The next stage of the study was to study the physiological characteristics of the level of end products of lipid peroxidation diene conjugates and malondialdehyde in *Equus caballus* of different breeds. As a result of the analysis of the data in Table 1, the studied rocks can be conditionally divided into three groups according to the level of diene conjugates. The first group of the studied breeds had blood levels of diene conjugates up to 10 nmol/ml: Arab and Westphalian breeds. In the second group of *Equus caballus* stallions, the concentration of diene conjugates in the blood was from 10 to 13 nmol/ml: Belgian, Hanoverian, Trakehnen, and Ukrainian horse. The third group of *Equus caballus* stallions had the highest concentration of diene conjugates in the blood over 13 nmol/ml: Orlov Trotter, Russian (prize) Trotter and Thoroughbred. The highest concentration of diene conjugates in the blood of stallions was observed in Orlov Trotter breed, which

is 0.28 nmol/ml more than Russian (prize) Trotterstallions, 2.4 nmol/ml more ($p < 0.01$) Trakehnen stallions, 2.99 nmol/ml more ($p < 0.01$) Ukrainian horse, 0.36 nmol/mlml is more Thoroughbred, 1.7 nmol/ml is more Hanoverian, 3.51 nmol/ml is more ($p < 0.001$) Westphalian, 4.62 nmol/ml is more ($p < 0.001$) Belgian and 1.26 nmol/ml is more ($p < 0.05$) Arab breed.

The obtained data on the physiological level of malondialdehyde (MDA) allows us to identify 4 groups of stallions of Russian breeding. The first group has a malondialdehyde level of up to 2 nmol/ml and it includes only one breed — the Westphalian. The second group of *Equus caballus* stallions has a malondialdehyde level from 2 to 3 nmol/ml: Thoroughbred, Ukrainian horse and Belgian. The third group of stallions has a physiological level of malondialdehyde from 3 to 4 nmol/ml: Arab, Hanoverian, and Trakehnen breeds. The fourth group of stallions has a high malondialdehyde level of more than 4 nmol/ml: Orlov Trotter, Russian (prize) Trotter. The maximum physiological level of malondialdehyde was established in Russian (prize) Trotterstallions, which is 0.29 nmol/ml more than Orlov Trotter, 0.81 nmol/ml more than Trakehnen breed, 0.99 nmol/ml more than Hanoverian, 2.44 nmol/ml more ($p < 0.001$) Westphalian breed, 2.15 nmol/ml more ($p < 0.001$) Belgian, 0.79 nmol/ml more Arab breed, 1.56 nmol/ml more ($p < 0.01$) Ukrainian horse and 1.37 nmol/ml more ($p < 0.01$) Thoroughbred.

Thus, the classical approach to the analysis of the physiological characteristics of the *Equus caballus* organism in the context of the breed factor has the right to exist for certain tasks and allows you to detect close and more distant breeds by certain characteristics.

However, in modern conditions of scientific development, research is no longer conceivable without determining DNA markers, so we analyzed the physiological characteristics of the antioxidant system of the body of the same stallions but in the context of alleles of the GRM8 gene. The next stage of the study was to analyze the physiological characteristics of blood samples of *Equus caballus* of Russian breeding according to SNPrs1147388106 presented in Table 2.

Table 2

Physiological features of antioxidant capacity of blood samples
of *Equus caballus* SNPrs395286150/394524550 $M \pm m$

SNP genotypes 395286150/ 394524550	Antioxidant enzymes			End products of lipid peroxidation	
	Superoxide dismutase (SOD), U/ml	Catalase (CAT), U/ml	Glutathione peroxidase (GPx), mU/ml	Diene conjugates (DC), nmol/ml	Malondialdehyde (MDA), nmol/ml
CC/AA (22 heads)	10.22 ± 0.09	27.26 ± 0.27	1.65 ± 0.02	11.22 ± 0.10	2.93 ± 0.04
CT/AG (25 heads)	9.06 ± 0.06*	26.78 ± 0.21	1.83 ± 0.01*	10.75 ± 0.08*	2.39 ± 0.03**
TT/GG (23 heads)	9.98 ± 0.09	25.08 ± 0.31*	1.56 ± 0.02**	12.33 ± 0.07*	3.78 ± 0.03***

Note. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ in comparison with the CC/AA genotype.

Source: completed by P.K. Amulungu, A.V. Tkachev, O.L. Tkacheva.

The analysis of the data presented in Table 2 for the first-time indicates a different level of activity of antioxidant protection enzymes and the number of end products of lipid peroxidation in the blood of stallions of Russian breeding of different genotypes. We observed the best activity of superoxide dismutase (SOD) in the blood of stallions with the CC/AA genotype according to SNPrs395286150/394524550, which is 11.4% more ($p < 0.05$) in carriers of the CT/AG genotype and 2.3% more in carriers of the TT/GG genotype. Catalase activity (CAT) was at a comparable level but with significant differences. We observed the highest catalase activity in the blood of stallions with the CC/AA genotype according to SNPrs395286150/394524550, which is 1.8% more in carriers of the CT/AG genotype and 7.9% ($p < 0.05$) more in carriers of the TT/GG genotype. Against this background, the activity of glutathione peroxidase (GPx) was the highest in the blood of stallions carrying the CT/AG genotype according to SNPrs395286150/394524550, which is 9.8 % more ($p < 0.05$) in stallions of the CC/AA genotype and 14.8% more ($p < 0.01$) in stallions of the CT/AG genotype. Russian breeding of TT/GG genotype carriers.

We also obtained for the first-time data on the number of end products of lipid peroxidation for diene conjugates (DC) and malondialdehyde (MDA) in stallions of Russian breeding for carriers of different genotypes according to SNPrs395286150/394524550. The number of end products of lipid peroxidation of diene conjugates (DC) in the blood of stallions of Russian breeding was the best (lowest) in carriers of the CT/AG genotype according to SNPrs395286150/394524550, which is 4.4% less ($p < 0.05$) in stallions with the CC/AA genotype and 14.7% less ($p < 0.01$) compared to the TT/GG genotype. At the same time, the amount of malondialdehyde (MDA) in the blood samples of stallions of Russian breeding was also the best (lowest) in carriers of the CT/AG genotype according to SNPrs395286150/394524550, which is 22.6% less ($p < 0.01$) in carriers of the CC/AA genotype and 58.2% less ($p < 0.001$) in carriers of the TT/GG genotype.

For the first time, the data obtained on the level of antioxidant enzymes and the level of end products of lipid peroxidation in the blood samples of *Equus caballus* of Russian breeding according to the genotype SNPrs1147388106 are presented in Table 3.

Table 3

**Physiological features of antioxidant capacity of blood samples
of *Equus caballus* SNPrs1147388106 ($M \pm m$)**

SNP genotypes	Antioxidant enzymes			End products of lipid peroxidation	
	Superoxide dismutase (SOD), U/ml	Catalase (CAT), U/ml	Glutathione peroxidase (GPx), mU/ml	Diene conjugates, nmol/ml	Malondialdehyde (MDA), nmol/ml
AA (23 heads)	9.54 ± 0.07	24.84 ± 0.21	1.71 ± 0.01	11.54 ± 0.07	2.98 ± 0.03
GA (24 heads)	9.55 ± 0.12	27.93 ± 0.28**	1.73 ± 0.02	11.12 ± 0.12	2.65 ± 0.05*
GG (23 heads)	10.04 ± 0.09*	28.78 ± 0.27***	1.65 ± 0.02*	11.01 ± 0.09*	3.06 ± 0.05

Note. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ in comparison with the AA genotype.

Source: completed by P.K. Amulungu, A.V. Tkachev, O.L. Tkacheva.

The analysis of the data obtained in Table 3 makes it possible for the first time to identify the genotype according to SNPrs1147388106, which has the best superoxide dismutase (SOD) activity in the blood samples of *Equus caballus* of Russian breeding; this genotype turned out to be GG, in which SOD activity was 4.9 % higher ($p < 0.05$) from the AA and GA genotypes. The activity of the catalase enzyme (CAT) was the worst in carriers of the AA genotype, which is 12.4% less ($p < 0.01$) in carriers of GA genotype and 15.9% less ($p < 0.001$) in carriers of the GG genotype according to SNPrs1147388106. At the same time, the activity of glutathione peroxidase (GPx) was worse in carriers of the GG genotype, which is 4.8% less ($p < 0.05$) compared with the AA and GA genotypes. At the same time, the number of end products of lipid peroxidation of diene conjugates was approximately at a comparable level in all three genotypes according to SNPrs1147388106. The amount of malondialdehyde (MDA) was highest in carriers of the GG genotype according to SNPrs1147388106, which is 13.4% more ($p < 0.01$) in carriers of the GA genotype and 2.6% more in carriers of the AA genotype according to SNPrs1147388106.

The correlation coefficient of sperm motility after defrosting with the amount of direct current was minus 0.43 ($p < 0.01$), with the amount of malondialdehyde — minus 0.47 ($p < 0.01$). At the same time, the correlation coefficient of sperm survival after thawing with the amount of MDA was stronger and amounted to minus 0.5 ($P < 0.01$), and with the amount of malondialdehyde — minus 0.57 ($P < 0.01$).

The correlation coefficient of sperm motility after thawing with the activity of superoxide dismutase (SOD) was 0.08, with catalase (CAT) 0.21 ($p < 0.01$), with glutathione peroxidase (GPx) 0.57 ($p < 0.01$). The correlation coefficient of sperm survival after thawing with the activity of superoxide dismutase (SOD) was 0.04, with catalase (CAT) 0.17 ($p < 0.01$), with glutathione peroxidase (GPx) 0.37 ($p < 0.01$).

At the same time, the degree of influence of the studied genotypes on the activity of antioxidant enzymes and the number of end products of lipid peroxidation was low — from 2 to 9%, but the confidence level was high, $p < 0.001$.

After several researchers showed the possibility of using the GRM8 gene as a DNA marker of physiological functions in humans [13, 14], studies of the associative relationship of various physiological functions of the animal body with the same and other targeted genes began to expand. In practical veterinary medicine, establishing the connection of a DNA marker with any function of the body will make it possible to carry out breeding and treatment of sick animals more effectively. Therefore, the data we have obtained on the physiological differences of stallions in the functional state of the antioxidant system of the human body will allow us to better understand the physiological processes under normal and pathological conditions. For example, there is a study of genetic markers in mares in connection with the functional state of their uterus [16], which may increase the effectiveness of endometritis treatment in mares, but this author does not study the antioxidant system of the equine body. The practical application of data on the state of the antioxidant system can be used to improve the cryopreservation of horse semen [13, 14].

Our data on the relationship between the activity of antioxidant protection enzymes and the number of end products of lipid peroxidation in *Equus caballus* sperm are

generally consistent with the results of many other studies [17–19], which describe that with an increase in enzyme activity and a decrease in the number of end products of lipid peroxidation in stallion body, the results of many other studies are generally consistent [17–19]. Due to the products of lipid peroxidation, the physiological characteristics of spermatozoa deteriorate, especially after freezing-thawing. At the same time, in the available literature, we could not find studies on the level of antioxidant enzymes and end products of lipid peroxidation in stallions of Russian breeding, depending on the genotypes according to SNPrs395286150/394524550 and SNPrs1147388106. Molecular identification methods are used in many studies [20–23] but there is not enough research on horses of Russian breeding. Most molecular genetic studies in horse breeding are devoted to the diagnosis of various diseases [24].

The results of the analysis of the physiological characteristics of the functional state of the *Equus caballus* body's antioxidant system of Russian breeding are discussed as following. These stallions turned out to be carriers of the GA genotype according to SNPrs1147388106 and CT/AG according to SNPrs395286150/394524550, which can already significantly simplify breeding work in Russia.

Conclusion

Thus, for the first time, physiological differences between blood samples of *Equus caballus* of Russian breeding with different genotypes according to the GRM8 gene are shown. The best activity of superoxide dismutase (SOD) in the blood of stallions with the CC/AA genotype according to SNPrs395286150/394524550, which is 11.4% more ($p < 0.05$) in carriers of the CT/AG genotype and 2.3% more in carriers of the TT/GG genotype. Catalase activity (CAT) was at a comparable level but with significant differences. We observed the highest catalase activity in the blood of stallions with the CC/AA genotype according to SNPrs395286150/394524550, which is 1.8% more in carriers of the CT/AG genotype and 7.9% ($p < 0.05$) more in carriers of the TT/GG genotype. Against this background, the activity of glutathione peroxidase (GPx) was the highest in the blood of stallions carrying the CT/AG genotype according to SNPrs395286150/394524550, which is 9.8% more ($p < 0.05$) in stallions of the CC/AA genotype and 14.8% more ($p < 0.01$) in stallions of the CT/AG genotype. Russian breeding of TT/GG genotype carriers. The amount of malondialdehyde (MDA) was highest in carriers of the GG genotype according to SNPrs1147388106, which is 13.4% more ($p < 0.01$) in carriers of the GA genotype and 2.6% more in carriers of the AA genotype according to SNPrs1147388106. The study of the functional state of the antioxidant system of the horse body, depending on the breed, also shows the presence of significant differences between breeds of different uses.

References

1. Duensing J, Stock KF, Krieter J. Implementation and prospects of linear profiling in the Warmblood horse. *J Equine Vet Sci.* 2013;34:360—368. doi: 10.1016/j.jevs.2013.09.002

2. Tkachev AV, Tkacheva OL, Rossokha VI. Associated connection of erythrocytic antigens with characteristics of stallion semen after cryoconservation. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya (Agricultural Biology)*. 2018;53(4):735–742. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.735eng
3. Tkachev AV, Tkacheva OL, Rossokha VI. Cytogenetic status of mares (*Equus caballus*) of Ukrainian riding breed influences their fertility. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya (Agricultural Biology)*. 2018;53(2):302–308. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.302eng
4. Andersson LS, Larhammar M, Memic F, et al. Mutations in DMRT3 affect locomotion in horses and spinal circuit function in mice. *Nature*. 2012;488:642–646. doi: 10.1038/nature11399
5. Stock KF, Jönsson L, Ricard A, Mark T. Genomic applications in horse breeding. *Anim Front*. 2016;6(1):45–52. doi: 10.2527/af.2016-0007
6. Kovalenko AM, Tkachev AV, Tkacheva OL, et al. Distal extremities diseases in dairy cattle related to qualitative and quantitative indicators of embryos obtained from donor cows. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020;29(9S):1271–1282. Available from: <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/13540>
7. Koivula M, Strandén I, Su G, Mäntysaari EA. Different methods to calculate genomic predictions — comparisons of BLUP at the single nucleotide polymorphism level (SNP-BLUP), BLUP at the individual level (G-BLUP), and the one-step approach (H-BLUP). *J Dairy Sci*. 2012;95:4065–4073. doi: 10.3168/jds.2011-4874
8. Kristjánsson T, Björnsdóttir S, Sigurdsson A, et al. The effect of the ‘gait keeper’ mutation in the DMRT3 gene on gaiting ability in Icelandic horses. *J Anim Breed Genet*. 2014;131:415–425. doi: 10.1111/jbg.12112
9. Collins J, Page L. The heritability of fertility makes world population stabilization unlikely in the foreseeable future. *Evol Hum Behav*. 2019;40:105–111. doi: 10.1016/j.evolhumbehav.2018.09.001
10. Wolf JB, Brandvain Y. Gene interactions in the evolution of genomic imprinting. *Heredity (Edinb)*. 2014 Aug;113(2):129–137. doi: 10.1038/hdy.2014.7
11. Scherer A, Christensen GB. Concepts and relevance of genome-wide association studies. *Sci Prog*. 2016;99(1):59–67. doi: 10.3184/003685016X14558068452913
12. Luessen DJ, Conn PJ. Allosteric modulators of metabotropic glutamate receptors as novel therapeutics for neuropsychiatric disease. *Pharmacol Rev*. 2022;74(3):630–661. doi: 10.1124/pharmrev.121.000540
13. Takarada T, Hinoi E, Balcar V, et al. Possible expression of functional glutamate transporters in the rat testis. *J Endocrinol*. 2004;181:233–244. doi: 10.1677/JOE.0.1810233
14. Takaki H, Kikuta R, Shibata H, et al. Positive associations of polymorphisms in the metabotropic glutamate receptor type 8 gene (GRM8) with schizophrenia. *Am J Med Genet B Neuropsychiatr Genet*. 2004;128B(1):6–14. doi: 10.1002/ajmg.b.20108
15. Papas M, Catalan J, Fernandez-Fuertes B, et al. Specific activity of superoxide dismutase in stallion seminal plasma is related to sperm cryotolerance. *Antioxidants (Basel)*. 2019;8:539–554. doi: 10.3390/antiox8110539
16. Gautam A. Phenol-chloroform DNA isolation method. In: *DNA and RNA Isolation Techniques for Non-Experts. Techniques in Life Science and Biomedicine for the Non-Expert*. Cham: Springer; 2022. doi: 10.1007/978-3-030-94230-4_3
17. Bucci D, Giaretta E, Spinaci M, et al. Characterization of alkaline phosphatase activity in seminal plasma and in fresh and frozen-thawed stallion spermatozoa. *Theriogenology*. 2016;85(2):288–295. doi: 10.1016/j.theriogenology.2015.09.007
18. Recuero S, Fernandez-Fuertes B, Bonet S, Barranco I, Yeste M. Potential of seminal plasma to improve the fertility of frozen-thawed boar spermatozoa. *Theriogenology*. 2019;137:36–42. doi: 10.1016/j.theriogenology.2019.05.035
19. Yeste M, Estrada E, Rocha LG, et al. Cryotolerance of stallion spermatozoa is related to ROS production and mitochondrial membrane potential rather than to the integrity of sperm nucleus. *Andrology*. 2015;3:395–407. doi: 10.1111/andr.291
20. Shatha AW, Nada HA. Prevalence of Blastocystis hominis and Giardia lamblia parasites in patients of four regions in east-south Baghdad. *Iraqi J Vet Med*. 2011;35(2):74–84. doi: 10.30539/iraqijvm.v35i2.579
21. Hade BF. Molecular sequencing and phylogenetic analysis to virulence nmuc-1 gene in visceral larvae migrance. *Iraqi J Agric Sci*. 2020;51(3):894–902. doi: 10.36103/ijas.v51i3.1044
22. Yousra A, Al-Sanjary RA. The molecular identification of diarrheagenic Escherichia coli (DEC) isolated from meat and meat products. *Iraqi J Vet Sci*. 2023;37(1):9–15. doi: 10.33899/ijvs.2022.133244.2192
23. Ameer IA, Abdullah HB. Molecular and serological detection of Toxoplasma gondii in three species of wild birds of Babylon province, middle Iraq. *Iraqi J Vet Sci*. 2023;37(1):39–44. doi: 10.33899/ijvs.2022.133394.2219

24. Al-Biatee ST, Hade BF, Al-Rubaie HM. Detect of the eggs of *P. equorum* in the feces of horses by traditional method and molecular techniques in Baghdad, Iraq. *Iraqi J Vet Sci.* 2024;38(2):245—250. doi: 10.33899/ijvs.2023.138252.2779

About authors:

Amulungu Petrus Kalite — student, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: 1032205140@rudn.ru
ORCID: 0009-0005-4310-7718

Tkachev Aleksandr Vladimirovich — Doctor of Agricultural Sciences, Senior researcher, lecturer, International Veterinary Academy, 16 Zelenaya st., 140090, Dzerzhinsky, Russian Federation; Associate Professor; Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: sasha_sashaola@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7721-5742 SPIN-code: 4852-0353

Tkacheva Olga Leonidovna — Candidate of Agricultural Sciences, lecturer, Technological College, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 14 Pryanishnikova st., bldg. 6, 127434, Moscow, Russian Federation; e-mail: tkacheva.olga2017@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5573-6117 SPIN-code: 7638-9512

Об авторах:

Амулунгу Петрус Калите — студент департамента ветеринарной медицины Аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: 1032205140@rudn.ru
ORCID: 0009-0005-4310-7718

Ткачев Александр Владимирович — доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Международная ветеринарная академия, Российская Федерация, 140090, г. Дзержинский, ул. Зеленая, д. 16; доцент департамента ветеринарной медицины Аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: sasha_sashaola@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7721-5742 SPIN-код: 4852-0353

Ткачева Ольга Леонидовна — кандидат сельскохозяйственных наук, преподаватель Технологического колледжа, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, Прянишникова, д. 14, стр. 6; e-mail: tkacheva.olga2017@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5573-6117 SPIN-код: 7638-9512



DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-1-151-161

EDN IZQTNT

УДК 661.982:598.2:577.218

Научная статья / Research article

Эффекты оксида азота, связанные с экспрессией ряда генов на эмбриональной стадии развития птиц

В.Ю. Титов^{1,2}  , И.И. Кочиш¹ , О.В. Мясникова¹ ,
А.М. Долгорукова² , М.А. Зайцева¹, П.С. Романов¹, А.Р. Варданян³ 

¹Московская государственная ветеринарная академия — МВА им. К.И. Скрябина, Москва,
Российская Федерация

²Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский
и технологический институт птицеводства, Сергиев Посад, Российская Федерация

³ЗАО «Научный центр оценки анализа рисков безопасности пищевых продуктов», Ереван,
Республика Армения
 vtitov43@yandex.ru

Аннотация. Данные, полученные различными исследователями, свидетельствуют о влиянии оксида азота на экспрессию ряда генов, в частности генов, связанных с миогенезом у птиц. Количественная оценка этого эффекта и изучение перспектив его использования ранее не проводились, поскольку контроль содержания метаболитов NO в тканях представлял методическую сложность. Цель исследования — выявить взаимосвязь содержания NO в тканях птичьих эмбрионов и экспрессии генов, ответственных за миогенез, на различных стадиях эмбриогенеза. Использовался высокочувствительный и высокоспецифичный ферментный сенсор, позволяющий оперативно определять содержание основных метаболитов NO в тканях. Экспрессию генов определяли методом ПЦР-РВ. На эмбрионах кур и перепелов исследовали взаимосвязь содержания NO в тканях и экспрессии 7 генов, участвующих в процессе миогенеза: фактора пролиферации миоцитов 2с (mef 2с), миогенной дифференциации 1 (myoD1), фактора миогенеза 5 (myf 5), миозина (myh 1), миогенина (myog), соматостатина (MSTN), гонадотропного гормона (GHR). Установлено, что блокирование синтеза NO, снижающее содержание депонированного NO в тканях на 50...70 %, приводит к изменению экспрессии большинства исследованных генов в несколько раз. В основном имело место снижение экспрессии генов, в частности, миостатина (MSTN), ответственного за подавление роста и дифференциации мышечной ткани. Таким образом, оксид азота в птичьем эмбрионе может играть роль прежде всего регулятора роста мышечной ткани, что важно для быстрорастущих форм поскольку пролиферация миоцитов происходит на эмбриональной стадии развития. Регуляция может осуществляться путем активации механизмов окисления NO до нитрата, что имеет место в эмбрионах быстрорастущих форм.

© Титов В.Ю., Кочиш И.И., Мясникова О.В., Долгорукова А.М., Зайцева М.А., Романов П.С., Варданян А.Р., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: птичьи эмбрионы, соединения-доноры NO, эмбриогенез птиц, миогенез

Вклад авторов: Авторы в равной степени внесли свой вклад в подготовку данного исследования и рукописи.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00148.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила 1 декабря 2024 г., принята к публикации 20 декабря 2024 г.

Для цитирования: Титов В.Ю., Кочиш И.И., Мясникова О.В., Долгорукова А.М., Зайцева М.А., Романов П.С., Вардanian А.Р. Эффекты оксида азота, связанные с экспрессией ряда генов на эмбриональной стадии развития птиц // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 1. С. 151—161. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-151-161 EDN IZQTNT

Effects of nitric oxide associated with expression of some genes at embryonic stage of avian development

Vladimir Y. Titov^{1,2}  , Ivan I. Kochish¹ , Olga V. Myasnikova¹ ,
Anna M. Dolgorukova² , Maria A. Zaytseva¹, Pyotr S. Romanov¹,
Harutyun R. Vardanyan³ 

¹Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation

²Russian Research and Technological Poultry Institute, Sergiev Posad, Russian Federation

³Scientific Center for Food Safety Risk Assessment and Analysis, Yerevan, Republic of Armenia
 vtitov43@yandex.ru

Abstract. Data obtained by various researchers indicate the effect of nitric oxide (NO) on expression of some genes, in particular, the genes associated with myogenesis in birds. But until now it has not been possible to quantify this effect and possibility of its use, since the control of content of NO metabolites in tissues presented a methodological difficulty. The purpose of this research was to find out relationship between the NO content in tissues of avian embryos and the expression of genes responsible for myogenesis at various stages of embryogenesis. We used a highly sensitive and highly specific enzyme sensor to determine the content of the main NO metabolites in tissues. Gene expression was determined by PCR-RT. The relationship between the NO content in tissues and the expression of 7 genes involved in the process of myogenesis was studied in chicken and quail embryos. There are the genes of myocyte proliferation factor 2c (mef 2c), myogenic differentiation 1 (MyoD1), myogenesis factor 5 (myf 5), myosin (mhy 1), myogenin (myog), somatostatin (MSTN), gonadotropin hormone (GHR). Blocking the synthesis of NO, which leads to a decrease in deposited NO in tissues by 50...70%, results in a change in expression of most of the studied genes. Basically, there was a decrease in gene expression, in particular, myostatin (MSTN), which is responsible for suppressing growth and differentiation of muscle tissue. Thus, nitric oxide in an avian embryo can primarily play the role of regulator of muscle tissue growth, which is important for fast-growing breeds since myoblast proliferation occurs at embryonic stage of development. Regulation can be carried out by activating the mechanisms of oxidation of NO to nitrate which occurs in the embryos of fast-growing breeds.

Key words: avian embryos, NO donor compounds, avian embryogenesis, myogenesis

Authors' contribution. The authors contributed equally to the preparation of this study and the manuscript.

Conflict of interest. The authors declared no conflict of interests.

Funding. The study was supported by Russian Science Foundation grant No. 24-26-00148.

Article history: received 1 December 2024; accepted 20 December 2024.

For citation: Titov VY, Kochish II, Myasnikova OV, Dolgorukova AM, Zaytseva MA, Romanov PS, Vardanyan HR. Effects of nitric oxide associated with expression of some genes at embryonic stage of avian development. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1):151—161. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-151-161 EDN IZQTNT

Введение

Согласно данным ряда исследователей, оксид азота (NO) оказывает влияние на экспрессию ряда генов [1–3], в т. ч. генов, связанных с миогенезом [4]. До сих пор не было возможности оценить этот эффект количественно и определить перспективы его использования, так как контроль содержания метаболитов NO в тканях методически сложен. Благодаря использованию высокочувствительного и высокоспецифичного ферментного сенсора, позволяющего производить такой контроль [5], мы установили, что в птичьем эмбрионе около 2 % аргинина тратится на синтез оксида азота [6]. Интенсивность синтеза NO примерно одинаковая во всех эмбрионах птиц одного вида. Но в эмбрионах мясных форм NO, преимущественно, окисляется до нитрата, в то время как в эмбрионах яичных форм он накапливается в составе так называемых соединений — доноров NO: S-нитрозотиолов (RSNO), динитрозильных комплексов железа (ДНКЖ), высокомолекулярных нитратов (RNO_2). Разница по показателю соотношения нитрата и соединений — доноров в эмбрионе достигает двух порядков [6, 7].

Очевидно, что для обеспечения жизненно необходимых физиологических процессов оксид азота в птичьем эмбрионе синтезируется в избыточном количестве. Об этом говорит хотя бы тот факт, что в эмбрионах мясных форм NO, в основном, окислен до нитрата [6]. Было показано, что со степенью окисления NO в эмбрионе коррелируют некоторые гистологические показатели эмбриональных мышц [6]. В связи с данными о влиянии NO на экспрессию генов [1–4], можно предположить, что основная часть оксида азота в эмбрионе выполняет роль регулятора экспрессии генов, в частности, ответственных за миогенез. Мы имеем возможность количественно оценить этот эффект и практически использовать его в птицеводстве.

Цель исследования — выяснить взаимосвязь содержания NO в тканях птичьих эмбрионов и экспрессии генов, ответственных за миогенез, на различных стадиях эмбриогенеза.

Материалы и методы исследования

В экспериментах использовали оплодотворенные яйца следующих пород и кроссов кур: кросс «Смена 9» (порода корниш (линия СМ 56), порода плимутрок (линия СМ 79) и исходный гибрид), кроссы Хайсекс белый и Хайсекс коричневый, породы Мини мясные (линия А77), Куланги, Брама Палевая, Юрловская голосистая и Орловская, а также перепелов породы японская серая, полученные в ООО «Генофонд» (Россия). Инкубацию яиц проводили в условиях инкубатория

(ФГБУ СГЦ «Загорское», ЭПХ ВНИТИП, г. Сергиев Посад, Московская обл.). Использовали инкубаторы ИПХ-10 (Россия). Температура в инкубационный период (с 1 по 18 сутки инкубации) — 37,6 °С, в выводной период (с 19 по 21 сутки инкубации) — 37,2 °С в соответствии с рекомендациями ВНИТИП [10].

Во всех случаях для определения экспрессии генов отобрали по 5...8 эмбрионов каждой породы или кросса.

Для определения содержания нитро- и нитрозосоединений в гомогенатах использовали ферментный сенсор, действие которого основано на уникальной способности нитрита и других нитрозосоединений, имеющих в составе NO^+ -группу, ингибировать каталазу в присутствии галоид-ионов с примерно равной эффективностью, одинаково зависящей от pH-среды [5–8]. Способность ингибировать фермент утрачивается под действием ряда веществ, специфичных для каждой группы нитрозосоединений [5]. Для определения нитросоединений использовали треххлористый ванадий для восстановления нитрогруппы в нитрозогруппу, имеющую способность ингибировать каталазу. Чувствительность метода — 40 нМ [5, 7].

Экспрессию генов изучали на основе метода ПЦР-РВ [9]. В качестве контроля взяли ген «домашнего хозяйства» — ТАТА-связывающий белок (ТВР), так как на его экспрессию нитроаргинин и аргинин не оказывали эффекта.

Из гомогенизированной ткани выделяли РНК, проводили синтез к ДНК методом ПЦР с обратной транскрипцией. Расчет экспрессии генов-кандидатов в количественной детекции ПЦР-РВ определяли относительно контрольного гена ТВР при помощи метода $2^{-\Delta\Delta\text{СТ}}$ [9], где Ст — ПЦР-цикл, в котором флуоресцентный сигнал от красителя пересекает установленный пороговый уровень. Таким образом, чем меньше величина Ст, тем интенсивнее идет процесс амплификации и, следовательно, более высокая экспрессия гена.

На шестые-седьмые сутки эмбриогенеза из-за сложности отбора мышечной ткани получали гомогенат эмбриона с помощью стеклянного гомогенизаторе DWK Life Sciences GmbH, Германия (8 мин, 40 фрикций/мин, 6 °С). На 13–14-е сутки развития получали гомогенат грудных и бедренных мышц эмбриона, используя измельчитель тканей Oster (Мексика).

Для установления зависимости между содержанием депонированного NO в тканях и экспрессией исследуемых генов в яйца перед закладкой и на 11-е сутки инкубации вводили растворы экзогенных веществ: блокатора синтеза оксида азота — нитроаргинина (Н), а также смесь нитроаргинина и субстрата синтеза оксида азота — аргинина (Н+А). Дозировка указана в табл. 3, 4. В контрольную группу (К) в эти же сроки вводили стерильный физиологический раствор. Ввод в яйцо осуществлялся через скорлупу со стороны воздушной камеры инсулиновыми шприцами. Использовали препараты $\text{N}\omega$ -нитро-L-аргинина и L-аргинина Merck, разведение осуществляли на стерильном физиологическом растворе.

Для статистической обработки применяли пакет программ BioStat.

Инкубацию проводили в условиях вивария (ФГБУ СГЦ «Загорское», ЭПХ ВНИТИП, г. Сергиев Посад, Московская обл.). Использовали инкубаторы ИПХ-10 (Россия). Температура в инкубационный период (с 1-х по 18-е сутки инку-

бации) — 37,6 °С, в выводной период (с 19-х по 21-е сутки инкубации) — 37,2 °С в соответствии с рекомендациями ВНИТИП¹.

Для статистической обработки применяли пакет программ BioStat.

Результаты исследования и обсуждение

Исследованы эмбрионы десяти пород, линий и кроссов кур, характеризующихся высокой (80 % и более — группа 1) и низкой (2...4 % — группа 2) степенью окисления NO в тканях эмбриона. В среднем величина экспрессии большинства генов в эмбрионах мясных и бойцовых форм, отличающихся высокой степенью окисленности оксида азота до нитрата в тканях, была ниже, чем в эмбрионах яичных форм, отличающихся незначительной степенью окисления. По экспрессии фактора миогенной дифференциации 1 (myoD1), фактора миогенеза 5 (myf 5) и миогенина (myog) между этими группами были достоверные различия по критерию Манна — Уитни (табл. 1, 2).

Таблица 1

Экспрессия генов: фактора пролиферации миоцитов 2с (mef 2с), миогенной дифференциации 1 (myoD1), фактора миогенеза 5 (myf 5), миозина (mhy 1), миогенина (myog), соматостатина (MSTN), гонадотропного гормона (GHR) — в ткани грудных мышц куриных эмбрионов различных пород, линий и кроссов на 14-е сутки инкубации* (n = 7)

Порода, линия, кросс	NO ₃ ⁻ / NO, %	Доноры NO+нитрат, мкМ	MSTN	GHR	mef2c	myog	mhy 1	myoD1	myf 5
Группа 1									
Мини мясные (линия А77 группа 2)	98,7±1,8	495,5±21,1	-1,5±0,7	-1,3±0,5	-1,6±0,5	0,7±0,4	5,4±0,6	-0,5±0,5	10,1±0,5
СМ56 «Корниш»	97,6±2,7	519,8±17,6	-2,5±0,4	-2,6±0,3	-1,4±0,3	2,0±0,4	4,2±0,5	-1,2±0,5	9,3±0,4
Куланги	95,7±2,5	528,5±17,7	-0,2±0,4	-1,2±0,6	-0,6±0,5	7,2±1,3	13,3±1,1	6,4±0,4	2,0±0,2
Смена 9	97,9±2,6	572,7±18,5	-3,8±0,4	-2,5±0,3	-2,6±0,3	-2,8±0,3	15,8±1,7	-3,4±0,4	3,1±0,3
Брама палевая	80,4±2,9	501,1±17,1	-5,2±1,0	-4,9±0,5	-7,9±2,9	1,1±0,5	0,7±0,5	4,6±0,7	2,9±0,5
Группа 2									
Хайсекс белый	1,8±1,0	474,6±16,6	-1,3±0,9	-2,3±0,6	-2,0±1,1	-0,3±0,8	4,7±0,4	-2,1±0,6	5,9±0,6
Плимутрок СМ79	2,9±1,3	461,7±18,2	-2,8±0,5	-2,2±0,7	-2,1±1,3	-6,2±0,8	4,8±0,5	-1,6±1,1	2,4±0,8
Юрловская	3,6±1,9	448,1±15,3	-6,7±0,5	-6,1±1,1	-8,1±0,6	-1,1±0,3	-0,3±0,2	2,9±0,8	-0,3±0,2
Хайсекс браун	2,3±0,8	474,6±16,6	0,4±0,4	-2,6±0,4	-2,7±1,2	-0,8±0,7	0,4±0,3	-4,6±0,7	-0,6±0,4
Орловская	1,9±1,1	444,1±14,2	-1,4±0,8	-1,7±0,4	-1,1±0,8	-2,6±0,7	13,3±2,3	-4,1±0,4	5,1±1,0
								u _{эксп} < u _{крит}	u _{эксп} < u _{крит}

*В табл. 1 представлены ΔCt = Ct – Ct TBP.

Источник: составлено В.Ю. Титовым, И.И. Кочишем, О.В. Мясниковой, А.М. Долгоруковой, М.А. Зайцевой, П.С. Романовым, А.Р. Варданяном.

Таблица 2

¹ Фисинин В.И., Дядичкина Л.Ф., Голдин Ю.С., Позднякова Н.С., Мелехина Т.А., Данилов Р.В., Гупало И.М., Ройтер Л.М., Веденкина И.В., Шинкаренко Л.А., Воронцов А.Н., Босов Д.Ю., Афонин В.В. Технология инкубации яиц сельскохозяйственной птицы : руководство. 3-е изд., переработ. и доп. Сергиев Посад, 2016. EDN: VUZCXN

Экспрессия генов: фактора пролиферации миоцитов 2с (mef 2с), миогенной дифференциации 1 (myoD1), фактора миогенеза 5 (myf 5), миозина (mhy 1), миогенина (myog), соматостатина (MSTN), гонадотропного гормона (GHR) – в ткани ножных мышц куриных эмбрионов* (n = 7)

Порода, линия, кросс	NO ₃ ⁻ / NO, %	Доноры NO+нитрат, мкМ	MSTN	GHR	mef2c	myog	mhy 1	myoD1	myf 5
Группа 1									
Мини мясные	97,6 ± 1,8	501,5 ± 18,2	0,4 ± 0,8	0,7 ± 0,2	-2,3 ± 1,8	1,4 ± 1,0	6,8 ± 1,3	0,9 ± 1,2	11,5 ± 1,7
СМ56 Корниш Линия «Смены 9»	95,8 ± 2,9	520,1 ± 16,4	-1,9 ± 0,3	-1,7 ± 0,4	0,7 ± 0,4	12,0 ± 1,7	8,3 ± 2,6	3,4 ± 0,8	13,4 ± 2,1
Куланги	95,2 ± 2,6	528,5 ± 17,7	-1,8 ± 0,9	-2,2 ± 1,8	2,9 ± 1,7	7,0 ± 1,6	14,3 ± 2,0	3,9 ± 0,6	1,4 ± 0,9
«Смена9»	98,1 ± 2,6	561,7 ± 18,7	-2,1 ± 0,4	-1,7 ± 0,5	-1,1 ± 0,8	-2,6 ± 1,4	12,6 ± 2,3	-4,1 ± 1,2	2,8 ± 0,4
Брама	78,5 ± 3,0	495,5 ± 16,6	-3,3 ± 0,5	-3,2 ± 1,4	-7,1 ± 0,9	0,5 ± 0,3	-0,2 ± 0,1	-4,3 ± 0,7	-5,8 ± 0,6
Группа 2									
Хайсекс белый	2,4 ± 1,1	442,5 ± 15,8	-0,4 ± 0,2	-0,4 ± 0,1	-1,3 ± 0,5	-0,2 ± 0,1	6,2 ± 0,2	-2,5 ± 0,4	6,7 ± 1,5
Плимутрок СМ79, линия «Смены 9»	3,1 ± 1,8	493,2 ± 17,4	-2,1 ± 0,2	-1,6 ± 0,3	0,0 ± 0,1	-0,4 ± 0,1	6,7 ± 2,2	-3,8 ± 0,5	5,0 ± 0,8
Юрловская	3,8 ± 1,8	434,7 ± 16,1	-5,6 ± 0,6	-4,7 ± 0,6	-9,0 ± 1,4	-0,6 ± 0,2	-1,1 ± 0,8	-4,7 ± 0,4	-7,5 ± 1,4
Хайсекс браун	2,3 ± 1,3	451,6 ± 17,2	-1,0 ± 0,9	-1,2 ± 2,2	0,8 ± 0,2	0,4 ± 1,0	10,1 ± 2,4	-0,4 ± 1,8	2,9 ± 2,3
Орловская	2,3 ± 1,2	428,3 ± 13,1	0,4 ± 0,2	-0,7 ± 0,3	-0,8 ± 0,2	-1,8 ± 0,3	12,4 ± 1,9	-2,5 ± 0,4	4,3 ± 0,8
						u _{эксп} < u _{крит}			

* В табл. 2 представлены ΔCt = Ct – Ct TBP.

Источник: составлено В.Ю. Титовым, И.И. Кочишем, О.В. Мясниковой, А.М. Долгоруковой, М.А. Зайцевым, П.С. Романовым, А.Р. Варданяном.

Внутри этих групп установлены большие различия в экспрессии генов. Например, экспрессия миостатина варьирует от -1,2 до -6,9 в группе 2 и от -1,6 до -5,4 в группе 1 в грудных мышцах (см. табл. 1). В ножных мышцах различия не меньшие (см. табл. 2). Только по экспрессии фактора миогенной дифференциации 1 (myoD1) и фактора миогенеза 5 (myf 5) в грудных и миогенина (myog) в ножных мышцах между этими группами были достоверные различия по критерию Манна — Уитни.

В связи с этим для установления зависимости между содержанием депонированного NO в тканях и экспрессией исследуемых генов наиболее информативным видится варьирование концентрацией депонированного NO в пределах одной породы, линии и кросса, используя блокаторы синтеза NO и субстрата его синтеза — аргинина.

Нитроаргинин эффективно ингибирует синтез NO, что приводит к снижению содержания метаболитов NO в тканях эмбриона, не изменяя при этом степень окисленности синтезированного NO до нитрата (табл. 3, 4), которая определяется особенностью тканей зародыша [6]. Но эффект Н не постоянен. Введенный перед закладкой на инкубацию, он эффективно ингибирует синтез NO в куриных и перепелиных эмбрионах до 11 суток. Затем его эффект исчезает, но возобновляется

после повторного ввода в яйцо [6]. Н — конкурентный ингибитор, конкурирующий с аргинином (А) — субстратом синтеза NO, за NO-синтазу. Введение в яйцо А вместе с Н в концентрации в 10 раз большей, чем Н, полностью снимало ингибирующий эффект последнего (табл. 3, 4).

Как мы установили, А в яйце находится в концентрации насыщения для NO — синтазы [6]. Его ввод в яйцо не приводит к интенсификации синтеза NO, но снимал эффект Н (табл. 3, 4).

Н, введенный до закладки на инкубацию, обеспечивал снижение интенсивности накопления метаболитов NO в эмбрионе к 7 суткам примерно на 70 % (табл. 3, 4). При этом в тканях эмбрионов кур, как и перепелов, имело место снижение экспрессии большинства исследуемых генов, которая не изменялась, если вместе с Н в яйцо вводился аргинин (Н+А). Содержание метаболитов NO в гомогенатах также не изменяется при вводе Н+А. Сам А, введенный в яйцо без Н, не оказывал достоверного воздействия ни на экспрессию генов (табл. 3), ни на содержание метаболитов NO в тканях эмбриона (табл. 3, 4).

Таблица 3

Влияние блокатора синтеза NO нитроаргинина на экспрессию ряда генов в 7- и 14-суточных эмбрионах кур линии Х2 кросса Хайсекс белый*

Группы	NO ₃ ⁻ / NO,%	До- норы NO+ нитрат, мкМ	Экспрессия(ген-TBP)						
			MSTN	Myf5	Mef2	GHR	Myog	MyoD1	Mhy1
7 суток									
К	1,5 ± 0,8	162,2±8,4	-2,45±0,25	-1,12±0,15	-0,21±0,23	-1,85±0,21	0,38±0,07	-1,15±0,18	-2,61±0,24
Н	1,4±1,1	54,8±5,5 <i>p</i> <0,05	-1,38±0,07 <i>p</i> <0,05	-0,07±0,04	0,48±0,13 <i>p</i> <0,05	-1,08±0,26 <i>p</i> <0,05	0,23±0,06	-0,25±0,06 <i>p</i> <0,05	-0,58±0,14 <i>p</i> <0,05
Н+А	1,6±0,9	167,1±8,8	-2,53±0,1	-0,77±0,11	-0,91±0,22	-2,01±0,28	-0,13±0,09	-0,70±0,13	-2,08±0,14
А	1,6±1,0	171,1±9,9	-2,49±0,15	-0,87±0,13	-0,58±0,22	-1,96±0,27	-0,08±0,07	-0,96±0,16	-2,91±0,26
14 суток грудь									
К	2,5±1,2	465,7±10,3	-2,43±0,38	1,31±0,05	-0,03±0,22	-1,85±0,34	-1,02±0,19	-1,83±0,22	-3,72±0,15
Н	2,6±1,2	250,2±9,5 <i>p</i> < 0,05	-1,18±0,06 <i>p</i> <0,05	1,67±0,29	0,53±0,17 <i>p</i> <0,05	-1,01±0,18 <i>p</i> <0,05	-0,54±0,16 <i>p</i> <0,05	-0,80±0,20 <i>p</i> <0,05	-2,93±0,12 <i>p</i> <0,05
Н+А	2,8±1,5	462,4±11,2	-1,56±0,09	-1,12±0,06	-0,13±0,23	-1,35±0,09	-2,30±0,31	-1,91±0,27	-3,52±0,20
14 суток бедро									
К	2,5±1,2	475,7±10,3	-1,36±0,08	-0,42±0,14	1,37±0,24	0,12±0,1	-1,60±0,26	-0,44±0,27	-2,47±0,44
Н	2,6±1,2	239,2±8,5 <i>p</i> <0,05	-0,14±0,22 <i>p</i> <0,05	1,21±0,21 <i>p</i> <0,05	1,42±0,33	0,57±0,35	-1,05±0,14 <i>p</i> <0,05	0,01±0,15 <i>p</i> <0,05	-0,35±0,19 <i>p</i> <0,05
Н+А	2,8±1,5	452,3±11,2	-1,07±0,18	-0,51±0,30	0,1±0,19	-1,08±0,14	-2,29±0,27	-0,76±0,26	-1,64±0,41

*В яйца группы Н перед закладкой на инкубацию и на 11-е сутки вводилось 0,3 мл 30 мМ нитроаргинина; в группе Н+А — перед закладкой и на 11-е сутки — 0,15 мл 60 мМ нитроаргинина + 0,15 мл 600 мМ аргинина; в контрольную (К) в эти же сроки — 0,3 мл стерильного физиологического раствора. В группу А перед закладкой — 0,3 мл 300 мМ аргинина.

Источник: составлено В.Ю. Титовым, И.И. Кочишем, О.В. Мясниковой, А.М. Долгоруковой, М.А. Зайцевым, П.С. Романовым, А.Р. Варданяном.

Из тех генов, на экспрессию которых Н оказывал достоверное влияние по снижению экспрессии, отметим прежде всего миостатин (MSTN). У кур она на 7-е сутки снижалась более чем в 2 раза (см. табл. 3), у перепелов на 6-е сутки — в 7 раз (табл. 4). Также экспрессия гонадотропного гормона (GHR) снижалась в 1,3 раза у перепелов и в 2 раза у кур. На экспрессию других генов эффект не везде однозначен. Так на экспрессию фактора миогенеза 5 (myf5) у перепелов не было достоверного эффекта (табл. 4), у кур — на грани достоверности (см. табл. 3). На экспрессию фактора пролиферации миоцитов 2 (mef2) достоверный эффект был у кур — снижение в 1,6–1,7 раза. У перепелов достоверного эффекта не было (табл. 4). На экспрессию миогенина (myog) у кур на 7-е сутки достоверного эффекта не было. У перепелов достоверное снижение экспрессии в 1,5 раза. На экспрессию фактора миогенной дифференциации 1 (myoD1) достоверный эффект на 7-е сутки не наблюдался у кур. Экспрессия миозина (mhy 1) у кур достоверно снижалась в 2–4 раза. У перепелов этот ген не представлен (табл. 3, 4).

Н, введенный повторно на 11-е сутки, на 14-е сутки вызывал снижение накопления метаболитов NO в тканях эмбриона на 50...60 % (табл. 3, 4). Это сопровождалось изменением экспрессии исследуемых генов, прежде всего, миостатина (MSTN) и гонадотропного гормона (GHR). У кур экспрессия MSTN под действием Н снижалась в 2,3–2,4 раза в ткани грудных и ножных мышц (см. табл. 3), у перепелов в грудных — в 1,17 раза, в ножных — в 1,9 (табл. 4). Экспрессия GHR снижалась у кур в 1,4...1,7 раза, у перепелов в грудных мышцах снижение экспрессии в 1,5 раза, в ножных — в 2,7 раза (табл. 3, 4). Сохранялись и эффекты на другие гены. Заметим, что различия в экспрессии генов между грудными и ножными мышцами в некоторых случаях существенные, несмотря на то что достоверной разницы по содержанию метаболитов NO между ними нет.

Таблица 4

Влияние блокатора синтеза NO нитроаргинина на экспрессию ряда генов в 6- и 13-суточных эмбрионах перепелов породы японская серая*

Группы	NO ₃ ⁻ / NO,%	Доноры NO+нитрат, мкМ	Экспрессия (ген-TBP)					
			MSTN	Myf5	Mef2	GHR	Myog	MyoD1
6 суток								
К	1,1±0,8	149,3±7,9	-0,61±0,06	2,82±0,06	-1,56±0,08	-0,20±0,08	-0,80±0,30	0,05±0,05
Н	1,2±0,8	28,1±2,1 <i>p</i> <0,05	2,20±0,80 <i>p</i> <0,05	2,94±0,10	-1,22±0,09	0,21±0,10 <i>p</i> <0,05	-0,20±0,05 <i>p</i> <0,05	0,15±0,10
Н+А	1,1±0,8	150,5±8,1	-1,48±0,18	2,46±0,08	-1,10±0,11	-0,15±0,18	-0,74±0,09	0,21±0,07
13 суток грудь								
К	2,5±1,5	576,6±13,3	0,20±0,16	2,29±0,13	0,21±0,07	0,91±0,12	0,89±0,18	0,66±0,12
Н	2,4±1,2	322,4±11,2 <i>p</i> <0,05	0,42±0,08	2,39±0,13	0,18±0,07	1,54±0,04 <i>p</i> <0,05	1,21±0,13	0,91±0,17

Окончание табл. 4

Группы	NO ₃ ⁻ / NO, %	Доноры NO+нитрат, мкМ	Экспрессия (ген-TBP)					
			MSTN	Myf5	Mef2	GHR	Myog	MyoD1
13 суток бедро								
К	2,4±1,5	565,4±12,8	-0,43±0,13	2,20±0,13	-0,27±0,07	0,15±0,18	0,21±0,10	0,38±0,06
Н	2,3±1,4	308,1±12,8 <i>p</i> < 0,05	0,48±0,20 <i>p</i> < 0,05	2,71±0,13	0,39±0,17 <i>p</i> < 0,05	1,60±0,24 <i>p</i> < 0,05	1,24±0,14 <i>p</i> < 0,05	1,14±0,09 <i>p</i> < 0,05

*В яйца группы Н перед закладкой на инкубацию и на 11-е сутки вводилось 0,15 мл 15 мМ нитроаргинина. В группе Н+А — перед закладкой и на 11-е сутки — 0,15 мл (30 мМ нитроаргинина + 300 мМ аргинина 1:1). В контрольную (К) в эти же сроки — 0,3 мл стерильного физиологического раствора.

Источник: составлено В.Ю. Титовым, И.И. Кочишем, О.В. Мясниковой, А.М. Долгоруковой, М.А. Зайцевым, П.С. Романовым, А.Р. Вardanяном.

Ввод Н+А снимал эти эффекты, как снимал и эффект Н по снижению концентрации метаболитов NO (см. табл. 3, 4).

В литературе есть точка зрения, что NO имеет эпигенетический эффект, оказывая влияние на метилирование гистоновых белков, ингибируя ферменты, осуществляющие деметилирование [2]. Есть основание предполагать, что в эмбрионах птиц в качестве регулятора экспрессии выступает механизм окисления NO до нитрата. Исходя из анализа наследования степени окисления NO в эмбрионе, этот процесс определяется как минимум двумя генами [6]. Т.е. наследуются гены, детерминирующие активацию окисления NO.

О том, каков механизм этого окисления можно сказать только то, что накопления нитрита в тканях не происходит [6]. Следовательно, окисление происходит без генерации в окружающую среду активных форм азота. На сегодняшний день мы не знаем способа искусственно снизить интенсивность этого окисления. Но есть способ искусственно его повысить. Это облучение инкубируемых эмбрионов зеленым светом, которое приводит к некоторому увеличению скорости роста [10—12], а также к достоверному увеличению степени окисления эмбрионального NO [6, 7]. Эффекты на экспрессию генов, наблюдаемые нами под действием облучения, были по некоторым генам схожи с наблюдаемыми под действием блокатора NO-синтазы [7]. Мы не рискуем рассматривать облучение зеленым светом как полноценный контроль, поскольку свет может оказывать и другие эффекты, не связанные с NO. Но сопоставление этого эффекта с эффектом нитроаргинина, который блокирует синтез NO, но не влияет на степень его окисления (см. табл. 3, 4), а также со средними величинами экспрессии у яичных и мясных форм (см. табл. 1, 2) дает основание предполагать, что эффект связан с концентрацией соединений-доноров NO в тканях. К последним относятся, нитрозотиолы (RSNO), динитрозильные комплексы железа (ДНКЖ), некоторые высокомолекулярные нитраты [5, 13].

Заключение

Таким образом, снижение содержания соединений-доноров NO приводит к снижению экспрессии большинства исследованных генов, ответственных за миогенез. Отметим снижение экспрессии миостатина, ответственного за подавление роста и дифференциации мышечной ткани. Следовательно, оксид азота в птичьем эмбрионе может играть роль прежде всего регулятора роста мышечной ткани, что важно для быстрорастущих форм, поскольку пролиферация миобластов происходит на эмбриональной стадии развития. Регуляция может осуществляться путем активации механизмов окисления NO до нитрата.

Список литературы

1. Vasudevan D., Bovee Rh., Thomas D. Nitric oxide, the new architect of epigenetic landscapes // *Nitric Oxide*. 2016. Vol. 59. P. 54–62. doi: 10.1016/j.niox.2016.08.002 EDN: XZGAXR
2. Hickok J., Vasudevan D., Antholine W., Thomas D. Nitric oxide modifies global histone methylation by inhibiting jumonji C domain-containing demethylases // *J. Biol. Chem.* 2013. Vol. 288. No 22. P. 16004–16015. doi: 10.1074/jbc.M112.432294
3. Socco S., Bovee Rh., Palczewski M., Hickok J., Thomas D. Epigenetics: The third pillar of nitric oxide signaling // *Pharmacological Research*. 2017. Vol. 121. P. 52–58. doi: 10.1016/j.phrs.2017.04.011
4. Cazzato D., Assi E., Moscheni C., Brunelli S., De Palma C., Cervia D., Perrotta C., Clementi E. Nitric oxide drives embryonic myogenesis in chicken through the upregulation of myogenic differentiation factors // *Experimental Cell Research*. 2014. Vol. 320. P. 269–280. doi: 10.1016/j.yexcr.2013.11.006 EDN: SSFUQH
5. Titov V. Yu. The Enzymatic technologies open new possibilities for studying nitric oxide (NO) Metabolism in living systems // *Current Enzyme Inhibition*. 2011. Vol. 7. No 1. P. 56–70. doi: 10.2174/157340811795713774 EDN: OIAEVH
6. Титов В.Ю., Кочиш И.И., Долгорукова А.М. Оксид азота (NO) в эмбриональном и постэмбриональном развитии птиц. М.: Зооветкнига, 2022. 140 с. <https://elib.spbstu.ru/dl/2/z22-25.pdf/info> doi: 10.18720/SPBPU/2/z22-25 EDN: VSDSLT
7. Титов В.Ю., Долгорукова А.М., Кочиш И.И., Мясникова О.В. Содержание оксида азота (NO) и экспрессия генов, ответственных за миогенез, в эмбриональных тканях кур (*Gallus gallus domesticus* L.) // *Сельскохозяйственная биология*. 2024. Т. 59. № 2. С. 316–327. doi: 10.15389/agrobiol.2024.2.316rus EDN: BTJQCF
8. Krych-Madej J., Gebicka L. Interactions of nitrite with catalase: Enzyme activity and reaction kinetics studies // *J. Inorg. Biochem.* 2017. Vol. 171. P. 10–17. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2017.02.023 EDN: YYAUVF
9. Schmittgen T., Livak K. Analyzing real — time PCR data by comparative CT method // *Nature Protocols*, 2008. Vol. 3. No 6. P. 1101–1108, doi: 10.1038/nprot.2008.73
10. Rozenboim I., El Halawani M., Kashash Y., Piestun Y., Halevy O. The effect of monochromatic photostimulation on growth and development of broiler birds // *General and Comparative Endocrinology*. 2013. Vol. 190. P. 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2013.06.027>
11. Sobolewska A., Elminowska-Wenda G., Bogucka J., Szpinda M., Walasik K., Bednarczyk M., Paraczewska-Achtel M. Myogenesis — Possibilities of its Stimulation in Chickens // *Folia biologica (Kraków)*. 2011. Vol. 59. No 3-4. P. 85–90. doi: 10.3409/fb59_3-4.85-90
12. Halevy O., Piestun Y., Rozenboim I., Yablonka-Reuveni Z. In ovo exposure to monochromatic green light promotes skeletal muscle cell proliferation and affects myofiber growth in posthatch chicks // *Am.J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2006. Vol. 290. No 4. R1062–R1070. doi: 10.1152/ajpregu.00378.2005
13. Vanin A.F. Physico-chemistry of dinitrosyl iron complexes as a determinant of their biological activity // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22. No 19. ID 10356. doi: 10.3390/ijms221910356 EDN: CKMCHK

Об авторах:

Титов Владимир Юрьевич — доктор биологических наук, профессор кафедры радиобиологии и биофизики, Московская государственная ветеринарная академия — МВА им. К.И. Скрябина, Российская

Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; главный научный сотрудник, Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, Российская Федерация, 141311, Московская область, г. Сергиев Посад, ул. Птицеградская, д. 10; e-mail: vtitov43@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-2639-7435 SPIN-код: 3912-0315

Кочиш Иван Иванович — доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заведующий кафедрой зоогигиены и птицеводства им. А.К. Даниловой, Московская государственная ветеринарная академия — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: kochish.I@mail.ru

ORCID: 0000-0001-8892-9858 SPIN-код: 9333-9995

Мясникова Ольга Вячеславовна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоогигиены и птицеводства им. А.К. Даниловой, Московская государственная ветеринарная академия — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: omyasnikova71@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9869-0876 SPIN-код: 1466-8393

Долгорукова Анна Михайловна — кандидат биологических наук, заведующая отделом инкубации, Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, Российская Федерация, 141311, Московская область, г. Сергиев Посад, ул. Птицеградская, д. 10; e-mail: anna.dolg@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9958-8777 SPIN-код: 7630-3146

Зайцева Мария Александровна — студент 3 курса факультета биотехнологии и экологии, Московская государственная ветеринарная академия — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, 109472, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: may-zay@yandex.ru

Романов Петр Сергеевич — студент 3 курса факультета биотехнологии и экологии, Московская государственная ветеринарная академия — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: romanovpeter1367@yandex.ru

Варданян Арутюн Робертович — кандидат биологических наук, научный сотрудник, Научный центр оценки и анализа рисков безопасности пищевых продуктов, Республика Армения, 0071, г. Ереван, Матисское шоссе, д. 107/2; e-mail: harvard3@yandex.ru

ORCID: 0009-0002-1050-8433



Ветеринария Veterinary science

DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-1-162-170

EDN JBABSN

УДК 619:618.96:569.822.2-086

Научная статья / Research article

Динамика изменений бактериологических и морфометрических показателей при снижении колонизационной резистентности кишечника птиц

Е.М. Ленченко  , **В.В. Пономарев** Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская
Федерация lenchenko.ekaterina@yandex.ru

Аннотация. При снижении компенсаторных механизмов естественной резистентности организма за счет изменений состава эволюционно сложившихся микробиоценозов возрастают риски развития синдрома избыточного роста антибиотикорезистентных микроорганизмов. Цель исследования — анализ динамики изменений бактериологических и морфофункциональных показателей при снижении колонизационной резистентности кишечника птиц. Для оценки количественного и видового состава микроорганизмов учитывали индекс колонизации бактерий, выделенных из содержимого слепых отростков кишечника клинически здоровых и больных птиц. Динамику изменений морфофункциональных показателей при диссеминации патогенных бактерий в ткани и органы исследовали с применением цитологических и гистохимических исследований. Количество микроорганизмов, выделенных из содержимого слепых отростков кишечника больных птиц, достоверно увеличивалось, индекс колонизации лактозоположительных бактерий — 0,247...0,283; лактозоотрицательных бактерий — 0,657...0,730. При избыточной бактериальной контаминации илеоцекального отдела кишечника и транслокации патогенов за пределы желудочно-кишечного тракта развивались признаки дистрофии, некроза и отторжения эпителиоцитов слизистой оболочки дыхательной и пищеварительной системы. Инициация, развитие и исход инфекционного процесса опосредованы стабильностью гомеостаза макроорганизма восприимчивых видов и реализацией патогенного потенциала изолятов, продуцирующих адгезивные антигены, бактериоцины, гемолизины, цитотоксины.

© Ленченко Е.М., Пономарев В.В., 2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: адгезивные антигены, бактериоцины, гемолизины, цитотоксины, диссеминация бактерий, дистрофия, некроз

Вклад авторов: концепция — Ленченко Е.М.; методология, валидация — Пономарев В.В.; работа с данными — Ленченко Е.М., Пономарев В.В.; ревидия и редактирование текста — Ленченко Е.М. Все авторы прочитали окончательную версию рукописи и согласны с ней.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 26 ноября 2024 г., принята к публикации 25 декабря 2024 г.

Для цитирования: Ленченко Е.М., Пономарев В.В. Динамика изменений бактериологических и морфометрических показателей при снижении колонизационной резистентности кишечника птиц // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 1. С. 162—170. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-162-170 EDN JBABSN

Dynamics of changes in bacteriological and morphometric parameters at decreasing colonization resistance of bird intestine

Ekaterina M. Lenchenko  , Vladislav V. Ponomarev 

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russian Federation
 lenchenko.ekaterina@yandex.ru

Abstract. Decrease in compensatory mechanisms of natural resistance due to changes in composition of evolutionarily formed microbiocenoses, increases risks of developing a syndrome of excessive growth of antibiotic-resistant microorganisms. The aim of the study was to analyze the dynamics of changes in bacteriological and morphofunctional parameters with a decrease in colonization resistance of the intestine of birds. To assess quantitative and species composition of microorganisms, the colonization index of bacteria isolated from the caecum contents of intestine of clinically healthy and sick birds was considered. The dynamics of changes in morphofunctional parameters during the dissemination of pathogenic bacteria into tissues and organs was studied using cytological and histochemical data. The number of microorganisms isolated from the caecum contents of intestine of sick birds significantly increased, the colonization index of lactose-positive bacteria was 0.247...0.283; lactose-negative bacteria — 0.657...0.730. With excessive bacterial contamination of ileocecal part of intestine and translocation of pathogens outside gastrointestinal tract, signs of dystrophy, necrosis and rejection of epithelial cells of mucous membrane of respiratory and digestive systems developed. The initiation, development and outcome of the infectious process are mediated by stability of homeostasis of susceptible macroorganisms and realization of pathogenic potential of isolates producing adhesive antigens, bacteriocins, hemolysins, and cytotoxins.

Key words: adhesive antigens, bacteriocins, hemolysins, cytotoxins, bacterial dissemination, dystrophy, necrosis

Authors' contribution: conception — Lenchenko E.M.; methodology, validation — Ponomarev V.V.; data collection and processing — Lenchenko E.M., Ponomarev V.V.; scientific editing — Lenchenko E.M. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: received 26 November 2024; accepted 25 December 2024.

For citation: Lenchenko EM, Ponomarev VV. Dynamics of changes in bacteriological and morphometric parameters at decreasing colonization resistance of bird intestine. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1):162—170. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-162-170 EDN JBABSN

Введение

При содержании на ограниченных площадях искусственный микроклимат, поточная система выращивания птицы обуславливают развитие и широкое распространение инфекционных болезней [1–5]. В птицеводческих хозяйствах различного технологического направления при генерализованном инфекционном процессе установлено доминирование этиологически значимых бактерий *Escherichia coli* — 50,7 %, *Enterococcus faecalis* — 25,4 %, *Proteus mirabilis* — 8,4 % [6]. Из тонкого отдела кишечника кур крестьянско-фермерских и личных подсобных хозяйств инцидентность изолятов *E. coli* — 100 %, *Enterococcus faecalis* — 85,0 %, *Proteus vulgaris* — 55,0 %, *Pantoea agglomerans* — 25,0 %, *Citrobacter freundii* — 15,0 %, *Klebsiella pneumoniae* — 10,0 % [7]. При снижении механизмов мукоциллиарного клиренса и колонизационной резистентности слизистой оболочки возрастают риски развития избыточного роста и транслокации биопленкообразующих микроорганизмов [8–11]. Для оптимизации схемы микробиологической диагностики, рациональной антибиотикотерапии и вакцинопрофилактики диагностическую и прогностическую значимость представляют исследования патогенетических механизмов избыточного роста микроорганизмов при снижении естественной резистентности мукозоассоциированной лимфоидной ткани, как интегрирующей составляющей стабильности гомеостаза.

Цель исследования — анализ динамики изменений бактериологических и морфофункциональных показателей при снижении колонизационной резистентности кишечника птиц.

Материалы и методы исследования

При оценке количественного и видового состава микроорганизмов учитывали индекс колонизации бактерий, выделенных из содержимого слепых отростков кишечника клинически здоровых и больных индеек Grade Maker. Для учета количества микроорганизмов содержимое кишечника, массой 1,0 г помещали в пробирку и добавляли 9,0 см³ 0,85%-го раствора NaCl. Из диагностически значимых разведений 0,1 мл исследуемого образца наносили на поверхность дифференциально-диагностических сред. Микроорганизмы культивировали при $37 \pm 1,0$ °C, в течение 24 ± 1 ч и 48 ± 1 ч. Для видовой идентификации три типичные для вида колонии микроорганизмов пересекали в пробирки со скошенным МПА и культивировали при $37 \pm 1,0$ °C, в течение 24 ± 1 ч. Индикацию и идентификацию микроорганизмов проводили в соответствии с методическими рекомендациями «Выделение

и идентификация бактерий желудочно-кишечного тракта животных» (11.05.2004 г. № 13-5-02/1043)¹.

Динамику изменений морфофункциональных показателей при диссеминации патогенных бактерий в ткани и органы птиц исследовали с применением цитологических и гистохимических исследований [12–15].

Опыты проводили соответственно требованиям «Директива 2010/63/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского союза» от 22 сентября 2010 г. Результаты экспериментальных данных обрабатывали методом статистического анализа с использованием критерия достоверности по Стьюденту, результаты считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты исследований и обсуждение

В зависимости от продолжительности и степени проявления заболевания выявляли достоверные ($p \leq 0,05$) отличия количественного и видового состава микроорганизмов, выделенных из содержимого слепых отростков кишечника клинически здоровых и больных птиц. При избыточном росте микроорганизмов индекс колонизации лактозоположительных бактерий — 0,247...0,283; лактозоотрицательных бактерий — 0,657...0,730 (таб.).

Количество бактерий, КОЕ, Ig/г, на среде Эндо при $37 \pm 1,0$ °C, 24 ± 1 ч

Среды	Количество бактерий, КОЕ, Ig/г		
	Контроль	Опыт	Индекс колонизации*, %
Эндо, лактоза «+»	$1,70 \pm 0,02 - 2,18 \pm 0,03$	$6,0 \pm 0,05 - 8,81 \pm 0,08$	0,247...0,283
Эндо, лактоза «-»	$5,04 \pm 0,05 - 5,23 \pm 0,05$	$6,90 \pm 0,05 - 7,95 \pm 0,08$	0,657...0,730

* Отношение количества микроорганизмов, КОЕ, Ig/г, в содержимом кишечника клинически здоровых птиц (контроль) и при болезнях птиц (опыт).

Источник: выполнили Е.М. Ленченко, В.В. Пономарев.

При идентификации микроорганизмов, выделенных из содержимого слепых отростков кишечника и патматериала птиц, установлено доминирование грамотрицательных, факультативно-анаэробных, оксидазаотрицательных, каталазоположительных изолятов. Основные дифференциальные признаки изолятов: эшерихии образуют индол, не утилизируют цитрат и малонат натрия, не продуцируют уреазу и фенилаланиндезаминазу. Протеи образуют сероводород, уреазу, редуцируют нитраты, гидролизуют желатин, ферментируют глюкозу, реакция с метиловым красным — положительная, дезаминируют фенилаланин, не декарбоксилируют лизин, различаются по способности утилизировать цитрат натрия. Клебсиеллы утилизируют глюкозу, цитрат натрия, продуцируют ацетилметилкарбинол, фермен-

¹ Методические рекомендации выделение и идентификация бактерий желудочно-кишечного тракта животных: утв. Минсельхоз РФ от 11.05.2004 № 13-5-02/1043. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293723/4293723844.htm> (дата обращения: 12.09.2024).

тируют инозит, гидролизуют мочевины, не образуют индол и сероводород. Серации не образуют индол, не ферментируют лактозу образуют лизиндекарбоксилазу и орнитиндекарбоксилазу. Из содержимого слепого кишечника и патматериала больных птиц ($n = 20$) идентифицировали изоляты *Escherichia coli* — 20 (100,0 %) и *Proteus mirabilis* — 20 (100,0 %). Инцидентность изолятов *Citrobacter diversus* составила 11 (55,0 %); *Serratia marcescens* — 10 (50,0 %); *Klebsiella pneumoniae* — (5,0 %). Изоляты продуцировали адгезивные антигены — 11,1 %, α -, β -гемолизины — 28,1 %, бактериоцины — 23,4 %; цитотоксины — 21,4 %. За счет продукции β -лактамаз расширенного спектра, обуславливающих тенденцию роста множественной лекарственной резистентности, 56,6 % изолятов были резистентными к полусинтетическим пенициллинам и цефалоспорином третьего поколения.

Этиологическая значимость изолятов *E. coli*, *P. mirabilis*, *C. diversus* установлена при локальной и системной патологии 7 (35,0 %) птиц; *E. coli*, *P. mirabilis*, *S. marcescens* — 6 (30,0 %) птиц; *E. coli*, *P. mirabilis*, *S. marcescens*, *C. diversus* — 4 (20,0 %) птиц; *E. coli*, *P. mirabilis* — 2 (10,0 %) птиц; *E. coli*, *P. mirabilis*, *K. pneumoniae* — 1 (5,0 %) птицы. В зависимости от продолжительности воздействия и степени патогенности изолятов слизистые оболочки были цианотичные, выявлялись взъерошенность перьевого покрова, сухость кожи, неравномерное и резкое вздутие желудка и кишечника, скопление геморрагического экссудата, наличие множественных кровоизлияний (рис. 1).

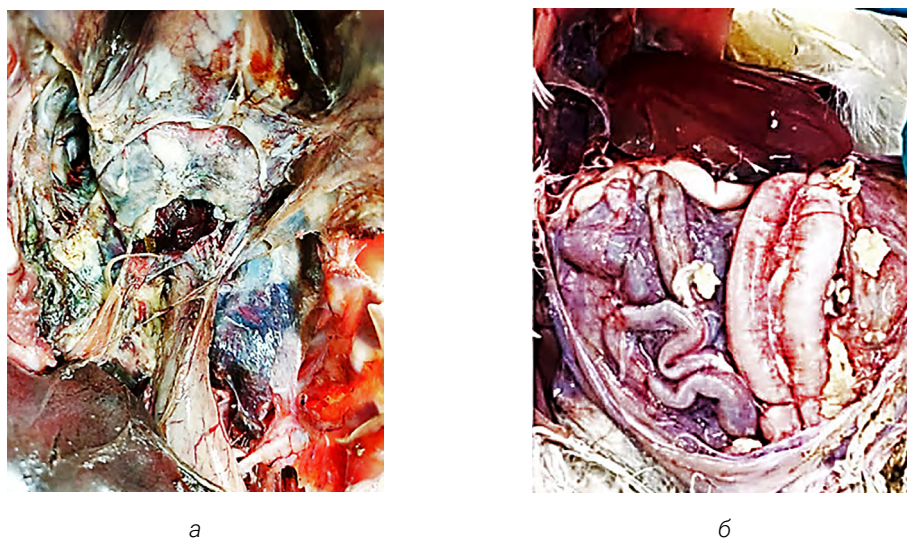


Рис. 1. Патологоанатомические признаки при диссеминации бактерий:
а — *E. coli*, *P. mirabilis*, *S. marcescens*, *C. diversus*; б — *E. coli*, *P. mirabilis*, *K. pneumoniae*

Источник: выполнили Е.М. Ленченко, В.В. Пономарев.

При увеличении числа и патогенного потенциала изолятов наиболее часто выявляли признаки геморрагического диатеза, катарально-геморрагического аэросаккулита, геморрагического энтерита, серозно-фибринозного полисерозита,

геморрагического спленита. Достоверно значимые изменения морфометрических параметров ($p \leq 0,05$) мукоциллиарного клиренса и колонизационной резистентности установлены при индикации грамотрицательных бактерий в мазках-отпечатках печени, почек, селезенки. Избыточная бактериальная контаминация илеоцекального отдела кишечника и транслокация патогенов за пределы желудочно-кишечного тракта сопровождалась развитием дистрофии, некроза и отторжения эпителиоцитов слизистой оболочки дыхательной и пищеварительной системы. Активность щелочной фосфатазы энтероцитов слизистой оболочки ворсинок тонкого кишечника больных птиц снижалась в 1,5 раза по сравнению с таковыми показателями клинически здоровых особей. Наряду с застойными явлениями наблюдали полнокровие сосудов портальных трактов, дилатацию, опустошение центральной вены и междольковых сосудов. В просвете внутридольковых синусоидных капилляров выявляли гистиоциты, пылевидные скопления пигмента гемосидерина. Выявляли нарушение балочной структуры долек, полиморфизм гепатоцитов. Проллиферативные реакции ретикуло-эндотелиальной системы сопровождалась периваскулярной инфильтрацией гистиоцитами, деструктивными процессами паренхиматозных клеток (рис. 2).

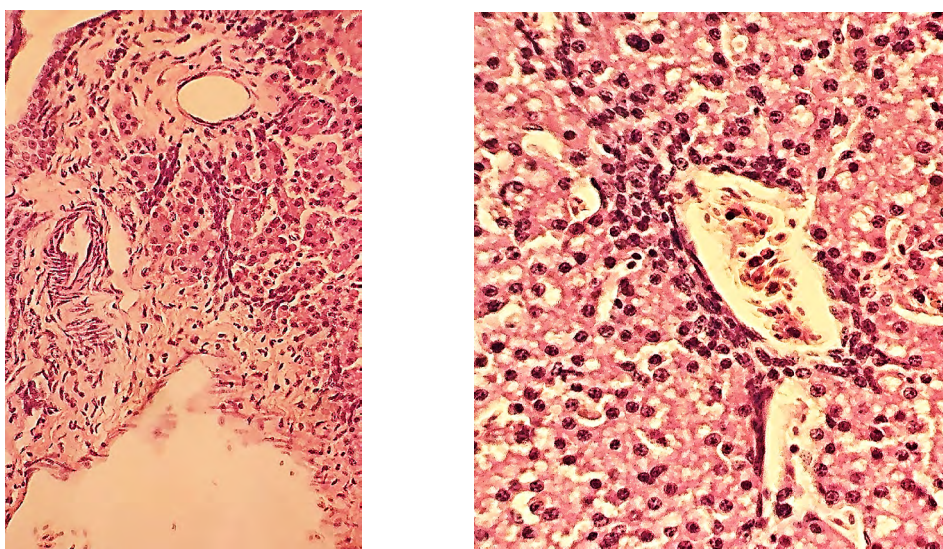


Рис. 2. Печень индейки при диссеминации бактерий *E. coli*, *P. mirabilis*, *S. marcescens*, *C. diversus*. Гематоксилин и эозин. Ок. 10, об. 10–40, H604 Trinocular Unico, USA

Источник: выполнили Е.М. Ленченко, В.В. Пономарев.

Патологические процессы с преобладанием признаков, развивающихся по типу реакции гиперчувствительности замедленного типа, сопровождалась застойной гиперемией сосудов, массовым распадом лимфоцитов, диападезом эритроцитов, диссеминированным тромбозом, токсической дистрофией кардиомиоцитов, альвеолоцитов, гепатоцитов, нефроцитов. Инфильтрация слизистой оболочки кишечника

псевдоэозинофилами, полиморфноядерными лейкоцитами, макрофагами сопровождалась периваскулярными отеками, апоптоз-индуцирующими реакциями желез Гардера, эзофагальных и илеоцекальных лимфоидных фолликул. Развивались экссудативно-инфильтративные процессы, пролиферация сенсibilизированных лимфоцитов, макрофагальная инфильтрация тимуса, дивертикула Меккеля, гиперплазия селезенки. Инициация, развитие и исход инфекционного процесса опосредованы стабильностью гомеостаза макроорганизма восприимчивых видов и реализацией патогенного потенциала изолятов, продуцирующих адгезивные антигены, бактериоцины, гемолизины, цитотоксины.

Анализ результатов проведенных исследований и данные литературы свидетельствуют что снижение популяционного уровня эволюционно-сложившихся микробиоценозов сопровождается избыточным ростом антибиотикорезистентных микроорганизмов [8, 9, 15–17]. Фенотипы изолятов, ассоциирующиеся с септициемией цыплят-бройлеров, были резистентными к ампициллину — 97,3 %, тетрациклину — 95,9 %, спектиномицину — 95,9 %, стрептомицину — 93,2 %, канамицину — 89,0 %, триметоприму/сульфаметоксазолу — 82,2 %, хлорамфениколу — 79,5 %; оксациллину — 78,1 % [18]. При желудочно-кишечных патологиях животных более 50,0 % изолятов были резистентными к азитромицину, линкомицину и энрофлоксацину [19]. Резистентными к препаратам из шести различных классов, наиболее часто к тетрациклину, ампициллину, гентамицину, тобрамицину, были возбудители колибактериоза бройлеров [20]. При разработке новых и ротации существующих химиотерапевтических и дезинфицирующих средств перспективными признаны антиадгезивные композиционные препараты широкого спектра действия [21–26]. При индукции иммунного ответа более эффективны и менее реактогенны вакцины, содержащие выделенные из бактериальных клеток адгезивные антигены и обладающие высокими протективными и превентивными свойствами [3–5, 27]. Наряду с применением антибактериальных, фунгицидных препаратов и средств специфической профилактики рекомендуются препараты для коррекции иммунного статуса организма [28–31].

Заключение

Снижение естественной резистентности мукозоассоциированной лимфоидной ткани сопряжено с достоверными изменениями системной организации и консолидации эволюционно-сложившихся микробиоценозов за счет увеличения числа и спектра патогенных микроорганизмов. Инициация, развитие и исход синдрома избыточного роста антибиотикорезистентных микроорганизмов опосредованы гемодинамическими расстройствами, выраженной вазодилатацией, активацией ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, дистрофическими и компенсаторно-приспособительными процессами. Избыточный рост и транслокация антибиотикорезистентных штаммов обуславливают многообразие клинических проявлений и сложности дифференциальной диагностики инфекционных болезней, снижение эффективности антибиотикотерапии и противоэпизоотических мероприятий.

Список литературы

1. Герасимова А.О., Новикова О.Б., Савичева А.А. Колибактериоз птиц — актуальные вопросы // Ветеринария сегодня. 2023. Т. 12. № 4. С. 284—292. doi: 10.29326/2304-196X-2023-12-4-284-292 EDN: TTSALY
2. Громов И.Н. Патоморфология и дифференциальная диагностика инфекционных болезней птиц, протекающих с респираторным синдромом // Ветеринария. 2021. № 3. С. 3—7. doi: 10.30896/0042-4846.2021.24.3.03-07 EDN: WLQZKC
3. Галиакбарова А.А., Пирожков М.К. Выявление связи между иммуногенной и антигенной активностью вакцины против колибактериоза животных // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 2. С. 200—209. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-2-200-209 EDN: LWEOJZ
4. Джавадов Э.Д., Новикова О.Б., Красков Д.А., Берёзкин В.А. Болезни птиц, вызываемые условно-патогенной микрофлорой // Эффективное животноводство. 2023. № 6 (188). С. 8—12. doi: 10.24412/cl-33489-2023-6-8-12 EDN: NEZIJF
5. Макаров В.В. Современное представление о причинности инфекционных заболеваний // Российский ветеринарный журнал. 2023. № 3. С. 5—13. doi: 10.32416/2500-4379-2023-3-5-13 EDN: FKMTEQ
6. Макавичик С.А., Смирнова Л.И., Сухинин А.А., Кузьмин В.А. Видовое разнообразие доминирующих этиологически значимых бактерий, циркулирующих в птицеводческих хозяйствах // Международный вестник ветеринарии. 2022. № 1. С. 22—26. doi: 10.52419/issn2072-2419.2022.1.22 EDN: ELHFXA
7. Тамбиев Т.С., Тамбиева Ю.Г., Дулетов Е.Г., Федоров В.Х., Тазаян А.Н., Федюк В.В., Шлычков А.Е. Антимикробная активность фитогенных препаратов в отношении условно-патогенной микрофлоры кишечника кур // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2023. № 2 (58). С. 27—31. doi: 10.24412/2074-5036-2023-2-27-31 EDN: NIJDLH
8. Ленченко Е.М., Толмачева Г.С., Куликов Е.В. Морфофункциональные показатели иммунной системы цыплят при диссеминации бактерий *Pseudomonas aeruginosa* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 349—357. doi: 10.22363/2312-797X2024-19-2-349-357 EDN: HPKPBW
9. Al-Marri T., Al-Marri A., Al-Zanbaqi R., Al Ajmi A., Fayed M. Multidrug resistance, biofilm formation, and virulence genes of *Escherichia coli* from backyard poultry farms // Veterinary World. 2021. Vol. 14. № 11. P. 2869—2877. doi: 10.14202/vetworld.2021.28690-2877 EDN: MRTZIO
10. Hu J., Afayibo D.J.A., Zhang B., Zhu H., Yao L., Guo W., Wang X., Wang D., Peng H., Tian M., Qi J., Wang S. Characteristics, pathogenic mechanism, zoonotic potential, drug resistance, and prevention of avian pathogenic *Escherichia coli* (APEC) // Front. Microbiol. 2022. № 13. 1049391. doi: 10.3389/fmicb.2022.1049391 EDN: MRLZUD
11. Михайлов Е.В., Шабунин Б.В., Степанов Е.М. Морфоструктура органов иммунитета промышленной птицы // Ветеринария Кубани. 2021. № 4. С. 13—16. doi: 10.33861/2071-8020-2021-1-13-16 EDN: ZEALQA
12. Селезнев С.Б., Сахар Эзельдиен Э., Драмун Ф., Ветошкина Г.А., Никушов А.А. Биохимическое исследование крови японских перепелов: Эффект влияния экстракта ромашки (*Matricaria recutita* L.) // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2023. № 1 (55). С. 46—49. doi: 10.32935/2221-7312-2023-55-1-46-49 EDN: HIYNBY
13. Волков М.С., Ирза В.Н., Варкентин А.В., Роголев С.В., Андриясов А.В. Результаты научной экспедиции в природные биотопы Республики Тыва в 2019 году для проведения мониторинга инфекционных болезней в популяциях диких птиц // Ветеринария сегодня. 2020. № 2 (33). С. 83—88. doi: 10.29326/2304-196X-2020-2-33-83-88 EDN: NYVL0D
14. Слесаренко Н.А., Комякова В.А., Степанишин В.В. Морфофункциональное обоснование факторов риска возникновения энтеропатий у лабораторных животных // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2019. № 8. С. 6—15. doi: 10.26155/vet.zoo.bio.201908001 EDN: JLMSEB
15. Кривонозова А.С., Донник И.М., Исаева А.Г., Логинов Е.А., Петропавловский М.В., Беспямятных Е.Н. Антибиотикорезистентность *Enterobacteriaceae* в микробиомах цыплят-бройлеров // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 4. С. 710—717. doi: 10.21603/2074-9414-2023-4-2472 EDN: TIDAKC
16. Панкратов С.В., Сухинин А.А., Рождественская Т.Н. Респираторный синдром птиц. Этиология, диагностика, меры борьбы и профилактики // Птица и птицепродукты. 2021. № 4. С. 34—36. doi: 10.30975/2073-4999-2021-23-4-34-36 EDN: TFCYYS
17. Lenchenko, E., Sachivkina N., Lobaeva T., Zhabo N., and Avdonina M. Bird immunobiological parameters in the dissemination of the biofilm-forming bacteria *Escherichia coli* // Vet. World. 2023. Vol. 16. № 5. С. 1052—1060.
18. Ahmed A.M., Shimamoto T., Shimamoto T. Molecular characterization of multidrug-resistant avian pathogenic *Escherichia coli* isolated from septicemic broilers // Int. J. Med. Microbiol. 2013. Vol. 303. № 8. С. 475—483. doi.org/10.1016/j.ijmm.2013.06.009

19. Конищева А.С., Лещева Н.А., Плешакова В.И. Микробиологический спектр возбудителей при желудочно-кишечной патологии у животных // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2. С. 106—112. doi: 10.36718/1819-4036-2022-2-106-112 EDN: ZBABUW
20. Sivaranjani M., McCarthy M.C., Sniatynski M.K., Wu L., Dillon J.R., Rubin J.E., White A.P. Biofilm formation and antimicrobial susceptibility of *E. coli* associated with colibacillosis outbreaks in broiler chickens from Saskatchewan // Front. Microbiol. 2022. № 13. 841516. doi: 10.3389/fmicb.2022.841516 EDN: LKMVSI
21. Дускаев Г.К., Лазебник К.С., Климова Т.А. Оценка микробного разнообразия слепого отдела кишечника цыплят-бройлеров при введении кумарина и кормового антибиотика в рацион // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 4. С. 555—566. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-4-555-566 EDN: FUHJBX
22. Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Андрианова Д.В., Рысцова Е.О., Кондрашкина К.М. Влияние пробиотика СУБ-ПРО на мясную продуктивность цыплят-бройлеров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С. 375—390. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-375-390 EDN: АНБЕКZ
23. Фисинин В.И., Журавель Н.А., Мифтахутдинов А.В. Методология определения эффективности внедрения новых ветеринарных методов и средств в птицеводстве // Ветеринария. 2018. № 6. С. 14—20. EDN: ХОНUDJ
24. Lenchenko E., Sachivkina N., Petrukhnina O., Petukhov N., Zharov A., Zhabo N., Avdonina M. Anatomical, pathological, and histological features of experimental respiratory infection of birds by biofilm-forming bacteria *Staphylococcus aureus* // Veterinary World. 2024. Vol. 17. № 3. P. 612—619. doi: 10.14202/vetworld.2024.612—619 EDN: OSGGWA
25. Кондрашкина К.М., Никитченко Д.В., Никитченко В.Е. Морфометрические и химические показатели тушек курочек кросса «Смена 9» при различных способах выращивания // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 92—104. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-92-104 EDN: WRWTUR
26. Полонский В.И., Сумина А.В. Влияние физических характеристик зернового сырья на функциональную ценность кормов для птиц // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 2. С. 167—175. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-167-175 EDN: IUGBFN
27. Прунтова О.В. Русалеев В.С., Шадрова Н.Б. Современное представление о механизмах антимикробной резистентности бактерий (аналитический обзор) // Ветеринария сегодня. 2022. Т. 11. № 1. С. 7—13. doi: 10.29326/2304-196X-2022-11-1-7-13 EDN: EKXQQK
28. Лаишевцев А.И., Капустин А.В., Смирнов Д.Д., Пименов Н.В. Метапрофилактика сальмонеллеза в птицеводческих хозяйствах // Международный вестник ветеринарии. 2023. № 2. С. 32—47. doi: 10.52419/issn2072-2419.2023.2.32 EDN: TUFTPR
29. Сачивкина Н.П., Нечет О.В., Гашимова И.С., Кондратьева Д.В., Сахно Н.В. Действие фарнезола на чувствительность микроорганизмов из бактериально-грибковой биопленки к антимикробным средствам *in vitro* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 370—382. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-370-382 EDN: HBBYLN
30. Vatikov Y., Shabunin S., Kulikov E., Karamyan A., Murylev V., Elizarov P., Kuznetsova O., Vasilieva E., Petukhov N., Shopinskaya M., Rudenko A., Rudenko P. The efficiency of therapy the piglets gastroenteritis with combination of Enrofloxacin and phytosorbent *Hypericum perforatum L* // International Journal of Pharmaceutical Research. 2020. Vol. 12. Suppl. 2. P. 3064—3073. doi: 10.31838/ijpr/2020.sp2.373 EDN: GIENHY
31. Ullah R., Qureshi A.W., Sajid A., Khan I., Ullah A., Taj R. Percentage incidences of bacteria in Mahseer (*Tor putitora*), Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fish collected from hatcheries and local markets of district Malakand and Peshawar of Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan // Brazilian Journal of Biology. 2022. Vol. 84. e251747 doi: 10.1590/1519-6984.25174

Об авторах:

Ленченко Екатерина Михайловна — доктор ветеринарных наук, профессор, кафедра ветеринарной медицины, институт ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Российская Федерация, 125080, г. Москва, Волоколамское ш., д. 11; e-mail: lenchenko.ekaterina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-2576-2020 SPIN-код: 9417-0889

Пonomarev Владислав Владимирович — аспирант, кафедра ветеринарной медицины, институт ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Российская Федерация, 125080, г. Москва, Волоколамское ш., д. 11; e-mail: VLADPONOMAREV1404@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-4634-4362 SPIN-код: 6825-3493