

ISSN 2658-3135 (Print)
ISSN 2782-408X (Online)

ЖИВОТНОВОДСТВО И КОРМОПРОИЗВОДСТВО

Теоретический и научно-практический журнал

ANIMAL HUSBANDRY AND FODDER PRODUCTION

Theoretical and scientific-practical journal

Том 108 | № 1 | 2025



Оренбург



**Федеральный научный центр
биологических систем и агротехнологий
Российской академии наук**

**Federal Research Centre
of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences**



ЖИВОТНОВОДСТВО И КОРМОПРОИЗВОДСТВО
(до января 2018 года «Вестник мясного скотоводства»)

Теоретический и научно-практический журнал

Основан в 1931 году

Том 108 № 1 2025

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, доктора наук

ANIMAL HUSBANDRY AND FODDER PRODUCTION
(until January 2018 «Herald of Beef Cattle Breeding»)

Theoretical and scientific-practical journal

Founded in 1931

Vol. 108 No. 1 2025

The journal is included in the list of peer-reviewed scientific publications, where basic scientific results of dissertations for the degree of Candidate of Sciences, Doctor of Sciences

Животноводство и кормопроизводство
(до января 2018 года «Вестник мясного скотоводства»)

Рецензируемый теоретический и научно-практический журнал, в котором рассматриваются вопросы, охватывающие все области генетики и селекции, физиологии, размножения, питания и кормления сельскохозяйственных животных.

Миссия журнала – формирование научно-информационной среды и распространение информации о научных разработках и исследованиях в области ветеринарии и зоотехнии, агрономии, физиологии животных, экономики и управления народным хозяйством, проводимых учёными и специалистами НИИ и вузов России, стран СНГ и дальнего зарубежья.

В журнале публикуются результаты научных исследований и их внедрения в сфере АПК по следующим темам: инновационное направление сельскохозяйственной науки; нанотехнологии и биоэлементология в животноводстве и кормопроизводстве; разведение, селекция, генетика сельскохозяйственных животных; физиология животных; технология производства и качество продукции животноводства; теория и практика кормления сельскохозяйственных животных; кормопроизводство и корма; общее земледелие и растениеводство; экономика и организация сельского хозяйства.

Главный редактор: Лебедев Святослав Валерьевич, д-р биол. наук, член-корреспондент РАН

Члены редакционного совета:

Х.А. Амерханов, д-р с.-х. наук, академик РАН, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия)

Г.И. Бельков, д-р с.-х. наук, член-корреспондент РАН, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург, Россия);

Г.К. Дускаев, д-р биол. наук, профессор РАН, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург, Россия);

Ф.Г. Каюмов, д-р с.-х. наук, профессор, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург, Россия);

С.А. Мирошников, д-р биол. наук, член-корреспондент РАН, Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Россия);

Ф. Муселин, д-р вет. медицины, Банатский университет сельскохозяйственных наук и ветеринарной медицины «Король Мишель I Румынии» из Тимишоара (Тимишоара, Румыния);

С.В. Нотова, д-р мед. наук, профессор, Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Россия);

Е.А. Сизова, д-р биол. наук, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург, Россия)

Члены редакционной коллегии:

Ф.С. Амиршоев, д-р биол. наук, член-корреспондент Таджикской сельскохозяйственной академии наук, Таджикская академия сельскохозяйственных наук (Республика Таджикистан, г. Душанбе);

И.Н. Бесалиев, д-р с.-х. наук, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург, Россия);

Н. П. Герасимов, д-р биол. наук, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург, Россия);

И.Ф. Горлов, д-р с.-х. наук, академик РАН, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (г. Волгоград, Россия);

А.М. Гулюкин, д-р ветеринар. наук, член-корреспондент РАН, Федеральный научный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук (г. Москва, Россия);

К.М. Джуламанов, д-р с.-х. наук, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург, Россия);

И.М. Дунин, д-р с.-х. наук, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела (Московская область, п. Лесные Поляны, Россия);

С.А. Макаренко, д-р с.-х. наук, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург, Россия);

А.А. Мушинский, д-р с.-х. наук, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург, Россия);

Е.Г. Насамбаев, д-р с.-х. наук, профессор, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир-хана (Республика Казахстан, г. Уральск);

М.Н. Романов, канд. биол. наук, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста (Московская область, п. Дубровицы, Россия)

А.Н. Фролов, д-р биол. наук, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург, Россия);

А.В. Харламов, д-р с.-х. наук, профессор, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург, Россия)

ISSN 2658-3135 (Print), ISSN 2782-408X (Online)

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Выписка из реестра зарегистрированных СМИ ПИ № ФС77-72507 от 20.03.2018 г.) – печатное издание

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»

Редактор – З.Г. Долгополова, Технический редактор – Е.Г. Хусаинова,

Компьютерная вёрстка – Е.Г. Хусаинова, Перевод – Ю.Р. Коростелева, Н.П. Герасимов

Компьютерный набор осуществлён с помощью текстового процессора Microsoft Word 2013 for Windows.

Формат бумаги 60x84/8. Бумага типографская. Печать офсетная. Гарнитура Times New Roman.

Подписано в печать 17.03.2025 г. Дата выхода в свет 31.03.2025 г. Усл. печ. л. 23,25. Тираж 500 экз. Заказ № 2

Периодичность 4 раза в год. Цена свободная

Редакция, издатель, типография – ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН,

Адрес: 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-70, 30-81-76

e-mail редакции: ntup_vniims@rambler.ru

Сайт журнала: <http://gk.fncbst.ru/>

Animal Husbandry and Fodder Production
(until January 2018 «Herald of Beef Cattle Breeding»)

A peer-reviewed theoretical, research and practical journal that addresses issues covering all areas of genetics and selection, physiology, reproduction, nutrition and feeding of farm animals.

The mission of the journal is the formation of a scientific and information environment and the dissemination of information about scientific developments and research in veterinary medicine and animal science, agronomy, animal physiology, economics and management of national economy performed by scientists and specialists from research institutes and universities of Russia, CIS countries and far abroad.

The journal publishes the results of researches and their implementation in the agricultural sector on the following subjects: innovative agricultural science; nanotechnology and bioelementology in animal husbandry and fodder production; breeding, selection, genetics of farm animals; physiology of animals; production technology and quality of livestock products; theory and practice of farm animals feeding; fodder production and fodders; general agriculture and crop production; economics and organization of agriculture.

Editor-in-chief: **SV Lebedev**, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of Russian Academy of Sciences

Editorial council:

KhA Amerkhanov, Dr. Sci. (Agriculture), Academician of Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia);

GI Belkov, Dr. Sci. (Agriculture), Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia);

GK Duskaev, Dr. Sci. (Biology), Professor of Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia);

FG Kayumov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia);

SA Miroshnikov, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Orenburg State University (Orenburg, Russia)

F Muselin, Dr. Sci. (Veterinary), Banat's University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine «King Michel I of Romania» from Timisoara (Timisoara, Romania);

SV Notova, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Orenburg State University (Orenburg, Russia)

EA Sizova, Dr. Sci. (Biology), Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

Editorial staff:

FS Amirshoev, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the Tajik Agricultural Academy of Sciences, Tajikistan Academy of Agricultural Sciences (Republic of Tajikistan, Dushanbe);

IN Besaliev, Dr. Sci. (Agriculture), Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia);

NP Gerasimov, Dr. Sci. (Biology), Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia);

IF Gorlov, Dr. Sci. (Agriculture), Academician of Russian Academy of Sciences, Povolzhsky Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products (Volgograd, Russia);

AM Gyulyukin, Dr. Sci. (Veterinary), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Center - All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Scriabin and Ya.R. Kovalenko of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia).

KM Dzhulamanov, Dr. Sci. (Agriculture), Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia);

IM Dunin, Dr. Sci. (Agriculture), Academician of Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Breeding Work (Moscow region, Village Forest Glades, Russia);

SA Makarenko, Dr. Sci. (Agriculture), Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russia);

AA Mushinsky, Dr. Sci. (Agriculture), Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia);

EG Nasambayev, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University (Republic of Kazakhstan, Uralsk);

MN Romanov, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst (Moscow region, Dubrovitsy, Russia)

AN Frolov, Dr. Sci. (Biology), Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia);

AV Kharlamov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

ISSN 2658-3135 (Print), ISSN 2782-408X (Online)

Registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Extract from the catalogue of registered media series PI No. FS77-72507 from 20 March 2018) – print edition
Founder – Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences”

Editor – ZG Dolgopolova Technical Editor – EG Khusainova Computer layout – EG Khusainova

Translator – YuR Korostelyova, NP Gerasimov

Computer typing was carried out using a text processor Microsoft Word 2013 for Windows. Paper size is 60x84/8.

Paper is typographical. Offset printing. Font is Times New Roman.

Signed to the press on 17.03.2025 г. Date of publication 31.03.2025. Conditional printed sheets 23.25 Circulation 500 samples. Order №2

Issued 4 times per year. The price is free.

Editorial office, publisher, typography – FSBSI FRC BST RAS

Address: 460000, Orenburg, 9 Yanvarya str., 29, Phone: 8(3532)30-81-70, 30-81-76, editorial office:

e-mail: ntiip_vniims@rambler.ru

Web site: <http://gk.fncbst.ru/>

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

- Сизова Е.А., Камирова А.М., Яушева Е.В., Шошин Д.Е., Павлова М.Ю.* Особенности рубцового пищеварения *in situ* при введении в рацион бычков казахской белоголовой породы ультрадисперсных частиц диоксида кремния и серосодержащих соединений органической и неорганической природы 8
- Чинаров Р.Ю., Луканина В.А., Боголюбова Н.В., Рыков Р.А.* Динамика клинических показателей крови телок-доноров холмогорской породы при проведении последовательных сеансов трансвагинальной аспирации фолликулов 21
- Петруша Ю.К., Силин Д.А., Лебедев С.В.* Факторы и модуляторы иммунной системы птиц (обзор) 33

РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА

- Нарышкина Е.Н., Игнатьева Л.П., Зарипов О.Г., Левченко М.В., Сермягин А.А.* Признаки воспроизводительной функции коров симментальской породы, полученных от быков-производителей отечественных и импортных линий 50
- Отрадных П.И., Осипова О.С., Белоус А.А.* Апробация методологии BLUP для отбора крупной белой породы свиней 60

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА, КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ И ЭКОНОМИКА В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

- Барсукова М.А., Себежко О.И.* Возрастные и наследственные факторы, влияющие на гематологические показатели герефордской породы крупного рогатого скота 73
- Христиановский П.И., Щетинин С.С., Платонов С.А., Алдыяров Т.Б., Медетов Е.С.* Эффективность применения различных схем синхронизации половой охоты телок в мясном скотоводстве 86
- Шакиров Ш.К., Сафина Н.Ю., Аминова А.Л., Мустафин И.Г., Ширiev В.М.* Последствия влияния теплового стресса в кормопроизводстве и животноводстве и пути их решения (обзор) 96

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА КОРМЛЕНИЯ

- Афанасьева А.И., Сарычев В.А.* Модификация метаболизма и продуктивности молочного скота при применении ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт 115
- Артемяева О.А., Логвинова Т.И., Никанова Д.А.* Молочные дрожжи *Kluyveromyces* и их биологический потенциал (обзор) 128
- Хорошевская Л.В., Горлов И.Ф., Сложеникина М.И., Мосолов А.А., Абрамов С.В., Бальшев А.В., Хорошевский А.П.* Влияние кормовой добавки, сочетающей антикокцидийный и пребиотический препараты, на сохранность и приросты цыплят-бройлеров 145

Мингазова М.С., Мирошникова Е.П., Килякова Ю.В., Аринжанов А.Е. **Влияние биологически активных кормовых добавок в составе рациона на гематологические параметры рыбы** 158

Крылова И.О., Трапезникова Н.Н., Мурыгин В.П. **Оценка степени усвояемости корма при содержании собак служебных пород на готовом рационе** 175

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Скорыходов В.Ю., Митрофанов Д.В. **Влияние погодных условий и целлюлозолитической активности почвы на урожайность твердой пшеницы в степной зоне Южного Урала** 187

CONTENTS

PHYSIOLOGY OF ANIMALS

- Sizova EA, Kamirova AM, Yausheva EV, Shoshin DE, Pavlova MYu.* **Peculiarities of ruminal digestion *in situ* when ultrafine particles of silicon dioxide and sulfur-containing compounds of organic and inorganic nature are introduced into the diet of the Kazakh white-headed bulls** 8
- Chinarov RYu, Lukanina VA, Bogolyubova NV, Rykov RA.* **Dynamics of clinical blood parameters in donor heifers of the Kholmogor breed during consecutive sessions of transvaginal aspiration of follicles** 21
- Petrusha YuK, Silin DA, Lebedev SV.* **Factors and modulators of the avian immune system (review)** 33

BREEDING, SELECTION, GENETICS

- Naryshkina EN, Ignatieva LP, Zaripov OG, Levchenko MV, Sermyagin AA.* **Reproduction traits of Simmental cows obtained from sires of local and imported lines** 50
- Otradnov PI, Osipova OS, Belous AA.* **Testing BLUP methodology for large white pigs selection** 60

PRODUCTION TECHNOLOGY, QUALITY AND ECONOMY IN ANIMAL HUSBANDRY

- Barsukova MA, Sebezhko OI.* **Age and hereditary factors affecting the hematological parameters of the Hereford cattle** 73
- Khristianovsky PI, Shchetinin SS, Platonov SA, Aldyarov TB, Medetov ES.* **Efficiency of using different schemes for synchronizing the sexual heat of heifers in beef cattle breeding** 86
- Shakirov ShK, Safina NYu, Aminova AL, Mustafin IG, Shiriev VM.* **Consequences of the heat stress in forage production and animal husbandry and ways to solve them (review)** 96

THEORY AND PRACTICE OF FEEDING

- Afanasyeva AI, Sarychev VA.* **Modification of metabolism and productivity of dairy cattle using the enzyme-probiotic feed additive Profort** 115
- Artemyeva OA, Logvinova TI, Nikanova DA.* **The yeast *Kluyveromyces* and its biological potential (review)** 128
- Khoroshevskaya LV, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Mosolov AA, Abramov SV, Balyshev AV, Khoroshevsky AP.* **The effect of a feed additive combining anticoccidium and prebiotic preparations on the safety and growth of broiler chickens** 145

Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhanov AE. The effect of biologically active feed additives in the diet on the hematological parameters of fish 158

Krylova IO, Trapeznikova NN, Murygin VP. Assessment of the degree of digestibility of feed when keeping dogs of service breeds on a ready-made diet 175

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Skorokhodov VYu, Mitrofanov DV. The influence of weather conditions and cellulolytic activity of the soil on the yield of durum wheat in the steppe zone the Southern Urals 187

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 8-20.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 8-20.

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Научная статья

УДК 536.085:577.17

doi:10.33284/2658-3135-108-1-8

Особенности рубцового пищеварения *in situ* при введении в рацион бычков казахской белоголовой породы ультрадисперсных частиц диоксида кремния и серосодержащих соединений органической и неорганической природы

Елена Анатольевна Сизова¹, Айна Маратовна Камирова², Елена Владимировна Яушева³,
Даниил Евгеньевич Шошин⁴, Марина Юрьевна Павлова⁵

^{1,2,3,4,5}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹sizova.l78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

²ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

³vasilena56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1589-2211>

⁴daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

⁵marqo5677@mail.ru

Аннотация. В последние несколько лет наблюдается растущий интерес к использованию натуральных кормовых добавок в кормах для животных. В частности, показаны перспективы использования ультрадисперсных частиц в качестве замены антибиотиков для изменения ферментации в рубце и повышения эффективности кормления жвачных животных. Целью нашего исследования являлась оценка серосодержащего органоминерального комплекса на основе аминокислот и Na₂SO₄ на эффективность рубцового пищеварения методом *in situ* в чистом виде и в сочетании с УДЧ SiO₂. Исследование проведено на бычках казахской белоголовой породы с хронической фистулой. Были сформированы 3 группы для проведения исследования методом *in situ*: I – контроль; II – аминокислотный комплекс (триптофан, лизин, метионин)+Na₂SO₄; III – аминокислотный комплекс (триптофан, лизин, метионин)+Na₂SO₄+УДЧ SiO₂. В исследовании отмечалось увеличение коэффициента переваримости во II и III группах на 3,7 и 2,6 % по сравнению с контролем. Анализ летучих жирных кислот показал увеличение концентраций уксусной, пропионовой и масляной на 112, 77,7 и 76,8 % в I группе и на 44,3; 4,52 и 32,6 % – во II соответственно. Изменения в белковом обмене были связаны с увеличением белкового и небелкового азота в I группе в сравнении с контролем на 85,6 и 52,3 %. Исследование продемонстрировало благоприятное воздействие комбинированного применения изучаемых веществ на процессы рубцового пищеварения. Совместное использование ультрадисперсной формы диоксида кремния, аминокислотного комплекса и сульфата натрия оказалось эффективным в стимулировании рубцового пищеварения.

Ключевые слова: жвачные животные, кормление, рубцовое пищеварение, элементный состав, *in situ*

Благодарности: исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 20-16-0078-П.

Для цитирования: Особенности рубцового пищеварения *in situ* при введении в рацион бычков казахской белоголовой породы ультрадисперсных частиц диоксида кремния и серосодержащих соединений органической и неорганической природы / Е.А. Сизова, А.М. Камирова, Е.В. Яушева, Д.Е. Шошин, М.Ю. Павлова // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 8-20. [Sizova EA, Kamirova AM, Yausheva EV, Shoshin DE, Pavlova MYu. Peculiarities of ruminal digestion *in situ* when ultrafine particles of silicon dioxide and sulfur-containing compounds of organic and inorganic nature are introduced into the diet of the Kazakh white-headed bulls. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):8-20. (In Russ.]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-8>

PHYSIOLOGY OF ANIMALS

Original article

Peculiarities of ruminal digestion *in situ* when ultrafine particles of silicon dioxide and sulfur-containing compounds of organic and inorganic nature are introduced into the diet of the Kazakh white-headed bulls

Elena A Sizova¹, Ayna M Kamirova², Elena V Yausheva³, Daniil E Shoshin⁴, Marina Yu Pavlova⁵

^{1,2,3,4,5}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹sizova.178@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

²ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

³vasilena56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1589-2211>

⁴daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

⁵marqo5677@mail.ru

Abstract. In the last few years, there has been a growing interest in the use of natural feed additives in animal feed. In particular, the prospects of using ultrafine particles as a substitute for antibiotics to change fermentation in the rumen and increase the efficiency of feeding ruminants are shown. The purpose of our study was to evaluate a sulfur-containing organomineral complex based on amino acids and Na₂SO₄ for the effectiveness of rumen digestion by the *in situ* method in its pure form and in combination with UFP SiO₂. The study was conducted on Kazakh white-headed bull calves with chronic fistula. 3 groups were formed for *in situ* testing: I – control; II – amino acid complex (tryptophan, lysine, methionine) + Na₂SO₄; III – amino acid complex (tryptophan, lysine, methionine) + Na₂SO₄ + UFP SiO₂. The study showed an increase in the coefficient of digestibility in groups II and III by 3.7 and 2.6% compared with the control. The analysis of volatile fatty acids showed an increase in the concentrations of acetic, propionic, and butyric acids by 112, 77.7, and 76.8% in group I and by 44.3; 4.52% and 32.6% were in II, respectively. Changes in protein metabolism were associated with an increase in protein and non-protein nitrogen in group I compared with the control by 85.6% and 52.3%. The study demonstrated the beneficial effect of combined use of the studied substances on the processes of rumen digestion. The combined use of an ultrafine form of silicon dioxide, an amino acid complex, and sodium sulfate proved to be effective in stimulating rumen digestion.

Keywords: ruminants, feeding, ruminal digestion, elemental composition, *in situ*

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 20-16-0078-P.

For citation: Sizova EA, Kamirova AM, Yausheva EV, Shoshin DE, Pavlova MYu. Peculiarities of ruminal digestion *in situ* when ultrafine particles of silicon dioxide and sulfur-containing compounds of organic and inorganic nature are introduced into the diet of the Kazakh white-headed bulls. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):8-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-8>

Введение.

Крупный рогатый скот и иные жвачные играют ключевую роль в удовлетворении растущих потребностей населения в мясных и молочных продуктах (Malmuthuge N and Guan LL, 2017). При этом сложно организованная микробиота, обитающая в рубце, отвечает за способность этих животных перерабатывать трудно перевариваемую растительную массу (Jami E and Mizrahi I, 2012; Soltis MP et al., 2023), обеспечивая до 70 % энергетических затрат организма за счет микробного белка и летучих жирных кислот (Abbas W et al., 2020; Li Z et al., 2022). Следовательно, микробиота рубца является потенциальной мишенью для манипуляций с целью повышения продуктивности и здоровья жвачных животных (Li F et al., 2019). В связи с этим в последние несколько лет растет интерес к использованию натуральных кормовых добавок, таких как пробиотики, органические кислоты, экзогенные ферменты, экстракты и вторичные метаболиты растений в качестве модуля-

торов рубцовой ферментации (Stivari TSS et al., 2014, Clemmons BA et al., 2019). Многие из них обеспечивают реорганизацию микробиальной экосистемы в рубце или толстом кишечнике, активируют энзиматические функции и улучшают усвояемость корма (Gheller LS et al., 2020; Oliveira LN et al., 2023; Meenongyai W et al., 2023; Varela AMG et al., 2023).

В частности, хорошо зарекомендовали себя нано- и ультрадисперсные частицы различной природы, зачастую выступающие в качестве аналогов антибиотиков и стимуляторов роста (Bunglavan SJ et al., 2014). Основными преимуществами такой формы являются большое отношение площади поверхности к объему и, как следствие, высокая биоактивность, уникальные возможности модификации путем совмещения с другими веществами, а также относительная простота конструирования и многообразие биологических свойств (Mohd Yusof H et al., 2019). Так, к примеру, было установлено, что наночастицы диоксида кремния в количестве 100 мг/кг сухого вещества корма способны модулировать иммунологические показатели (Красноперов АС и др., 2018), интенсифицировать рост, стимулировать выработку соматотропина, витамина D3 и улучшать состояние костной ткани у телят (Ojha L et al., 2025).

При этом, однако, следует учитывать как нано- и ультрадисперсные частицы могут взаимодействовать с другими кормовыми добавками, также используемыми в качестве дополнений к основному рациону или для его балансирования по биологически активным веществам, макро- и микроэлементам. Одной из таких добавок, в частности, выступают различные источники серы (Shin H et al., 2023; Hartman SJ et al., 2018) в виду того факта, что она тесно связана с метаболизмом азота и витаминов группы В и, соответственно, является незаменимым элементом для животных. Низкая концентрация серы в рационе может привести к неспособности микробиоты синтезировать адекватные количества аминокислот (цистеин, метионин) и сырого микробного протеина, снижать выработку общих летучих жирных кислот в рубце и усвояемость клетчатки, что отрицательно сказывается на продуктивности животных (McSweeney CS and Denman SE, 2007). Она же необходима для развития некоторых микроорганизмов. К примеру, было показано, что введение дополнительного количества серы в корма бычков стимулирует рост анаэробных грибов и *Fibrobacter succinogenes* (McSweeney CS and Denman SE, 2007).

Тем не менее в качестве источника серы могут выступать как неорганические, так и органические вещества. Положительное влияние на рубцовое пищеварение сельскохозяйственных животных описано для сернокислого натрия (Сехин А.А. и др. 2023; Zhao Y et al., 2020). Органическим источником серы, как правило, выступает метионин (Attia YA et al., 2022), обеспечивающий к тому же синтез металлотионеинов, способных связывать и выводить токсиканты из организма (Colovic MB et al., 2018). При этом максимальная эффективность метионина в кормлении достигается его совместным применением с триптофаном и лизином (Liaqat R et al., 2024; Zou S et al., 2023). Таким образом, следует проводить предварительную оценку взаимодействия УДЧ с другими кормовыми компонентами, для того чтобы выявить оптимальную рецептуру их дачи, иными словами – скармливать ли их совместно для потенцирования синергетического эффекта, либо же в отдельные дачи корма, чтобы избежать антагонистического действия.

Цель исследования.

Оценить влияние серосодержащего органоминерального комплекса на основе аминокислот и Na_2SO_4 на эффективность рубцового пищеварения методом *in situ* в чистом виде и в сочетании с УДЧ SiO_2 .

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Бычки казахской белоголовой породы в возрасте 11-12 месяцев живой массой $266 \pm 4,53$ кг ($n=3$).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств «Об обращении с

животными», ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.) и Руководством по работе с лабораторными животными (http://fncbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследования были проведены в 2024 году в виварии ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН по схеме, представленной в таблице 1.

Таблица 1. Схема экспериментальных работ

Table 1. Experimental design

Группа / Group	Компоненты кормовой добавки и их дозировки (мг/л рубцовой жидкости) / Feed additive components and their dosages (mg/L of rumen fluid)		
	аминокислотный комплекс / amino acid complex	Na ₂ SO ₄	УДЧ SiO ₂ / UFP SiO ₂
Контроль/Control	-	-	-
I	L-триптофан (4,66) + DL-метионин (60) + L-лизин моногидрохлорид (360) / <i>L-tryptophan (4,66) + DL-methionine (60) + L-lysine monohydrochloride (360)</i>	133,2	-
II	L-триптофан (4,66) + DL-метионин (60) + L-лизин моногидрохлорид (360) / <i>L-tryptophan (4,66) + DL-methionine (60) + L-lysine monohydrochloride (360)</i>	133,2	100

В качестве компонентов кормовых добавок использовали: ультрадисперсные частицы диоксида кремния (УДЧ SiO₂, ХЧ 99,8 %; S_{уд}=55,4 м²/г; Z-потенциал 31±0,5 мВ; ИП Хисамутдинов Р.А., Россия); сульфат натрия безводный (Na₂SO₄ ХЧ; «Орхимком», Россия); аминокислотный комплекс, включающий чистый L-триптофан, химически-чистый DL-метионин, чистый L-лизин моногидрохлорид (Волгахимпром, Россия). Выбор дозировок был обоснован ранее проведенными исследованиями с учетом норм кормления (Косян Д.Б. и Макаева А.М., 2018; Zhao Y et al., 2020). Точные навески готовили на лабораторных электронных весах МБ 210-А (ЗАО «Сартогосм», Россия).

Исследование проводили методом *in situ*, для чего анализируемые комплексы веществ смешивали со 100 граммами корма, распределяя их по 20 нейлоновым мешочкам. Последние через хроническую фистулу (ANKOM Technology Corporation, США) помещали на 24 ч в рубец животных, рацион которых включал сено злаковое (1 кг), сено бобовое (2 кг), силос кукурузный (9,5 кг), дроблёную зерносмесь (2 кг), жмых подсолнечный (0,1 кг), патоку кормовую (0,6 кг), соль поваренную (37 г), монокальцийфосфат (47,7 г) и премикс (20 г). По завершении опыта мешки с переваримым кормом извлекали, промывали под проточной водой и сушили в сушильном шкафу ГП-80 СПУ до константного веса при температуре +100 °С. Параллельно отбирали пробы рубцовой жидкости. Транспортировку осуществляли в закрытом сосуде без доступа воздуха в течение 30 минут, поддерживая температурный режим +38,5...+39,5 °С. Перед использованием рубцовую жидкость тщательно встряхивали и процеживали через 4 слоя марли.

Коэффициент переваримости определяли по формуле (1):

$$K = \frac{100 - (m_1 - m_2)}{100} \times 100 \% , \quad (1)$$

где m₁ – масса высушенных мешочков с кормом, после переваривания, г;

m₂ – масса мешочков без корма, г.

Численность простейших в рубцовой жидкости устанавливали с помощью камеры Горяева и микроскопа «Микромед 1» («Здравторг», Россия). Для этого в пробирку отбирали 5 мл профильтрованного содержимого рубца и добавляли 0,1 мл 4 % раствора формалина для фиксации инфузорий и 20 мкл метиленового синего. Встряхивали 1-2 мин. В камеру с сеткой Горяева под покровное стекло вносили 1 каплю жидкости и подсчитывали количество инфузорий в 25 больших квадратах, после чего определяли число простейших в 1 мл рубцового содержимого по формуле (2):

$$N = \frac{1000 \times n \times b}{S \times h} = \frac{1000 \times n \times 2}{25 \times 0,04 \times 0,1} = 20000n, \quad (2)$$

где n – количество клеток, подсчитанных в определенном секторе;

b – кратность разведения пробы;

S – площадь исследуемого сектора;

h – глубина счетной камеры.

Общий и остаточный азот в рубцовой жидкости определяли методом Кьельдаля, белковый – расчетным путем по разности общего и остаточного азота, аммиак – микродиффузным методом в чашках Конвея. Концентрацию летучих жирных кислот в рубцовой жидкости определяли на хроматографе «Кристалл ЛЮКС 4000».

Элементный состав (Mg, Ca, K, P, Mn, I, Co, Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, As, Al, Cd) рубцовой жидкости устанавливали атомно-эмиссионным и масс-спектральными методами на масс-спектрометре Agilent 7900 (Agilent Technologies, США).

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены на базе Центра коллективного пользования ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>) с применением следующего оборудования: электронные весы МБ 210-А (ЗАО «Сартогосм», Россия), сушильный шкаф ШС-80-01-СПУ (Смоленское СКТБ СПУ, Россия), микроскоп «Микромед 1» (Здравторг, Россия), хроматограф Кристалл ЛЮКС 4000, масс-спектрометр Agilent 7900 (Agilent Technologies, США).

Статистическая обработка. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 12» («Stat Soft Inc.», США). Результаты представлены в виде среднего (M) и стандартной ошибки среднего (m). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Достоверными считали результаты при $P < 0,05$.

Результаты исследований.

Оценка прототипа кормовой добавки на основе серосодержащего аминокислотного комплекса с включением УДЧ SiO₂ и без них показала выраженные изменения в рубцовом метаболизме (табл. 2).

Переваримость сухого вещества корма увеличилась в I и II группах в сравнении с контролем на 3,7 и 2,6 % соответственно.

Отмечались более высокие значения количества инфузорий на 1 мл рубцовой жидкости – в 1,37 (I группа, $P \leq 0,05$) и 2,02 (II группа, $P \leq 0,001$) раза. В I опытной группе концентрация уксусной кислоты выросла на 112 % ($P \leq 0,001$), пропионовой кислоты – на 77,7 % ($P \leq 0,001$), масляной кислоты – на 76,8 % ($P \leq 0,05$), валерьяновой и капроновой кислот – на 79,8 ($P \leq 0,001$) и 75 % ($P \leq 0,05$) соответственно. Во II группе в сравнении с контролем уровень уксусной, пропионовой, масляной и валерьяновой кислот был выше на 44,3 ($P \leq 0,005$); 4,52; 12,7 и 32,6 ($P \leq 0,001$) %.

Таблица 2. Показатели рубцового пищеварения *in situ* при использовании серосодержащего органоминерального комплекса (аминокислоты+Na₂SO₄) и его комбинации с УДЧ SiO₂ (24 ч)Table 2. Indicators of ruminal digestion *in situ* when using a sulfur-containing organomineral complex (amino acids + Na₂SO₄) and its combination with UFP SiO₂ (24 h)

Показатель / <i>Indicator</i>	Группа / <i>Group</i>		
	контроль / <i>Control</i>	I	II
Количество инфузорий, тыс./мл / <i>Number of infusoria,</i> <i>thousand/ml</i>	538,9±9,62	741,5±35,3**	1 090,7±27,7***
Коэффициент переваримо- сти, % / <i>The coefficient</i> <i>of digestibility, %</i>	46,3±1,91	50±2,39	48,9±2,09
Формы азота / <i>Forms of nitrogen</i>			
Общий азот, мг% / <i>Total nitrogen, mg%</i>	81,9±3,81	147±6,45***	77,7±3,12
Небелковый азот, мг% / <i>Non-protein nitrogen, mg%</i>	18,9±0,52	30,1±0,2***	14±0,57**
Аммиачный азот, % / <i>Ammonia nitrogen, %</i>	0,0014±0,0001	0,0021±0,0001**	0,0028±0,0001***
Мочевинный азот, мг% / <i>Urea nitrogen, mg%</i>	5,25±0,28	5,29±0,4	6±0,17
Белковый азот, мг% / <i>Protein nitrogen, mg%</i>	63±1,02	116,9±0,69***	63,7±0,75
ЛЖК / <i>Volatile fatty acids</i>			
Уксусная кислота, мг/дм ³ / <i>Acetic acid, mg/dm³</i>	8,94±0,53	19±0,25***	12,9±0,26**
Пропионовая кислота, мг/дм ³ / <i>Propionic acid,</i> <i>mg/dm³</i>	6,19±0,24	11±0,49***	6,47±0,38
Масляная кислота, мг/дм ³ / <i>Butyric acid, mg/dm³</i>	9,05±0,62	16±0,69**	10,17±0,49
Валерьяновая кислота, мг/дм ³ / <i>Valerian acid, mg/dm³</i>	0,89±0,009	1,6±0,02***	1,18±0,02***
Капроновая кислота, мг/дм ³ / <i>Caproic acid, mg/dm³</i>	0,08±0,001	0,14±0,008**	0,08±0,004

Примечание: * – P≤0,05; ** – P ≤ 0,01; *** – P≤0,001

Note: * – P≤0.05; ** – P≤0.01; *** – P≤0.001

В I опытной группе в рубцовой жидкости достоверно повышалось содержание общего (+79,5 %, P≤0,001), небелкового (+52,3 %, P≤0,01), аммиачного (+50 %, P≤0,05) и белкового (+85,6 %, P≤0,001) азота. Во II группе, напротив, концентрация общего и небелкового азота была ниже на 5,13 и 25,9 % (P≤0,05), тогда как уровень аммиачного и мочевинового азота увеличился на 100 (P≤0,01) и 14,3 % соответственно.

По элементному составу рубцовой жидкости существенных изменений по группам выявлено не было (табл. 3), только в случае с комплексом аминокислот и Na₂SO₄ отмечалось повышение концентрации Ва на 74,4 (P≤0,01).

Таблица 3. Концентрация химических элементов в рубцовой жидкости крупного рогатого скота в эксперименте *in situ* при использовании серосодержащего органоминерального комплекса (аминокислоты+Na₂SO₄) и его комбинации с УДЧ SiO₂ (24 ч)

Table 3. Concentration of chemical elements in the rumen fluid *in situ* when using a sulfur-containing organomineral complex (amino acids+Na₂SO₄) and its combination with UFP SiO₂ (24 h)

Элемент / <i>Element</i>	Группа / <i>Group</i>		
	контроль / <i>Control</i>	I	II
B	0,18±0,009	0,16±0,008	0,17±0,006
Na	3 248,6±113,5	3 412,9±122,8	3 260,2±133,4
Mg	49,3±1,97	46,76±1,78	45,5±1,51
Al	1,14±0,11	1,39±0,06	1,03±0,05
P	1 292,3±40,1	1 271,3±48,3	1 300,1±44,2
K	1 397,5±46,1	1 277,13±43,4	1 415,75±49,6
Ca	35,8±1,11	33,7±1,21	35,1±1,33
Sr	0,21±0,008	0,15±0,007	0,18±0,006
Ba	0,09±0,003	0,15±0,005**	0,09±0,003
Cr	0,27±0,02	0,27±0,02	0,27±0,01
Fe	3,16±0,12	2,59±0,09	2,66±0,09
Zn	1,67±0,052	1,7±0,06	1,61±0,060
Se	0,02±0,008	0,02±0,005	0,02±0,008

Примечание: ** – P≤0,01

Note: ** – P≤0.01

Таким образом, серосодержащий органоминеральный комплекс на основе аминокислот и Na₂SO₄ интенсифицирует энергетический и азотный обмен в рубце жвачных, что подтверждается ростом концентрации ЛЖК и форм азота. Однако дополнительно включение УДЧ SiO₂ несколько нивелирует этот эффект. Обе кормовые добавки не оказывают воздействия на элементный профиль рубцовой жидкости.

Обсуждение полученных результатов.

В последние десятилетия наноматериалы нашли широкое применение в различных областях жизнедеятельности человека, в том числе и в сельском хозяйстве (Morsy EA et al., 2021). В животноводстве показаны перспективы использования наночастиц для удовлетворения потребности животных в элементах и с целью повышения их продуктивности и улучшения микробного профиля (Hidayat S et al., 2021). Особое внимание уделяется потенциалу их применения в качестве эффекторов пищеварительных процессов (Patra A and Lalhriatpuii M, 2020).

В нашем исследовании наблюдалось увеличение коэффициента переваримости в опытных группах в сравнении с контролем, что тенденциозно совпадало с ростом численности инфузорий в рубцовой жидкости. Последнее может быть вызвано комплексом факторов, связанных с микробной активностью в рубце. В метаболизме аминокислот участвует более широкий спектр микроорганизмов по сравнению с сульфатом натрия (Bento CB et al., 2015).

Проведенное нами исследование выявило определенную зависимость между изменением количества инфузорий и динамикой уровня летучих жирных кислот в рубцовой жидкости. Было также показано, что введение в рацион животных сульфата натрия и аминокислот положительно сказывается на концентрации ЛЖК, что согласуется с ранее проведенными работами (Zhao Y et al., 2020; Kong F et al., 2020).

Одним из показателей, характеризующих эффективность рубцового пищеварения, является соотношение азотистых компонентов рубцовой жидкости. Существует прямая зависимость между концентрацией аммиачной и мочевиной форм азота и уровнем распада белка в рубце (Рядчиков В.Г. и

др., 2019). В ходе проведенных нами исследований было установлено повышение содержания белкового азота в рубцовой жидкости в I группе по сравнению с контрольной группой. Увеличение белкового азота и аммиачного азота в рубцовой жидкости I и II групп свидетельствует об эффективности рубцового пищеварения и активном использовании аммиака микробиотой рубца, что также подтверждается работами других авторов (Курепин А.А. и др., 2017; Мишуров А.В., 2021).

Эффективность рубцового пищеварения напрямую зависит от жизнедеятельности симбиотических микроорганизмов и простейших (Duskaev GK et al., 2019). Бактерии играют важную роль в пищеварении жвачных животных, осуществляя расщепление и переработку сложных углеводов, таких как клетчатка. С течением времени наблюдается постепенное снижение биомассы бактерий. Эта тенденция может быть связана с активизацией микроорганизмов для участия в пищеварительных процессах в преджелудке жвачных животных или с активным прикреплением к поверхности пищевого кома (Makaeva AM et al., 2019).

Таким образом, созданные прототипы органоминеральной кормовой добавки приводили к положительным сдвигам в рубцовом метаболизме, в экспериментах *in situ*, что выражалось в улучшении таких показателей как количество инфузорий и концентрация летучих жирных кислот. В следующих исследованиях на животных *in vivo* нами был использован данный вариант прототипа органоминеральной кормовой добавки.

Заключение.

Исследование продемонстрировало благоприятное воздействие комбинированного применения изучаемых веществ на процессы рубцового пищеварения. Совместное использование ультрадисперсной формы диоксида кремния, аминокислотного комплекса и сульфата натрия оказалось эффективным в стимулировании рубцового пищеварения.

Список источников

1. Косян Д.Б., Макаева А.М. Перспектива использования наночастиц диоксида кремния для повышения переваримости кормового субстрата // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 4. С. 8-14. [Kosyan DB, Makaeva AM. The prospect of using silicon dioxide nanoparticles to increase digestibility of the feed substrate. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(4):8-14. (*In Russ.*)].
2. Красноперов А.С., Малков С.В., Верещак Н.А. Воздействие диоксида кремния на иммунологические показатели телят при эндотоксикозах // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2018. № 4. С. 234-239. [Krasnoperov AS, Malkov SV, Vereshchak NA. Influence of silicon dioxide on immunological indicators of calves in endotoxycoses. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniâ v veterinarii*. 2018;4:234-239. (*In Russ.*)]. doi: 10.17238/issn2072-6023.2018.4.234
3. Курепин А.А., Лемешевский В.О., Фурс Н.Л. Интенсивность ферментативных процессов в рубце при различном уровне структурных углеводов в рационе животных // Животноводство и ветеринарная медицина. 2017. № 4. С. 26-31. [Kurepin AA, Lemeshevsky VO, Furs NL. Intensivnost' fermentativnyh processov v rubce pri razlichnom urovne strukturnykh uglevodov v racione zhivotnyh. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2017;4:26-31. (*In Russ.*)].
4. Мишуров А.В. Влияние биологически активных веществ на рубцовый метаболизм овец // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2021. Т. 13, № 2. С. 35-41. [Mishurov AV. The influence of biologically active substances on sheep rumen metabolism. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2021;13(2):35-41. (*In Russ.*)]. doi: 10.36508/RSATU.2021.50.2.005
5. Применение сульфата натрия в рационах коров в период раздоя / А.А. Сехин, В.Н. Сурмач, З.И. Ножинская, А.Р. Пресняк // Сельское хозяйство - проблемы и перспективы: сб. науч. тр. Гродно: ГГАУ, 2023. Т. 61, С. 238-243. [Sehin AA, Surmach VN, Nozhinskaya ZI, Presnyak AR. The use of sodium sulfate in the diets of cows during the milking period. *Sel'skoe hozjajstvo - problemy i perspektivy: sb. nauch. tr. Grodno: GGAU*. 2023;61:238-243. (*In Russ.*)].

6. Распадаемость кормового белка – важный фактор эффективности использования азота и молочной продуктивности лактирующих коров / В.Г. Рядчиков, А.А. Солдатов, Е.Л. Харитонов, О.Г. Шляхова, А. Тантави, Н.С. Комарова // Эффективное животноводство. 2019. № 3(151). С. 42-48. [Ryadchikov VG, Soldatov AA, Kharitonov EL, Shlyakhova OG, Tantavi A, Komarova NS. Raspa-daemost' kormovogo belka - vazhnyj faktor jeffektivnosti ispol'zovanija azota i molochnoj produktivnosti laktirushhih korov. Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2019;3(151):42-48. (In Russ.)].
7. Abbas W, Howard JT, Paz HA, Hales KE, Wells JE, Kuehn LA, Erickson GE, Spangler ML, Fernando SC. Influence of host genetics in shaping the rumen bacterial community in beef cattle. Sci Rep. 2020;10:15101. doi: 10.1038/s41598-020-72011-9
8. Attia YA, Al-Harathi MA, Shafi ME, Abdulsalam NM, Nagadi SA, Wang J, Kim WK. Amino acids supplementation affects sustainability of productive and meat quality, survivability and nitrogen pollution of broiler chickens during the early life. Life (Basel). 2022;12(12):2100. doi: 10.3390/life12122100
9. Bento CB, de Azevedo AC, Detmann E, Mantovani HC. Biochemical and genetic diversity of carbohydrate-fermenting and obligate amino acid-fermenting hyper-ammonia-producing bacteria from Nellore steers fed tropical forages and supplemented with casein. BMC Microbiol. 2015;15:28. doi: 10.1186/s12866-015-0369-9
10. Bunglavan SJ, Garg AK, Dass RS, Shrivastava S. Use of nanoparticles as feed additives to improve digestion and absorption in livestock. Livest Res Int. 2014;2(3):36-47.
11. Clemmons BA, Voy BH, Myer PR. Altering the gut microbiome of cattle: Considerations of host-microbiome interactions for persistent microbiome manipulation. Microb Ecol. 2019;77:523-536. doi: 10.1007/s00248-018-1234-9
12. Colovic MB, Vasic VM, Djuric DM, Krstic DZ. Sulphur-containing amino acids: protective role against free radicals and heavy metals. Curr Med Chem. 2018;25(3):324-335. doi: 10.2174/0929867324666170609075434
13. Duskaev GK, Karimov IF, Levakhin GI, Nurzhanov Baer, Rysaev Albert, Dusaeva H. Ecology of ruminal microorganisms under the influence of quercus cortex extract. Int J of GEOMATE. 2019;16(55):59-66. doi: 10.21660/2019.55.4673
14. Gheller LS, Ghizzi LG, Marquesa JA, Takiya CS, Grigoletto NTS, Diasa MSS, Silva TBP, Nunes AT, Silva GG da, Fernandes LGX, Rennó L N, Rennó FP. Effects of organic acid-based products added to total mixed ration on performance and ruminal fermentation of dairy cows. Anim Feed Sci Technol. 2020;261:114406. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114406
15. Hartman SJ, Genther-Schroeder ON, Hansen SL. Comparison of trace mineral repletion strategies in feedlot steers to overcome diets containing high concentrations of sulfur and molybdenum. J Anim Sci. 2018;96(6):2504-2515. doi: 10.1093/jas/sky088
16. Hidayat C, Sumiati S, Jayanegara A, Wina E. Supplementation of dietary nano Zn-phytogenic on performance, antioxidant activity, and population of intestinal pathogenic bacteria in broiler chicken. Trop Anim Sci J. 2021;44(1):90-99. doi: 10.5398/tasj.2021.44.1.90
17. Jami E, Mizrahi I. Composition and similarity of bovine rumen microbiota across individual animals. PLoS ONE. 2012;7(3):e33306. doi: 10.1371/journal.pone.0033306
18. Kong F, Gao Y, Tang M, Fu T, Diao Q, Bi Y, Tu Y. Effects of dietary rumen-protected Lys levels on rumen fermentation and bacterial community composition in Holstein heifers. Appl Microbiol Biotechnol. 2020;104(15):6623-6634. doi: 10.1007/s00253-020-10684-y
19. Li F, Li C, Chen Y, Liu J, Zhang C, Irving B, Fitzsimmons C, Plastow G, Guan LL. Host genetics influence the rumen microbiota and heritable rumen microbial features associate with feed efficiency in cattle. Microbiome. 2019;7:92. doi: 10.1186/s40168-019-0699-1
20. Li Z, Wang X, Zhang Y, Yu Z, Zhang T, Dai X, Pan X, Jing R, Yan Y, Liu Y, Gao S, Li F, Huang Y, Tian J, Yao J, Xing X, Shi T, Ning J, Yao B, Huang H, Jiang Y. Genomic insights into the phylogeny and biomass-degrading enzymes of rumen ciliates. The ISME J. 2022;16(12):2775-2787. doi: 10.1038/s41396-022-01306-8
21. Liaqat R, Fatima S, Komal W, Minahal Q, Hussain AS. Dietary supplementation of methionine, lysine, and tryptophan as possible modulators of growth, immune response, and

disease resistance in striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*). *PLoS One*. 2024;19(4):e0301205. doi: 10.1371/journal.pone.0301205

22. Makaeva A, Atlanderova K, Miroshnikov S, Sizova E. Rumen microbiome of cattle after introduction of ultrafine particles in feed. *FEBS Open Bio*. 2019;9(S1):416. doi:10.1002/2211-5463.12675

23. Malmuthuge N, Guan LL. Understanding host-microbial interactions in rumen: searching the best opportunity for microbiota manipulation. *J Animal Sci Biotechnol*. 2017;8:8. doi: 10.1186/s40104-016-0135-3

24. McSweeney CS, Denman SE. Effect of sulfur supplements on cellulolytic rumen microorganisms and microbial protein synthesis in cattle fed a high fibre diet. *J Appl Microbiol*. 2007;103(5):1757-65. doi: 10.1111/j.1365-2672.2007.03408.x

25. Meenongyai W, Rasri K, Rodjapot S, Duangphayap T, Khejornsart P, Wongpanit K, Phongkaew P, Bashar A, Islam Z. Effect of coated cysteamine hydrochloride and probiotics supplemented alone or in combination on feed intake, nutrients digestibility, ruminal fermentation, and blood metabolites of Kamphaeng Saen beef heifers. *Trop Anim Health Prod*. 2023;55:69-78. doi: 10.1007/s11250-023-03499-2

26. Mohd Yusof H, Mohamad R, Zaidan UH, Abdul Rahman NA. Microbial synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application as an antimicrobial agent and a feed supplement in animal industry: a review. *J Anim Sci Biotechnol*. 2019;10:57. doi: 10.1186/s40104-019-0368-z

27. Morsy EA, Hussien AM, Ibrahim MA, Farroh KY, Hassanen EI. (2021). Cytotoxicity and genotoxicity of copper oxide nanoparticles in chickens. *Biol Trace Elem Res*. 2021;199:4731-4745. doi: 10.1007/s12011-021-02595-4

28. Ojha L, Malik R, Mani V, Singh AK, Singh M. Influence of silicon supplementation on growth, immunity, antioxidant, hormonal profile and bone health biomarkers in pre-ruminant crossbred calves. *Biol Trace Elem Res*. 2025;203(1):187-198. doi: 10.1007/s12011-024-04178-5

29. Oliveira LN, Pereira MAN, Oliveira CDS, Oliveira CC, Silva RB, Pereira RAN, Devries TJ, Pereira MN. Effect of low dietary concentrations of *Acacia mearnsii* tannin extract on chewing, ruminal fermentation, digestibility, nitrogen partition, and performance of dairy cows. *J Dairy Sci*. 2023;106(5):3203-3216. doi: 10.3168/jds.2022-22521

30. Patra A, Lalhriatpuii M. Progress and prospect of essential mineral nanoparticles in poultry nutrition and feeding – a review. *Biol Trace Elem Res*. 2020;197(1):233-253. doi: 10.1007/s12011-019-01959-1

31. Shin H, Jin X, Gim M, Kim Y. Inclusion of dietary nontoxic sulfur on growth performance, immune response, sulfur amino acid content and meat characteristics in growing-finishing pigs. *Anim Biosci*. 2023;36(5):776-784. doi: 10.5713/ab.22.0418

32. Soltis MP, Moorey SE, Egert-mclean AM, Voy BH, Shepherd EA, Myer PR. Rumen biogeographical regions and microbiome variation. *Microorganisms*. 2023;11(3):747-758. doi: 10.3390/microorganisms11030747

33. Stivari TSS, Raineri C, Sartorello GL, Gameiro AH, Silva JBA. Aditivos enzimáticos na alimentação de ruminantes: estratégia para a produção animal. *PUBVET*. 2014;8:1283-1415.

34. Varela AMG, Lima JR DM, Araújo TLAC, Souza JR JBF, Costa LLM, Pereira MWF, Batista NV, Melo VLL, Lima PO. The effect of propolis extract on milk production and composition, serum biochemistry, and physiological parameters of heat-stressed dairy cows. *Trop Anim Health Prod*. 2023;55:244-251. doi: 10.1007/s11250-023-03647-8

35. Zhao Y, Xie B, Gao J, Zhao G. Dietary supplementation with sodium sulfate improves rumen fermentation, fiber digestibility, and the plasma metabolome through modulation of rumen bacterial communities in steers. *Appl Environ Microbiol*. 2020;86(22):e01412-20. doi: 10.1128/AEM.01412-20

36. Zou S, Ji S, Xu H, Wang M, Li B, Shen Y, Li Y, Gao Y, Li J, Cao Y, Li Q. Rumen-Protected lysine and methionine supplementation reduced protein requirement of Holstein bulls by altering nitrogen metabolism in liver. *Animals (Basel)*. 2023;13(5):843. doi: 10.3390/ani13050843

References

1. Kosyan DB, Makaeva AM. The prospect of using silicon dioxide nanoparticles to increase digestibility of the feed substrate. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(4):8-12.
2. Krasnoperov AS, Malkov SV, Vereshchak NA. Influence of silicon dioxide on immunological indicators of calves in endotoxycoses. *Issues of Normative and Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2018;4:234-239. doi: 10.17238/issn2072-6023.2018.4.234
3. Kurepin AA, Lemeshevsky VO, Furs NL. Intensity of enzymatic processes in the logging at different levels of structural carbohydrates in the animal diet. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2017;4:26-31.
4. Mishurov AV. The influence of biologically active substances on sheep rumen metabolism. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2021;13(2):35-41. doi: 10.36508/RSATU.2021.50.2.005
5. Sehin AA, Surmach VN, Nozhinskaya ZI, Presnyak AR. The use of sodium sulfate in the diets of cows during the milking period. *Agriculture - problems and prospects: collection of scientific papers*. Grodno: GGAU. 2023;61:238-243.
6. Ryadchikov VG, Soldatov AA, Kharitonov EL, Shlyakhova OG, Tantavi A, Komarova NS. The decomposition of feed protein is an important factor in the efficiency of nitrogen use and milk productivity of lactating cows. *Efficient Animal Husbandry*. 2019;3(151):42-48.
7. Abbas W, Howard JT, Paz HA, Hales KE, Wells JE, Kuehn LA, Erickson GE, Spangler ML, Fernando SC. Influence of host genetics in shaping the rumen bacterial community in beef cattle. *Sci Rep*. 2020;10:15101. doi: 10.1038/s41598-020-72011-9
8. Attia YA, Al-Harthi MA, Shafi ME, Abdulsalam NM, Nagadi SA, Wang J, Kim WK. Amino acids supplementation affects sustainability of productive and meat quality, survivability and nitrogen pollution of broiler chickens during the early life. *Life (Basel)*. 2022;12(12):2100. doi: 10.3390/life12122100
9. Bento CB, de Azevedo AC, Detmann E, Mantovani HC. Biochemical and genetic diversity of carbohydrate-fermenting and obligate amino acid-fermenting hyper-ammonia-producing bacteria from Nellore steers fed tropical forages and supplemented with casein. *BMC Microbiol*. 2015;15:28. doi: 10.1186/s12866-015-0369-9
10. Bunglavan SJ, Garg AK, Dass RS, Shrivastava S. Use of nanoparticles as feed additives to improve digestion and absorption in livestock. *Livest Res Int*. 2014;2(3):36-47.
11. Clemmons BA, Voy BH, Myer PR. Altering the gut microbiome of cattle: Considerations of host-microbiome interactions for persistent microbiome manipulation. *Microb Ecol*. 2019;77:523-536. doi: 10.1007/s00248-018-1234-9
12. Colovic MB, Vasic VM, Djuric DM, Krstic DZ. Sulphur-containing amino acids: protective role against free radicals and heavy metals. *Curr Med Chem*. 2018;25(3):324-335. doi: 10.2174/0929867324666170609075434
13. Duskaev GK, Karimov IF, Levakhin GI, Nurzhanov Baer, Rysaev Albert, Dusaeva H. Ecology of ruminal microorganisms under the influence of quercus cortex extract. *Int J of GEOMATE*. 2019;16(55):59-66. doi: 10.21660/2019.55.4673
14. Gheller LS, Ghizzi LG, Marquesa JA, Takiya CS, Grigoletto NTS, Diasa MSS, Silva TBP, Nunes AT, Silva GG da, Fernandes LGX, Rennó L N, Rennó FP. Effects of organic acid-based products added to total mixed ration on performance and ruminal fermentation of dairy cows. *Anim Feed Sci Technol*. 2020;261:114406. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114406
15. Hartman SJ, Genther-Schroeder ON, Hansen SL. Comparison of trace mineral repletion strategies in feedlot steers to overcome diets containing high concentrations of sulfur and molybdenum. *J Anim Sci*. 2018;96(6):2504-2515. doi: 10.1093/jas/sky088
16. Hidayat C, Sumiati S, Jayanegara A, Wina E. Supplementation of dietary nano Zn-phytogenic on performance, antioxidant activity, and population of intestinal pathogenic bacteria in broiler chicken. *Trop Anim Sci J*. 2021;44(1):90-99. doi: 10.5398/tasj.2021.44.1.90
17. Jami E, Mizrahi I. Composition and similarity of bovine rumen microbiota across individual animals. *PLoS ONE*. 2012;7(3):e33306. doi: 10.1371/journal.pone.0033306

18. Kong F, Gao Y, Tang M, Fu T, Diao Q, Bi Y, Tu Y. Effects of dietary rumen-protected Lys levels on rumen fermentation and bacterial community composition in Holstein heifers. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2020;104(15):6623-6634. doi: 10.1007/s00253-020-10684-y
19. Li F, Li C, Chen Y, Liu J, Zhang C, Irving B, Fitzsimmons C, Plastow G, Guan LL. Host genetics influence the rumen microbiota and heritable rumen microbial features associate with feed efficiency in cattle. *Microbiome.* 2019;7:92. doi: 10.1186/s40168-019-0699-1
20. Li Z, Wang X, Zhang Y, Yu Z, Zhang T, Dai X, Pan X, Jing R, Yan Y, Liu Y, Gao S, Li F, Huang Y, Tian J, Yao J, Xing X, Shi T, Ning J, Yao B, Huang H, Jiang Y. Genomic insights into the phylogeny and biomass-degrading enzymes of rumen ciliates. *The ISME J.* 2022;16(12):2775-2787. doi: 10.1038/s41396-022-01306-8
21. Liaqat R, Fatima S, Komal W, Minahal Q, Hussain AS. Dietary supplementation of methionine, lysine, and tryptophan as possible modulators of growth, immune response, and disease resistance in striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*). *PLoS One.* 2024;19(4):e0301205. doi: 10.1371/journal.pone.0301205
22. Makaeva A, Atlanderova K, Miroshnikov S, Sizova E. Rumen microbiome of cattle after introduction of ultrafine particles in feed. *FEBS Open Bio.* 2019;9(S1):416. doi:10.1002/2211-5463.12675
23. Malmuthuge N, Guan LL. Understanding host-microbial interactions in rumen: searching the best opportunity for microbiota manipulation. *J Animal Sci Biotechnol.* 2017;8:8. doi: 10.1186/s40104-016-0135-3
24. McSweeney CS, Denman SE. Effect of sulfur supplements on cellulolytic rumen microorganisms and microbial protein synthesis in cattle fed a high fibre diet. *J Appl Microbiol.* 2007;103(5):1757-65. doi: 10.1111/j.1365-2672.2007.03408.x
25. Meenongyai W, Rasri K, Rodjapot S, Duangphayap T, Khejornsart P, Wongpanit K, Phongkaew P, Bashar A, Islam Z. Effect of coated cysteamine hydrochloride and probiotics supplemented alone or in combination on feed intake, nutrients digestibility, ruminal fermentation, and blood metabolites of Kamphaeng Saen beef heifers. *Trop Anim Health Prod.* 2023;55:69-78. doi: 10.1007/s11250-023-03499-2
26. Mohd Yusof H, Mohamad R, Zaidan UH, Abdul Rahman NA. Microbial synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application as an antimicrobial agent and a feed supplement in animal industry: a review. *J Anim Sci Biotechnol.* 2019;10:57. doi: 10.1186/s40104-019-0368-z
27. Morsy EA, Hussien AM, Ibrahim MA, Farroh KY, Hassanen EI. (2021). Cytotoxicity and genotoxicity of copper oxide nanoparticles in chickens. *Biol Trace Elem Res.* 2021;199:4731-4745. doi: 10.1007/s12011-021-02595-4
28. Ojha L, Malik R, Mani V, Singh AK, Singh M. Influence of silicon supplementation on growth, immunity, antioxidant, hormonal profile and bone health biomarkers in pre-ruminant crossbred calves. *Biol Trace Elem Res.* 2025;203(1):187-198. doi: 10.1007/s12011-024-04178-5
29. Oliveira LN, Pereira MAN, Oliveira CDS, Oliveira CC, Silva RB, Pereira RAN, Devries TJ, Pereira MN. Effect of low dietary concentrations of *Acacia mearnsii* tannin extract on chewing, ruminal fermentation, digestibility, nitrogen partition, and performance of dairy cows. *J Dairy Sci.* 2023;106(5):3203-3216. doi: 10.3168/jds.2022-22521
30. Patra A, Lalhriatpuii M. Progress and prospect of essential mineral nanoparticles in poultry nutrition and feeding – a review. *Biol Trace Elem Res.* 2020;197(1):233-253. doi: 10.1007/s12011-019-01959-1
31. Shin H, Jin X, Gim M, Kim Y. Inclusion of dietary nontoxic sulfur on growth performance, immune response, sulfur amino acid content and meat characteristics in growing-finishing pigs. *Anim Biosci.* 2023;36(5):776-784. doi: 10.5713/ab.22.0418
32. Soltis MP, Moorey SE, Egert-mclean AM, Voy BH, Shepherd EA, Myer PR. Rumen biogeographical regions and microbiome variation. *Microorganisms.* 2023;11(3):747-758. doi: 10.3390/microorganisms11030747
33. Stivari TSS, Raineri C, Sartorello GL, Gameiro AH, Silva JBA. Aditivos enzimáticos na alimentação de ruminantes: estratégia para a produção animal. *PUBVET.* 2014;8:1283-1415.
34. Varela AMG, Lima JR DM, Araújo TLAC, Souza JR JBF, Costa LLM, Pereira MWF, Batista NV, Melo VLL, Lima PO. The effect of propolis extract on milk production and composition, serum biochemistry, and physiological parameters of heat-stressed dairy cows. *Trop Anim Health Prod.* 2023;55:244-251. doi: 10.1007/s11250-023-03647-8

35. Zhao Y, Xie B, Gao J, Zhao G. Dietary supplementation with sodium sulfate improves rumen fermentation, fiber digestibility, and the plasma metabolome through modulation of rumen bacterial communities in steers. *Appl Environ Microbiol.* 2020;86(22):e01412-20. doi: 10.1128/AEM.01412-20

36. Zou S, Ji S, Xu H, Wang M, Li B, Shen Y, Li Y, Gao Y, Li J, Cao Y, Li Q. Rumen-Protected lysine and methionine supplementation reduced protein requirement of Holstein bulls by altering nitrogen metabolism in liver. *Animals (Basel).* 2023;13(5):843. doi: 10.3390/ani13050843

Информация об авторах:

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологических наук, руководитель отдела «Физиология, биохимия и морфология животных», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; тел.: 8-912-344-99-07.

Айна Маратовна Камирова, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела «Физиология, биохимия и морфология животных», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-922-548-44-89.

Елена Владимировна Яушева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией молекулярно-генетических исследований и металломики в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-987-850-07-15.

Даниил Евгеньевич Шошин, аспирант, лаборант-исследователь отдела «Физиология, биохимия и морфология животных», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; тел.: 8-965-932-53-67.

Марина Юрьевна Павлова, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, ул. 9 Января, г. Оренбург, д. 29, тел.: 8-922859-01-34.

Information about the authors:

Elena A Sizova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Department of Animal Physiology, Biochemistry and Morphology, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-912-344-99-07.

Ayna M Kamirova, Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Department of Animal Physiology, Biochemistry and Morphology, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-922-548-44-89.

Elena V Yausheva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Acting Head of Laboratory of Molecular Genetic Research and Metallomics in Animal Husbandry, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-987-850-07-15.

Daniil E Shoshin, Postgraduate student, Laboratory Researcher of the Department of Animal Physiology, Biochemistry and Morphology, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-965-932-53-67.

Marina Yu Pavlova, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-922859-01-34.

Статья поступила в редакцию 22.10.2024; одобрена после рецензирования 03.03.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 22.10.2024; approved after reviewing 03.03.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 21-32.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 21-32.

Научная статья
УДК 636.22/28:591.11
doi:10.33284/2658-3135-108-1-21

**Динамика клинических показателей крови телок-доноров холмогорской породы
при проведении последовательных сеансов трансвагинальной аспирации фолликулов**

**Роман Юрьевич Чинаров¹, Виктория Александровна Луканина²,
Надежда Владимировна Боголюбова³, Роман Анатольевич Рыков⁴**

^{1,2,3,4}Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
Дубровицы, Россия

¹roman_chinarov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6511-5341>

²kristybatle@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4744-7873>

³652202@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>

⁴brukw@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0228-8901>

Аннотация. Мониторинг клинических показателей крови представляет интерес для выявления возможных ранних нарушений статуса здоровья и оптимизации режима использования доноров для получения ооцитов посредством трансвагинальной УЗИ-ассистированной пункции фолликулов (ОРУ). Целью исследований явилось изучение влияния проведения последовательных сеансов ОРУ на изменчивость клинических показателей крови у телок-доноров холмогорской породы. Исследования проводили в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста на телках холмогорской породы (n=7) в возрасте 1,5 – 2-х лет. Экспериментальные исследования включали три периода. В первом периоде проводили отбор образцов крови в течение гормонально синхронизированного полового цикла на 4-, 7-, 11-, 14-, 18-, 21-ые сутки. Во втором периоде после повторной синхронизации полового цикла проводили 1-ю серию из девяти последовательных сеансов ОРУ в режиме два раза в неделю с попеременным интервалом 3 и 4 дня на 4-, 7-, 11-, 14-, 18-, 21-, 25-, 29- и 32-е сутки полового цикла. В третьем периоде после отдыха продолжительностью 1 месяц выполняли 2-ю серию из девяти последовательных сеансов ОРУ в аналогичном временном режиме. Отбор образцов крови осуществляли в дни проведения сеансов ОРУ. Определяли значения клинических показателей: число эритроцитов, средний объем эритроцита, содержание гемоглобина, гематокрит, число лейкоцитов и их распределение на лимфоциты, средние клетки, включая моноциты, базофилы, эозинофилы и их предшественники, и гранулоциты. Сравнение значений клинических показателей крови в дни проведения сеансов ОРУ с аналогичными днями полового цикла, в котором аспирацию фолликулов не проводили, в большинстве случаев, не выявили достоверных различий. Учитывая, что значения изучаемых клинических показателей крови находились в пределах значений, установленных рядом авторов, полученные данные можно рассматривать как указание на отсутствие видимого влияния интенсивного проведения ОРУ на клиническое состояние доноров. В этой связи, временной режим, предусматривающий проведение двух серий по девять последовательных сеансов ОРУ дважды в неделю с периодом отдыха между сериями 1 месяц может быть рекомендован для получения ооцитов у телок-доноров холмогорской породы.

Ключевые слова: телки-доноры, холмогорская порода, ОРУ, клинические показатели крови
Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-76-10028.

Для цитирования: Динамика клинических показателей крови телок-доноров холмогорской породы при проведении последовательных сеансов трансвагинальной аспирации фолликулов / Р.Ю. Чинаров, В.А. Луканина, Н.В. Боголюбова, Р.А. Рыков // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 21-32. [Chinarov RYu, Lukanina VA, Bogolyubova NV, Rykov RA. Dynamics of clinical blood parameters in donor heifers of the Kholmogor breed during consecutive sessions of transvaginal aspiration of follicles. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):21-32. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-21>

Original article

Dynamics of clinical blood parameters in donor heifers of the Kholmogor breed during consecutive sessions of transvaginal aspiration of follicles

Roman Yu Chinarov¹, Victoria A Lukanina², Nadezhda V Bogolyubova³, Roman A Rykov⁴

^{1,2,3,4}Federal Research Center of Animal Husbandry named after academician LK Ernst, Dubrovitsy, Russia

¹roman_chinarov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6511-5341>

²kristybatle@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4744-7873>

³652202@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>

⁴brukw@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0228-8901>

Abstract. Monitoring of clinical blood parameters is of interest to identify possible early disorders of health status and optimize the use of donors for oocytes retrieval by transvaginal ultrasound-guided follicle puncture (OPU). The aim of the research was to study the effect of consecutive OPU sessions on the variability of clinical blood parameters in donor heifers of the Kholmogor breed. The research was carried out at the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry on heifers of the Kholmogor breed (n=7) at the age of 1.5 – 2 years. The experimental studies included three periods. In the first period, blood samples were taken on the 4th, 7th, 11th, 14th, 18th and 21st days of hormonally synchronized estrus cycle. In the second period, after repeated synchronization of the estrus cycle, the 1st series of nine consecutive OPU sessions was performed twice a week with alternating intervals of 3 and 4 days on the 4th, 7th, 11th, 14th, 18th, 21st, 25th, 28th and 32nd days the estrus cycle. In the third period, after a 1-month rest period, the 2nd series of nine consecutive OPU sessions was performed in a similar timing regimen. Blood samples were collected on the days of the OPU sessions. The values of clinical parameters were determined: the number of erythrocytes, the average volume of erythrocytes, hemoglobin content, hematocrit, the number of leukocytes and their distribution into lymphocytes, medium cells, including monocytes, basophils, eosinophils and their precursors, and granulocytes. Comparison of the values of clinical blood parameters on the days of OPU sessions with similar days of the estrus cycle, in which follicle aspiration was not performed, in most cases, did not reveal significant differences. Considering that the values of the studied clinical blood parameters were within the values of the indicators observed by a number of authors, the data obtained can be considered as an indication of the absence of a visible effect of intensive OPU sessions on the clinical status of donors. In this regard, a timing regime assuming two series of nine consecutive OPU sessions twice a week with a rest period of 1 month between series can be recommended for retrieval of oocytes from donor heifers of the Kholmogor breed.

Keywords: donor heifers, Kholmogory breed, OPU, clinical blood parameters

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 24-76-10028.

For citation: Chinarov RYu, Lukanina VA, Bogolyubova NV, Rykov RA. Dynamics of clinical blood parameters in donor heifers of the Kholmogor breed during consecutive sessions of transvaginal aspiration of follicles. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):21-32. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-21>

Введение.

Интенсивное использование телок для получения ооцитов методом трансвагинальной аспирации фолликулов под ультразвуковым контролем (OPU) предусматривает проведение серии последовательных сеансов OPU в режиме дважды в неделю (Chaubal SA et al., 2006; Ding LJ et al., 2008; Чинаров Р.Ю., 2024). Для выявления возможных ранних нарушений статуса здоровья и оптимизации режима использования доноров представляет интерес проведение мониторинга клинических показателей крови. Известно, что клинические показатели крови коров характеризуются высокой вариабельностью, как между отдельными животными (Kowsar R et al., 2021; Мкртчян Г.В., 2022; Чинаров Р.Ю. и др., 2024а), так и у одних и тех же животных на различных стадиях полового

цикла (Boudjellaba S et al., 2018; Kadwal MH et al., 2023; Медетов Е.С., 2024) и в зависимости от физиологического состояния (Akhoon ZA et al., 2012; Crane EM et al., 2016).

Проведение мониторинга клинических показателей крови доноров является актуальным и в связи с выявленными ассоциациями некоторых из них с показателями результативности вспомогательных репродуктивных технологий. Так, установлены обратные зависимости между показателями содержания эритроцитов и числа фолликулов на каждом из яичников, а также общего числа фолликулов у телок истобенской породы, что обуславливало получение большего числа ооцит-кумулясных комплексов, а также ооцит-кумулясных комплексов хорошего качества (Луканина В.А. и др., 2024). Выявлены ассоциации клинических показателей крови во время проведения ОРУ с выходом эмбрионов на стадии бластоцисты (Kowsar R et al., 2021).

Цель исследования.

Исходя из вышеизложенной актуальности, целью настоящей работы явилось изучение влияния последовательных сеансов ОРУ на изменчивость клинических показателей крови у телок-доноров холмогорской породы.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Телки холмогорской породы в возрасте 1,5-2 лет нормальной упитанности.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследования выполняли в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста в 2024 г. Опытных телок (n=7) содержали беспривязно под навесами в условиях экспериментальной фермы. Все животные получали стандартный рацион, состоящий из сена и концентратов, сбалансированный по энергии, питательным и биологически активным веществам, в соответствии с нормами потребностей (Некрасов Р.В. и др., 2018). Гормональную синхронизацию полового цикла проводили с использованием схемы, описанной ранее (Чинаров Р.Ю. и др., 2024б). Планируемый день прихода телок в охоту определяли, как день 0 полового цикла. Экспериментальные исследования включали три периода. В первом периоде проводили отбор образцов крови в течение гормонально синхронизированного полового цикла. Во втором периоде после повторной синхронизации полового цикла проводили 1-ю серию из девяти последовательных сеансов ОРУ в режиме два раза в неделю с попеременным интервалом 3 и 4 дня на 4-, 7-, 11-, 14-, 18-, 21-, 25-, 29- и 32-й дни полового цикла. В третьем периоде после отдыха продолжительностью 1 месяц выполняли 2-ю серию из девяти последовательных сеансов ОРУ в аналогичном временном режиме.

Для проведения клинических исследований в дни проведения сеансов ОРУ, а также в аналогичные дни в течение гормонально синхронизированного полового цикла выполняли отбор образцов крови из хвостовой вены в одноразовые вакуумные пробирки Vacuette (GreinerBio-One, Австрия) с антикоагулянтом ЭДТА. Клинические показатели крови (число эритроцитов, $10^{12}/л$ (RBC), средний объем эритроцита, фл (MCV), содержание гемоглобина, г/л (HGB), гематокрит, % (HTC), число лейкоцитов, $10^9/л$ (WBC) и их распределение на лимфоциты (LYM), средние клетки (MID), включая моноциты, базофилы, эозинофилы и их предшественники, и гранулоциты (GRA)) определяли с использованием системных реагентов.

Оборудование и технические средства. Исследования проводили в лаборатории экспериментальной эмбриологии и в отделе физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Для проведения пункции фолликулов использовали систему для ОРУ у крупного рогатого скота (Minitube, Германия), в комплект которой входит ультразвуковой сканер ProSound 2 (Aloka, Япония), ультразвуковой секторный зонд с частотой 5 МГц (Aloka

UST-9111-5, 5 МГц/90°/14 мм) с держателем и вакуумный насос. Для поиска ооцитов использовали стереомикроскоп (Nikon, Япония). Клинический анализ крови проводили на автоматическом гематологическом анализаторе Micros CC-20 Plus (HTI, США).

Статистическая обработка полученных данных. Для статистической обработки данных использовали офисный программный комплекс «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США). Для получения сопоставимых значений с первым периодом, продолжительность которого составила 21 день, средние значения показателей для второго и третьего периодов, в которых проводились сеансы ОПУ, рассчитывали для первых шести сеансов ОПУ (на 4-, 7-, 11-, 14-, 18- и 21-й дни полового цикла). Достоверность различий в значениях клинических показателей крови между 1-й и 2-й сериями ОПУ и между различными днями отбора образцов внутри исследуемых периодов определяли с использованием непараметрического Т-критерия Вилкоксона для зависимых выборок; между первым периодом по отношению к второму и третьему периодам (вследствие различного числа наблюдений) – непараметрический критерий Манна-Уитни для независимых выборок. Различия считали значимыми при $P \leq 0,05$. Для лучшего понимания полученных цифровых значений, наряду со средними значениями проводили расчет стандартных ошибок.

Результаты исследований.

Данные о средних показателях клинических показателей крови в исследуемые периоды у телок-доноров холмогорской породы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Средние значения клинических показателей крови в исследуемые периоды у телок-доноров холмогорской породы

Table 1. Mean values of clinical blood parameters in the studied periods in donor heifers of the Kholmogor breed

Показатель / Indices	Период / Period (M±m)		
	половой цикл / Estrus cycle	1-я серия ОПУ* / 1 st series of OPU*	2-серия ОПУ* / 2 nd series of OPU*
RBC, $10^{12}/л$ / RBC, $10^{12}/л$	6,07±0,09	5,96±0,08 ^c	6,27±0,06 ^c
MCV, фл / MCV, fl	41,66±0,40	42,25±0,34	40,93±0,97
HGB, г/л / HGB, g/l	102,00±1,3	104,76±1,12	104,36±0,84
HTC, % / HTC, %	25,24±0,30 ^c	25,15±0,38 ^d	26,22±0,21 ^{c,d}
WBC, $10^9/л$ / WBC, $10^9/л$	6,41±0,22 ^c	6,84±0,20 ^d	5,72±0,23 ^{c,d}
LYM, $10^9/л$ / LYM, $10^9/л$	3,17±0,18 ^a	3,34±0,19 ^b	2,38±0,09 ^{a,b}
MID, $10^9/л$ / MID, $10^9/л$	0,39±0,02	0,48±0,03	0,48±0,04
GRA, $10^9/л$ / GRA, $10^9/л$	2,85±0,16	3,01±0,18	2,86±0,18

Примечание: М – среднее значение; m – стандартная ошибка; * – средние значения показателей для периодов, в которых проводились сеансы ОПУ, приведены для первых шести сеансов (на 4-, 7-, 11-, 14-, 18- и 21-й дни полового цикла); RBC – число эритроцитов, $10^{12}/л$; MCV – средний объем эритроцита, фл; HGB – содержание гемоглобина, г/л; HTC – гематокрит, %; WBC – число лейкоцитов, $10^9/л$; LYM – лимфоциты, $10^9/л$; MID – средние клетки, $10^9/л$; GRA – гранулоциты, $10^9/л$; различия в значениях показателя между периодами, маркированными одинаковыми надстрочными буквами, достоверны при ^{a,b} $p < 0,01$, ^{c,d} $p < 0,05$

Note: M – mean value; m – standard error; * – the mean values of the indices for the periods in which the OPU sessions were conducted are given for the first six sessions (on 4-, 7-, 11-, 14-, 18- and the 21st day of the estrus cycle); RBC – the number of red blood cells, $10^{12}/L$; MCV – the average volume of red blood cells, fl; HGB – hemoglobin content, g/L; HTC – hematocrit, %; WBC – number of leukocytes, $10^9/L$; LYM – lymphocytes, $10^9/L$; MID – medium cells, $10^9/L$; GRA – granulocytes, $10^9/L$; differences in the values of the indices between periods marked with the same superscript letters are significant at ^{a,b} $p < 0.01$, ^{c,d} $p < 0.05$

Достоверные различия между группами, маркированными одинаковыми надстрочными буквами, то есть различия были достоверны между группами половой цикл – 2-ая серия OPU (надстрочная буква c) и 1-ая и 2-ая серия OPU (надстрочная буква d). Между группами половой цикл – 1-ая серия OPU различия были недостоверны; Из-за малого размера выборки применяли непараметрическую статистику (Т-критерий Вилкоксона и U-критерий Манна-Уитни. Данные методы не используют значение ошибки для оценки достоверности различий. Ошибку приводили для облегчения интерпретации результатов.

Как следует из данных, представленных в таблице 1, значения клинических показателей крови у телок-доноров холмогорской породы, в целом, были сопоставимы со значения аналогичных показателей, установленных в исследованиях других авторов (табл. 2).

Таблица 2. Референтные значения клинических показателей крови телок и коров
Table 2. Reference values of clinical blood parameters of heifers and cows

Показатель / Indicator	Период / Period				
	Сеин О.Б. и др. (2012) / Sein OB et al. (2012)	Roland L et al. (2014)	Herman N et al. (2018)	Гусев И.В. и др.(2019) / Gusev IV et al. (2019)	Kowsar R et al. (2021)
RBC, $10^{12}/л$ / RBC, $10^{12}/l$	6,01-7,06	5,1-7,6	4,3-8,8	5,2-8,2	4,40-8,67
HGB, г/л / HGB, g/l	102,0-118,5	85-122	68-141	84-122	88-120
HTC, % / HTC, %	-	22-33	20-41	23,2-34,2	22,4-37,4
WBC, $10^9/л$ / WBC, $10^9/l$	6,83-8,33	4,9-12,0	2,9-11,6	5,3-16,6	3,49-15,09

Примечание: RBC – число эритроцитов, $10^{12}/л$; HGB – содержание гемоглобина, г/л;

HTC – гематокрит, %;

WBC – число лейкоцитов, $10^9/л$.

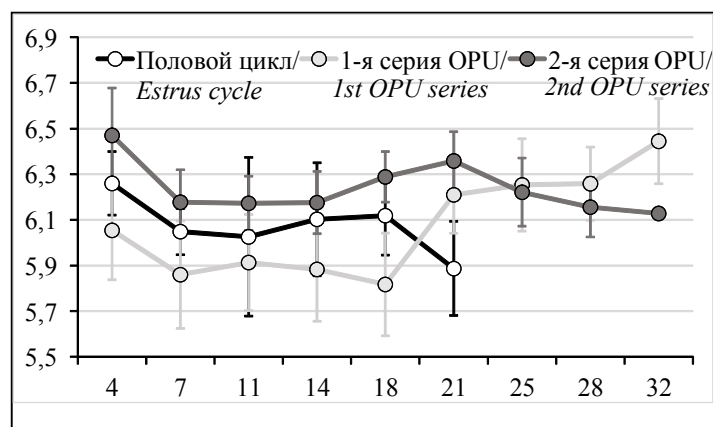
Note: RBC – number of erythrocytes, $10^{12}/L$; HGB – hemoglobin content, g/L; HTC – hematocrit, %;

WBC – number of leukocytes, $10^9/L$.

Сравнение значений клинических показателей крови между периодами эксперимента показало, что при проведении 2-й серии OPU в крови телок-доноров наблюдались достоверно более высокие значения числа эритроцитов по сравнению со значениями данного показателя при проведении 1-й серии OPU ($P \leq 0,05$). Уровень гематокрита при проведении 2-й серии OPU достоверно превышал значения показателя по сравнению с проведением 1-й серии OPU, а также с половым циклом, в котором манипуляции с яичниками не проводились. Содержание лейкоцитов в крови доноров при проведении 2-й серии OPU, напротив, было достоверно ниже ($P \leq 0,05$), при этом снижение было обусловлено, главным образом, уменьшением числа лимфоцитов ($P \leq 0,05$) (табл. 1).

Динамика числа эритроцитов, содержания гемоглобина и гематокрита показана на рисунках 1-3.

Как следует из данных, представленных на рисунке 1, число эритроцитов в течение полового цикла было минимальным на 21-й день ($5,89 \cdot 10^{12}/л$), максимальным – на 4-й день (до $6,26 \cdot 10^{12}/л$). Для сравнения в день прихода телок в охоту (день 0) содержание эритроцитов составляло $6,28 \cdot 10^{12}/л$, при этом различия между исследуемыми днями полового цикла были не достоверны. Мы не наблюдали достоверных различий в числе эритроцитов, как между периодами в аналогичные дни, так и между различными днями в каждом из периодов проведения экспериментов, что позволяет сделать вывод об отсутствии видимого влияния последовательных сеансов OPU на данный показатель (рис. 1). Следует указать на несколько более высокую вариабельность числа эритроцитов при проведении 1-й серии OPU по сравнению со 2-й серией OPU: $Cv=9,0$ против $6,0$ %. Значение коэффициента вариации числа эритроцитов в течение полового цикла при отсутствии проведения процедур OPU составило $9,1$ %.



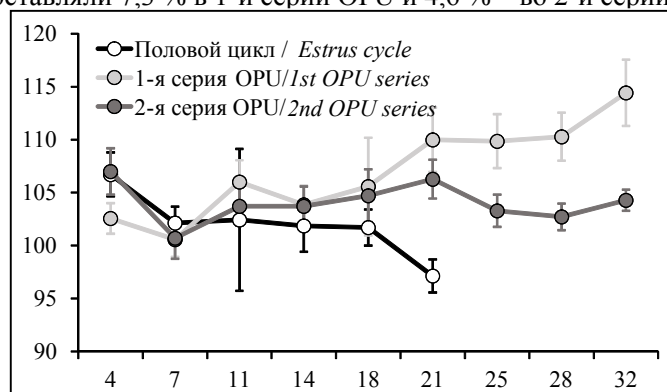
Примечание: ось X – день отбора образцов (день 0 – день прихода в охоту); ось Y – содержание эритроцитов, $10^{12}/л$; в качестве пределов погрешностей использованы значения стандартной ошибки

Note: X – axis is the day of sampling (day 0 is the day of estrus); Y – axis is the red blood cell content, $10^{12}/L$; standard error values are used as error limits

Рисунок 1. Содержание эритроцитов в дни проведения ОПУ и в аналогичные дни гормонально синхронизированного полового цикла

Figure 1. The content of red blood cells on the days of OPU session and on similar days of the hormonally synchronized estrus cycle

Анализ динамики содержания гемоглобина показал отсутствие достоверных различий между периодами эксперимента с 4-го по 18-й дни, в то время как на 21-й день (6-й сеанс ОПУ) была установлена достоверно более высокая концентрация гемоглобина в крови телок-доноров, как в 1-й, так и во 2-й сериях ОПУ по сравнению с половым циклом, в котором манипуляции с яичниками не проводились: $110,0 \pm 3,04$ г/л и $106,29 \pm 1,84$ г/л против $97,14 \pm 1,56$ г/л ($P \leq 0,01$). С 7-го по 9-й сеансы ОПУ соответственно на 25-, 28- и 32-й дни отмечалось достоверно более высокое содержание гемоглобина при проведении 1-й по сравнению со 2-й серией ОПУ: $109,86$ - $114,43$ г/л против $102,71$ - $104,29$ г/л ($P \leq 0,01$). Наибольшая вариабельность содержания гемоглобина отмечалась в первом периоде эксперимента: $C_v = 8,3\%$, в то время как при проведении процедур ОПУ значения данного показателя составляли $7,3\%$ в 1-й серии ОПУ и $4,6\%$ – во 2-й серии ОПУ.



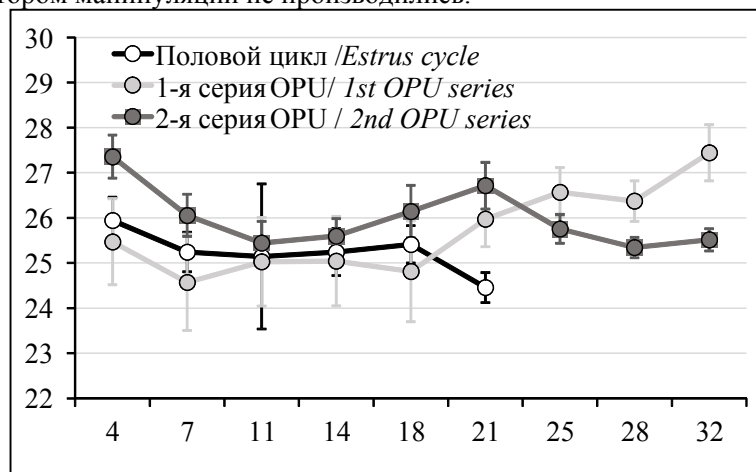
Примечание: ось X – день отбора образцов (день 0 – день прихода в охоту); ось Y – содержание гемоглобина, г/л; в качестве пределов погрешностей использованы значения стандартной ошибки

Note: X – axis is the day of sampling (day 0 is the day of estrus); Y – axis is the hemoglobin content, g/L; standard error values are used as error limits

Рисунок 2. Содержание гемоглобина в дни проведения ОПУ и в аналогичные дни гормонально синхронизированного полового цикла

Figure 2. Hemoglobin content on the days of OPU sessions and on similar days of the hormonally synchronized estrus cycle

Мы не наблюдали значительных различий в уровне гематокрита в аналогичные дни между периодами эксперимента (рис. 3). Вариабельность показателя была относительно низкой и составляла 8,9 % при проведении 1-й серии ОПУ, 4,7 % – при проведении 2-й серии ОПУ и 7,8 % – в половом цикле, в котором манипуляции не производились.

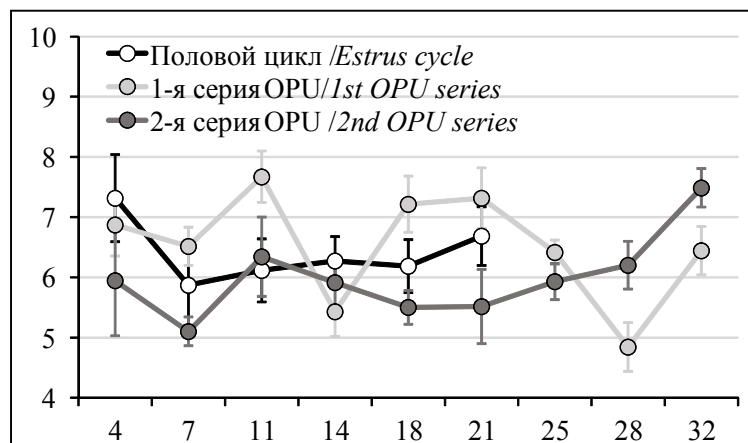


Примечание: ось X – день отбора образцов (день 0 – день прихода в охоту); ось Y – гематокрит, %; в качестве пределов погрешностей использованы значения стандартной ошибки
 Note: X – axis is the day of sampling (day 0 is the day of estrus); Y – axis is hematocrit, %; standard error values are used as error limits

Рисунок 3. Уровень гематокрита в дни проведения ОПУ и в аналогичные дни гормонально синхронизированного полового цикла

Figure 3. Hematocrit level on the days of OPU sessions and on similar days of the hormonally synchronized estrus cycle

Как показано на рисунке 4, проведение серий последовательных сеансов ОПУ не оказывало достоверного влияния на содержание лейкоцитов по сравнению с первым периодом эксперимента. С другой стороны, между двумя сериями ОПУ в ряде случаев наблюдались достоверные различия, однако в различные дни они носили разнонаправленный характер. Следует указать на существенно более высокий уровень вариабельности показателя числа лейкоцитов по сравнению с числом эритроцитов, содержанием гемоглобина и гематокрита. Значения коэффициента вариации составили $C_v=20,6$ и $23,5$ % соответственно в 1-й и 2-й сериях ОПУ и $C_v=22,7$ % – при отсутствии процедур ОПУ.



Примечание: ось X – день отбора образцов (день 0 – день прихода в охоту); ось Y – содержание лейкоцитов, $10^9/\text{л}$; в качестве пределов погрешностей использованы значения стандартной ошибки
 Note: X – axis is the day of sampling (day 0 is the day of estrus); Y – axis is the white blood cell count, $10^9/\text{L}$; standard error values are used as error limits

Рисунок 4. Содержание лейкоцитов в дни проведения ОПУ и в аналогичные дни гормонально синхронизированного полового цикла

Figure 4. White blood cell count on the days of OPU sessions and on similar days of the hormonally synchronized estrus cycle

Обсуждение полученных результатов.

Проведенные нами исследования клинических показателей крови половозрелых телок-доноров холмогорской породы при проведении двух серий из девяти последовательных сеансов ОРУ в каждой, а также в течение полового цикла, в котором манипуляции с яичниками не проводились, показали, что содержание эритроцитов, гемоглобина, гематокрита и лейкоцитов, в целом, соответствовали значениям показателей, установленных другими авторами. Так, например, у телок красно-пестрой породы содержание эритроцитов, лейкоцитов и гемоглобина в зависимости от стадии полового цикла составляло соответственно $6,01 \pm 0,25 \cdot 10^{12}/\text{л}$ - $7,06 \pm 0,12 \cdot 10^{12}/\text{л}$, $6,83 \pm 0,31 \cdot 10^9/\text{л}$ - $8,33 \pm 0,24 \cdot 10^9/\text{л}$ и $102,0 \pm 2,16$ г/л - $118,5 \pm 3,16$ г/л (Сеин О.Б. и др., 2012). У животных черно-пестрой породы содержание лейкоцитов в течение полового цикла находилось в пределах от $6,2 \cdot 10^9/\text{л}$ до $7,0 \cdot 10^9/\text{л}$ у телок и от $6,7 \cdot 10^9/\text{л}$ до $7,4 \cdot 10^9/\text{л}$ – у коров (Гладких О.А. и Оленина Н.В., 2015). Содержание лейкоцитов и гематокрит в крови нормально циклирующих лактирующих коров холмогорской породы в среднем составили соответственно $5,52 \pm 0,17 \cdot 10^9/\text{л}$ и $31,10 \pm 0,55$ % с вариациями у отдельных животных от $5,03 \cdot 10^9/\text{л}$ до $6,01 \cdot 10^9/\text{л}$ и от 27,80 до 34,49 % (Mongalev NP et al., 2020).

Проведенные нами исследования клинических показателей крови телок-доноров холмогорской породы при проведении двух последовательных серий ОРУ по сравнению с аналогичными показателями в течение полового цикла, в котором манипуляции с яичниками не проводились, показали достоверное повышение уровня гематокрита ($26,22 \pm 0,21$ против $25,24 \pm 0,30$, $P \leq 0,05$) и снижение числа лейкоцитов ($5,72 \pm 0,23 \cdot 10^9/\text{л}$ против $6,41 \pm 0,22 \cdot 10^9/\text{л}$), в том числе лимфоцитов ($2,38 \pm 0,09 \cdot 10^9/\text{л}$ против $3,17 \pm 0,18 \cdot 10^9/\text{л}$, $P \leq 0,01$) при проведении 2-й серии ОРУ. Сравнение клинических показателей крови между периодами эксперимента, в которых проводились процедуры аспирации фолликулов, показало при проведении 2-й серии ОРУ увеличение числа эритроцитов ($6,27 \pm 0,06 \cdot 10^{12}/\text{л}$ против $5,96 \pm 0,08 \cdot 10^{12}/\text{л}$, $P \leq 0,05$), гематокрита ($26,22 \pm 0,21\%$ против $25,15 \pm 0,38$ %, $P \leq 0,05$), снижение числа лейкоцитов ($5,72 \pm 0,23 \cdot 10^9/\text{л}$ против $6,84 \pm 0,20 \cdot 10^9/\text{л}$, $P \leq 0,05$), включая лимфоциты ($2,38 \pm 0,09 \cdot 10^9/\text{л}$ против $3,34 \pm 0,19 \cdot 10^9/\text{л}$, $P \leq 0,01$). Сравнение значений клинических показателей крови в дни проведения сеансов ОРУ с аналогичными днями полового цикла, в котором аспирацию фолликулов не проводили, в большинстве случаев, не выявили достоверных различий.

Заключение.

Полученные данные можно рассматривать как указание на отсутствие видимого влияния интенсивного проведения ОРУ (две серии по девять последовательных сеансов ОРУ дважды в неделю с периодом отдыха между сериями 1 месяц) на клиническое состояние доноров. В этой связи, данный временной режим может быть рекомендован для получения ооцитов у телок-доноров холмогорской породы.

Список источников

1. Гладких О.А., Оленина Н.В. Общие гематологические показатели у коров и телок во время половой активности // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 6. С. 65-67. [Gladkikh OA, Olenina NV. General hematological parameters in cows and heifers during sexual activity. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2015;6:65-67. (In Russ.)].
2. Динамика клинических показателей крови в течение полового цикла у телок-доноров различных пород / Р.Ю. Чинаров, Н.В. Боголюбова, Р.А. Рыков, В.А. Луканина // Молочное и мясное скотоводство. 2024а. № 5. С. 37-40. [Chinarov RYu, Bogolyubova NV, Rykov RA, Lukanina VA. Clinical blood parameters dynamics during the estrus cycle in different breeds donor heifers. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2024a;5:37-40. (In Russ.)]. doi: 10.33943/MMS.2024.21.59.007
3. Динамика содержания половых гормонов в крови телок-доноров истобенской породы при проведении последовательных сеансов ОРУ / Р.Ю. Чинаров, В.А. Луканина, О.С. Митяшова, Г.Н. Сингина, А.А. Сермягин, И.Ю. Лебедева // Ветеринария и

кормление. 2024б. № 4. С. 108-113. [Chinarov RYu, Lukanina VA, Mityashova OS, Singina GN, Sermyagin AA, Lebedeva IYu. Dynamics of the content of reproductive hormones in the blood of donor heifers of the Istoben breed at conducting consecutive OPU sessions. Veterinaria i kormlenie. 2024b;4:108-113. (In Russ.).]. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-4-23

4. Исследование ассоциаций клинических показателей крови с результативностью OPU у коров локальных пород / В.А. Луканина, Р.Ю. Чинаров, Р.А. Рыков, Н.В. Боголюбова, Г.Н. Сингина // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38, № 3. С. 60-66. [Lukanina VA, Chinarov RYu, Rykov RA, Bogolyubova NV, Singina GN. Association study of blood constituents with the efficiency of OPU in cows of local breeds. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2024;38(3):60-66. (In Russ.).]. doi: 10.53859/02352451_2024_38_3_60

5. Контроль биохимического статуса свиней и коров: руководство / И.В. Гусев, Н.В. Боголюбова, Р.А. Рыков, Г.Н. Левина. Дубровицы: ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2019. 41 с. [Gusev IV, Bogolyubova NV, Rykov RA, Levina GN. Kontrol biokhimicheskogo statusa sviney i korov: rukovodstvo. Dubrovitsy: VIZH im. L.K. Ernsta; 2019:41 p. (In Russ.).]

6. Медетов Е.С. Интерьерные показатели коров голштино-фризской породы при сочетанном применении крезацина и половых гормонов // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 2. С. 128-138. [Medetov ES. Interior parameters of the Holstein-Friesian cows with the combined use of krezacin and sex hormones. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):128-138. (In Russ.).]. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-128

7. Мкртчян Г.В. Клинические и биохимические показатели крови у коров разных наследственных типов // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 3-2(117). С. 30-34. [Mkrtychyan GV. Clinical and biochemical blood parameters in cows of different hereditary types. International Research Journal. 2022;3-2(117):30-34. (In Russ.).]. doi: 10.23670/IRJ.2022.117.3.043

8. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: монография / под. ред. Некрасова Р.В., Головина А.В., Махаева Е.А. М.: Российская академия наук, 2018. 290 с. [Nekrasova RV, Golovina AV, Makhaeva EA, editors. Standards requirements of dairy cattle and pigs in nutrients: monograph. Moscow: Rossijskaja akademija nauk; 2018:290 p. (In Russ.).]

9. Сеин О.Б., Фурман Ю.В., Чмыхов С.Н. Особенности половой цикличности и биохимического статуса у тёлочек в период становления половой функции // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 1. С. 108-111. [Sein OB, Furman YuV, Chmykhov SN. Osobennosti polovoj ciklichnosti i biohimicheskogo statusa u tjolok v period stanovlenija polovoj funkicii. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2012;1:108-111. (In Russ.).]

10. Чинаров Р.Ю. Развитие технологии прижизненного получения ооцитов у коров: современное состояние и направления исследований (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59. № 2. С. 194-220. [Chinarov RYu. Developing the ovum pick-up technology in cattle: state-of-the-art and research directions (review). Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2024;59(2):194-220. (In Russ.).]. doi: 10.15389/agrobiology.2024.2.194rus doi: 10.15389/agrobiology.2024.2.194eng

11. Akhoun ZA, Ahmed R, Peer FU, Sheikh GG, Shibani K. Comparative haematology of cows during oestrus period and non-oestrus period. Vet Pract. 2012;13(1):78-79.

12. Boudjellaba S, Ainouz L, Tennah S, Temim S, Iguer-Ouada M. Reproduction performance and blood biochemical parameters in dairy cows: Relationship with oxidative stress status. Veterinary World. 2018;11(6):883-888. doi: 10.14202/vetworld.2018.883-888

13. Chaubal SA, Molina JA, Ohlrichs CL, Ferre LB, Faber DC, Bols PEJ et al. Comparison of different transvaginal ovum pick-up protocols to optimise oocyte retrieval and embryo production over a 10-week period. Theriogenology. 2006;65(8): 1631-1648. doi: 10.1016/j.theriogenology.2005.07.020

14. Crane EM, Munro JC, Bourgon SL, Diel de Amorim M, Ventura R, Fredeen AH, Montanholi YR. Metabolic blood profile of beef heifers during oestrous and non-oestrous states. Reprod Domest Anim. 2016;51(5):819-826. doi: 10.1111/rda.12763

15. Ding LJ, Tian HB, Wang JJ, Chen J, Sha HY, Chen JQ, Cheng GX. Different intervals of ovum pick-up affect the competence of oocytes to support the preimplantation development of cloned bovine embryos. *Molecular Reproduction and Development*. 2008;75(12):1710-1715. doi: 10.1002/mrd.20922
16. Herman N, Trumel C, Geffré A, Braun JP, Thibault M, Schelcher F, Bourges-Abella N. Hematology reference intervals for adult cows in France using the Sysmex XT-2000iV analyzer. *J Vet Diagn Invest*. 2018;30:678-687. doi: 10.1177/1040638718790310
17. Kadwal MH, Rahmani MM., Memlawal R. Blood metabolites and hormonal profiles in dairy cows during estrus cycle in Jalalabad Afghanistan. *Nangarhar University International Journal of Biosciences*. 2023;2(01):01-14. doi: 10.70436/nuijb.v2i01.15
18. Kowsar R, Komeili M, Sadeghi N, Sadeghi K. Multistep analysis reveals the relationship between blood indices at the time of ovum pick-up and in vitro embryo production in heifers. *Theriogenology*. 2021;159:153-164. doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.10.026
19. Mongalev NP, Vasilenko TF, Rubtsova LYu. Number of lymphocytes, neutrophils in the blood and their ratio as indicators of resumption of normal estrous cycles in cows. *Problems of Productive Animal Biology*. 2020;3:82-88. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.3.82-88
20. Roland L, Drillich M, Iwersen M. Hematology as a diagnostic tool in bovine medicine. *J Vet Diagn Invest*. 2014;26(5):592-598. doi: 10.1177/1040638714546490

References

1. Gladkikh OA, Olenina NV. General hematological parameters in cows and heifers during sexual activity. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2015;6:65-67.
2. Chinarov RYu, Bogolyubova NV, Rykov RA, Lukanina VA. Clinical blood parameters dynamics during the estrus cycle in different breeds donor heifers. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2024a;5:37-40. doi: 10.33943/MMS.2024.21.59.007
3. Chinarov RYu, Lukanina VA, Mityashova OS, Singina GN, Sermyagin AA, Lebedeva IYu. Dynamics of the content of reproductive hormones in the blood of donor heifers of the Istoben breed at conducting consecutive OPU sessions. *Veterinary Science and Feeding*. 2024b;4:108-113. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-4-23
4. Lukanina VA, Chinarov RYu, Rykov RA, Bogolyubova NV, Singina GN. Association study of blood constituents with the efficiency of OPU in cows of local breeds. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2024;38(3):60-66. doi: 10.53859/02352451_2024_38_3_60
5. Gusev IV, Bogolyubova NV, Rykov RA, Levina GN. Monitoring the biochemical status of pigs and cows: a guide. *Dubrovitsy: VIZH im. L.K. Ernsta*; 2019:41 p.
6. Medetov ES. Interior parameters of the Holstein-Friesian cows with the combined use of krezacin and sex hormones. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(2):128-138. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-128
7. Mkrtchyan GV. Clinical and biochemical blood parameters in cows of different hereditary types. *International Research Journal*. 2022;3-2(117):30-34. doi: 10.23670/IRJ.2022.117.3.043
8. Nekrasova RV, Golovina AV, Makhaeva EA, editors. Standards requirements of dairy cattle and pigs in nutrients: monograph. Moscow: Russian Academy of Sciences; 2018:290 p.
9. Sein OB, Furman YuV, Chmykhov SN. Peculiarities of sexual cycle and biochemical status in heifers during the period of sexual function development. *Bulletin of the Kursk Article of the Agricultural Academy*. 2012;1:108-111.
10. Chinarov RYu. Developing the ovum pick-up technology in cattle: state-of-the-art and research directions (review). *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2024;59(2):194-220. doi: 10.15389/agrobiology.2024.2.194eng
11. Akhoon ZA, Ahmed R, Peer FU, Sheikh GG, Shibani K. Comparative haematology of cows during oestrus period and non-oestrus period. *Vet Pract*. 2012;13(1):78-79.

12. Boudjellaba S, Ainouz L, Tennah S, Temim S, Iguer-Ouada M. Reproduction performance and blood biochemical parameters in dairy cows: Relationship with oxidative stress status. *Veterinary World*. 2018;11(6):883-888. doi: 10.14202/vetworld.2018.883-888
13. Chaubal SA, Molina JA, Ohlrichs CL, Ferre LB, Faber DC, Bols PEJ et al. Comparison of different transvaginal ovum pick-up protocols to optimise oocyte retrieval and embryo production over a 10-week period. *Theriogenology*. 2006;65(8): 1631-1648. doi: 10.1016/j.theriogenology.2005.07.020
14. Crane EM, Munro JC, Bourgon SL, Diel de Amorim M, Ventura R, Fredeen AH, Montanholi YR. Metabolic blood profile of beef heifers during oestrous and non-oestrous states. *Reprod Domest Anim*. 2016;51(5):819-826. doi: 10.1111/rda.12763
15. Ding LJ, Tian HB, Wang JJ, Chen J, Sha HY, Chen JQ, Cheng GX. Different intervals of ovum pick-up affect the competence of oocytes to support the preimplantation development of cloned bovine embryos. *Molecular Reproduction and Development*. 2008;75(12):1710-1715. doi: 10.1002/mrd.20922
16. Herman N, Trumel C, Geffré A, Braun JP, Thibault M, Schelcher F, Bourges-Abella N. Hematology reference intervals for adult cows in France using the Sysmex XT-2000iV analyzer. *J Vet Diagn Invest*. 2018;30:678-687. doi: 10.1177/1040638718790310
17. Kadwal MH, Rahmani MM., Memlawal R. Blood metabolites and hormonal profiles in dairy cows during estrus cycle in Jalalabad Afghanistan. *Nangarhar University International Journal of Biosciences*. 2023;2(01):01-14. doi: 10.70436/nuijb.v2i01.15
18. Kowsar R, Komeili M, Sadeghi N, Sadeghi K. Multistep analysis reveals the relationship between blood indices at the time of ovum pick-up and in vitro embryo production in heifers. *Theriogenology*. 2021;159:153-164. doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.10.026
19. Mongalev NP, Vasilenko TF, Rubtsova LYu. Number of lymphocytes, neutrophils in the blood and their ratio as indicators of resumption of normal estrous cycles in cows. *Problems of Productive Animal Biology*. 2020;3:82-88. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbio.2020.3.82-88
20. Roland L, Drillich M, Iwersen M. Hematology as a diagnostic tool in bovine medicine. *J Vet Diagn Invest*. 2014;26(5):592-598. doi: 10.1177/1040638714546490

Информация об авторах:

Роман Юрьевич Чинаров, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник лаборатории экспериментальной эмбриологии, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская обл., г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +74967651163.

Виктория Александровна Луканина, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории экспериментальной эмбриологии, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская обл., г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +74967651163.

Надежда Владимировна Боголюбова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская обл., г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +74967651169.

Роман Анатольевич Рыков, старший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская обл., г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +74967651169.

Information about the authors:

Roman Yu Chinarov, Cand. Sci. (Veterinary), Senior Researcher at the Laboratory of Experimental Embryology, Federal Research Center for Animal Husbandry – VIZ named after Academician L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk, Moscow region, 142132, tel.: +74967651163.

Victoria A Lukanina, Cand. Sci. (Biology), Junior Researcher at the Laboratory of Experimental Embryology, Federal Research Center of Animal Husbandry – VIZ named after Academician L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk, Moscow region, 142132, tel.: +74967651163.

Nadezhda V Bogolyubova, Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center of Animal Husbandry – VIZ named after Academician L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk, Moscow region, 142132, tel.: +74967651169.

Roman A Rykov, Senior Researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center of Animal Husbandry – Academician L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk, Moscow region, 142132, tel.: +74967651169.

Статья поступила в редакцию 21.10.2024; одобрена после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 21.10.2024; approved after reviewing 26.02.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 33-49.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 33-49.

Обзорная статья

УДК 636.5:612.017.1

doi:10.33284/2658-3135-108-1-33

Факторы и модуляторы иммунной системы птиц

Юрий Константинович Петруша¹, Дмитрий Алексеевич Силин², Святослав Валерьевич Лебедев³

¹²³Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹shadow752@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8283-2972>

²dasilin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6438-139X>

³lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

Аннотация. Современное развитие птицеводства ознаменовано генетическими и селекционными достижениями, ориентированными на увеличение продуктивности и сокращение сроков выращивания. Перспективы современных исследований направлены на поиск новых технологий, способствующих повышению резистентности организма и раскрытию генетического потенциала. В представленном обзоре систематизированы данные о структурных и функциональных особенностях иммунной системы сельскохозяйственной птицы, рассмотрены этиологические факторы иммуносупрессии и проанализированы детерминанты, влияющие на формирование неспецифической резистентности организма. Представлены данные о ключевой роли эссенциальных микроэлементов, включая цинк, селен, железо, йод, марганец и медь, в регуляции иммунного статуса.

Ключевые слова: куры, несушки, бройлеры, иммунная система, иммунный ответ, микроэлементы, продуктивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-16-00070.

Для цитирования: Петруша Ю.К., Силин Д.А., Лебедев С.В. Факторы и модуляторы иммунной системы птиц (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 33-49. [Petrusha YuK, Silin DA, Lebedev SV. Factors and modulators of the avian immune system (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):33-49. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-33>

Review article

Factors and modulators of the avian immune system

Yuri K Petrusha¹, Dmitriy A Silin², Svyatoslav V Lebedev³

¹²³Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹shadow752@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8283-2972>

²dasilin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6438-139X>

³lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

Abstract. The modern development of poultry breeding is marked by genetic and breeding achievements aimed at increasing productivity and reducing rearing time. Prospects of modern research are directed to the search for new technologies that contribute to the increase of organism resistance and reveal genetic potential. The presented review systematizes data on structural and functional features of the immune system of poultry, considers etiological factors of immunosuppression and analyzes determi-

nants affecting the formation of nonspecific resistance of the organism. The data on the key role of essential trace elements, including zinc, selenium, iron, iodine, manganese and copper, in the regulation of immune status are presented.

Keywords: hens, layers, broilers, immune system, immune response, microelements, productivity

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 22-16-00070.

For citation: Petrusha YuK, Silin DA, Lebedev SV. Factors and modulators of the avian immune system (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):33-49. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-33>

Введение.

Современное развитие птицеводства ознаменовано генетическими и селекционными достижениями, направленными на увеличение продуктивности и сокращение сроков выращивания. Новые векторы исследований связаны с поиском перспективных моделей выращивания, связанных с использованием альтернативных технологий, способствующих повышению резистентности организма и раскрытию генетического потенциала (Panossian AG et al., 2021).

Стимуляция продуктивных качеств сельскохозяйственной птицы веществами различной природы опосредует напряжение обменных процессов, дисбаланс ряда веществ, иммуносупрессию и снижение продуктивного эффекта (Hafez HM and Attia YA, 2020).

Магистральным направлением в отрасли птицеводства является создание оптимальных условий поддержания иммунного статуса посредством оптимизации кормления и использования новых модуляторов различной природы (Фисинин В.И. и др., 2022), что обеспечит сохранность и производительность отрасли (Wlaźlak S et al., 2023).

Цель исследования.

Систематизация данных о структурных и функциональных особенностях иммунной системы сельскохозяйственной птицы; изучение факторов иммуносупрессии с учетом роли эссенциальных микроэлементов в поддержании иммунного гомеостаза.

Материалы и методы исследования.

Обобщение данных и стратегия электронного поиска проводились в соответствии с международными рекомендациями PRISMA. Проведен обзор опубликованных исследований в наукометрических базах PubMed, Web of Science и Scopus за период преимущественно с 2018-2024 гг.

Результаты исследования и их обсуждение.

Особенности строения иммунной системы сельскохозяйственной птицы. Сельскохозяйственная птица обладает схожим набором иммунных органов, но их функции и строение имеют отличительные особенности от иммунной системы млекопитающих (Mohamed RI et al., 2024). К центральному звену иммунной системы птиц относятся два органа – клоакальная сумка и тимус.

Клоакальная сумка имеет от двух до четырнадцати складок, в которых находятся один-два ряда фолликулов и происходит созревание В-лимфоцитов (Lee M et al., 2021; Amevor FK et al., 2021).

Тимус птиц имеет правую и левую доли, в которых на ранних этапах развития производятся и созревают Т-лимфоциты (Yan HL et al., 2020).

Оба органа центрального звена иммунной системы птиц подвергаются ранней возрастной инволюции и к началу половой зрелости тимус замещается на жировую и соединительную ткань, а клоакальная сумка полностью исчезает (Yang W et al., 2023).

К периферическому звену иммунной системы птиц относят железы третьего века, дивертикул Меккеля, селезенку и лимфоидные бляшки. Железы третьего века располагаются в глубине орбиты глаза и имеют прямое соединение с конъюнктивой тонким протоком (Davison S et al.,

2024). За счет данного строения на птиц эффективно действует аэрозольная вакцинация (Сурай П.Ф. и др., 2020).

Дивертикул Меккеля является органом пролиферации лимфоцитов. Представляет собой рудимент желточного мешка, который находится в области тощей кишки и связан с ней коротким протоком, создавая местный иммунитет пищеварительного тракта (Liu Q et al., 2020).

Селезенка в постэмбриональный период лишается функции кроветворения, оставляя за собой лишь функцию лимфопоэза, при этом дополнительно являясь хранилищем крови (Zhen W et al., 2023). Селезенка состоит из белой и красной пульпы, но, в отличие от млекопитающих, красная пульпа не выполняет функцию кроветворения, а лишь является депо форменных элементов крови. Как и другие органы иммунной системы имеет общую тенденцию разделения кроветворной и иммунной функции (Goel A, 2021).

Одно из фундаментальных различий иммунной системы птиц от млекопитающих является отсутствие инкапсулированных лимфатических узлов. Вместо этого птицы имеют диффузную лимфоидную ткань и её кластеры в отдельных органах, такие как слепки кишечные лимфоидные бляшки (Właźlak S et al., 2023; Hemida MG et al., 2021).

Факторы, влияющие на развитие иммуносупрессии у сельскохозяйственных птиц. Развитие иммуносупрессивных состояний может быть обусловлено воздействием широкого спектра факторов. Внешняя среда, такие как температура воздуха, влажность, режим освещенности и вентиляция помещения оказывает немаловажное влияние на иммунитет (Hofmann T et al., 2020). Стрессовые условия могут быть вызваны также перевозкой, сменой условий содержания, рациона кормления или недостаточного поения (Abo-Al-Ela HG et al., 2021), что, в конечном итоге вызывает активацию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, которая продуцирует гормоны, обладающие иммуносупрессивным действием (Sebastian Właźlak et al., 2023).

Организм птицы подвержен действию токсических веществ, которые могут поступать в организм из окружающей среды с воздухом, а также при поении и кормлении (Sha Md et al., 2025). Корма для птицы должны быть не только очищены от токсинов, но и содержать полноценный набор питательных веществ, аминокислот, витаминов и минералов (Adekunle LA et al., 2023).

Развитие дистресс-синдрома на фоне воздействия данных факторов приводит к подавлению как клеточного, так и гуморального звеньев иммунитета, способствуя развитию серьезных расстройств функций основных систем и появлению массовых патологий неинфекционной этиологии (Właźlak S et al., 2023). На фоне этого при большой численности поголовья птиц на ограниченной территории многократно возрастает микробное давление, что с учетом недостаточной резистентности организма способствует возникновению инфекционных болезней. Это делает невозможным достижение высокой продуктивности и получение биологически полноценной продукции высокого качества (Kulappu Arachchige SN et al., 2021; Tian Y et al., 2023).

Таким образом, в условиях повышения продуктивности, унификации кормов и воздействия различных стресс-факторов происходит снижение адаптационных возможностей организма птиц, изменение степени напряженности регуляторных процессов и, как следствие, истощение его функциональных резервов, что накладывает отпечаток на здоровье, способствует снижению иммунобиологического статуса и развитию иммунодефицитных состояний (Lebedev S et al., 2024). Для повышения устойчивости к стрессам, повышения неспецифической резистентности и адаптивности, предотвращения массовой заболеваемости, а также обеспечения высокой продуктивности учеными разрабатываются препараты с иммуномодулирующими свойствами (Phillips CJC et al., 2023). Одним из эффективных методов профилактики является введение в рацион химических элементов, оказывающих значительное влияние на иммунную систему организма (Abdel-Shafi S et al., 2023).

Роль химических элементов в поддержании иммунного гомеостаза. Микроэлементы играют центральную роль во многих метаболических процессах во всем организме и необходимы для правильного роста и развития птицы. Симптомы дефицита обычно проявляются в виде нарушений многих метаболических процессов, что приводит к снижению продуктивности, потере аппетита,

нарушениям репродуктивной функции и ослабленному иммунному ответу (Молоканова О.В., 2024).

Рассмотрим основное действие микроэлементов в иммунной системе.

Одним из таких элементов является цинк, действие которого распространяется на многие иммунные процессы в организме. Современные исследования подтвердили роль цинка в иммунном ответе птицы, что выражалось в снижении уровня окислительного стресса у бройлеров. Он принимает непосредственное участие в дифференцировке Т-хелперов 1 и 2 порядка, синтезе интерлейкина-2 (Hidayat C et al., 2020; Сизова Е.А. и др., 2023).

Исследования роли селена в организме птицы показало, что его введение повышает уровень антиоксидантной активности, а также снижает число воспалительных маркеров. Участие селена в антиоксидантной защите клеток организма, во многом, связано с синтезом глутатионпероксидазы и тиоредоксинредуктазы, которые защищают мембраны клеток от окисления (Habibian M et al., 2014; Ye X-Q et al., 2023).

Исследование железодефицитных анемий в организме птицы показало, что роль железа не заканчивается на транспорте кислорода за счет гемоглобина, так как при недостатке этого минерала начинают снижаться и количество циркулирующих лимфоцитов, а также продукция антител. Железо играет важную роль в процессе дифференцировки лимфоидных клеток и участвует в формировании реактивных форм кислорода (Lin X et al., 2020).

Введение в рацион птицы дополнительно йода также положительное влияет на иммунитет. После йодного обогащения корма были замечены улучшения в виде повышенного уровня циркулирующего в крови тироксина, а также возросшей активности естественных киллеров (NK-клеток). Роль йода состоит в синтезе тиреоидных гормонов щитовидной железы, которые в свою очередь, помимо влияния на рост и развитие организма, принимают участие в модуляции экспрессии генов, связанных с пролиферацией Т- и В-лимфоцитов (Ślupczyńska M et al., 2023).

При исследовании роли марганца в иммунитете сельскохозяйственной птицы было установлено, что он является иммуностимулятором CD4⁺ Т-хелперов Th-1 и Th-2, которые в свою очередь продуцируют интерферон-гамма (IFN- γ) и участвуют в синтезе других цитокинов. Помимо этого, марганец входит в состав супероксиддисмутазы (Mn-SOD), являющейся основным источником защиты клеток от окисления. В иммунных клетках марганец участвует в усилении передачи сигнала за счет фосфорилирования протеинкиназ, входящих в их состав (Sabaghi S et al., 2021).

В настоящее время появляется все большее количество исследований, связанных с изучением роли меди в иммунитете птицы на фоне активного изучения влияния различных форм и доз этого микроэлемента на организм. (AL-Ruwad SH et al., 2024).

Медь считается незаменимым микроэлементом в иммунном гомеостазе организма. О влиянии меди на иммунную систему ученые заявили более 50 лет назад. Учеными было обнаружено, что дефицит меди на различных моделях животных вызывает иммуносупрессию (Shirai T et al., 2023; Jett KA et al., 2023; Méndez AAE et al., 2022), что приводит к нарушению функции иммунных клеток, таких как В- (Ravikumar R et al., 2022) и Т-клетки (Petrucelli R and Polishchuk RS, 2019).

В среднем, в промышленных комбикормах содержание меди составляет 2,5 мг/кг корма (De Luca C et al., 2020), тогда как, согласно данным ученых ВНИТИП рекомендуемые гарантированные уровни введения меди находятся в пределах от 2,5 до 15 мг/кг корма в составе премикса (Егоров И. и др., 2020).

По данным сайта agriexpo.ru, в России на 2025 год для домашней птицы добавки, содержащие в себе медь поставляют 11 компаний, суммарное количество наименований которых составляет 21 позицию (Agrofeed – 2 добавки, Avitasa – 2, Farmann – 1, Lexington – 1, Power der natur GMBH – 5, Redmond minerals Inc. – 1, Royal Ilaç – 2, S.P. Veterinaria, S.A. – 1, Vital concept – 1, Zinpro corporation – 2, Zootech animal feed supplements – 3).

В таблице 1 представлены основные данные по содержанию меди в наиболее часто применяемых премиксах для сельскохозяйственной птицы.

Таблица 1. Содержание меди в премиксах
Table 1. Concentration of copper in premixes

Производитель, страна производства / <i>Manufacturer, country of production</i>	Содержание Cu в добавке, вид птицы / <i>Cu content in the supplement, type of poultry</i>
АО «Биосинтез», Литва / <i>Biosintez JSC, Lithuania</i>	10 мг/кг, цыплята-бройлеры / <i>10 mg/kg, broiler chickens</i>
ЗАО «Вит-Агро», Россия / <i>CJSC Vit-Agro, Russia</i>	10 мг/кг, цыплята-бройлеры / <i>10 mg/kg, broiler chickens</i>
«Steb Nutrition», Голландия / <i>Steb Nutrition, Netherlands</i>	2,8 мг/кг, цыплята-бройлеры / <i>2,8 mg/kg, broiler chickens</i>
ООО «Молт-Агро», Россия / <i>Molt-Agro LLC, Russia</i>	9 мг/кг, куры-несушки / <i>9 mg/kg, laying hens</i>
«Steb Nutrition», Голландия / <i>Steb Nutrition, Netherlands</i>	1,7 мг/кг, куры-несушки / <i>1,7 mg/kg, laying hens</i>

Дефицит меди восполняют различными добавками и препаратами (Weerts EAWS et al., 2021), в частности в виде сульфата или оксида, но данные формы обладают низкой усвояемостью и при введении в больших дозах их биодоступность снижается, что приводит к избыточному выведению меди с пометом, и загрязнению окружающей среды (Nys Y et al., 2018).

Большим эффектом обладает медь в органической или нано-форме (Сизова Е.А. и др., 2016). Так, при включении меди органической снижается число бактерий филума *Firmicutes* и повышалось число бактерий филума *Bacteroidetes*, а на уровне рода снижается количество бактерий *Lactobacillus*, и возрастает *Bacteroides* (Lan D et al., 2020; Deng Z et al., 2021; Forouzandeh A et al., 2021).

Введение ацетата меди в рацион сельскохозяйственной птицы приводило к увеличению бактерий рода *Lachnospiraceae*, которые являются ключевыми производителями короткоцепочных жирных кислот, участвующие в снижении риска воспалительных заболеваний кишечника, рака толстой кишки и способствуют набору мышечной массы (Vassa M et al., 2020).

Включение меди в виде УДЧ оказывает более сильное иммуномодулирующее влияние, повышает ее биодоступность, оптимизирует микробиальный фон и снижает выведение данного элемента в окружающую среду (Scott A et al., 2018; Hu Q et al., 2024).

В таблице 2 представлены основные результаты исследований ученых по действию меди на организм сельскохозяйственной птицы.

Таблица 2. Содержание меди в премиксах
Table 2. Concentration of copper in premixes

Авторы / <i>Reference</i>	Вид животного и способ введения / <i>Type of animal and route of administration</i>	Форма меди и доза введения / <i>Copper form and dose of injection</i>	Полученные результаты / <i>Obtained results</i>
1	2	3	4
Aminullah N et al., 2021	Куры Swarnadhara / <i>Hens Swarnadhara</i>	Замена 25 % неорганической меди корма на НЧ Cu / <i>Replacing 25% of the inorganic copper of the feed with NP Cu</i>	Отсутствие негативного влияния на продуктивность кур, выводимость, потомство и качество яиц / <i>No negative effect on hen performance, hatchability, reproduction and egg quality</i>

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Ognik K et al., 2016b	Цыплята-бройлеры / broiler-chickens	15 мг/л НЧ Cu, перорально / 15 mg/l NP Cu, orally	Накопление Cu, Ca, Fe, Zn в стенках кишечника и повышение концентрации Cu в плазме крови / Accumulation of Cu, Ca, Fe, Zn in intestinal walls and increase of Cu concentration in blood plasma
Mroczek-Sosnowska N et al., 2016	Цыплята-бройлеры / broiler-chickens	0,3 мл <i>in ovo</i> с концентрацией НЧ Cu 50 мг/л / 0.3 ml <i>in ovo</i> with a Cu NP concentration of 50 mg/l	Увеличение конверсии корма, массы тела, процента грудных и бедренных мышц, массы бедренной кости, снижение ломкости костей и смертности / Increased feed conversion, body weight, percentage of breast and femur muscles, femur weight, decreased bone fragility and death rate
Morsy EA et al., 2021	Цыплята-бройлеры / broiler-chickens	5-15 мг/кг корма НЧ CuO / 5-15 mg/kg feed NP CuO	Патологические изменения в мышцах и съедобных органах, коррелирующие с концентрацией меди в корме / Pathological changes in muscle and eatable organs correlating with copper concentration in feed
Фролов А.Н. и др., 2018 / Frolov AN et al., 2018	Цыплята-бройлеры / broiler-chickens	УДЧ Cu-Zn 2,84 мг/кг корма / UFP Cu-Zn 2.84 mg/kg feed	Повышение интенсивности роста, снижение пула Ni, Al и Sn на фоне увеличения пула Pb и Cd и всасывания элементов в кишечнике / Increase in growth intensity, decrease in the pool of Ni, Al and Sn against the background of increase in the pool of Pb and Cd and absorption of elements in the intestine
Курилкина М.Я. и др., 2018 / Kurilkina MY et al., 2018	Цыплята-бройлеры / broiler-chickens	Высокодисперсный комплекс 10 мг/кг Cu, 10 мг/кг Zn и 200 мг/кг Fe / Highly dispersed complex of 10 mg/kg Cu, 10 mg/kg Zn and 200 mg/kg Fe	Положительное влияние на иммунитет за счет увеличения общего белка, альбумина, количества эритроцитов и гемоглобина / Positive effect on immunity by increasing total protein, albumin, red blood cell count and hemoglobin

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Нечитайло К.С. и др., 2024 / <i>Nechitailo KS et al., 2024</i>	Цыплята-бройлеры / <i>broiler-chickens</i>	0,05 % Акстра ХАР 102 ТРТ + 1,7 мг/кг корма УДЧ Cu / <i>0.05% Akstra HAR 102 TRT + 1.7 mg/kg feed UFP Cu</i>	Улучшение питательного статуса животных и повышения производительности на фоне увеличения конверсии Cu, Li, Mn, V, Fe и снижение конверсии Co, Ni, Se / <i>Improved nutritional status of animals and increased productivity on the background of increased conversion of Cu, Li, Mn, V, Fe and decreased conversion of Co, Ni, Se</i>
Нечитайло К.С. и Сизова Е.А., 2022 / <i>Nechitailo KS and Sizova EA, 2022</i>	Цыплята-бройлеры / <i>broiler-chickens</i>	Комплексная ферментная добавка +1,7 мг/кг УДЧ Cu / <i>Complex enzyme additive +1.7 mg/kg UFP Cu</i>	Улучшение ростовых и убойных показателей, химического состава мышечной ткани / <i>Improvement of growth and slaughter indices, chemical composition of muscle tissue</i>
Сизова Е.А. и др., 2020 / <i>Sizova EA et al., 2020</i>	Цыплята-бройлеры / <i>broiler-chickens</i>	Сплав УДЧ CuZn и аспарагинаты Cu, Zn в дозе 70 % от нормы рациона / <i>CuZn UFP alloy and Cu, Zn asparaginates at a dose of 70% of the ration rate</i>	Повышение продуктивности, активности аминотрансфераз, отсутствие окислительного стресса, подтвержденное динамикой активности показателей антиоксидантной системы крови / <i>Increase productivity, activity of aminotransferases, absence of oxidative stress, confirmed by the dynamics of activity of blood antioxidant system indicators</i>

Перспективность использования микроэлементов на фоне их разнополярного влияния на морфо-биохимические показатели заключается в строгой категоричности включающие размерность, дозозависимый эффект, биобезопасность и пролонгирующие действие. После детализированной аттестации их можно будет рекомендовать к использованию в птицеводстве (Лебедев С.В. и др., 2019).

Заключение.

Проведенный анализ отечественной и иностранной литературы подчеркивает важность понимания структурно-функциональных особенностей иммунной системы сельскохозяйственной птицы; факторов, влияющих на развитие иммуносупрессии, и роли эссенциальных микроэлементов (цинка, селена, железа, йода, марганца и меди) в поддержании иммунного статуса, что является ключевым аспектом для раскрытия генетического потенциала птицы и обеспечения устойчивого развития отрасли.

Список источников

1. Влияние комбикормов со сниженным уровнем обменной энергии, лизина и метионина при использовании разных источников этих аминокислот на показатели неспецифического иммунитета, переваримость и использование основных питательных веществ и аминокислот мясными курами / В. И. Фисинин, Т. А. Егорова, И. А. Егоров и др. // Птицеводство. 2022. № 10. С. 58-63. [Fisinin VI, Egorova TA, Egorov IA. The effects of diets with reduced levels of energy, lysine, and methionine and different dietary forms of these amino acids on non-specific immunity, natural resistibility, and nutrient digestibility in broiler breeder hens. Ptitsevodstvo. 2022;10:58-63. (In Russ.)].
2. Влияние препаратов высокодисперсных металлов на морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров / М.Я. Курилкина, Т.Н. Холодилина, Д.М. Муслюмова и др. // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 3. С. 93-99. [Kurilkina MY, Kholodilina TN, Muslyumova DM. Effect of highly dispersed metals on morphological and biochemical characteristics of broiler chickens' blood. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(3):93-99. (In Russ.)].
3. Влияние хромсодержащих ультрадисперсных частиц на морфофункциональные особенности организма цыплят-бройлеров / С.В. Лебедев, И.З. Губайдуллина, И.А. Вершинина и др. // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. № 4. С. 23-32. [Lebedev SV, Gubaidullina IZ, Vershinina IA et al. The effect of chromium-containing ultrafine particles on the morphofunctional characteristics of organism of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(4):23-32. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-102-4-23
4. Молоканова О.В. Витамины и микроэлементы в кормлении птицы: важность рационального подхода // Птицеводство. 2024. № 12. С. 31-36. [Molokanova OV. Vitamins and trace elements in poultry nutrition: the importance of a rational approach. Ptitsevodstvo. 2024;73(12):31-36. (In Russ.)]. doi: 10.33845/0033-3239-2024-73-12-31-36
5. Морфо-биохимические показатели крови у бройлеров при коррекции рациона солями и наночастицами меди / Е.А. Сизова, В.Л. Королёв, Ш.А. Макаев, Е.П. Мирошникова, В.А. Шахов // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 6. С. 903-911. [Sizova EA, Korolev VL, Makaev ShA, Miroshnikova EP, Shakhov VA. Morphological and biochemical blood parameters in broilers at correction with dietary copper salts and nanoparticles. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2016;51(6):903-911. (In Russ.)]. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.903rus doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.903eng
6. Нечитайло К.С., Сизова Е.А. Оценка влияния ультрадисперсных частиц меди и комплексной ферментной добавки на продуктивные показатели цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 4. С. 8-20. [Nechitailo KS, Sizova EA. Evaluation of influence of ultrafine particles of copper and a complex enzymatic additive on productive performance of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(4):8-20. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-8
7. Нечитайло К.С., Сизова Е.А., Рязанцева К.В. Изменение элементного статуса организма цыплят-бройлеров при введении кормовой добавки на основе энзимов в комплексе с ультрадисперсной медью // Микроэлементы в медицине. 2024. Т. 25. № 2. С. 74-76. [Nechitaylo KS, Sizova EA, Ryazantseva KV. Changes in the elemental status of the organism when administered a feed additive based on enzymes in complex with ultradisperse copper. Trace Elements in Medicine. 2024;25(2):74-76. (In Russ.)]. doi: 10.19112/2413-6174-2024-25-2-33
8. Органическая форма меди в комбикормах для цыплят-бройлеров / И. Егоров, Е. Андрианова, Е. Григорьева и др. // Комбикорма. 2020. № 4. С. 37-41. [Egorov I, Andrianova E, Grigor'eva E, et al. Organicheskaya forma medi v kombikormah dlja cypljat-brojlerov. Compound feeds. 2020;4:37-41. (In Russ.)]. doi: 10.25741/2413-287X-2020-04-3-099
9. От регуляции витагенов к оптимизации иммунного ответа: новые подходы к иммуномодуляции в птицеводстве / П.Ф. Сурай, В.И. Фисинин, И.И. Кочиш // Мировое и российское птицеводство: состояние, динамика развития, инновационные перспективы: материалы XX Междунар. конф., (Сергиев Посад, 08 - 10 окт. 2020 г.). Сергиев Посад: Всероссийский научно-

исследовательский и технологический институт птицеводства, 2020. С. 56-66. [Suraj PF, Fisinin VI, Kochish II. Ot reguljacii vitagenov k optimizacii immunnogo otveta: novye podhody k immunomoduljacii v pticevodstve. Proceedings of XX international conference "Poultry production in Russia and in the world: present state, dynamics of development, prospective innovations" (Sergiev Posad, 08 - 10 okt. 2020 g.). Sergiev Posad: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij i tehnologicheskij institut pticevodstva; 2020:56-66. (*In Russ.*)].

10. Перспективность использования ультрадисперсной формы металлов в кормлении животных / Е.А. Сизова, К.С. Нечитайло, А.П. Иванищева, Н.И. Рябов // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 3. С. 177-189. [Sizova EA, Nechitailo KS, Ivanischeva AP, Ryabov NI. The prospects of using ultra-dispersed forms of metals in animal feeding. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(3):177-189. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-177

11. Сизова Е.А., Мирошников С.А., Нечитайло К.С. Эффективность различных форм цинка как иммуномодуляторов в рационах цыплят-бройлеров (*Gallus gallus* L.) // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 2. С. 373-385. [Sizova EA, Miroshnikov SA, Nechitailo KS. The effectiveness of various forms of zn as stimulators of the immune response in broiler chickens (*Gallus Gallus* L.). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2023;58(2):373-385. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2023.2.373rus doi: 10.15389/agrobiology.2023.2.373eng

12. Фролов А.Н., Нечитайло К.С., Косинова М.С. Влияние различных форм меди и цинка на элементный статус цыплят-бройлеров // Нанотехнологии в сельском хозяйстве: перспективы и риски: материалы междунар. науч.-практ. конф., (г. Оренбург, 26-27 сент. 2018 г.). Оренбург: ФНИЦ БСТ РАН, 2018. С. 158-162. [Frolov AN, Nechitailo KS, Kosinova MS. Influence of various forms of copper and zinc on the elemental status of broiler chickens. (Conference proceedings) *Nanotehnologii v sel'skom hozjajstve: perspektivy i riski: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf.*, (g. Orenburg, 26-27 sent. 2018 g.). Orenburg: FNC BST RAN; 2018:158-162. (*In Russ.*)].

13. Abdel-Shafi S, Abd El-Hack ME, Amen S, Helmi A, Swelum AA, Tellez-Isaias G, Enan G. The efficacy of some probiotics and prebiotics on the prevalence of *E. coli* and the immune response of chickens. *Poult Sci*. 2023;102(12):103219. doi: 10.1016/j.psj.2023.103219

14. Abo-Al-Ela HG, El-Kassas S, El-Naggar K, Abdo SE, Jahejo AR, Al Wakeel RA. Stress and immunity in poultry: light management and nanotechnology as effective immune enhancers to fight stress. *Cell Stress and Chaperones*. 2021;26(3):457-472. <https://doi.org/10.1007/s12192-021-01204-6>

15. Adekunle LA, Ola OO, Adesola RO, Adekunle UA, Taiwo OV, Jubril AJ, Arthur JF. The effect of micronutrient supplementation on bioavailability, antioxidants activity, and weight gain in response to Infectious Bursal Disease vaccination in commercial broilers. *Vet Anim Sci*. 2023;21:100309. doi: 10.1016/j.vas.2023.100309

16. AL-Ruwad SH, Attia AI, Abdel Monem UM, Abdel-Maksoud A, Thagfan FA, Alqahtani HA, Alkahtani AM, Salah AS, Reda FM. Dietary supplementation with copper nanoparticles enhances broiler performance by improving growth, immunity, digestive enzymes, and gut microbiota. *Poultry Science*. 2024;103(10):104026. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104026>

17. Amevor FK, Cui Z, Ning Z, Du X, Jin N, Shu G, Deng X, Zhu Q, Tian Y, Li D, Wang Y, Zhang Z, Zhao X. Synergistic effects of quercetin and vitamin E on egg production, egg quality, and immunity in aging breeder hens. *Poult Sci*. 2021;100(12):101481. doi: 10.1016/j.psj.2021.101481

18. Aminullah N, Prabhu TM, Naik J, Suresh BN, Indresh HC. Performance of Swarnadhara breeder hens supplemented with reduced levels of different copper forms. *Vet World*. 2021;14(5):1371-1379. doi: 10.14202/vetworld.2021.1371-1379

19. Davison S, Tracy L, Kelly DJ, Bender SJ, Pierdon MK, Mills J, Barnhart DJ, Licciardello S, Anis EAM, Wallner-Pendleton E, Dunn P, Robinson C, Ladman B, Kuchipudi SV. Infectious coryza in Pennsylvania. *Avian Dis*. 2024;68(3):175-182. doi: 10.1637/aviandiseases-D-23-00073

20. De Luca C, Schachner A, Mitra T, Heidl S, Liebhart D, Hess M. Fowl adenovirus (FAdV) fiber-based vaccine against inclusion body hepatitis (IBH) provides type-specific protection

guided by humoral immunity and regulation of B and T cell response. *Vet Res.* 2020;51(1):143. doi: 10.1186/s13567-020-00869-8

21. Deng Z, Han D, Wang Y, Wang Q, Yan X, Wang S, Liu X, Song W, Ma Y. *Lactobacillus casei* protects intestinal mucosa from damage in chicks caused by *Salmonella pullorum* via regulating immunity and the Wnt signaling pathway and maintaining the abundance of gut microbiota. *Poult Sci.* 2021;100(8):101283. doi: 10.1016/j.psj.2021.101283

22. Forouzandeh A, Blavi L, Abdelli N, Melo-Duran D, Vidal A, Rodríguez M, Monteiro ANTR, Pérez JF, Darwich L, Solà-Oriol D. Effects of dicopper oxide and copper sulfate on growth performance and gut microbiota in broilers. *Poultry Science.* 2021;100(8):101224. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101224>

23. Goel A. Heat stress management in poultry. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 2021;105(6):1136-1145. doi: 10.1111/jpn.13496

24. Habibian M, Ghazi S, Moeini MM, Abdolmohammadi A. Effects of dietary selenium and vitamin E on immune response and biological blood parameters of broilers reared under thermoneutral or heat stress conditions. *Int J Biometeorol.* 2014;58(5):741-752. doi: 10.1007/s00484-013-0654-y

25. Hafez HM, Attia YA. Challenges to the poultry industry: current perspectives and strategic future after the COVID-19 outbreak. *Front Vet Sci.* 2020;7:516. doi: 10.3389/fvets.2020.00516

26. Hemida MG, Al-Hammadi M, Gonzalves C, Ismail MM. The experimental infection with a field isolate of the infectious bronchitis virus from eastern Saudi Arabia resulted in seroconversion of the challenged birds with no apparent clinical diseases. *Virusdisease.* 2021;32(2):354-360. doi: 10.1007/s13337-021-00675-6

27. Hidayat C, Sumiati S, Jayanegara A, Wina E. Effect of zinc addition on the immune response and production performance of broilers: a meta-analysis. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* 2020;33(3): 465-479. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0146>

28. Hofmann T, Schmucker SS, Bessei W, Grashorn M, Stefanski V. Impact of housing environment on the immune system in chickens: a review. *Animals (Basel).* 2020;10(7):1138. doi: 10.3390/ani10071138

29. Hu Q, Zhang T, He H, Pu F, Zhang R, Li L, Hu J, Bai L, Han C, Wang J, Liu H. Impacts of longitudinal water curtain cooling system on transcriptome-related immunity in ducks. *BMC Genomics.* 2024;25(1):333. doi: 10.1186/s12864-024-10179-4

30. Jett KA, Baker ZN, Hossain A, Boulet A, Cobine PA, Ghosh S, Ng P, Yilmaz O, Barreto K, DeCoteau J, Mochoruk K, Ioannou GN, Savard C, Yuan S, Abdalla OH, Lowden C, Kim BE, Cheng HM, Battersby BJ, Gohil VM, Leary SC. Mitochondrial dysfunction reactivates α -fetoprotein expression that drives copper-dependent immunosuppression in mitochondrial disease models. *J Clin Invest.* 2023;133(1):e154684. doi: 10.1172/JCI154684

31. Kulappu Arachchige SN, Kanci Condello A, Zhu L, Shil PK, Tivendale KA, Underwood GJ, Noormohammadi AH, Browning GF, Wawegama NK. Effects of immunosuppression on the efficacy of vaccination against *Mycoplasma gallisepticum* infection in chickens. *Vet Microbiol.* 2021;260:109182. doi: 10.1016/j.vetmic.2021.109182

32. Lan D, Xun X, Hu Y, Li N, Yang C, Jiang X, Liu Y. Research on the effect of *Pediococcus pentosaceus* on *Salmonella enteritidis*-infected chicken. *Biomed Res Int.* 2020;2020:6416451. doi: 10.1155/2020/6416451

33. Lebedev S, Kazakova T, Marshinskaia O. Influence of feed supplementation with probiotic and organic form of zinc on functional status of broiler chickens. *Open Vet J.* 2024;14(9):2181-2191. doi: 10.5455/OVJ.2024.v14.i9.7

34. Lee M, Hosseindoust A, Oh S, Ko H, Cho E, Sa S, Kim Y, Choi J, Kim J. Impact of an anti-*Salmonella*. Typhimurium bacteriophage on intestinal microbiota and immunity status of laying hens. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 2021;105(5):952-959. doi: 10.1111/jpn.13424

35. Lin X, Gou Z, Wang Y, Li L, Fan Q, Ding F, Zheng C, Jiang S. Effects of dietary iron level on growth performance, immune organ indices and meat quality in chinese yellow broilers. *Animals* (Basel). 2020;10(4):670. doi: 10.3390/ani10040670
36. Liu Q, Yang J, Huang X, Liu Y, Han K, Zhao D, Zhang L, Li Y. Transcriptomic profile of chicken bone marrow-derive dendritic cells in response to H9N2 avian influenza A virus. *Vet Immunol Immunopathol.* 2020;220:109992. doi: 10.1016/j.vetimm.2019.109992
37. Méndez AAE, Mendoza JI, Echarren ML, Terán I, Checa SK, Soncini FC. Evolution of copper homeostasis and virulence in salmonella. *Front Microbiol.* 2022;13:823176. doi: 10.3389/fmicb.2022.823176
38. Mohamed RI, Elsamadony HA, Alghamdi RA, Eldin ALAZ, El-Shemy A, Abdel-Moez Amer S, Bahshwan SMA, El-Saadony MT, El-Sayed HS, El-Tarabily KA, Saad ASA. Molecular and pathological screening of the current circulation of fowlpox and pigeon pox virus in backyard birds. *Poult Sci.* 2024;103(12):104249. doi: 10.1016/j.psj.2024.104249
39. Morsy EA, Hussien AM, Ibrahim MA, Farroh KY, Hassanen EI. Cytotoxicity and genotoxicity of copper oxide nanoparticles in chickens. *Biol Trace Elem Res.* 2021;199(12):4731-4745. doi: 10.1007/s12011-021-02595-4
40. Mroczek-Sosnowska N, Łukasiewicz M, Wnuk A, Sawosz E, Niemiec J, Skot A, Jaworski S, Chwalibog A. In ovo administration of copper nanoparticles and copper sulfate positively influences chicken performance: *J Sci Food Agric.* 2016;96(9):3058-3062. doi: 10.1002/jsfa.7477
41. Nys Y, Schlegel P, Durosoy S, Jondreville C, Narcy A. Adapting trace mineral nutrition of birds for optimizing the environment and poultry product quality. *World's Poult Sci J.* 2018;74(02):225-238. doi: 10.1017/S0043933918000016
42. Ognik K, Stępniewska A, Cholewińska E, Kozłowski K. The effect of administration of copper nanoparticles to chickens in drinking water on estimated intestinal absorption of iron, zinc, and calcium. *Poult Sci.* 2016;95(9):2045-2051. doi: 10.3382/ps/pew200
43. Panossian AG, Efferth T, Shikov AN, Pozharitskaya ON, Kuchta K, Mukherjee PK, Banerjee S, Heinrich M, Wu W, Guo DA, Wagner H. Evolution of the adaptogenic concept from traditional use to medical systems: Pharmacology of stress- and aging-related diseases. *Med Res Rev.* 2021;41(1):630-703. doi: 10.1002/med.21743
44. Petruzzelli R, Polishchuk RS. Activity and trafficking of copper-transporting ATPases in tumor development and defense against platinum-based drugs. *Cells.* 2019;8(9):1080. doi: 10.3390/cells8091080
45. Phillips CJC, Hosseintabar-Ghasemabad B, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Mosolov AA, Seidavi A. Immunomodulatory effects of natural feed additives for meat chickens. *Life* (Basel). 2023;13(6):1287. doi: 10.3390/life13061287
46. Ravikumar R, Chan J, Prabakaran M. Vaccines against major poultry viral diseases: strategies to improve the breadth and protective efficacy. *Viruses.* 2022;14(6):1195. doi: 10.3390/v14061195
47. Sabaghi S, Razmyar J, Heidarpour M. Effects of nano-manganese on humoral immune response and oxidative stress in broilers. *Vet Res Forum.* 2021;12(4):487-491. doi: 10.30466/vrf.2020.114233.2716
48. Scott A, Vadalasetty KP, Chwalibog A, Sawosz E. Copper nanoparticles as an alternative feed additive in poultry diet: A review. *Nanotechnol. Rev.* 2018;7(1):69-93. doi: 10.1515/ntrev-2017-0159
49. Sha Md Shahan Shahriar, Nazmul Haque, Tafsir Hasan, Md Tasif Amir Sufal, Mohammad Tariqul Hassan, Mahfujul Hasan, Sayed MA Salam, Heavy metal pollution in poultry feeds and broiler chickens in Bangladesh. *Toxicology Reports.* 2025;14:101932. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2025.101932>
50. Shirai T, Nakai A, Ando E, Fujimoto J, Leach S, Arimori T, Higo D, van Eerden FJ, Tulyeu J, Liu YC, Okuzaki D, Murayama MA, Miyata H, Nunomura K, Lin B, Tani A, Kumanogoh A, Ikawa M, Wing JB, Standley DM, Takagi J, Suzuki K. Celastrol suppresses hu-

moral immune responses and autoimmunity by targeting the COMMD3/8 complex. *Sci Immunol.* 2023;8(81):eadc9324. doi: 10.1126/sciimmunol.adc9324

51. Słupczyńska M, Jamroz D, Orda J, Wiliczekiewicz A, Kuropka P, Król B. The thyroid hormone and immunoglobulin concentrations in blood serum and thyroid gland morphology in young hens fed with different diets, sources, and levels of iodine supply. *Animals.* 2023;13(1):158. <https://doi.org/10.3390/ani13010158>

52. Tian Y, Ma X, Jiang Y, Han J, Zhang R, Xu X, Zhang W, Man C. Circular RNA circAKIRIN2 participates in the process of stress-induced immunosuppression affecting immune response to infectious bursal disease virus vaccine in chicken. *Vet Microbiol.* 2023;281:109746. doi: 10.1016/j.vetmic.2023.109746

53. Vacca M, Celano G, Calabrese FM, Portincasa P, Gobetti M, De Angelis M. The controversial role of human gut Lachnospiraceae. *Microorganisms.* 2020;8(4):573. doi: 10.3390/microorganisms8040573

54. Weerts EAWS, Matthijs MGR, Bonhof J, van Haarlem DA, Dwars RM, Gröne A, Verheijje MH, Jansen CA. The contribution of the immune response to enhanced colibacillosis upon preceding viral respiratory infection in broiler chicken in a dual infection model. *Vet Immunol Immunopathol.* 2021;238:110276. doi: 10.1016/j.vetimm.2021.110276

55. Właźlak S, Pietrzak E, Biesek J, Dunisławska A. Modulation of the immune system of chickens a key factor in maintaining poultry production – a review. *Poultry Science.* 2023;102(8):102785. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102785>

56. Yan HL, Cao SC, Hu YD, Zhang HF, Liu JB. Effects of methylsulfonylmethane on growth performance, immunity, antioxidant capacity, and meat quality in Pekin ducks. *Poult Sci.* 2020;99(2):1069-1074. doi: 10.1016/j.psj.2019.10.002

57. Yang W, Liu X, Wang X. The immune system of chicken and its response to H9N2 avian influenza virus. *Vet Q.* 2023;43(1):1-14. doi: 10.1080/01652176.2023.2228360

58. Ye X-Q, Zhu Y-R, Yang Y-Y, Qiu S-J, Liu W-C. Biogenic selenium nanoparticles synthesized with alginate oligosaccharides alleviate heat stress-induced oxidative damage to organs in broilers through activating Nrf2-mediated anti-oxidation and anti-ferroptosis pathways. *Antioxidants* 2023;12(11):1973. <https://doi.org/10.3390/antiox12111973>

59. Zhen W, Zhu T, Wang P, Guo F, Zhang K, Zhang T, Jalukar S, Zhang Y, Bai D, Zhang C, Guo Y, Wang Z, Ma Y. Effect of dietary *Saccharomyces*-derived prebiotic refined functional carbohydrates as antibiotic alternative on growth performance and intestinal health of broiler chickens reared in a commercial farm. *Poult Sci.* 2023;102(6):102671. doi: 10.1016/j.psj.2023.102671

References

1. Fisinin VI, Egorova TA, Egorov IA. The effects of diets with reduced levels of energy, lysine, and methionine and different dietary forms of these amino acids on non-specific immunity, natural resistibility, and nutrient digestibility in broiler breeder hens. *Poultry Farming.* 2022;10:58-63.

2. Kurilkina MY, Kholodilina TN, Muslyumova DM. Effect of highly dispersed metals on morphological and biochemical characteristics of broiler chickens' blood. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2018;101(3):93-99.

3. Lebedev SV, Gubaidullina IZ, Vershinina IA et al. The effect of chromium-containing ultrafine particles on the morphofunctional characteristics of organism of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2019;102(4):23-32. doi: 10.33284/2658-3135-102-4-23

4. Molokanova OV. Vitamins and trace elements in poultry nutrition: the importance of a rational approach. *Poultry Farming.* 2024;73(12):31-36. doi: 10.33845/0033-3239-2024-73-12-31-36

5. Sizova EA, Korolev VL, Makaev ShA, Miroshnikova EP, Shakhov VA. Morphological and biochemical blood parameters in broilers at correction with dietary copper salts and

nanoparticles. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2016;51(6):903-911. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.903eng

6. Nechitailo KS, Sizova EA. Evaluation of influence of ultrafine particles of copper and a complex enzymatic additive on productive performance of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(4):8-20. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-8

7. Nechitaylo KS, Sizova EA, Ryazantseva KV. Changes in the elemental status of the organism when administered a feed additive based on enzymes in complex with ultradisperse copper. Trace Elements in Medicine. 2024;25(2):74-76. doi: 10.19112/2413-6174-2024-25-2-33

8. Egorov I, Andrianova E, Grigor'eva E, et al. Organic form of copper in mixed fodder for broiler chickens. Compound feeds. 2020;4:37-41. doi: 10.25741/2413-287X-2020-04-3-099

9. Suraj PF, Fisinin VI, Kochish II. From regulation of vitagens to optimization of immune response: new approaches to immunomodulation in poultry farming. Proceedings of XX international conference "Poultry production in Russia and in the world: present state, dynamics of development, prospective innovations" (Sergiev Posad, 08 - 10 October 2020). Sergiev Posad: All-Russian Research and Technological Institute of Poultry Farming; 2020:56-66.

10. Sizova EA, Nechitailo KS, Ivanischeva AP, Ryabov NI. The prospects of using ultra-dispersed forms of metals in animal feeding. Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(3):177-189. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-177

11. Sizova EA, Miroshnikov SA, Nechitailo KS. The effectiveness of various forms of zn as stimulators of the immune response in broiler chickens (*Gallus Gallus* L.). Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2023;58(2):373-385. doi: 10.15389/agrobiology.2023.2.373eng

12. Frolov AN, Nechitailo KS, Kosinova MS. Influence of various forms of copper and zinc on the elemental status of broiler chickens. (Conference proceedings) Nanotechnologies in agriculture: prospects and risks: materials of the international scientific and practical conference, (Orenburg, 26-27 September 2018). Orenburg: FRC BST RAS; 2018:158-162.

13. Abdel-Shafi S, Abd El-Hack ME, Amen S, Helmi A, Swelum AA, Tellez-Isaias G, Enan G. The efficacy of some probiotics and prebiotics on the prevalence of *E. coli* and the immune response of chickens. Poult Sci. 2023;102(12):103219. doi: 10.1016/j.psj.2023.103219

14. Abo-Al-Ela HG, El-Kassas S, El-Naggar K, Abdo SE, Jahejo AR, Al Wakeel RA. Stress and immunity in poultry: light management and nanotechnology as effective immune enhancers to fight stress. Cell Stress and Chaperones. 2021;26(3):457-472. <https://doi.org/10.1007/s12192-021-01204-6>

15. Adekunle LA, Ola OO, Adesola RO, Adekunle UA, Taiwo OV, Jubril AJ, Arthur JF. The effect of micronutrient supplementation on bioavailability, antioxidants activity, and weight gain in response to Infectious Bursal Disease vaccination in commercial broilers. Vet Anim Sci. 2023;21:100309. doi: 10.1016/j.vas.2023.100309

16. AL-Ruwad SH, Attia AI, Abdel Monem UM, Abdel-Maksoud A, Thagfan FA, Alqahtani HA, Alkahtani AM, Salah AS, Reda FM. Dietary supplementation with copper nanoparticles enhances broiler performance by improving growth, immunity, digestive enzymes, and gut microbiota. Poultry Science. 2024;103(10):104026. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104026>

17. Amevor FK, Cui Z, Ning Z, Du X, Jin N, Shu G, Deng X, Zhu Q, Tian Y, Li D, Wang Y, Zhang Z, Zhao X. Synergistic effects of quercetin and vitamin E on egg production, egg quality, and immunity in aging breeder hens. Poult Sci. 2021;100(12):101481. doi: 10.1016/j.psj.2021.101481

18. Aminullah N, Prabhu TM, Naik J, Suresh BN, Indresh HC. Performance of Swarnadhara breeder hens supplemented with reduced levels of different copper forms. Vet World. 2021;14(5):1371-1379. doi: 10.14202/vetworld.2021.1371-1379

19. Davison S, Tracy L, Kelly DJ, Bender SJ, Pierdon MK, Mills J, Barnhart DJ, Licciardello S, Anis EAM, Wallner-Pendleton E, Dunn P, Robinson C, Ladman B, Kuchipudi SV. Infectious coryza in Pennsylvania. Avian Dis. 2024;68(3):175-182. doi: 10.1637/aviandiseases-D-23-00073

20. De Luca C, Schachner A, Mitra T, Heidl S, Liebhart D, Hess M. Fowl adenovirus (FAdV) fiber-based vaccine against inclusion body hepatitis (IBH) provides type-specific protection

guided by humoral immunity and regulation of B and T cell response. *Vet Res.* 2020;51(1):143. doi: 10.1186/s13567-020-00869-8

21. Deng Z, Han D, Wang Y, Wang Q, Yan X, Wang S, Liu X, Song W, Ma Y. *Lactobacillus casei* protects intestinal mucosa from damage in chicks caused by *Salmonella pullorum* via regulating immunity and the Wnt signaling pathway and maintaining the abundance of gut microbiota. *Poult Sci.* 2021;100(8):101283. doi: 10.1016/j.psj.2021.101283

22. Forouzandeh A, Blavi L, Abdelli N, Melo-Duran D, Vidal A, Rodríguez M, Monteiro ANTR, Pérez JF, Darwich L, Solà-Oriol D. Effects of dicopper oxide and copper sulfate on growth performance and gut microbiota in broilers. *Poultry Science.* 2021;100(8):101224. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101224>

23. Goel A. Heat stress management in poultry. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 2021;105(6):1136-1145. doi: 10.1111/jpn.13496

24. Habibian M, Ghazi S, Moeini MM, Abdolmohammadi A. Effects of dietary selenium and vitamin E on immune response and biological blood parameters of broilers reared under thermoneutral or heat stress conditions. *Int J Biometeorol.* 2014;58(5):741-752. doi: 10.1007/s00484-013-0654-y

25. Hafez HM, Attia YA. Challenges to the poultry industry: current perspectives and strategic future after the COVID-19 outbreak. *Front Vet Sci.* 2020;7:516. doi: 10.3389/fvets.2020.00516

26. Hemida MG, Al-Hammadi M, Gonzalves C, Ismail MM. The experimental infection with a field isolate of the infectious bronchitis virus from eastern Saudi Arabia resulted in seroconversion of the challenged birds with no apparent clinical diseases. *Virusdisease.* 2021;32(2):354-360. doi: 10.1007/s13337-021-00675-6

27. Hidayat C, Sumiati S, Jayanegara A, Wina E. Effect of zinc addition on the immune response and production performance of broilers: a meta-analysis. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* 2020;33(3): 465-479. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0146>

28. Hofmann T, Schmucker SS, Bessei W, Grashorn M, Stefanski V. Impact of housing environment on the immune system in chickens: a review. *Animals (Basel).* 2020;10(7):1138. doi: 10.3390/ani10071138

29. Hu Q, Zhang T, He H, Pu F, Zhang R, Li L, Hu J, Bai L, Han C, Wang J, Liu H. Impacts of longitudinal water curtain cooling system on transcriptome-related immunity in ducks. *BMC Genomics.* 2024;25(1):333. doi: 10.1186/s12864-024-10179-4

30. Jett KA, Baker ZN, Hossain A, Boulet A, Cobine PA, Ghosh S, Ng P, Yilmaz O, Barreto K, DeCoteau J, Mochoruk K, Ioannou GN, Savard C, Yuan S, Abdalla OH, Lowden C, Kim BE, Cheng HM, Battersby BJ, Gohil VM, Leary SC. Mitochondrial dysfunction reactivates α -fetoprotein expression that drives copper-dependent immunosuppression in mitochondrial disease models. *J Clin Invest.* 2023;133(1):e154684. doi: 10.1172/JCI154684

31. Kulappu Arachchige SN, Kanci Condello A, Zhu L, Shil PK, Tivendale KA, Underwood GJ, Noormohammadi AH, Browning GF, Wawegama NK. Effects of immunosuppression on the efficacy of vaccination against *Mycoplasma gallisepticum* infection in chickens. *Vet Microbiol.* 2021;260:109182. doi: 10.1016/j.vetmic.2021.109182

32. Lan D, Xun X, Hu Y, Li N, Yang C, Jiang X, Liu Y. Research on the effect of *Pediococcus pentosaceus* on *Salmonella enteritidis*-infected chicken. *Biomed Res Int.* 2020;2020:6416451. doi: 10.1155/2020/6416451

33. Lebedev S, Kazakova T, Marshinskaia O. Influence of feed supplementation with probiotic and organic form of zinc on functional status of broiler chickens. *Open Vet J.* 2024;14(9):2181-2191. doi: 10.5455/OVJ.2024.v14.i9.7

34. Lee M, Hosseindoust A, Oh S, Ko H, Cho E, Sa S, Kim Y, Choi J, Kim J. Impact of an anti-*Salmonella* Typhimurium bacteriophage on intestinal microbiota and immunity status of laying hens. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 2021;105(5):952-959. doi: 10.1111/jpn.13424

35. Lin X, Gou Z, Wang Y, Li L, Fan Q, Ding F, Zheng C, Jiang S. Effects of dietary iron level on growth performance, immune organ indices and meat quality in chinese yellow broilers. *Animals* (Basel). 2020;10(4):670. doi: 10.3390/ani10040670
36. Liu Q, Yang J, Huang X, Liu Y, Han K, Zhao D, Zhang L, Li Y. Transcriptomic profile of chicken bone marrow-derive dendritic cells in response to H9N2 avian influenza A virus. *Vet Immunol Immunopathol.* 2020;220:109992. doi: 10.1016/j.vetimm.2019.109992
37. Méndez AAE, Mendoza JI, Echarren ML, Terán I, Checa SK, Soncini FC. Evolution of copper homeostasis and virulence in salmonella. *Front Microbiol.* 2022;13:823176. doi: 10.3389/fmicb.2022.823176
38. Mohamed RI, Elsamadony HA, Alghamdi RA, Eldin ALAZ, El-Shemy A, Abdel-Moez Amer S, Bahshwan SMA, El-Saadony MT, El-Sayed HS, El-Tarabily KA, Saad ASA. Molecular and pathological screening of the current circulation of fowlpox and pigeon pox virus in backyard birds. *Poult Sci.* 2024;103(12):104249. doi: 10.1016/j.psj.2024.104249
39. Morsy EA, Hussien AM, Ibrahim MA, Farroh KY, Hassanen EI. Cytotoxicity and genotoxicity of copper oxide nanoparticles in chickens. *Biol Trace Elem Res.* 2021;199(12):4731-4745. doi: 10.1007/s12011-021-02595-4
40. Mroczek-Sosnowska N, Łukasiewicz M, Wnuk A, Sawosz E, Niemiec J, Skot A, Jaworski S, Chwalibog A. In ovo administration of copper nanoparticles and copper sulfate positively influences chicken performance: *J Sci Food Agric.* 2016;96(9):3058-3062. doi: 10.1002/jsfa.7477
41. Nys Y, Schlegel P, Durosoy S, Jondreville C, Narcy A. Adapting trace mineral nutrition of birds for optimizing the environment and poultry product quality. *World's Poult Sci J.* 2018;74(02):225-238. doi: 10.1017/S0043933918000016
42. Ognik K, Stępniewska A, Cholewińska E, Kozłowski K. The effect of administration of copper nanoparticles to chickens in drinking water on estimated intestinal absorption of iron, zinc, and calcium. *Poult Sci.* 2016;95(9):2045-2051. doi: 10.3382/ps/pew200
43. Panossian AG, Efferth T, Shikov AN, Pozharitskaya ON, Kuchta K, Mukherjee PK, Banerjee S, Heinrich M, Wu W, Guo DA, Wagner H. Evolution of the adaptogenic concept from traditional use to medical systems: Pharmacology of stress- and aging-related diseases. *Med Res Rev.* 2021;41(1):630-703. doi: 10.1002/med.21743
44. Petruzzelli R, Polishchuk RS. Activity and trafficking of copper-transporting ATPases in tumor development and defense against platinum-based drugs. *Cells.* 2019;8(9):1080. doi: 10.3390/cells8091080
45. Phillips CJC, Hosseintabar-Ghasemabad B, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Mosolov AA, Seidavi A. Immunomodulatory effects of natural feed additives for meat chickens. *Life* (Basel). 2023;13(6):1287. doi: 10.3390/life13061287
46. Ravikumar R, Chan J, Prabakaran M. Vaccines against major poultry viral diseases: strategies to improve the breadth and protective efficacy. *Viruses.* 2022;14(6):1195. doi: 10.3390/v14061195
47. Sabaghi S, Razmyar J, Heidarpour M. Effects of nano-manganese on humoral immune response and oxidative stress in broilers. *Vet Res Forum.* 2021;12(4):487-491. doi: 10.30466/vrf.2020.114233.2716
48. Scott A, Vadalasetty KP, Chwalibog A, Sawosz E. Copper nanoparticles as an alternative feed additive in poultry diet: A review. *Nanotechnol. Rev.* 2018;7(1):69-93. doi: 10.1515/ntrev-2017-0159
49. Sha Md Shahan Shahriar, Nazmul Haque, Tafsir Hasan, Md Tasif Amir Sufal, Mohammad Tariqul Hassan, Mahfujul Hasan, Sayed MA Salam, Heavy metal pollution in poultry feeds and broiler chickens in Bangladesh. *Toxicology Reports.* 2025;14:101932. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2025.101932>
50. Shirai T, Nakai A, Ando E, Fujimoto J, Leach S, Arimori T, Higo D, van Eerden FJ, Tulyeu J, Liu YC, Okuzaki D, Murayama MA, Miyata H, Nunomura K, Lin B, Tani A, Kumanogoh A, Ikawa M, Wing JB, Standley DM, Takagi J, Suzuki K. Celastrol suppresses hu-

moral immune responses and autoimmunity by targeting the COMMD3/8 complex. *Sci Immunol.* 2023;8(81):eadc9324. doi: 10.1126/sciimmunol.adc9324

51. Słupczyńska M, Jamroz D, Orda J, Wiliczekiewicz A, Kuropka P, Król B. The thyroid hormone and immunoglobulin concentrations in blood serum and thyroid gland morphology in young hens fed with different diets, sources, and levels of iodine supply. *Animals.* 2023;13(1):158. <https://doi.org/10.3390/ani13010158>

52. Tian Y, Ma X, Jiang Y, Han J, Zhang R, Xu X, Zhang W, Man C. Circular RNA circAKIRIN2 participates in the process of stress-induced immunosuppression affecting immune response to infectious bursal disease virus vaccine in chicken. *Vet Microbiol.* 2023;281:109746. doi: 10.1016/j.vetmic.2023.109746

53. Vacca M, Celano G, Calabrese FM, Portincasa P, Gobbetti M, De Angelis M. The controversial role of human gut Lachnospiraceae. *Microorganisms.* 2020;8(4):573. doi: 10.3390/microorganisms8040573

54. Weerts EAWS, Matthijs MGR, Bonhof J, van Haarlem DA, Dwars RM, Gröne A, Verheije MH, Jansen CA. The contribution of the immune response to enhanced colibacillosis upon preceding viral respiratory infection in broiler chicken in a dual infection model. *Vet Immunol Immunopathol.* 2021;238:110276. doi: 10.1016/j.vetimm.2021.110276

55. Właźlak S, Pietrzak E, Biesek J, Dunisławska A. Modulation of the immune system of chickens a key factor in maintaining poultry production – a review. *Poultry Science.* 2023;102(8):102785. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102785>

56. Yan HL, Cao SC, Hu YD, Zhang HF, Liu JB. Effects of methylsulfonylmethane on growth performance, immunity, antioxidant capacity, and meat quality in Pekin ducks. *Poult Sci.* 2020;99(2):1069-1074. doi: 10.1016/j.psj.2019.10.002

57. Yang W, Liu X, Wang X. The immune system of chicken and its response to H9N2 avian influenza virus. *Vet Q.* 2023;43(1):1-14. doi: 10.1080/01652176.2023.2228360

58. Ye X-Q, Zhu Y-R, Yang Y-Y, Qiu S-J, Liu W-C. Biogenic selenium nanoparticles synthesized with alginate oligosaccharides alleviate heat stress-induced oxidative damage to organs in broilers through activating Nrf2-mediated anti-oxidation and anti-ferroptosis pathways. *Antioxidants* 2023;12(11):1973. <https://doi.org/10.3390/antiox12111973>

59. Zhen W, Zhu T, Wang P, Guo F, Zhang K, Zhang T, Jalukar S, Zhang Y, Bai D, Zhang C, Guo Y, Wang Z, Ma Y. Effect of dietary *Saccharomyces*-derived prebiotic refined functional carbohydrates as antibiotic alternative on growth performance and intestinal health of broiler chickens reared in a commercial farm. *Poult Sci.* 2023;102(6):102671. doi: 10.1016/j.psj.2023.102671

Информация об авторах:

Юрий Константинович Петруша, младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 89058877200.

Дмитрий Алексеевич Силин, младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 89534575189.

Святослав Валерьевич Лебедев, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 89123458738.

Information about the authors:

Yuri K Petrusha, Junior Researcher at the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvaryia St., Orenburg, 460000, tel.: 89058877200.

Dmitriy A Silin, Junior Researcher at the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvaryia St., Orenburg, 460000, tel.: 89534575189.

Svyatoslav V Lebedev, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvaryia St., Orenburg, 460000, tel.: 89123458738.

Статья поступила в редакцию 13.11.2024; одобрена после рецензирования 14.03.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 13.11.2024; approved after reviewing 14.03.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 50-59.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 50-59.

РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА

Научная статья
УДК 636.082.4
doi:10.33284/2658-3135-108-1-50

**Признаки воспроизводительной функции коров симментальской породы,
полученных от быков-производителей отечественных и импортных линий**

Елена Николаевна Нарышкина¹, Лариса Павловна Игнатьева², Олег Гаязович Зарипов³,
Мария Владимировна Левченко⁴, Александр Александрович Сермягин⁵

^{1,2,3,4}Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста,
Дубровицы, Россия

⁵Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных
животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Феде-
ральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», Санкт-
Петербург, Россия

¹selection.76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3421-1653>

²ignatieva-lp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2625-6912>

³zarog@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7493-4410>

⁴marikornelaeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5674-6694>

⁵alex_sermyagin85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>

Аннотация. Современная популяция симментальской породы в России представлена раз-
ными генотипами и дальнейшая селекционно-племенная работа ориентирована на получение жи-
вотных преимущественно молочно-мясного направления продуктивности с использованием как
отечественных производителей, так и импортных быков немецкой и австрийской селекций. Соче-
тание высокой молочной продуктивности и хорошей репродуктивной функции коров является
важным критерием при селекционно-племенной работе с молочным скотом в целом и в оценке их
племенной ценности. Дочери, полученные от быков симментальской породы отечественного про-
исхождения, достигают возраста плодотворного осеменения позже (возраст 1-го отела – 32,5 мес.)
при этом имеют достоверно более короткий сервис-период и межотельный период – 134,1 и 413 дней,
соответственно в среднем за три лактации по отношению к дочерям быков-производителей
голландских линий и немецко-австрийских линий импортного происхождения. Показатель сервис-
периода с возрастом снижается независимо от типа селекционной направленности линии: по 1-й
лактации – 139,6...161,1 дней, по 2-й лактации – 131,3...148,7, по 3-й лактации – 122,4...146,9 дней. Изу-
чение показателей, характеризующих воспроизводительную функцию коров симментальской по-
роды, полученных от быков-производителей отечественных и импортных линий, является важным
аспектом для оценки и оптимизации селекционно-племенной работы и позволяет определить влия-
ние генотипа отцов на репродуктивный потенциал дочерей.

Ключевые слова: корова, симментальская порода, сервис-период, сухостойный период,
межотельный период, линия, бык-производитель

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2024-2026 гг. ФГБНУ
ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста ФИЦ (№ FGGN-2024-0021).

Для цитирования: Признаки воспроизводительной функции коров симментальской поро-
ды, полученных от быков-производителей отечественных и импортных линий / Е.Н. Нарышкина,
Л.П. Игнатьева, О.Г. Зарипов, М.В. Левченко, А.А. Сермягин // Животноводство и кормопроизводство.
2025. Т. 108. № 1. С. 50-59. [Naryshkina EN, Ignatieva LP, Zaripov OG, Levchenko MV, Sermyagin AA.
Reproduction traits of Simmental cows obtained from sires of local and imported lines. Animal Husbandry and
Fodder Production. 2025;108(1):50-59. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-50>

BREEDING, SELECTION, GENETICS

Original article

Reproduction traits of Simmental cows obtained from sires of local and imported lines

**Elena N Naryshkina¹, Larisa P Ignatieva², Oleg G Zaripov³, Maria V Levchenko⁴,
Alexander A Sermyagin⁵**

^{1,2,3,4}Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst,
Dubrovitsy, Russia

⁵Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L.K. Ernst Federal
Research Center for Animal Husbandry, St. Petersburg, Russia

¹selection.76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3421-1653>

²ignatieva-lp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2625-6912>

³zarog@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7493-4410>

⁴marikornelaeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5674-6694>

⁵alex_sermyagin85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>

Abstract. The modern population of the Simmental breed in Russia is represented by different genotypes, and further breeding work is focused on obtaining animals mainly of dairy and meat direction of productivity using both domestic and imported sires of German and Austrian breeding. The combination of high milk productivity and good reproductive function of cows is an important criterion in breeding work with dairy cattle in general and in assessing their breeding value. Daughters born from Simmental bulls of local origin reach the age of fruitful insemination later (the age of the 1st calving is 32.5 months) and have a significantly shorter service period and intercalving period - 134.1 and 413 days, respectively, on average for three lactations, relative to the daughters from sires of Holstein lines and German-Austrian lines of imported origin. The value of the service period decreases with age regardless of the type of breeding orientation of the line: for the 1st lactation - 139.6...161.1 days, for the 2nd lactation - 131.3...148.7, for the 3rd lactation - 122.4...146.9 days. The study of indicators characterizing the reproductive function of Simmental cows obtained from local and imported breeding sires is an important aspect for evaluating and optimizing breeding work and allows us to determine the influence of the genotype of fathers on the reproductive potential of daughters.

Keywords: cow, Simmental breed, service period, dry period, intercalving period, line, sire

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024-2026 of the FGBNU FRC VIZh named after academician L.K. Ernst (No FGGN-2024-0021).

For citation: Naryshkina EN, Ignatieva LP, Zaripov OG, Levchenko MV, Sermyagin AA. Reproduction traits of Simmental cows obtained from sires of local and imported lines. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):50-59. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-50>

Введение.

Исследования признаков воспроизводительной функции коров симментальской породы, полученных от быков-производителей отечественных и импортных линий, является важным инструментом для оптимизации селекционной работы и повышения эффективности молочного производства (Племяшов К.В. и др., 2021). В результате можно получить ценную информацию о генетическом потенциале различных линий и разработать стратегии улучшения репродуктивной функции коров (Кузнецов В.М., 2001).

При совершенствовании симментальской породы имеет важное значение активное использование высококлассных производителей, что осуществляется за счет применения отечественных племенных ресурсов и привлечения мирового генофонда палево-пестрых пород через импорт спермы лучших быков (Анисимова Е.И., 2019).

Племенная работа с симментальским скотом в различных регионах России проводилась с учетом природных и экономических условий, качества местного скота, который использовался для скрещивания с симментальской породой, а также целей отбора и подбора, условий кормления и содержания животных. В результате симментальские животные, выведенные в разных зонах, имеют некоторые отличия в телосложении, размерах, живой массе и уровне продуктивности (Левина Г.Н. и др., 2020).

Благодаря своим высоким продуктивным качествам и хорошей акклиматизации, животные симментальской породы распространились на многие страны. В результате поглотительного скрещивания коров местных пород с симментальскими быками в европейских странах были созданы новые родственные породы: Fleckvieh – в Германии и Австрии, Montbéliard – во Франции и Magyar tarka – в Венгрии. В Россию симментальская порода была завезена в начале XIX века. Благодаря своим выдающимся адаптационным способностям, симментальские животные быстро завоевали популярность и распространились из Центральной России в Поволжье, Урал и Сибирь (Сельцов В.И., 2002).

Современная популяция симментальской породы в России представлена разными генотипами, в т. ч. с повышенной стрессоустойчивостью, что имеет немаловажное значение в условиях современной технологии содержания молочного скота (Бельков Г.И. и Панин В.А., 2018). Дальнейшая селекционно-племенная работа ориентирована на получение животных преимущественно молочно-мясного направления продуктивности с использованием как отечественных производителей, так и импортных быков немецкой и австрийской селекции (Игнатьева Л.П., 2021). Вместе с тем одним из ключевых селекционных признаков является воспроизводительная способность животных. Нарушение репродуктивной функции коров приводит не только к снижению числа новорожденных телят, но и негативно сказывается на их молочной продуктивности (Ляшук Р.Н. и Михайлова О.А., 2016). Сочетание высокой молочной продуктивности и хорошей репродуктивной функции коров является важным критерием при селекционно-племенной работе с молочным скотом в целом и в оценке их племенной ценности (Бакай Ф.Р. и Мухтаров А.М., 2022).

Цель исследования.

Изучение селекционно-генетических параметров признаков воспроизводительной функции коров симментальской породы в субъектах Российской Федерации, полученных от быков-производителей отечественных и импортных линий.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Сводная база данных показателей, характеризующих воспроизводительную функцию коров симментальской породы, разводимых в племенных хозяйствах на территории Российской Федерации. Цифровой материал получен с использованием системы обработки информации по учетным суточным событиям: СЕЛЭКС-Молочный скот → ИАС «Регион» (ОАО «РЦ «Плино»).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследования проводились на основании сводной базы данных основных показателей, характеризующих воспроизводительную функцию коров симментальской породы разного возраста (1980...2017 г.р.). По линейной принадлежности коровы принадлежат линиям как симментальской породы (отечественные и немецко-австрийские), так и голштинской породы красно-пестрой масти (импортной и отечественной селекции).

Динамика изменения основных показателей воспроизводительной функции коров рассмотрена на примере Центрального ФО, включающего четыре региона: Орловская, Воронежская, Курская и Белгородская области и представлена 20 сельхозпредприятиями. Самой многочисленной является группа коров от симментальских быков-производителей отечественной селекции (ОС) – 35 линий, далее немецко-австрийские линии импортной селекции (НАЛ_ИС) – 15, немецко-австрийские линии отечественной селекции (НАЛ_ОС) – 7, голштинские линии красно-пестрой масти импортной селекции (ГЛ_ИС) – 6, голштинские линии отечественной селекции (ГЛ_ОС) – 8.

Показатели воспроизводительной функции коров и телок случного возраста: возраст 1-го отела, мес.; сервис-период, дн.; сухостойный период, дн.; межотельный период, дн.

Статистическая обработка. Статистический, дисперсионный анализ, проверку гипотез о достоверности влияния различных факторов на фенотипическую оценку изменчивости показателей воспроизводительной функции коров рассчитали с использованием языка R в среде RStudio.

При проверке значимости (достоверности влияния факторов) использовали F-критерий Фишера при заданном уровне значимости $\alpha=0,05$.

Для сравнения групповых средних в зависимости от влияния какого-либо из факторов на значение показателей воспроизводительной функции коров использовали статистический критерий Тьюки (Tukey's HSD test).

Для оценки влияния паратипических и генетических факторов на количественные показатели признаков воспроизводства использовали метод дисперсионного анализа по следующей статистической модели:

$$Y_{ijkn} = \mu + selection_i + year_j + bulls_n + e_{ijkn}$$

где: Y_{ijkn} – значение признака воспроизводительной функции коров;

μ – среднее значение;

$selection_i$ – линия быка-производителя;

$year_j$ – возраст коров в лактациях;

$bull_n$ – бык-производитель;

e_{ijkn} – случайная ошибка.

Результаты исследования.

Показатели воспроизводительной функции коров независимо от их линейной принадлежности имеют крайне низкие коэффициенты наследуемости в связи с влиянием различных паратипических факторов (возраст животного, интенсивность отбора, метод разведения, условия окружающей среды и т. д.). Сервис-период независимо от региона разведения коров симментальской породы имеет высокую изменчивость – до 81,0...85,8 % и характеризуется низким коэффициентом наследуемости – 0,03...0,14 (ЦФО – 0,10) (Нарышкина Е.Н. и др., 2024). Но это не означает, что гены не влияют на данный показатель и его следует включать в оценку племенной ценности животных для повышения эффективности отбора в высокопродуктивных стадах.

Дочери быков-производителей симментальской породы отечественной селекции в среднем по исследуемой популяции позже достигают возраста плодотворного осеменения (23-24 мес.), в связи с чем возраст 1-го отела составил 32,5 мес., при этом средний показатель сервис-периода короче в сравнении с дочерьми быков-производителей голштинский линий отечественной селекции и немецко-австрийских линий импортной селекции на 19,5 и 10,6 дней ($P \leq 0,001$) (табл. 1).

Таблица 1. Признаки воспроизводительной функции коров разных типов линий
 быков-производителей

Table 1. Traits of reproductive function of cows of different types of sires lines

Тип линий / Line type	Коров, гол. / Cows, heads	Возраст 1-го отела, мес. / Age of the 1st calving, mn.	Сервис-период, дн. / Service peri- od, days	Сухостойный период, дн. / Dry period, days	МОП, дн. / Intercalving peri- od, days
ГЛ_ИС / HL_IS	2256	29,9 ± 0,10***	139,0 ± 1,96	61,1 ± 0,84	417,7 ± 2,80
ГЛ_ОС / HL_LS	8452	30,7 ± 0,14	153,6 ± 1,24***	71,5 ± 0,59**	428,2 ± 1,53***
НАЛ_ИС / GAL_IS	15558	28,1 ± 0,03***	144,7 ± 0,86***	66,9 ± 0,53*	415,6 ± 1,03
НАЛ_ОС / GAL_LS	2923	28,9 ± 0,07***	136,2 ± 1,73	60,5 ± 0,75	416,1 ± 2,54
ОЛ / TL	19546	32,5 ± 0,04	134,1 ± 0,73	60,6 ± 0,35	413,0 ± 0,84

Примечание: здесь и далее: МОП – межотельный период; * – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$

Note: here and further: ICP – Intercalving period; * – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$

Следует отметить, что дочери быков-производителей симментальской породы немецко-австрийских линий и отечественных симменталов на протяжении 1...3-й лактации имели относительно короткий сервис-период по отношению к дочерям голштинских линий как импортной, так и отечественной селекции.

Дочери быков-производителей голштинских линий отечественной селекции при возрасте 1-го отела 31,7 мес. на протяжении 3-х лактаций имели максимально высокие показатели сервис-периода – 161,1...148,7...146,9 дней ($P \leq 0,001$) при высоких значениях C_v – 74,0...73,8...75,7 % соответственно (табл. 2, 3).

Таблица 2. Признаки воспроизводительной функции коров 1-3 лактации в зависимости от типа линий быков-производителей
Table 2. Traits of reproductive function of cows of 1-3 lactation, depending on the type of sires lines

Тип линий / <i>Line type</i>	1-я лактация / <i>1st lactation</i>	2-я лактация / <i>2nd lactation</i>			3-я лактация / <i>3rd lactation</i>		
	сервис-период, дн. / <i>Service period, days</i>	сухостойный период, дн. / <i>Dry period, days</i>	сервис-период, дн. / <i>Service period, days</i>	МОП, дн. / <i>Intercalving period, days</i>	сухостойный период, дн. / <i>Dry period, days</i>	сервис-период, дн. / <i>Service period, days</i>	МОП, дн. / <i>Intercalving period, days</i>
ГЛ_ИС / <i>HL_IS</i>	146,9*	60,3*	132,4	420,4	63,1	127,6	405,8
ГЛ_ОС / <i>HL_OS</i>	161,1***	70,5	148,7**	433,5**	73,1	146,9***	421,3**
НАЛ_ИС / <i>GAL_IS</i>	149,9**	66,1	139,1	429,1	68,4	142,1***	414,8
НАЛ_ОС / <i>GAL_OS</i>	143,7*	60,7*	131,3	435,8**	60,1***	122,4	434,3**
ОЛ / <i>TL</i>	139,6	61,3	132,2	419,7	61,8	124,9	411,3

Таблица 3. Фенотипическая изменчивость (C_v , %) признаков воспроизводительной способности коров 1-3 лактации в зависимости от типа линий
Table 3. Phenotypic variability (C_v , %) of traits of reproductive ability of cows of 1-3 lactation, depending on the type of lines

Тип линий / <i>Line type</i>	1-я лактация / <i>1st lactation</i>	2-я лактация / <i>2nd lactation</i>			3-я лактация / <i>3rd lactation</i>		
	сервис-период, дн. / <i>Service period, days</i>	сухостойный период, дн. / <i>Dry period, days</i>	сервис-период, дн. / <i>Service period, days</i>	МОП, дн. / <i>Intercalving period, days</i>	сухостойный период, дн. / <i>Dry period, days</i>	сервис-период, дн. / <i>Service period, days</i>	МОП, дн. / <i>Intercalving period, days</i>
ГЛ_ИС / <i>HL_IS</i>	67,5	42,1	65,3	22,5	46,4	66,9	20,8
ГЛ_ОС / <i>HL_OS</i>	74,0	57,5	73,8	25,4	56,5	75,7	23,8
НАЛ_ИС / <i>GAL_IS</i>	75,5	43,1	73,5	24,4	54,4	72,2	23,2
НАЛ_ОС / <i>GAL_OS</i>	67,9	26,1	70,7	24,8	31,9	65,8	28,8
ОЛ / <i>TL</i>	73,7	47,2	76,5	22,1	47,2	79,6	22,4

Высокие коэффициенты изменчивости сервис-периода до 75-80 % независимо от типа линий свидетельствуют о неоднородности данных групп и сильному влиянию паратипических факторов на данный признак. Низкие значения коэффициента изменчивости имеют признаки: возраст 1-го отела – до 20,4 % и межотельный период – до 25,4 % (1-я лактация) и до 28,8 % (2-я лактация) (табл. 3).

Результаты дисперсионного анализа также указывают на высокую степень влияния паратипических факторов (Residuals – остаточная дисперсия) на признаки воспроизводства у коров: η^2 достигает 81,31...85,05. На признак возраст 1-го отела более высокое влияние оказали: тип линии – $\eta^2=7,67$; год рождения – $\eta^2=2,66$ и бык-производитель (генетический фактор) – $\eta^2=46,85$. Данные значения указывают, что животные симментальской породы за исследуемый период стали более скороспелыми, и генетический фактор сыграл в этом важную роль (табл. 4).

Таблица 4. Результаты дисперсионного анализа по влиянию паратипических и генетических факторов на возраст 1-го отела и признаки воспроизводительной функции коров симментальской породы

Table 4. The results of the analysis of variance on the influence of paratypical and genetic factors on the age of the 1st calving and traits of reproductive function of Simmental cows

Показатели / Indicator	η^2 , %			
	возраст 1-го отела / age of the 1st calving	сервис-период / service period	сухостойный период / dry period	межотельный период / intercalving period
Тип линии / Line type	7,67***	0,47**	0,80**	0,33**
Год рождения / Year of birth	2,66***	0,87*	1,87*	0,94*
Бык-производитель / Sire	46,85***	16,27**	11,28**	17,42**
Остаточная дисперсия / Residuals	42,83	82,39	86,05	81,31

Обсуждение полученных результатов.

В молочном скотоводстве одним из важных селекционных признаков является репродуктивная способность животных, которая находится в тесной взаимосвязи с молочной продуктивностью. Нарушения воспроизводительной функции приводят не только к снижению количества приплода, но и оказывают негативное влияние на уровень молочной продуктивности.

Изучение признаков воспроизводительной функции коров симментальской породы, полученных от быков-производителей отечественных и импортных линий, является важным аспектом для оценки и оптимизации селекционно-племенной работы. Эта информация позволяет определить влияние генотипа отцов на репродуктивный потенциал дочерей, а также выявить наиболее перспективные линии для дальнейшего разведения.

Возраст первого отела является не только селекционным признаком, но и важным экономическим показателем отрасли молочного скотоводства. По данным Игнатъевой Л.П. (2021), в племенных заводах и репродукторах ЦФО РФ возраст первого отела за период 2009...2020 гг. сократился в среднем на 1,7...1,8 месяцев и составил 801...810 дней. Анисимова Е.И. (2019) также сделала вывод, что по возрасту первого отела коровы симментальской породы (отечественной селекции уступали животным немецкой селекции на 1,4 мес.), что согласуется с нашими исследованиями. При использовании в селекционно-племенной работе голштинских и немецко-австрийских быков-производителей импортной селекции возраст первого отела в среднем составил 28,1...29,9 мес. (при использовании быков-производителей отечественной селекции – 32,2 мес.). По данным Кадышевой М.Д. с коллегами (2018), телки симментальской породы австрийской селекции также были более скороспелыми и превосходили своих сверстниц по возрасту первого отела в среднем на 0,8...1 месяц.

Сервис-период – не только важный компонент репродуктивного цикла коровы, в течение которого она должна быть подготовлена к плодотворному осеменению (Племяшов К.В. и др., 2021), но и является важным селекционно-генетическим показателем. Несмотря на то, что показатели воспроизводительной функции имеют низкие значения наследуемости ($h^2=0,04\ldots 0,06$ до $0,10$) в связи с сильным влиянием различных факторов (возраст животного, интенсивность отбора, метод разведения, условия окружающей среды и т. д.), они носят полигенный характер, что делает процесс их изучения сложным (Petrović MM et al., 2009; Pantelić V et al., 2011; Недашковский И.С. и др., 2019; Назарченко О.В. и Забродин В.А., 2011).

По данным Анисимовой Е.И. (2019), средняя продолжительность сервис-периода у животных симментальской породы отечественной и немецкой селекции была в пределах нормы и составила 62,1...64,2 дня. Увеличение продолжительности сервис-периода с целью получения более длительной лактации способствовало удлинению и сухостойного периода (Иванова И.Е. и др., 2021; Сударев Н., 2008). В наших исследованиях при меньшей продолжительности сервис-периода у коров отечественной и немецко-австрийской селекции – 134,1...136,2 дня, продолжительность сухостойного и межотельного периода также была ниже – 60,5...60,6 и 413,0...416,1 дней соответственно. Та же тенденция сохранилась на протяжении 1...3-й лактаций.

Заключение.

Дочери, полученные от быков симментальской породы отечественного происхождения, достигают возраста плодотворного осеменения позже (возраст 1-го отела – 32,5 мес.) при этом имеют достоверно более короткий сервис-период и межотельный период – 134,1 и 413 дней соответственно в среднем за три лактации по отношению к дочерям быков-производителей голштинских линий и немецко-австрийских линий импортного происхождения. Показатель сервис-периода с возрастом снижается независимо от типа селекционной направленности линии: по 1-й лактации – 139,6...161,1 дней, по 2-й лактации – 131,3...148,7, по 3-й лактации – 122,4...146,9 дней. На показатели воспроизводительной функции коров симментальской породы большое влияние оказывают паратипические факторы. На один из важных селекционных признаков, как возраст 1-го отела, более высокое влияние оказали генетические факторы: тип линии – $\eta^2=7,67$ и бык-производитель – $\eta^2=46,85$. На показатели сервис-периода, сухостойного и межотельного периода влияние быка-производителя было незначительно – до 11,28...17,42 % общей дисперсии, тогда как влияние неучтенных (остаточных) факторов достигало 81,31... 86,05 %.

Список источников

1. Анисимова Е.И. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров симментальской породы отечественной и немецкой селекции // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 7-1(85). С. 55-57. [Anisimova EI. Dairy productivity and reproductive qualities of cows of Simmental breed of domestic and German selection. International Research Journal. 2019;7-1(85):55-57. (In Russ.)]. doi: 10.23670/IRJ.2019.85.7.010
2. Бакай Ф.Р., Мухтаров А.М. Взаимосвязь молочной продуктивности с воспроизводительными функциями у коров с разными индексами постоянства лактации // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 5-2(119). С. 21-28. [Bakai FR, Mukhtarov AM. Correlation between milk production and reproductive function of cows with different lactation persistency indices. International Research Journal. 2022;5-2(119):21-28. (In Russ.)]. doi: 10.23670/IRJ.2022.119.5.003
3. Бельков Г.И., Панин В.А. Стрессоустойчивость как фактор биоресурсного потенциала симментальских и голштин×симментальских коров // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 1. С. 75-83. [Belkov GI, Panin VA. Stress-resistance as a factor in bio resource potential of Simmental and Holstein×Simmental cows. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(1):75-83. (In Russ.)].

4. Иванова И.Е., Отекина Н.Е., Ситникова М.А. Уровень молочной продуктивности и репродуктивная способность коров в зависимости от продолжительности сервис-периода // Главный зоотехник. 2021. № 7(216). С. 15-23. [Ivanova IE, Otekina NE, Sitnikova MA. The level of milk productivity and reproductive ability of cows depending on the duration of the open days period. *Glavnyj zooteknik*. 2021;7(216):15-23. (*In Russ.*)]. doi: 10.33920/sel-03-2107-02
5. Игнатьева Л.П. Характеристика современной популяции крупного рогатого скота симментальской породы России // Пермский аграрный вестник. 2021. № 4(36). С. 100-108. [Ignatieva LP. Characteristics the modern population of the Simmental breed cattle in Russia. *Perm Agrarian Journal*. 2021;4(36):100-108. (*In Russ.*)]. doi: 10.47737/2307-2873_2021_36_100
6. Кадышева М.Д., Тюлебаев С.Д., Туржанов С.Ш. Воспроизводительная способность симментальских телок разных генотипов // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 58-66. [Kadysheva MD, Tyulebaev SD, Turjanov SS. Reproductive ability of Simmental heifers of different genotypes. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(2):58-66. (*In Russ.*)].
7. Кузнецов В.М. Современные методы анализа и планирования селекции в молочном стаде. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2001. 116 с. [Kuznecsov VM. *Sovremenny'e metody' analiza i planirovaniya selekcii v molochnom stade*. Kirov: Zonal'ny'j NIISX Severo-Vostoka; 2001:116 p. (*In Russ.*)].
8. Левина Г.Н., Турбина И.С. Симментальская порода // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 3. С. 26. [Levina GN, Turbina IS. Simmental breed. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2020;3:26. (*In Russ.*)].
9. Ляшук Р.Н., Михайлова О.А. Влияние продолжительности сервис-периода на молочную продуктивность и репродуктивную способность коров // Вестник ОрелГАУ. 2016. № 6(63). С. 93-101. [Lyashuk RN, Mikhailova OA. Influence of service period duration on milk productivity and cow reproductive capacity. *Vestnik OrelGAU*. 2016;6(63):93-101. (*In Russ.*)]. doi:10.15217/48484
10. Назарченко О.В., Забродин В.А. Изменчивость, наследуемость сервис-периода у дочерей быков-производителей голштинских линий // Аграрный вестник Урала. 2011. № 6(85). С. 30-31. [Nazarchenko OV, Zabrodin VA. Variability, heritability service period of the daughters of bulls of Holstein lines. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2011;6(85):30-31. (*In Russ.*)].
11. Оценка племенной ценности быков-производителей голштинской породы по качеству потомства в связи с уровнем гомозиготности по STR-маркерам / И.С. Недашковский, О.В. Костюнина, В.В. Волкова, А.Н. Ермилов, А.А. Семягин // Вестник Рязанского государственного агро-технологического университета им. П.А. Костычева. 2019. № 3(43). С. 36-43. [Nedashkovsky IS, Kostunina OV, Volkova VV, Ermilov AN, Semyagin AA. Estimation of the breeding value of holstein sire by the quality of offspring in connection with the homosygyty level calculatedby STR-markers. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2019;3(43):36-43. (*In Russ.*)].
12. Приемы повышения воспроизводительной функции в интенсивном молочном животноводстве / К.В. Племяшов, Г.С. Никитин, Е.А. Корочкина, П.С. Анипченко, Е.В. Никиткина. СПб.: Проспект Науки, 2021. 226 с. [Plemyashov KV, Nikitin GS, Korochkina EA, Anipchenko PS, Nikitkina EV. *Priemy' povu'sheniya vosproizvoditel'noj funkcii v intensivnom molochnom zhivotnovodstve*. Saint Petersburg: Prospekt Nauki; 2021:226 p. (*In Russ.*)].
13. Селекционно-генетические параметры продолжительности сервис-периода коров симментальской породы в разных федеральных округах Российской Федерации / Е.Н. Нарышкина, Л.П. Игнатьева, О.Г. Зарипов, И.А. Лашнева, М.В. Корнелаева, А.А. Сермягин // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2024. № 4(79). С. 129-134. [Naryshkina EN, Ignatieva LP, Zaripov OG, Lashneva IA, Kornelaeva MV, Semyagin AA. Selection and genetic parameters for days open duration of Simmental cows in different federal districts of the Russian Federation. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2024;4(79):129-134. (*In Russ.*)].

14. Сельцов В.И. Создание симментальского скота нового улучшенного типа // Зоотехния. 2002. № 10. С.5-9. [Seltsov VI. Creation a new improved type of Simmental cattle. Zootechniya. 2002;10:5-9. (In Russ.)].
15. Сударев Н. Удои и сервис-период взаимосвязаны // Животноводство России. 2008. № 3. С. 49-51. [Sudarev N. Milk yields and service period are interconnected. Zhivotnovodstvo Rossii. 2008;3:49-51. (In Russ.)].
16. Pantelić V, Sretenović L, Ostojić-Andrić D, Trivunović S, Petrović MM, Aleksić S, Ružić-Muslić D. Heritability and genetic correlation of production and reproduction traits of Simmental cows. African Journal of Biotechnology. 2011;10(36):7117-7121.
17. Petrović MM, Sretenović Lj, Aleksić S, Pantelić V, Novaković Ž, Perišić P, Petrović MD. Investigation of the heritability of phenotypes of fertility and milk performance of Simmental cattle breed in Serbia. Biotechnology in Animal Husbandry. 2009;25(5-6):285-292.

References

1. Anisimova EI. Dairy productivity and reproductive qualities of cows of Simmental breed of domestic and German selection. International Research Journal. 2019;7-1(85):55-57. doi: 10.23670/IRJ.2019.85.7.010
2. Bakai FR, Mukhtarov AM. Correlation between milk production and reproductive function of cows with different lactation persistency indices. International Research Journal. 2022;5-2(119):21-28. doi: 10.23670/IRJ.2022.119.5.003
3. Belkov GI, Panin VA. Stress-resistance as a factor in bio resource potential of Simmental and Holstein×Simmental cows. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(1):75-83.
4. Ivanova IE, Otekina NE, Sitnikova MA. The level of milk productivity and reproductive ability of cows depending on the duration of the open days period. Chief Zootechnician. 2021;7(216):15-23. doi: 10.33920/sel-03-2107-02
5. Ignatieva LP. Characteristics the modern population of the Simmental breed cattle in Russia. Perm Agrarian Journal. 2021;4(36):100-108. doi: 10.47737/2307-2873_2021_36_100
6. Kadysheva MD, Tyulebaev SD, Turjanov SS. Reproductive ability of Simmental heifers of different genotypes. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(2):58-66.
7. Kuznecov VM. Modern methods of analysing and planning selection in the dairy herd. Kirov: Zonal Research Institute of Agriculture of the North-East; 2001:116 p.
8. Levina GN, Turbina IS. Simmental breed. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2020;3:26.
9. Lyashuk RN, Mikhailova OA. Influence of service period duration on milk productivity and cow reproductive capacity. Vestnik OrelSAU. 2016;6(63):93-101. doi: 10.15217/48484
10. Nazarchenko OV, Zabrodin VA. Variability, heritability service period of the daughters of bulls of Holstein lines. Agrarian Bulletin of the Urals. 2011;6(85):30-31.
11. Nedashkovsky IS, Kostunina OV, Volkova VV, Ermilov AN, Semyagin AA. Estimation of the breeding value of holstein sire by the quality of offspring in connection with the homosygy level calculated by STR-markers. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2019;3(43):36-43.
12. Plemyashov KV, Nikitin GS, Korochkina EA, Anipchenko PS, Nikitkina EV. Techniques to improve reproductive function in intensive dairy farming. Saint Petersburg: Prospekt Nauki; 2021: 226 p.
13. Naryshkina EN, Ignatieva LP, Zaripov OG, Lashneva IA, Kornelaeva MV, Semyagin AA. Selection and genetic parameters for days open duration of Simmental cows in different federal districts of the Russian Federation. The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2024;4(79):129-134.
14. Seltsov VI. Creation a new improved type of Simmental cattle. Zootechniya. 2002;10:5-9.
15. Sudarev N. Milk yields and service period are interconnected. Animal Husbandry in Russia. 2008;3:49-51.

16. Pantelić V, Sretenović L, Ostojić-Andrić D, Trivunović S, Petrović MM, Aleksić S, Ružić-Muslić D. Heritability and genetic correlation of production and reproduction traits of Simmental cows. *African Journal of Biotechnology*. 2011;10(36):7117-7121.

17. Petrović MM, Sretenović Lj, Aleksić S, Pantelić V, Novaković Ž, Perišić P, Petrović MD. Investigation of the heritability of phenotypes of fertility and milk performance of Simmental cattle breed in Serbia. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2009;25(5-6):285-292.

Информация об авторах:

Елена Николаевна Нарышкина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Россия, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, дом 60, тел.: +7 (4967) 65-11-63.

Лариса Павловна Игнатьева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Россия, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, дом 60, тел.: +7 (4967) 65-11-63.

Олег Гаязович Зарипов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Россия, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, дом 60, тел.: +7 (4967) 65-11-63.

Мария Владимировна Левченко, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Россия, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, дом 60, тел.: +7 (4967) 65-11-63.

Александр Александрович Сермягин, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Московское шоссе, д. 55а, тел.: +7 (812) 451-76-63, (812)451-65-19 (доб. 121).

Information about the authors:

Elena N Naryshkina, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, tel.: +7 (4967) 65-11-63.

Larisa P Ignatieva, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, tel.: +7 (4967) 65-11-63.

Oleg G Zaripov, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, tel.: +7 (4967) 65-11-63.

Maria V Levchenko, Junior Researcher, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, tel.: +7 (4967) 65-11-63.

Alexander A Sermyagin, Cand. Sci. (Agriculture), director, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Agricultural Animals – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center for Animal Husbandry – VIZh named after Academician L.K. Ernst”, Moskovskoye Ave. 55a, Pushkin, Saint Petersburg, 196601, tel.: +7 (812) 451-76-63, (812) 451-65-19 (supp. 121).

Статья поступила в редакцию 28.01.2025; одобрена после рецензирования 25.02.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 28.01.2025; approved after reviewing 25.02.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 60-72.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 60-72.

Научная статья
УДК 636.4
doi:10.33284/2658-3135-108-1-60

Апробация методологии BLUP для отбора крупной белой породы свиней

Петр Ильич Отраднов¹, Олеся Сергеевна Осипова², Анна Александровна Белоус³

^{1,2,3}Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Дубровицы, Россия

¹serionard@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1153-5815>

²olesa.117@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2454-7379>

³belousa663@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7533-4281>

Аннотация. В статье рассмотрена сходимость результатов BLUP-оценки хозяйственно-полезных признаков свиней породы крупная белая при использовании различающихся биометрических моделей. Результаты свидетельствуют о том, что существенные различия в качестве моделей, выраженные, в частности, в коэффициентах детерминации, приводят к существенному расхождению результатов оценки. Так, наибольшую сходимость результатов продемонстрировали оценки признака FCR (коэффициент конверсии корма): на популяционном уровне коэффициент повторяемости составил 0,981 при средних различиях рангов 20 наиболее достоверно оцененных особей в $\Delta = -19,05$. При этом различия в коэффициентах детерминации использованных моделей составила 6,2 %. Наименьшую сходимость продемонстрировал признак BWG (прирост живой массы) – при коэффициенте повторяемости 0,720 разность рангов составила $\Delta=119,55$. Коэффициенты детерминации использованных для оценки этого признака моделей различались на 27 %, или в 1,81 раза. Подобные различия в смоделированных условиях ограниченной доступности той или иной информации первичного зоотехнического учета свидетельствуют как о необходимости учета всего доступного перечня переменных, изменчивостью которых обусловлена изменчивость оцениваемого признака, так и о важности использования одинаковой их совокупности для обеспечения сравнимости результатов.

Ключевые слова: свиньи, крупная белая, BLUP, племенная ценность, мясная продуктивность, откормочные характеристики

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2023-2025 гг. ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (№ FGGN-2023-0002).

Для цитирования: Отраднов П.И., Осипова О.С., Белоус А.А. Апробация методологии BLUP для отбора крупной белой породы свиней // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 60-72. [Otradnov PI, Osipova OS, Belous AA. Testing BLUP methodology for large white pigs selection. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):60-72. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-60>

Original article

Testing BLUP methodology for large white pigs selection

Petr I Otradnov¹, Olesya S Osipova², Anna A Belous³

^{1,2,3}Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy, Russia

¹serionard@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1153-5815>

²olesa.117@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2454-7379>

³belousa663@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7533-4281>

Abstract. The article examines the convergence of BLUP-based (Best Linear Unbiased Prediction) estimates of economically important traits in Large White pigs using different biometric models. The results indicate that significant differences in model quality, reflected particularly in coefficients of determi-

nation, lead to considerable discrepancies in evaluation outcomes. For instance, the highest convergence was observed for the FCR (feed conversion ratio) trait: at the population level, the repeatability coefficient was 0.981, with average rank differences for the 20 most reliably evaluated individuals amounting to $\Delta = -19.05$. Meanwhile, the difference in the coefficients of determination of the models used was 6.2%. The lowest convergence was observed for the BWG (body weight gain) trait, where the repeatability coefficient was 0.720, and the rank difference reached $\Delta = 119.55$. The coefficients of determination for the models used to assess this trait differed by 27%, or 1.81 times. Such discrepancies under simulated conditions of limited availability of primary zootechnical accounting data underscore both the necessity of considering the full range of available variables affecting the variability of the evaluated trait and the importance of using the same set of variables to ensure comparability of results.

Keywords: pigs, Large White breed, BLUP, breeding value, meat productivity, fattening traits

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2023-2025 L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (No. FGGN-2023-0002).

For citation: Otradnov PI, Osipova OS, Belous AA. Testing BLUP methodology for large white pigs selection. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):60-72. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-60>

Введение.

Одним из центральных моментов селекционной работы при чистопородном разведении является обоснованный выбор животных, предназначенных для улучшения популяции – будь то на локальном уровне (стадо или хозяйство в целом), или на большем масштабе, если селекционная программа предполагает генетическое улучшение на региональном, национальном или породном уровне (Чистяков В.Т., 2018; Jibrila I et al., 2020). Большинство хозяйственно-полезных признаков являются количественными – их значение может быть измерено и, как правило, единицы измерения данных признаков имеют свой монетарный эквивалент. В качестве примера можно рассматривать среднесуточный прирост живой массы у животных мясного направления продуктивности – имея единицу измерения в граммах в сутки, он определяет как темп достижения особью товарной массы, так и то, насколько быстро можно получить потенциальную выручку от реализации особи. Характерной чертой количественных признаков является то, что с генетической точки зрения, в отличие от качественных характеристик, таких, как предрасположенность к каким-либо заболеваниям (Романенкова О.С. и Костюнина О.В., 2023), невозможно найти какую-то однозначную обусловленность наблюдаемых значений в геноме животного. Принято считать, что значения количественных признаков обусловлены, в той или иной степени, всеми генами организма, а также в значительной степени подвержены влиянию эффектов окружающей среды, также называемых паратипом (Столповский Ю.А. и др., 2020).

Подходы к ведению селекции, основанные на наилучшем линейном несмещенном прогнозе (BLUP), получили широкое распространение в селекционной работе как в растениеводстве, так и в животноводстве. Селекция животных по экономически значимым признакам, основанная на применении этой методологии, предполагает оценку так называемого «агрегатного генетического эффекта» для каждой особи в выборке (Калашников А.Е. и др., 2022).

Сущность метода заключается в использовании статистических поправок на влияние подпадающих учету факторов (Хайнацкий В.Ю., 2021; Нарышкина Е.Н. и др., 2024). Для оценки племенной ценности используются селекционно-генетические параметры изучаемых признаков, в первую очередь – параметры разнообразия и взаимосвязи различных величин (Селионова М.И. и др., 2023; Игнатъева Л.П., 2024). При этом следует различать статистический метод BLUP и модель, которая используется для описания данных (Белоус А.А. и др., 2024). Модель описывает, какие причинные факторы (хозяйство, сезон, генотип предков, взаимосвязанные показатели) оказывают влияние на оцениваемый признак. Метод представляет собой способ расчета влияния на изменчивость признака учтенных в модели эффектов, включающих генетическую составляющую (Яковлев А.Ф., 2018; Белоус А.А. и др., 2024).

Фундаментальная составляющая племенной работы – математический аппарат. В прошлом, до введения этой системы, племенная работа базировалась на селекции по фенотипу (оценке собственной продуктивности животного) и анализе продуктивности родителей особи (Суслина Е.Н. и др., 2019; Игнатъева Л.П., 2020; Новиков А.А. и др., 2021). Из-за этого при оценке не учитывались, наряду с собственной продуктивностью, продуктивность предыдущих поколений, степень родства, не проводилась корректировка на влияние условий содержания сезонную изменчивость, а также изменчивость, спровоцированную вариабельностью взаимосвязанных признаков.

В рамках BLUP-оценки обработка информации осуществляется с использованием специализированного программного обеспечения, предназначенного для анализа огромных объемов данных. Использование сложных алгоритмов позволяет избежать субъективизма в оценке племенной ценности каждого конкретного животного с учетом всего спектра популяционных характеристик.

Цель исследования.

Оценка эффективности методологии BLUP при отборе свиней крупной белой породы в условиях конкретного хозяйства.

Исходя из сформулированной цели, были обозначены следующие задачи:

1. Сформировать исследовательский массив данных о мясной продуктивности свиней породы крупная белая;
2. Сформировать различные модели BLUP-оценки племенной ценности изучаемых животных на основании анализа характера зависимости и достоверности влияния факторов на изменчивость селекционно значимых признаков;
3. Провести оценку племенной ценности исследуемых особей на основании сформированных моделей;
4. Определить основные параметры оценок признаков (минимальное и максимальное значение, достоверность);
5. Определить сходимость результатов оценки одного и того же признака на основании моделей, учитывающих различную совокупность факторов;
6. Провести отбор 20 наиболее достоверно оцененных по различным моделям и признакам животных, определить сходимость результатов отбора.

Материалы и методы исследований.

Объект исследования. В ходе работы были проанализированы данные первичного учета откормочных характеристик 1037 хряков и свинок породы крупная белая 2020-2021 годов рождения, являвшихся потомками 102 хряков и 441 свиноматок и проходивших откорм на автоматизированных кормовых станциях.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. 1. Составление пары математических моделей, описывающих изменчивость исследуемых признаков, обусловленную учитываемыми факторами (для каждого признака – пара моделей, учитывающих различную совокупность факторов).

2. Проведение оценки племенной ценности животных в исследуемой выборке на основании составленных уравнений.

3. Определение достоверности полученных оценок племенной ценности.

4. Отбор 20 животных с наибольшим уровнем достоверности оценки.

5. Определение повторяемости результатов оценки, выраженных в ранге (рейтинге) особи в выборке, рассчитываемом на основании сортировки значений оценки по убыванию от лучших – к худшим.

6. Определение сходимости результатов оценки каждого признака во всей выборке в целом путем определения коэффициентов повторяемости оценок одного и того же признака, оценки по которому были получены на основании двух различных моделей.

В рамках исследования рассматривались следующие признаки: конверсия корма (FCR, кг/кг), общий прирост (BWG, кг) и среднесуточный прирост (ADG, г/сут) за период выращивания на кормовых станциях, варьировавший в пределах от 54 до 74 сут. Характеристики выборки представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Описательная характеристика выборки**
 Table 1. **Descriptive statistics of sample**

Параметр / <i>Parameter</i>	Признак / <i>Trait</i>		
	FCR, кг/кг / <i>FCR, kg/kg</i>	BWG, кг / <i>BWG, kg</i>	ADG, г/сут / <i>ADG, g/day</i>
M±m	2,34±0,01	67,57±0,29	1007,49±3,62
SD	0,18	9,21	116,57
Min...Max	1,87...3,46	38,3...99,7	646,05...1440
C _v , %	7,69	13,63	11,57

Вариабельность изучаемых признаков варьировала в пределах 7,69...13,63 %, что типично для многих хозяйственно-полезных признаков.

Статистическая обработка. Модель BLUP в матричном выражении имеет вид:

$$y = X\hat{b} + Z\hat{u} + e,$$

где y – вектор величин показателей фенотипа,

$\hat{b}$ и $\hat{u}$ – векторы неизвестных параметров для фиксированных и рандомизированных (случайных) эффектов,

X и Z – соответствующие матрицы дизайна (плана) эффектов,

e – вектор остаточной неучтенной ошибки.

Уравнение смешанной модели BLUP Animal Model решается, опираясь на метод ограниченного максимального правдоподобия (REML):

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix},$$

где X , Z – матрицы распределения наблюдений (записей о фенотипах в группах эффектов);

X' , Z' – транспонированные матрицы X и Z ;

A^{-1} – обратная матрица родства;

$\lambda = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} = \frac{1-h^2}{h^2}$ – степень влияния на признак негенетических эффектов,

$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2}$ – коэффициент наследуемости.

Формирование моделей оценки производилось путем определения степени и достоверности влияния совокупности факторов при помощи средств библиотеки lme4 языка программирования R в среде разработки RStudio (Калашников А.Е. и Гостева Е.Р., 2019). Расчет оценок племенной ценности производился в программах семейства BLUPF90 (Lourenco D et al., 2023).

С целью определения возможности оценки хозяйственно-полезных признаков безотносительно совокупности факторов, учитываемых статистической моделью, для каждого признака было сформировано два уравнения оценки племенной ценности. Уравнения имели следующий вид:

$$\begin{aligned} FCR_1 &= \mu + DR + b_1FPV + b_2FR + a + e, \\ FCR_2 &= \mu + DR + b_1FR + b_2NVD + a + e, \\ BWG_1 &= \mu + DR + b_1FCR + b_2NVD + a + e, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BWG_2 &= \mu + DR + b_1 FPV + b_2 FR + b_3 NVD + a + e, \\ ADG_1 &= \mu + DR + b_1 FR + b_2 NVD + a + e, \\ ADG_2 &= \mu + DR + b_1 FPV + b_2 NVD + b_3 FR + a + e, \end{aligned}$$

где: μ – популяционная константа,
DR – категориальная переменная «дата рождения»,
BWG (кг) – прирост живой массы за весь период выращивания,
ADG, г – среднесуточный прирост,
FCR, кг/кг – конверсия корма,
NVD, ед. – количество посещений фид-лота в сутки,
FPV, г – среднее количество потребленного корма за одно посещение фид-лота,
FR, г/час – скорость потребления корма,
 b_1 - b_3 – коэффициенты регрессии соответствующих ковариант,
 a – эффект «животное» (собственно, оценка племенной ценности),
 e – остаток модели, связанный с необъясненной изменчивостью признака.

Расчёт показателя достоверности осуществлялся по формуле:

$$Rel. = 100 * \left(1 - \frac{s.e.^2}{\sigma_a^2} \right),$$

где s.e. – стандартная ошибка оценки племенной ценности,
 σ_a^2 – аддитивная генетическая вариация признака.

Расчет сходимости оценок племенной ценности животных по одному и тому же признаку, полученных на основании использования различных моделей оценки, производился по формуле коэффициента повторяемости Пирсона (Melnikova E et al., 2021; Отрадных П.И. и др., 2023):

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sigma_x^2 * \sigma_y^2}},$$

где: σ_x^2 , σ_y^2 – дисперсии x и y – массивов оценок одного и того же признака.

Результаты исследования.

Оценке племенной ценности предшествовала оценка качества статистических моделей. Основными параметрами являлась достоверность влияния каждого фактора, а также доля описываемой моделью изменчивости признака (коэффициент детерминации). Так, для оценки использовались факторы, влияние которых на признак было статистически достоверно при $p \leq 0,001$. Параметры моделей представлены в таблице 2.

Важно учитывать, что различия в моделях оценки одного и того же признака позволяют нам глубже понять взаимосвязи с факторами, влияющими на его изменчивость.

Разнообразие моделей в первую очередь позволяет ориентироваться на компоненты изменчивости признаков, объясняемые различными переменными. Так, сформированные для оценки одного и того же признака модели по-разному описывают его изменчивость, обусловленную совокупностью различных факторов. Коэффициенты детерминации (R^2), отражающие долю изменчивости наблюдаемого значения признака, демонстрируют значительные различия для признаков BWG ($R^2=0,331...0,601$) и ADG ($R^2 = 0,262...0,523$), и незначительные – для признака FCR ($R^2=0,214...0,276$). Последнее связано с тем, что факторный анализ не позволил выявить сколько-либо значимых взаимосвязей для признака конверсии корма. Однако, это позволит сравнивать признаки с большим разбросом детерминированности их изменчивости составленными моделями с признаком, изменчивость которого не характеризовалась подобным образом.

Таблица 2. Основные параметры смешанных моделей
 Table 2. Main parameters of mixed models

Фактор / Factor	Модель оценки признака / Model for trait estimation					
	FCR ₁	FCR ₂	BWG ₁	BWG ₂	ADG ₁	ADG ₂
Дисперсия, объясняемая фиксированными категориальными факторами / Fixed categorical effect variance						
Дата рождения / Birth date	0,010	0,010	25,800	27,260	1617,610	1001,890
Коэффициент линейной регрессии ковариант / Regression ratio for covariables						
КК / FCR	-	-	-6,916	-	-	-
Корм за посещение / Feed intake per visit	0,000	-	-	0,196	-	2,870
Скорость потребления / Feed consumption rate	0,005	0,005	-	0,076	5,636	1,992
Кол-во посещений / Total visits per day	-	0,000	0,205	1,543	3,315	23,491
Остаток (VarE) / Residual variance	0,020	0,030	57,220	35,210	10320,290	6536,780
R ²	0,276	0,214	0,331	0,601	0,262	0,523

В ходе исследования были рассчитаны оценки племенной ценности, исследованной выборки животных на основе подхода BLUP Animal Model, определен уровень достоверности результатов, рассчитаны коэффициенты наследуемости. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Описательная характеристика оценок племенной ценности исследованных животных

Table 3. Descriptive characteristics of studied animals' breeding values

Признак / Trait	FCR ₁	FCR ₂	BWG ₁	BWG ₂	ADG ₁	ADG ₂
Разброс значений оценки / EBV values spread	-0,27 ...	-0,28 ...	-15,15 ...	-12,23 ...	-171,76 ...	-109,74 ...
Средняя достоверность / Reliability mean	+0,59	+0,60	+15,74	+13,36	+160,87	+99,48
Коэффициент наследуемости / Heritability ratio	43,132	43,706	42,354	41,414	36,513	28,512
	0,578	0,587	0,563	0,548	0,463	0,333

Наибольшими различиями в разбросе минимального и максимального значений оценки характеризовался признак ADG, при этом также значительно разнился коэффициент наследуемости и средняя достоверность. Средним разбросом минимального и максимального значений оценки характеризовался признак BWG при незначительной разнице средней достоверности и коэффициента наследуемости. Наименьший разброс минимального и максимального значений оценки, средней достоверности и коэффициента наследуемости был присущ признаку FCR.

Таким образом, анализ показал, что признаки ADG и BWG демонстрируют значительные различия в разбросе оценок и коэффициентах наследуемости, что также было отмечено при харак-

теристике моделей оценки. Высокая изменчивость оценок ADG в рамках полученных массивов демонстрирует возможность ведения селекционной работы (отбора и подбора), однако различия прогнозируемого генетического прогресса вызывают закономерные сомнения в том, насколько релевантны те или иные результаты относительно составленных моделей оценки.

В то время как признак BWG также представляет интерес, меньший разброс и схожесть его оценок и коэффициентов наследуемости с ADG при существенных различиях в детерминированности моделей могут свидетельствовать о его стабильности в определенных условиях. Эта стабильность может быть важным фактором для селекционеров, стремящихся к получению предсказуемых результатов.

Признак FCR, в свою очередь, показывает наименьшую изменчивость, что может быть объяснено схожим качеством подобранных моделей оценки, а также близостью компонентов изменчивости, объясняемых факторами в обоих уравнениях.

Подобные сходства и различия получаемых оценок могут быть интерпретированы через ранги особей, которые могут быть отобраны на их основании. Параметр достоверности определяет, в целом, то, насколько та или иная оценка точна, как прогнозное значение в данной выборке. Таким образом, для определения сходимости результатов, было применено два подхода: отбор наиболее достоверно оцененных особей и расчёт коэффициента повторяемости для всей выборки.

Из 1596 животных были отобраны 20 с наибольшими значениями достоверности EBV и представлены в таблице 4, которая наглядно демонстрирует сходимость рангов наиболее достоверно оцененных особей по племенной ценности. Представленные данные свидетельствуют о значительном различии в ранговых позициях для оценок исследуемых признаков, полученных на основе различающихся моделей.

Таблица 4. Сходимость рангов наиболее достоверно оцененных особей по оценкам племенной ценности

Table 4. Convergence of ranks of the most reliably estimated individuals according to breeding value estimates

ID	Достоверность, среднее значение / <i>EBV reliability, mean</i>	Ранг по оценке племенной ценности / <i>EBV ranking</i>					
		FCR ₁	FCR ₂	BWG ₁	BWG ₂	ADG ₁	ADG ₂
44641	74,78	1537	1552	1178	515	1527	1249
122583	73,72	561	480	950	706	841	891
122441	71,81	7	4	1150	1365	1434	1566
122347	69,05	70	80	1134	1358	1097	1482
45229	66,44	1404	1375	29	137	42	71
43945	65,39	761	709	12	234	16	75
122335	64,65	97	120	246	961	989	1313
G0517	64,37	630	702	1220	1066	1197	1067
G1253	64,13	560	509	208	493	282	662
122365	63,75	1032	945	219	492	183	526
D205	63,51	31	46	999	1340	1242	1386
G0373	63,32	90	133	1279	1534	1468	1578
G0539	62,41	1103	1140	1126	627	1032	750
g0539	62,41	625	517	618	1093	341	573
G1909	62,13	1095	1096	1332	1454	1391	1240
G1655	61,53	1375	1287	767	737	513	403
G0561	61,46	170	160	1131	1508	1497	1585
43843	61,43	370	307	941	1098	961	1170
41575	61,41	1232	1235	506	284	589	234
44447	60,02	598	570	161	595	663	895
Средняя разность рангов / <i>Mean ranking difference</i>		-19,05		119,55		70,55	

Наименьшее значение разности рангов наблюдается для признака FCR ($\Delta_{\text{ранг}} = -19,05$), что является очередным подтверждением малых различий в моделях, сформированных для его оценки. В то же время, признак BWG ($\Delta_{\text{ранг}} = 119,55$) характеризуется наибольшими усредненными различиями в ранжировании, а также большее значение было получено для ADG ($\Delta_{\text{ранг}} = 70,55$). В отношении наиболее достоверно оцененных животных это свидетельствует о том, что качественные различия используемых поправок в статистических уравнениях приводят к существенной переранжировке оцениваемых особей.

Исходя из наблюдаемых рангов, а также их различий, в рамках выборки была оценена сходимость результатов оценок, полученных на основании составленных моделей, выраженная в коэффициенте повторяемости. Формально, на основе проведенного анализа можно сделать вывод о высокой степени сходимости результатов оценок ($r_w \geq 0,70$), что является свидетельством надежности разработанных моделей.

Результаты анализа повторяемости представлены в таблице 5.

Таблица 5. Коэффициент повторяемости оценок, полученных с использованием представленных моделей

Table 5. Repeatability coefficient of estimates obtained using the presented models

Признак / Trait	FCR	BWG	ADG
Повторяемость оценок на популяционном уровне / <i>EBV repeatability in population level</i>	0,981***	0,720***	0,803***

Примечание: *** – коэффициент повторяемости достоверен при $p \leq 0,001$

Note: *** – repeatability ratio considered reliable at $p \leq 0.001$

Коэффициент корреляции соответствует высокому уровню референсных пределов своих значений, однако даже признак, демонстрирующий наибольшую сходимость результатов (FCR, $r_w = 0,981$), тем не менее, характеризуется некоторой переранжировкой оцененных особей. Для признака с наименьшей сходимостью результатов (BWG, $r_w = 0,720$), разница между рангами наиболее достоверно оцененных животных была в значительной степени более существенной. Достоверность полученных значений позволяет утверждать, что наблюдаемые различия в рангах не являются случайными, а указывают на наличие системных факторов, влияющих на результаты.

Обсуждение полученных результатов.

Возможные причины обнаруженных различий могут включать генетические факторы, а также факторы, не учтенные в исследовании, однако в контексте примененной методологии основным источником расхождений результатов видятся различия в составленных уравнениях. Так, в моделях, составленных для признака FCR, наблюдались минимальные различия в объясняемой изменчивости, что привело к наиболее высокой сходимости результатов. Для остальных уравнений сходимость варьировала при существенных различиях в объясняемой изменчивости.

Данный аспект важен при формировании моделей оценки племенной ценности для животных, содержащихся в локальностях с радикально различающимися условиями содержания и выращивания животных, так как подобные различия могут приводить к изменениям в структурах моделей оценки племенной ценности. Такие изменения являются причиной ограниченной применимости результатов, либо могут приводить к необходимости проведения дополнительных процедур оценки.

В сущности, методология BLUP основывается на применении статистических моделей, учитывающих ряд поправок, выражающихся в виде переменных различных типов. Однако, вопрос необходимости использования таких поправок остается открытым, ввиду зачастую ограниченного

доступа к данным. В нашем исследовании была смоделирована ситуация выборочного доступа к массивам тех или иных взаимосвязанных с изучаемым признаком величин и группирующих характеристик. Для трех признаков было разработано и апробировано по две различающихся по совокупности факторов модели оценки. Данные модели характеризовались разными долями объясненной вариабельности исследуемого признака. Для одного из признаков, в частности, коэффициента конверсии корма (FCR), были разработаны максимально близкие друг к другу по коэффициенту детерминации модели. Значения оценки животных по этому признаку, полученные на основе разных моделей проявили наибольшую сходимость. Остальные признаки, а именно – прирост живой массы (BWG) и среднесуточный прирост (ADG), проявили значительно меньшую степень консолидации.

Более глубокое изучение вышеназванных факторов может помочь выявить скрытые закономерности и улучшить понимание процессов, связанных с оценками. Полученные результаты подчеркивают важность использования одинаковых моделей для оценки племенной ценности животных. Сосредоточение на оптимизации этих моделей и интеграции новых данных сможет повысить точность и применимость выводов в прикладных исследованиях.

Схожие результаты были получены в исследовании, объектом которого являлся крупный рогатый скот (Сермягин А.А. и др., 2017). Полученные в нашем исследовании результаты соотносятся с полученными в нем, однако отличается подход, подразумевающий использование различающихся биометрических моделей.

Заключение.

Разработка моделей оценки племенной ценности является определяющим фактором применения методологии BLUP в селекционной работе. Так, наблюдается большая сходимость результатов оценки, получаемых с использованием минимально различающихся по параметрам качества биометрических моделей (FCR), по сравнению с моделями, различия параметров в которых были более существенны (BWG, ADG).

Мы рекомендуем на этапе составления моделей оценки учитывать, как можно большее количество статистически значимо влияющих на изменчивость признака поправок.

Актуальной становится задача разработки автоматизированной системы оценки и прогнозирования характеристик и свойств пород свиней на основе использования методологии BLUP, которая обеспечит возможность научно обоснованного результативного управления племенной ценностью животных на свиноводческих предприятиях.

Список источников

1. Валидация геномного прогноза племенной ценности быков-производителей по признакам молочной продуктивности дочерей на примере популяции черно-пестрого и голштинского скота / А.А. Сермягин, А.А. Белоус, А.Ф. Контэ, А.А. Филипченко, А.Н. Ермилов, И.Н. Янчуков, К.В. Племяшов, Г. Брем, Н.А. Зиновьева // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 6. С. 1148-1156. [Sermiyagin AA, Belous AA, Conte AF, Filipchenko AA, Ermilov AN, Yanchukov IN, Plemyashov KV, Brem G, Zinovieva NA. Genomic evaluation of bulls for daughters' milk traits in russian black-and-white and holstein cattle population through the validation procedure. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2017;52(6):1148-1156. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2017.6.1148rus doi: 10.15389/agrobiology.2017.6.1148eng
2. Игнатьева Л.П. Сравнительная характеристика животных симментальской породы разного происхождения на основе оценки племенной ценности коров методом BLUP ANIMAL MODEL в связи с уровнем продуктивности стад // Вестник КрасГАУ. 2020. № 11(164). С. 152-161. [Ignatyeva LP. Comparative characteristics of the animals of simmental breed of different origin on the basis of the estimates breeding value of the cows by the BLUP ANIMAL MODEL method in

connection with the level of herd productivity. Bulletin of KSAU. 2020;11(164):152-161. (*In Russ.*). doi: 10.36718/1819-4036-2020-11-152-161

3. Изменчивость оценок оплодотворяющей способности семени быков-производителей при осеменении коров разного возраста / Е.Н. Нарышкина, А.А. Сермягин, П.И. Отраднов, А.Н. Ермилов // Молочное и мясное скотоводство. 2024. № 2. С. 10-13. [Naryshkina EN, Sermyagin AA, Otradnov PI, Ermilov AN. Variability of estimates of the fertility of the semen of bulls during insemination of cows of different ages. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2024;2:10-13. (*In Russ.*). doi: 10.33943/MMS.2024.67.22.003

4. Использование геномной оценки в свиноводстве: монография / А.А. Белоус, П.И. Отраднов, А.А. Сермягин, Н.А. Зиновьева. Дубровицы: ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2024. 209 с. [Belous AA, Otradnov PI, Sermyagin AA, Zinovieva NA. The use of genomic evaluation in pig breeding: monograph. Dubrovitsy: FGBNU FITs VIZh im. L.K. Ernsta; 2024:209 p. (*In Russ.*).]

5. Калашников А.Е., Гостева Е.Р. Язык программирования R как инструмент для расчета племенной ценности животных // Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 3. С. 106-113. [Kalashnikov AE, Gosteva ER. Programming language R as a tool for calculating the breeding value of animals. Problems of Productive Animal Biology. 2019;3:106-113. (*In Russ.*). doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.3.106-113

6. Отбор свиноматок по генетическим маркерам и индексу best linear unbiased prediction (BLUP) / А.А. Новиков, Е.Н. Суслина, Г.С. Походня, Д.Г. Шичкин, Я.А. Хабибрахманова, Н.В. Башмакова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 4. С. 94-107. [Novikov AA, Suslina EN, Pokhodnya GS, Shichkin DG, Khabibrakhmanova YA, Bashmakova NV. Selection of sows by genetic markers and BLUP index. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2021;4:94-107. (*In Russ.*). doi: 10.26897/0021-342X-2021-4-94-107

7. Отраднов П.И., Рудиянов Д.М., Белоус А.А. Валидация оценок племенной ценности свиней породы дюрок по признакам кормового поведения // Свиноводство. 2023. № 5. С. 22-26. [Otradnov PI, Rudiyanov DM, Belous AA. Validation of breeding value estimates for Duroc pigs by feeding behavior traits. Svinovodstvo. 2023;5:22-26. (*In Russ.*). doi: 10.37925/0039-713X-2023-5-22-26

8. Оценка племенной ценности свиней с использованием метода BLUP / Е.Н. Суслина, А.А. Новиков, С.В. Павлова, Н.В. Башмакова и др. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2019. № 6. С. 150-161. [Suslina EN, Novikov AA, Pavlova SV, Bashmakova NV, et al. Evaluation of breeding qualities of hog producers using the BLUP method. Izvestiya Of Timiryazev Agricultural Academy. 2019;6:150-161. (*In Russ.*). doi: 10.34677/0021-342x-2019-6-150-161

9. Проблемы и вопросы при прогнозировании генетической племенной ценности сельскохозяйственных животных / А.Е. Калашников, А.И. Голубков, Н.Ф. Щегольков, Е.Р. Гостева // Вестник НГАУ. 2022. № 4. С. 77-96. [Kalashnikov AE, Golubkov AI, Shchegolkov NF, Gosteva ER. Problems and issues in forecasting the genetic breeding value of agricultural animals. Vestnik NGAU. 2022;4:77-96. (*In Russ.*). doi: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-77-96

10. Романенкова О.С., Костюнина О.В. Диагностика мутации в гене PNKG1, детерминирующей PSE-синдром у свиней // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 68-79. [Romanenkova OS, Kostyunina OV. Diagnosis of a mutation in the PNKG1 gene that determines PSE syndrome in pigs. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):68-79. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-68>

11. Столповский Ю.А., Пискунов А.К., Свищева Г.Р. Геномная селекция. I. Последние тенденции и возможные пути развития // Генетика. 2020. Т. 56. № 9. С. 1006-1017. [Stolpovskiy YuA, Piskunov AK, Svishcheva GR. Genomic selection. I. Latest trends and future trajectories. Russian Journal of Genetics. 2020;56(9):1006-1017. (*In Russ.*). doi: 10.31857/S0016675820090143

12. Хайнацкий В.Ю. Метод племенной оценки быков-производителей мясных пород на основе BLUP // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 1. С. 20-31. [Haynatsky VYu.

BLUP Method of breeding assessment of beef sires. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(1):20-31. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-104-1-20

13. Характеристика компонентов молока и корреляционных связей между ними у овец породы лакон и альпийских коз / М.И. Селионова, М.Ю. Гладких, А.А. Сермягин, И.А. Лашнева // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 108. С. 204-211. [Selionova MI, Gladkikh MYu, Sermyagin AA, Lashneva IA. Comparative analysis of the goat and sheep milk component composition. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;108:204-211. (*In Russ.*). doi: 10.21515/1999-1703-108-204-211

14. Чистяков В.Т. Современное развитие селекции и генетики в отечественном свиноводстве // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 4(59). С. 71-78. [Chistyakov VT. Modern development of breeding and genetics in the Russian pig breeding. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018;4(59):71-78. (*In Russ.*). doi: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.71

15. Яковлев А.Ф. Геномная селекция и прогнозирование качества потомства животных // Вестник Российской академии наук. 2018. Т. 88, № 10. С. 946-950. [Yakovlev AF. Genomic selection and prediction of offspring quality in animals. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2018;88(10):946-950. (*In Russ.*). doi: 10.31857/S086958730002151-4

16. Jibrila I, ten Napel J, Vandenplas J, Veerkamp RF, Calus MPL. Investigating the impact of preselection on subsequent single-step genomic BLUP evaluation of preselected animals. *Genetics Selection Evolution*. 2020;52(1):42. doi: 10.1186/s12711-020-00562-6

17. Lourenco D, Tsuruta S, Aguilar I, Masuda Y, Bermann M, Legarra A, Misztal I. Recent updates in the BLUPF90 software suite. In: Veerkamp RF, de Haas Y, editors. *Proceedings of 12th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP)*; 2023:1530-1533. doi: 10.3920/978-90-8686-940-4_366

18. Melnikova E, Kabanov A, Nikitin S, et al. Application of genomic data for reliability improvement of pig breeding value estimates. *Animals*. 2021;11(6):1557. doi: 10.3390/ani11061557

References

1. Sermyagin AA, Belous AA, Conte AF, Filipchenko AA, Ermilov AN, Yanchukov IN, Plemyashov KV, Brem G, Zinovieva NA. Genomic evaluation of bulls for daughters' milk traits in Russian Black-and-White and Holstein cattle population through the validation procedure. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2017;52(6):1148-1156. doi: 10.15389/agrobiology.2017.6.1148eng

2. Ignatyeva LP. Comparative characteristics of the animals of Simmental breed of different origin on the basis of the estimates breeding value of the cows by the BLUP ANIMAL MODEL method in connection with the level of herd productivity. *Bulletin of KSAU*. 2020;11(164):152-161. doi: 10.36718/1819-4036-2020-11-152-161

3. Naryshkina EN, Sermyagin AA, Otradnov PI, Ermilov AN. Variability of estimates of the fertility of the semen of bulls during insemination of cows of different ages. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2024;2:10-13. doi: 10.33943/MMS.2024.67.22.003

4. Belous AA, Otradnov PI, Sermyagin AA, Zinovieva NA. The use of genomic evaluation in pig breeding: monograph. Dubrovitsy: L.K. Ernst Federal Research Center for animal Husbandry; 2024: 209 p.

5. Kalashnikov AE, Gosteva ER. Programming language R as a tool for calculating the breeding value of animals. *Problems of Productive Animal Biology*. 2019;3:106-113. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.3.106-113

6. Novikov AA, Suslina EN, Pokhodnya GS, Shichkin DG, Khabibrakhmanova YA, Bashmakova NV. Selection of sows by genetic markers and BLUP index. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021;4:94-107. doi: 10.26897/0021-342X-2021-4-94-107

7. Otradnov PI, Rudiyanov DM, Belous AA. Validation of breeding value estimates for Duroc pigs by feeding behavior traits. *Pigbreeding*. 2023;5:22-26. doi: 10.37925/0039-713X-2023-5-22-26
8. Suslina EN, Novikov AA, Pavlova SV, Bashmakova NV, et al. Evaluation of breeding qualities of hog producers using the BLUP method. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2019;6:150-161. doi: 10.34677/0021-342x-2019-6-150-161
9. Kalashnikov AE, Golubkov AI, Shchegolkov NF, Gosteva ER. Problems and issues in forecasting the genetic breeding value of agricultural animals. *Vestnik NSAU*. 2022;4:77-96. doi: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-77-96
10. Romanenkova OS, Kostyunina OV. Diagnosis of a mutation in the PHKG1 gene that determines PSE syndrome in pigs. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):68-79. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-68>
11. Stolpovskiy YuA, Piskunov AK, Svishcheva GR. Genomic selection. I. Latest trends and future trajectories. *Russian Journal of Genetics*. 2020;56(9):1006-1017. doi: 10.31857/S0016675820090143
12. Haynatsky VYu. BLUP Method of breeding assessment of beef sires. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(1):20-31. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-20
13. Selionova MI, Gladkikh MYu, Sermyagin AA, Lashneva IA. Comparative analysis of the goat and sheep milk component composition. *Proceedings of Kuban State Agrarian University*. 2023;108:204-211. doi: 10.21515/1999-1703-108-204-211
14. Chistyakov VT. Modern development of breeding and genetics in the Russian pig breeding. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018;4(59):71-78. doi: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.71
15. Yakovlev AF. Genomic selection and prediction of offspring quality in animals. *Vestnik of Russian Academy of Science*. 2018;88(10):946-950. doi: 10.31857/S086958730002151-4
16. Jibrila I, ten Napel J, Vandenplas J, Veerkamp RF, Calus MPL. Investigating the impact of preselection on subsequent single-step genomic BLUP evaluation of preselected animals. *Genetics Selection Evolution*. 2020;52(1):42. doi: 10.1186/s12711-020-00562-6
17. Lourenco D, Tsuruta S, Aguilar I, Masuda Y, Bermann M, Legarra A, Misztal I. Recent updates in the BLUPF90 software suite. In: Veerkamp RF, de Haas Y, editors. *Proceedings of 12th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP)*;2023:1530-1533. doi: 10.3920/978-90-8686-940-4_366
18. Melnikova E, Kabanov A, Nikitin S, et al. Application of genomic data for reliability improvement of pig breeding value estimates. *Animals*. 2021;11(6):1557. doi: 10.3390/ani11061557

Информация об авторах:

Петр Ильич Отраднов, младший научный сотрудник лаборатории генетических технологий в агро- и аквакультуре, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Россия, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60, тел.: +7 (929) 613-14-75.

Олеся Сергеевна Осипова, младший научный сотрудник лаборатории генетических технологий в агро- и аквакультуре, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Россия, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60, тел.: +7 (926) 153-61-27.

Анна Александровна Белоус, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией генетических технологий в агро- и аквакультуре, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Россия, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60, тел.: +7 (985) 040-40-28

Information about the authors:

Petr I Otradnov, Junior Researcher, Laboratory of Genetic Technologies in Aquatic and Agricultural Farms, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia, tel.: +7 (929) 613-14-75.

Olesya S Osipova, Junior Researcher, Laboratory of Genetic Technologies in Aquatic and Agricultural Farms, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia, tel.: +7 (926) 153-61-27.

Anna A Belous, Cand. Sci. (Biology), Senior Research, Head of Laboratory Genetic Technologies in Aquatic and Agricultural Farms, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia, tel.: +7 (985) 040-40-28.

Статья поступила в редакцию 10.01.2025; одобрена после рецензирования 21.02.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 10.01.2025; approved after reviewing 21.02.2025; accepted for publication 17.03.2025.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА, КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ И ЭКОНОМИКА В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 591.15:591.11

doi:10.33284/2658-3135-108-1-73

**Возрастные и наследственные факторы, влияющие на гематологические показатели
герефордской породы крупного рогатого скота**

Мария Андреевна Барсукова¹, Ольга Игоревна Себезжко²

^{1,2} Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

¹mariabar23@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7022-6011>

²sebezhkoolga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0976-8166>

Аннотация. Исследование крови мясного скота актуально в связи с особенностями содержания животных в условиях, требующих высокого уровня адаптации. Герефордский скот хорошо переносит экстремально низкие и высокие температуры, однако для племенного скота важна оценка животных не только по продуктивности, но и по признакам интерьера, в том числе и показателям гематологии. Целью исследования являлась сравнительная оценка показателей крови племенного скота герефордской породы в родительском и дочернем поколениях. Исследование проводилось в условиях племенного репродуктора, расположенного в предгорной зоне Маслянинского района Новосибирской области. Изучены гематологические показатели периферической крови коров и телок герефордской породы (пары «мать-дочь»), круглогодично содержащихся на открытом воздухе в условиях предгорных пастбищ юга Западной Сибири. Возраст коров составлял 3-5 отел, возраст телок – 17-18 месяцев. Анализировались показатели крови в материнском и дочернем поколениях (66 пар «родитель-потомок»). Установлено, что гематологические показатели коров и телок в условиях предгорных пастбищ юга Западной Сибири находятся в пределах референтных значений при достаточно высокой изменчивости всех признаков. Достоверные различия между показателями матерей и дочерей при условии однотипного содержания, кормления и периода отбора крови говорят о наличии влияния скорее возраста животных, чем условий среды. При этом обнаружен достаточно высокий уровень наследуемости гематологических показателей, в первую очередь связанных со способностью крови к переносу кислорода, что может быть использовано как критерий приспособленности животных к экстремальным условиям.

Ключевые слова: коровы, телки, герефордская порода, гематология, наследуемость, изменчивость, приспособленность

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2023-2025 гг. ФГБОУ ВО НГАУ (№ FESF-2023-0002).

Для цитирования: Барсукова М.А., Себезжко О.И. Возрастные и наследственные факторы, влияющие на гематологические показатели герефордской породы крупного рогатого скота // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 73-85. [Barsukova MA, Sebezhko OI. Age and hereditary factors affecting the hematological parameters of the Hereford cattle. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):73-85. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-73>

PRODUCTION TECHNOLOGY, QUALITY AND ECONOMY IN ANIMAL HUSBANDRY
Original article

Age and hereditary factors affecting the hematological parameters of the Hereford cattle

Maria A Barsukova¹, Olga I Sebezhko²

^{1,2}Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russia

¹mariabar23@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7022-6011>

²sebezhkoolga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0976-8166>

Abstract. Blood testing of beef cattle is relevant due to the peculiarities of keeping animals in conditions requiring a high level of adaptation. Hereford cattle tolerate extremely low and high tempera-

tures well; however, for breeding cattle it is important to evaluate animals not only by productivity, but also by interior features, including hematological parameters. The aim of the study was a comparative assessment of the blood parameters of breeding cattle of the Hereford breed in the parental and daughter generations. The study was conducted in a breeding farm located in the foothill zone of the Maslyaninsky District of the Novosibirsk Region. The object of the study was the hematological parameters of peripheral blood of Hereford cows and heifers (mother-daughter pairs) kept outdoors all year round in the foothill pastures of the south of Western Siberia. The age of the cows was 3-5 calving, the age of the heifers was 17-18 months. Blood counts in the maternal and daughter generations were analyzed, and the total number of parent-descendant pairs was 66 pairs. It has been established that the hematological parameters of cows and heifers in the conditions of foothill pastures in the south of Western Siberia are within the reference values with a sufficiently high variability of all signs. Significant differences between the indicators of mothers and daughters under the condition of the same type of maintenance, feeding and the period of blood sampling indicate the presence of the influence of the age of animals rather than environmental conditions. At the same time, a fairly high level of heritability of hematological parameters was found, primarily related to the blood's ability to transport oxygen, which can be used as a criterion for the animals' adaptability to extreme conditions.

Keywords: cows, heifers, Hereford breed, hematology, heritability, variability, adaptability

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2023-2025 of the FSBEI HE NSAU (No. FESF-2023-0002).

For citation: Barsukova MA, Sebezheko OI. Age and hereditary factors affecting the hematological parameters of the Hereford cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):73-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-73>

Введение.

Герефордская порода крупного рогатого скота – одна из наиболее широко распространенных пород скота мясного направления продуктивности как в России, так и в мире (Дунин И. М. и др., 2021). Широкое использование этой породы обусловлено не только выдающимися откормочными и мясными качествами (Елемесов Б.К. и др., 2024), особенностями строения мышечной ткани, но и способностью к акклиматизации в разнообразных условиях (Hu L et al., 2021). Для условий предгорных пастбищ юга Западной Сибири актуальна способность благополучно переносить экстремальные условия среды без потери продуктивности и здоровья (Нарожных К.Н., 2021; Дускаев Г.К. и др., 2022; Морузи И.В. и др., 2019). Признаки интерьера важны как маркер для определения состояния и приспособленности (Нарожных К.Н., 2023; Kim W-S et al., 2023) наряду с показателями продуктивности (Барсукова М.А. и др., 2024; Барсукова М.А. и др., 2023; Соколова Е.А. и др., 2019).

Одними из наиболее информативных интерьерных признаков считаются показатели крови (Masebo NT et al., 2023; Себежко О.И. и др., 2023), в первую очередь – гематологический профиль (Sofyan H et al., 2020). Однако наряду с факторами среды на гематологические показатели могут влиять и индивидуальные особенности, включая наследственность (Chinchilla-Vargas J et al., 2020; Yang T et al., 2024). В связи с этим актуальным представляется не только определение гематологических показателей скота, содержащегося в течение всего года на открытом воздухе, но и сравнение этих показателей между поколениями, а также определение влияния генетических факторов на основные показатели крови (Hai C et al., 2023).

Цель исследования.

Сравнительная оценка показателей крови племенного скота герефордской породы в родительском и дочернем поколениях.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Гематологические показатели периферической крови коров и телок герефордской породы (пары «мать-дочь»). Возраст коров составлял 3-5 лет, возраст телок – 17-18 месяцев.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов, протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследование проводилось в условиях племенного репродуктора, расположенного в предгорной зоне Маслянинского района Новосибирской области. Анализировались показатели крови в материнском и дочернем поколениях коров и телок герефордской породы, круглогодично содержащихся на открытом воздухе в условиях предгорных пастбищ юга Западной Сибири. Было исследовано 66 пар «родитель-потомок». Образцы крови у коров брали в стандартные вакуумные пробирки из хвостовой вены в период формирования гуртов на зимний период. Для взятия крови использовались стерильные одноразовые медицинские иглы, предназначенные для вакуумных систем взятия крови. Образцы крови доставлялись в лабораторию биохимии и гематологии кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии Новосибирского ГАУ в термобоксе с хладагентами при температуре +2...+4 °С.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы лаборатории биохимии и гематологии кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии Новосибирского ГАУ. Измерение гематологических параметров проводили с помощью автоматического гематологического анализатора PCE 90Vet (High Technology Inc., США).

Статистическая обработка. Анализ данных был выполнен с использованием R – бесплатной программной среды для статистических вычислений и графики (Версия R 4.3.3 <https://www.r-project.org/>). Проверка гипотезы о нормальности распределения признаков осуществлялась методом Шапиро-Уилка (SW.p), присутствие значимых различий между поколениями определялась ранговым тестом Вилкоксона для связанных выборок, коэффициент наследуемости был рассчитан методом корреляции Пирсона в парах «родитель-потомок».

Результаты исследований.

Гематологический состав периферической крови герефордской породы скота в смежных поколениях представлен в таблицах 1 и 2. Коровы и телки содержались одновременно, на одной территории, в одинаковых условиях кормления, при внешнем осмотре состояние было удовлетворительным, без признаков травм и заболеваний. В связи с этим можно пренебречь условиями среды, как фактором, оказывающим влияние на гематологические показатели животных родительского и дочернего поколения.

Основные показатели крови матерей находились в пределах референсных значений, за исключением СОЭ (95 мм/ч), что выше верхнего предела нормы, и средней концентрации гемоглобина в эритроците (290 г/л при минимальной границе нормы 300 г/л). При этом следует отметить, что величина коэффициента вариации для этого признака у коров материнского поколения составляла 112 % при уровне значимости критерия Шапиро-Уилка меньше, чем 0,001 (табл. 1), что может влиять на средний результат группы.

При индивидуальном анализе стада было выявлено несколько голов коров с высокими значениями для СОЭ – на уровне 10-14 мм/ч (рис. 1), что характеризует индивидуальное состояние животных, но не все стадо в целом. Это является показателем наличия проблемных животных, однако их доля в выборке не превышает 5 %. Аналогичная картина наблюдается и в группе дочерей (табл. 2): сравнительно высокое значение СОЭ (2,98 мм/ч при $C_v=90\%$) объясняется наличием нескольких голов с высоким уровнем СОЭ – 7-11 мм/ч, однако доля таких животных в выборке была несколько выше, чем в группе матерей (рис. 1 и 2).

Таблица 1. Гематологический состав периферической крови коров герефордской породы
в материнском поколенииTable 1. Hematological composition of peripheral blood of the Hereford cows in the maternal
generation

Показатель / <i>Indicator</i>	Референсные значения / <i>Reference values</i>	Mean	Cv	Q1	Q3	SW	SW.p
WBS, $\times 10^9/\text{л}$ (Лейкоциты) / <i>Leukocytes, $\times 10^9/\text{l}$</i>	5-16	7,50	55,7	5,39	8,33	0,829	<0,001
RBC, $\times 10^9/\text{л}$ (Эритроциты) / <i>Erythrocytes, $\times 10^9/\text{l}$</i>	5-10,1	6,22	27	5,88	7,05	0,905	<0,001
HGB, г/л (Гемоглобин) / <i>Hemoglobin, g/l</i>	90-139	98,00	26,1	90	112	0,892	<0,001
ESR, мм/ч (СОЭ) / <i>ESR, mm/h</i>	0,5-1,5	2,95	112,9	0,483	4	0,8	<0,001
HCT, % (Гематокрит) / <i>Hematocrit, %</i>	28-46	33,30	28,4	30,2	37,4	0,9	<0,001
MCV, фл (Средний объем эритроцита) / <i>Average erythrocyte volume, fl</i>	38-53	53,50	6,6	50,6	55,4	0,985	0,631
MCH, пг (Среднее содержание гемоглобина в эритроците) / <i>Average hemoglobin content in erythrocyte, pg</i>	13-19	15,70	12,2	15,2	16,6	0,689	<0,001
MCHC, г/л (Средняя концентрация гемоглобина в эритроците) / <i>The average concentration of hemoglobin in the erythrocyte, g/l</i>	300-370	290,60	16,5	293	304	0,39	<0,001
RDV, % (Ширина распределения эритроцитов) / <i>The width of the distribution of erythrocytes, %</i>	14-19	15,30	15,1	14,6	15,5	0,396	<0,001
PLT, $\times 10^9/\text{л}$ (Тромбоциты) / <i>Platelets, $\times 10^9/\text{l}$</i>	120-820	303,70	105,7	66,2	364,9	0,684	<0,001
MPV, фл (Средний объем тромбоцитов) / <i>The average volume of platelets, fl</i>	3,8-7	9,02	97,2	7,6	8,31	0,151	<0,001
PDW, % (Относительная ширина распределения тромбоцитов по объему) / <i>The relative width of the distribution of platelets by volume, %</i>	10-18	16,30	2,8	16,1	16,5	0,919	<0,001
PTC, % (Тромбокрит) / <i>Thrombocrit, %</i>	0,1-0,5	0,20	77,3	0,045	0,279	0,914	<0,001

Таблица 2. Гематологический состав периферической крови телок герефордской породы
 в дочернем поколении

Table 2. Hematological composition of peripheral blood of Hereford heifers in the daughter
 generation

Показатель / Indicator	Референсные значения / Reference values	Mean	Cv	Q1	Q3	SW	SW.p
WBS, $\times 10^9/\text{л}$ (Лейкоциты) / Leukocytes, $\times 10^9/\text{л}$	5-16	9,99	30,7	8,0	11,0	0,832	<0,001
RBC, $\times 10^9/\text{л}$ (Эритроциты) / Erythrocytes, $\times 10^9/\text{л}$	5-10,1	7,76	13,8	7,1	8,4	0,941	<0,01
HGB, г/л (Гемоглобин) / Hemoglobin, g/l	90-139	107,90	16,1	101,0	116,2	0,802	<0,001
ESR, мм/ч (СОЭ) / ESR, mm/h	0,5-1,5	2,98	90,3	1,0	4,0	0,835	<0,001
HCT, % (Гематокрит) / Hematocrit, %	28-46	36,30	12,9	33,3	39,0	0,917	<0,001
MCV, фл (Средний объем эритроцита) / Average erythrocyte volume, fl	38-53	46,40	11,4	44,5	49,4	0,815	<0,001
MCH, пг (Среднее содержание гемоглобина в эритроците) / Average hemoglobin content in erythrocyte, pg	13-19	14,20	10,6	13,7	15,0	0,826	<0,001
MCHC, г/л (Средняя концентрация гемоглобина в эритроците) / The average concentration of hemoglobin in the erythrocyte, g/l	300-370	302,60	8,6	301,0	312,1	0,449	<0,001
RDV, % (Ширина распределения эритроцитов) / The width of the distribution of erythrocytes, %	14-19	16,20	6,2	15,5	17,0	0,979	0,314
PLT, $\times 10^9/\text{л}$ (Тромбоциты) / Platelets, $\times 10^9/\text{л}$	120-820	332,80	127,3	148,4	325,3	0,539	<0,001
MPV, фл (Средний объем тромбоцитов) / The average volume of platelets, fl	3,8-7	7,02	8,0	6,7	7,4	0,955	0,017
PDW, % (Относительная ширина распределения тромбоцитов по объему) / The relative width of the distribution of platelets by volume, %	10-18	15,60	3,6	15,2	16,0	0,982	0,451
PTC, % (Тромбокрит) / Thrombocrit, %	0,1-0,5	0,16	56,2	0,1	0,2	0,961	0,037

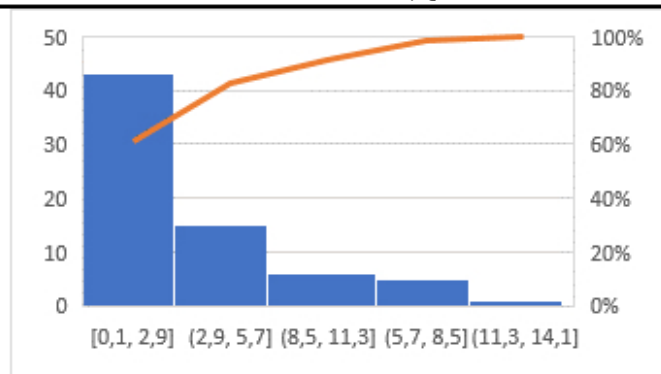


Рисунок 1. Диаграмма Парето для СОЭ (мм/ч) у материнского поколения

Figure 1. Pareto diagram for ESR (mm/h) in the maternal generation

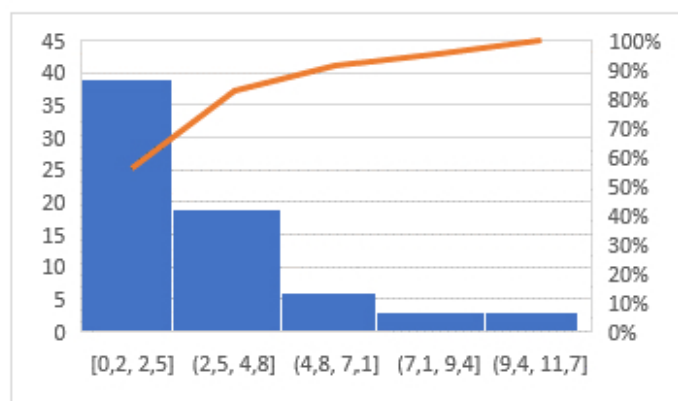


Рисунок 2. Диаграмма Парето для СОЭ (мм/ч) у дочернего поколения

Figure 2. Pareto diagram for ESR (mm/h) in the child generation

Как в материнском, так и дочернем поколениях наибольшая величина изменчивости отмечалась у СОЭ – 112 и 90 % соответственно, что объясняется наличием животных с пиковыми значениями этого параметра в обеих группах. Аналогичная картина отмечалась в отношении количества тромбоцитов: 105 % – в группе матерей и 127 % – в группе дочерей, однако широкий референсный интервал для этого признака позволяет считать показатели всех животных обеих групп нормальными. В целом, величина изменчивости признаков гематологии у материнского поколения выше, чем у дочернего.

Для проверки нормальности распределения для обеих групп был использован тест Шапиро-Уилка (табл. 1 и 2). В материнском поколении распределение всех признаков не соответствовало нормальному, в поколении дочерей картина аналогична. В силу того, что распределение признаков в группах признано не соответствующим нормальному, для определения достоверности различий использован ранговый тест Вилкоксона для связанных выборок. Результаты оценки достоверности различий между поколениями представлены в таблице 3.

По результатам рангового теста Вилкоксона видно, что различия между материнским и дочерним поколениями в гематологических показателях высокодостоверны, за исключением СОЭ и количества тромбоцитов, что является следствием высокого размаха изменчивости у этих признаков (табл. 1 и 2). Наиболее высокие значения t-критерия Вилкоксона были получены для среднего объема эритроцитов и среднего содержания гемоглобина в эритроците (табл. 3), то есть признаков, связанных с транспортировкой кислорода кровью.

Таблица 3. Достоверность различий гематологических параметров между материнским и дочерним поколениями
 Table 3. Reliability of differences in hematological parameters between the maternal and daughter generations

Показатель / Indicator	W-статистика / W-statistic	P-значение / P-value
WBS, $\times 10^9$ /л (Лейкоциты) / Leukocytes, $\times 10^9$ /l	984,5	<0,001
RBC, $\times 10^9$ /л (Эритроциты) / Erythrocytes, $\times 10^9$ /l	762,5	<0,001
HGB, г/л (Гемоглобин) / Hemoglobin, g/l	1633,0	<0,01
ESR, мм/ч (СОЭ) / ESR, mm/h	1930,5	>0,05
HCT, % (Гематокрит) / Hematocrit, %	1726,0	<0,05
MCV, фл (Средний объем эритроцита) / Average erythrocyte volume, fl	3941,5	<0,001
MCH, пг (Среднее содержание гемоглобина в эритроците) / Average hemoglobin content in erythrocyte, pg	3709,5	<0,001
MCHC, г/л (Средняя концентрация гемоглобина в эритроците) / The average concentration of hemoglobin in the erythrocyte, g/l	1212,0	<0,001
RDV, % (Ширина распределения эритроцитов) / The width of the distribution of erythrocytes, %	809,5	<0,001
PLT, $\times 10^9$ /л (Тромбоциты) / Platelets, $\times 10^9$ /l	2213,0	>0,05
MPV, фл (Средний объем тромбоцитов) / The average volume of platelets, fl	3805,5	<0,001
PDW, % (Относительная ширина распределения тромбоцитов по объему) / The relative width of the distribution of platelets by volume, %	3767,5	<0,001
PTC, % (Тромбокрит) / Thrombocrit, %	2234,0	>0,05

Коэффициент наследуемости для гематологических показателей был рассчитан методом корреляционного анализа между материнским и дочерним поколениями (табл. 4).

Таблица 4. Наследуемость гематологических показателей крови скота герефордской породы в парах «мать-дочь»
 Table 4. Heritability of hematological blood parameters of the Hereford cattle in mother-daughter pairs

Показатель / Indicator	Коэффициент наследуемости (h^2) / The coefficient of heritability
WBS, $\times 10^9$ /л (Лейкоциты) / Leukocytes, $\times 10^9$ /l	0,16
RBC, $\times 10^9$ /л (Эритроциты) / Erythrocytes, $\times 10^9$ /l	0,31
HGB, г/л (Гемоглобин) / Hemoglobin, g/l	0,30
ESR, мм/ч (СОЭ) / ESR, mm/h	0,03
HCT, % (Гематокрит) / Hematocrit, %	0,23
MCV, фл (Средний объем эритроцита) / Average erythrocyte volume, fl	0,08
MCH, пг (Среднее содержание гемоглобина в эритроците) / Average hemoglobin content in erythrocyte, pg	0,16
MCHC, г/л (Средняя концентрация гемоглобина в эритроците) / The average concentration of hemoglobin in the erythrocyte, g/l	0,46
RDV, % (Ширина распределения эритроцитов) / The width of the distribution of erythrocytes, %	0,34
PLT, $\times 10^9$ /л (Тромбоциты) / Platelets, $\times 10^9$ /l	0,18
MPV, фл (Средний объем тромбоцитов) / The average volume of platelets, fl	0,34
PDW, % (Относительная ширина распределения тромбоцитов по объему) / The relative width of the distribution of platelets by volume, %	0,18
PTC, % (Тромбокрит) / Thrombocrit, %	0,27

Достаточно большое количество гематологических признаков продемонстрировало умеренный уровень наследуемости (h^2 – от 0,30 до 0,46), в первую очередь связанные со способностью крови к переносу кислорода: средняя концентрация гемоглобина в эритроците – 0,46, содержание эритроцитов – 0,31 и гемоглобина – 0,30.

Обсуждение полученных результатов.

Изучение интерьерных признаков сельскохозяйственных животных – важный аспект общей характеристики потенциала стада, породы или популяции (Sammad A et al., 2020). Гематологический профиль – это эффективный показатель состояния организма в сравнении с референсными значениями, установленными для данного региона или популяции (Tsiamadis V et al., 2022), в силу наличия региональных аспектов, влияющих на состояние животных. Поэтому особенно важно определение соответствия каждой конкретной группы норме, определенной для данного региона, и сформированной под действием климатических, технологических и геохимических факторов, определяющих такие важные показатели, как содержание железа и, как следствие, гемоглобина (Тарасова Е.И. и др., 2024; Narozhnykh K, 2024). Кроме факторов среды на показатели крови не менее значимо могут влиять и индивидуальные особенности исследуемой группы, такие как происхождение, возраст и т. д. (Chen H, 2022). Межпоколенческие различия, с одной стороны, и генетическая составляющая, с другой, определенные нами в работе, представляются интересными. Влияние факторов среды на взрослых животных может быть одной из важных причин различий в гематологическом профиле животных материнского и дочерних поколений, включая накопленные последствия содержания в суровых климатических условиях, недостаточного или несбалансированного кормления (Джуламанов К.М. и др., 2022). При этом наличие генетической составляющей для признаков, отвечающих за связывание и транспорт кислорода, позволяет использовать их как маркер адаптивного потенциала животных, что особенно актуально для условий юга Западной Сибири.

В своих исследованиях мы обнаружили, что показатели крови животных как материнского, так и дочернего поколений находятся в пределах референсных значений, при этом по большинству из них существуют достоверные различия: из общего ряда в обеих группах выбивается СОЭ, величина которой составляла 2,95-2,98 при отсутствии достоверных отличий между животными двух поколений. Так, анализ распределения животных по этому признаку (рис. 1 и 2) показывает, что высокая средняя СОЭ фактически обуславливается присутствием в группах животных со значениями в пределах 7-11 мм/ч, при этом их доля незначительна. Это – маркер стабильного присутствия в стаде коров и телок с воспалительным процессом, при этом доля их в дочернем поколении выше, чем в материнском. Показательно наличие достоверных различий между животными двух поколений по признакам, связанным с кислородотранспортной функцией крови и, косвенно, с адаптивным потенциалом, таких как средний объем эритроцита, среднее содержание гемоглобина в эритроците и средняя концентрация гемоглобина в эритроците. При этом у коров материнского поколения величина первых двух признаков достоверно выше, чем у телок дочернего, но третий признак (средняя концентрация гемоглобина) также достоверно уступает. Низкий коэффициент наследуемости для среднего объема эритроцитов (0,08) также показывает значимость различий между двумя поколениями. Достоверные различия между показателями крови матерей и дочерей при условии одинакового содержания говорят о наличии влияния скорее возраста животных, чем условий среды.

Величина коэффициента наследуемости для таких признаков, как средняя концентрация гемоглобина, количество эритроцитов и количество гемоглобина (табл. 4) указывает на возможность эффективного отбора животных с повышенной кислородотранспортной функцией крови, что может быть особенно важно для адаптации к условиям с низким содержанием кислорода в воздухе (например, высокогорье). Менее наследуемыми оказались такие показатели как количество лейкоцитов (0,16), гематокрит (0,23) и тромбоциты (0,27), что свидетельствует о большей роли факторов среды в формировании этих признаков.

Наличие генетической составляющей в гематологических показателях мясного и молочного скота подтверждается данными литературы (Yang T et al., 2024; Vallejo-Timarán D et al., 2020) и может быть использовано при оценке приспособленности животных к условиям среды при проведении мероприятий по отбору коров в родительское стадо.

Заключение.

На основании анализа гематологического профиля установлены достоверные различия между животными герефордской породы скота материнского и дочернего поколений при том, что большая часть признаков остается в пределах референсных значений. Повышенный уровень СОЭ в обеих группах обусловлен присутствием нескольких процентов животных с высокими значениями этого признака. Генетическая составляющая для показателей крови, особенно связанных с функцией транспортировки кислорода, является показателем возможности отбора в сторону повышения приспособленности животных к экстремальным природно-климатическим условиям, поскольку эффективная доставка кислорода к тканям – важный фактор выживаемости и продуктивности в таких условиях.

Список источников

1. Дунин И.М., Дунин М.И., Аджибеков В.К. Породная и генетико-селекционная база отечественного животноводства // Зоотехния. 2021. № 1. С. 2-6. [Dunin IM, Dunin MI, Adzhibekov VK. Breed and genetic-breeding base of domestic animal husbandry. Zootechniya. 2021;1:2-6. (In Russ.)]. doi: 10.25708/ZT.2020.66.16.001
2. Елемесов Б.К., Явнова М.С., Джуламанов К.М. Весовой и линейный рост животных герефордской породы скота разных экстерьерных типов // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 2. С. 49-60. [Elemesov BK, Yavnova MS, Dzhulamanov KM. Weight and linear growth of Hereford cattle of different exterior types. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):49-60. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-49
3. Изучение частот однонуклеотидного полиморфизма Ser638Arg гена CAST у свиней кросса PIC / Е.А. Соколова, М.Л. Филипенко, Е.Н. Воронина и др. // Ветеринария и кормление. 2019. № 7. С. 6-8. [Sokolova EA, Filipenko ML, Voronina EN. Study of the frequencies of the single-nucleotide polymorphism Ser638Arg of the CAST gene in pigs of the crossbred PIC. Veterinariya i kormlenie. 2019;7:6-8. (In Russ.)]. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2019-7-1
4. Краткий обзор систем производства говядины в России и мире (обзор) / Г.К. Дускаев, А.В. Харламов, Г.И. Левахин и др. // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 3. С. 78-94. [Duskaev GK, Kharlamov AV, Levakhin GI, et al. Brief overview of beef production systems in Russia and the world (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(3):78-98. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-3-78
5. Межпородные различия содержания и изменчивости холестерина у крупного рогатого скота Сибири / О.И. Себежко, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов и др. // Вестник КрасГАУ. 2023. № 4(193). С. 137-143. [Sebezhko OI, Korotkevich OS, Petukhov VL, et al. Interbreed differences in the content and variability of cholesterol in cattle of Siberian. Bulletin of KSAU. 2023;4(193):137-143. (In Russ.)]. doi: 10.36718/1819-4036-2023-4-137-143
6. Мониторинг живой массы племенного скота герефордской породы в условиях пастбищного содержания / М.А. Барсукова, О.А. Иванова, И.А. Афанасьева и др. // Инновации и продовольственная безопасность. 2024. № 1(43). С. 10-19. [Barsukova MA, Ivanova OA, Afanasyeva IA. Monitoring the live weight of Hereford breeding cattle under pasture conditions. Innovations and Food Safety. 2023;1(43):10-19. (In Russ.)]. doi: 10.31677/2311-0651-2023-43-1-10-19
7. Нарожных К.Н. Влияние эколого-географического фактора на содержание тяжелых металлов в легких герефордского скота // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 5. С. 83-90. [Narozhnykh KN. Influence of environmental and geographical factor on the

heavy metal content in the lungs of Hereford cattle. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2021;51(5):83-90. (*In Russ.*). doi: 10.26898/0370-8799-2021-5-10

8. Нарожных К.Н. Референтные интервалы концентрации микроэлементов в семенниках крупного рогатого скота с учетом паратипических факторов // Вестник КрасГАУ. 2023. № 6(195). С. 138-144. [Narozhnykh KN. Reference intervals of microelements concentration in the cattle testes with paratypic factors consideration. *Bulletin of KSAU*. 2023;6(195):138-144. (*In Russ.*). doi: 10.36718/1819-4036-2023-6-138-144

9. Продуктивность и интерьерные особенности молодняка мясного скота разных генотипов в связи с возрастом и сезоном года / К.М. Джуламанов, В.И. Колпаков, Н.П. Герасимов, А.Т. Бактыгалиева // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 2. С. 37-48. [Dzhulamanov KM, Kolpakov VI, Gerasimov NP, Baktygalieva AT. Productivity and interior features of young beef cattle of different genotypes in association with age and season. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(2):37-48. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-105-2-37

10. Развитие и продуктивность коров породы герефорд по итогам бонитировок / М.А. Барсукова, О.А. Иванова, И.А. Афанасьева и др. // Инновации и продовольственная безопасность. 2023. № 4(42). С. 34-41. [Barsukova MA, Ivanova OA, Afanasyeva IA et al. The development and productivity of Hereford cattle based on the results of scoring assessments. *Innovations and Food Safety*. 2023;4(42):34-41. (*In Russ.*). doi: 10.31677/2311-0651-2023-42-4-34-41

11. Тарасова Е.И., Полякова В.С., Сизова Е.А. Связь полиморфизма гена *DGAT1* с элементарным составом биосубстратов и продуктивностью коров чёрно-пёстрой породы Ленинградской, Вологодской и Оренбургской областей // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 3. С. 8-24. [Tarasova EI, Polyakova VS, Sizova EA. Association of *DGAT1* gene polymorphism with the elemental composition of biosubstrates and productivity of black-and-white cows in the Leningrad, Vologda, And Orenburg Regions. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(3):8-24. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-107-3-8

12. Эффективность племенной работы со стадами карпа на юге Западной Сибири / И.В. Моружи, Л.И. Законнова, Е.В. Пищенко и др. // Рыбное хозяйство. 2019. № 1. С. 71-76. [Moruzi IV, Zakonnova LI, Pishchenko EV et al. Efficiency of pedigree management for carp herds in the south of Western Siberia. *Fisheries*. 2019;1:71-76. (*In Russ.*).]

13. Chinchilla-Vargas J, Kramer LM, Tucker JD, Hubbell DS, Powell J, Lester TD, Backes EA, Anschutz K, Decker JE, Stalder K, Rothschild MF, Koltes JE. Genetic basis of blood-based traits and their relationship with performance and environment in beef cattle at weaning. *Frontiers in Genetics*. 2020;11:717. doi: 10.3389/fgene.2020.00717

14. Chen H, Yu B, Liu C, Cheng L, Yu J, Hu X, Xiang M. Hematology reference intervals for holstein cows in Southern China: A study of 786 subjects. *Veterinary Science*. 2022;9(10):565. doi: 10.3390/vetsci9100565

15. Hai C, Bai C, Yang L, Wei Z, Wang H, Ma H, Ma H, Zhao Y, Su G, Li G. Effects of different generations and sex on physiological, biochemical, and growth parameters of crossbred beef cattle by Myostatin Gene-Edited luxi bulls and simmental cows. *Animals*. 2023;13(20):3216. doi: 10.3390/ani13203216

16. Hu L, Brito LF, Abbas Z, Sammad A, Kang L, Wang D, Wu H, Liu A, Qi G, Zhao M, et al. Investigating the short-term effects of cold stress on metabolite responses and metabolic pathways in Inner-Mongolia sanhe cattle. *Animals*. 2021;11(9):2493. doi: 10.3390/ani11092493

17. Kim W-S, Ghassemi NJ, Lee H-G. Impact of cold stress on physiological, endocrinological, immunological, metabolic, and behavioral changes of beef cattle at different stages of growth. *Animals*. 2023;13(6):1073. doi: 10.3390/ani13061073

18. Masebo NT, Marliani G, Cavallini D, Accorsi PA, Pietro M Di, Beltrame A, Gentile A, Jacinto JGP. Health and welfare assessment of beef cattle during the adaptation period in a specialized commercial fattening unit. *Research in Veterinary Science*. 2023;158:50-55. doi: 10.1016/j.rvsc.2023.03.008

19. Narozhnykh K. Development of a predictive model for iron levels in bovine muscle tissue using hair as a predictor. *Animals*. 2024;14(7):1028. doi: 10.3390/ani14071028
20. Sammad A, Wang YJ, Umer S, Lirong H, Khan I, Khan A, Ahmad B, Wang Y. Nutritional physiology and biochemistry of dairy cattle under the influence of heat stress: consequences and opportunities. *Animals*. 2020;10(5):793. doi: 10.3390/ani10050793
21. Sofyan H, Satyaningtijas AS, Sumantri C, Sudarnika E, Agungpriyono S. Hematological profile of aceh cattle. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2020;8(1):108-114. doi: 10.17582/journal.aavs/2020/8.1.108.114
22. Tsiamadis V, Kougioumtzis A, Siachos N, Panousis N, Kritsepi-Konstantinou M, Valergakis GE. Hematology reference intervals during the prepartum period, first week after calving, and peak lactation in clinically healthy Holstein cows. *Veterinary Clinical Pathology*. 2022;51(1):134-145. doi: 10.1111/vcp.13069
23. Vallejo-Timarán D, Montoya-Zuluaga J, Castillo-Vanegas V, Maldonado-Estrada J. Parity and season affect hematological, biochemical, and milk parameters during the early postpartum period in grazing dairy cows from high-tropics herds. *Heliyon*. 2020;6(5):e04049. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04049
24. Yang T, Luo H, Lou W, Chang Y, Brito LF, Zhang H, Ma L, Hu L, Wang A, Li Sh, Guo G, Wang Y. Genetic background of hematological parameters in Holstein cattle based on genome-wide association and RNA sequencing analyses. *Journal of Dairy Science*. 2024;107(7):4772-4792. doi: 10.3168/jds.2023-24345

References

1. Dunin IM, Dunin MI, Adzhibekov VK. Breed and genetic-breeding base of domestic animal husbandry. *Zootechniya*. 2021;1:2-6. doi: 10.25708/ZT.2020.66.16.001
2. Elmesov BK, Yavnova MS, Dzhulamanov KM. Weight and linear growth of Hereford cattle of different exterior types. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(2):49-60. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-49
3. Sokolova EA, Filipenko ML, Voronina EN. Study of the frequencies of the single-nucleotide polymorphism Ser638Arg of the CAST gene in pigs of the crossbred PIC. *Veterinary Science and Feeding*. 2019;7:6-8. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2019-7-1
4. Duskaev GK, Kharlamov AV, Levakhin GI, et al. Brief overview of beef production systems in Russia and the world (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):78-98. doi: 10.33284/2658-3135-105-3-78
5. Sebezhko OI, Korotkevich OS, Petukhov VL, et al. Interbreed differences in the content and variability of cholesterol in cattle of Siberian. *Bulletin of KSAU*. 2023;4(193):137-143. doi: 10.36718/1819-4036-2023-4-137-143
6. Barsukova MA, Ivanova OA, Afanasyeva IA, et al. Monitoring the live weight of Hereford breeding cattle under pasture conditions. *Innovations and Food Safety*. 2023;1(43):10-19. doi: 10.31677/2311-0651-2023-43-1-10-19
7. Narozhnykh KN. Influence of environmental and geographical factor on the heavy metal content in the lungs of Hereford cattle. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2021;51(5):83-90. doi: 10.26898/0370-8799-2021-5-10
8. Narozhnykh KN. Reference intervals of microelements concentration in the cattle testes with paratypic factors consideration. *Bulletin of KSAU*. 2023;6(195):138-144. doi: 10.36718/1819-4036-2023-6-138-144
9. Dzhulamanov KM, Kolpakov VI, Gerasimov NP, Baktygalieva AT. Productivity and interior features of young beef cattle of different genotypes in association with age and season. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(2):37-48. doi: 10.33284/2658-3135-105-2-37

10. Barsukova MA, Ivanova OA, Afanasyeva IA et al. The development and productivity of Hereford cattle based on the results of scoring assessments. *Innovations and Food Safety*. 2023;4(42):34-41. doi: 10.31677/2311-0651-2023-42-4-34-41
11. Tarasova EI, Polyakova VS, Sizova EA. Association of *DGAT1* gene polymorphism with the elemental composition of biosubstrates and productivity of black-and-white cows in the Lenin-grad, Vologda, And Orenburg Regions. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107;(3):8-24. doi: 10.33284/2658-3135-107-3-8
12. Moruzi IV, Zakonnova LI, Pishchenko EV et al. Efficiency of pedigree management for carp herds in the south of Western Siberia. *Fisheries*. 2019;1:71-76.
13. Chinchilla-Vargas J, Kramer LM, Tucker JD, Hubbell DS, Powell J, Lester TD, Backes EA, Anschutz K, Decker JE, Stalder K, Rothschild MF, Koltes JE. Genetic basis of blood-based traits and their relationship with performance and environment in beef cattle at weaning. *Frontiers in Genetics*. 2020;11:717. doi: 10.3389/fgene.2020.00717
14. Chen H, Yu B, Liu C, Cheng L, Yu J, Hu X, Xiang M. Hematology reference intervals for holstein cows in Southern China: A study of 786 subjects. *Veterinary Science*. 2022;9(10):565. doi: 10.3390/vetsci9100565
15. Hai C, Bai C, Yang L, Wei Z, Wang H, Ma H, Ma H, Zhao Y, Su G, Li G. Effects of different generations and sex on physiological, biochemical, and growth parameters of crossbred beef cattle by Myostatin Gene-Edited luxi bulls and simmental cows. *Animals*. 2023;13(20):3216. doi: 10.3390/ani13203216
16. Hu L, Brito LF, Abbas Z, Sammad A, Kang L, Wang D, Wu H, Liu A, Qi G, Zhao M, et al. Investigating the short-term effects of cold stress on metabolite responses and metabolic pathways in Inner-Mongolia sanhe cattle. *Animals*. 2021;11(9):2493. doi: 10.3390/ani11092493
17. Kim W-S, Ghassemi NJ, Lee H-G. Impact of cold stress on physiological, endocrinological, immunological, metabolic, and behavioral changes of beef cattle at different stages of growth. *Animals*. 2023;13(6):1073. doi: 10.3390/ani13061073
18. Masebo NT, Marliani G, Cavallini D, Accorsi PA, Pietro M Di, Beltrame A, Gentile A, Jacinto JGP. Health and welfare assessment of beef cattle during the adaptation period in a specialized commercial fattening unit. *Research in Veterinary Science*. 2023;158:50-55. doi: 10.1016/j.rvsc.2023.03.008
19. Narozhnykh K. Development of a predictive model for iron levels in bovine muscle tissue using hair as a predictor. *Animals*. 2024;14(7):1028. doi: 10.3390/ani14071028
20. Sammad A, Wang YJ, Umer S, Lirong H, Khan I, Khan A, Ahmad B, Wang Y. Nutritional physiology and biochemistry of dairy cattle under the influence of heat stress: consequences and opportunities. *Animals*. 2020;10(5):793. doi: 10.3390/ani10050793
21. Sofyan H, Satyaningtjias AS, Sumantri C, Sudarnika E, Agungpriyono S. Hematological profile of aceh cattle. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2020;8(1):108-114. doi: 10.17582/journal.aavs/2020/8.1.108.114
22. Tsiamadis V, Kougioumtzis A, Siachos N, Panousis N, Kritsepi-Konstantinou M, Valergakis GE. Hematology reference intervals during the prepartum period, first week after calving, and peak lactation in clinically healthy Holstein cows. *Veterinary Clinical Pathology*. 2022;51(1):134-145. doi: 10.1111/vcp.13069
23. Vallejo-Timarán D, Montoya-Zuluaga J, Castillo-Vanegas V, Maldonado-Estrada J. Parity and season affect hematological, biochemical, and milk parameters during the early postpartum period in grazing dairy cows from high-tropics herds. *Heliyon*. 2020;6(5):e04049. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04049
24. Yang T, Luo H, Lou W, Chang Y, Brito LF, Zhang H, Ma L, Hu L, Wang A, Li Sh, Guo G, Wang Y. Genetic background of hematological parameters in Holstein cattle based on genome-wide association and RNA sequencing analyses. *Journal of Dairy Science*. 2024;107(7):4772-4792. doi: 10.3168/jds.2023-24345

Информация об авторах:

Мария Андреевна Барсукова, кандидат биологических наук, доцент кафедры частной зоотехнии и кормления животных, Новосибирский государственный аграрный университет, Россия, 630039, г. Новосибирск, Добролюбова, 160, тел.: +7-913-956-96-73.

Ольга Игоревна Себежко, кандидат биологических наук, доцент кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии, Новосибирский государственный аграрный университет, Россия, 630039, г. Новосибирск, Добролюбова, 160, тел.: +7-953-862-4928.

Information about the authors:

Maria A Barsukova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Private Animal Science and Animal Feeding, Novosibirsk State Agrarian University, Russia, 160 Dobrolyubova, Novosibirsk, 630039, tel.: +7-913-956-96-73.

Olga I Sebezko, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Veterinary Genetics and Biotechnology, Novosibirsk State Agrarian University, Russia, 160 Dobrolyubova, Novosibirsk, 630039, tel.: +7-953-862-4928.

Статья поступила в редакцию 22.10.2024; одобрена после рецензирования 19.01.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 22.10.2024; approved after reviewing 19.01.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Научная статья

УДК 636.082.4

doi:10.33284/2658-3135-108-1-86

**Эффективность применения различных схем синхронизации половой охоты телок
в мясном скотоводстве**

**Павел Игоревич Христиановский¹, Сергей Сергеевич Щетинин², Станислав Андреевич Платонов³,
Тимур Бажикенович Алдыяров⁴, Ерлан Сагитович Медетов⁵**

^{1,2,3,4,5}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹paor1953@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3902-4379>

²Shchetinin261184@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3959-1525>

³platonstas1994@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9806-412X>

⁴aldyarov97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8636-7553>

⁵erlanmedetov29@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9424-4254>

Аннотация. В мясном скотоводстве перевод маточного поголовья на сезонную систему воспроизводства требует времени и может сопровождаться снижением показателя выхода молодняка. Во избежание этого разработаны различные схемы синхронизации половой охоты. Из них наиболее эффективны двукратное применение простагландинов и сочетание простагландинов с релизинг-гормоном. Однако и при этом оплодотворяемость от фронтального осеменения составляет в среднем 40 %. Резервом повышения эффективности является комбинированное применение гормональных препаратов и адаптогенов в схемах синхронизации. Для проведения сравнительных испытаний сформировали четыре группы телок казахской белоголовой породы по 40 голов в каждой. Во всех группах провели синхронизацию половой охоты по следующим протоколам: в I группе – двукратная инъекция эстрофана, во II группе – двукратная инъекция эстрофана и одновременно две инъекции раствора крезацина (адаптогена), в III группе – схема Ovsynch, в IV группе – схема Ovsynch и одновременно две инъекции раствора крезацина. В каждой группе проведено фронтальное осеменение, учтена оплодотворяемость и подсчитан экономический эффект от синхронизации. Итоги оплодотворяемости: в I группе – 42,5 %, во II группе – 47,5 %, в III группе – 40,0 %, в IV группе – 50,0 %. Пониженное значение оплодотворяемости в III группе обусловлено более сильным стрессовым воздействием на животных при выполнении схемы Ovsynch в мясном скотоводстве. Максимальный результат получен во II и IV группах, т. е. при сочетанном применении гормональных препаратов и крезацина. При подсчете экономических показателей получены аналогичные результаты: затраты на содержание бесплодных телок снизились: в I группе – 76296,68 руб., во II группе – 83330,36 руб., в III группе – 72880,64 руб., в IV группе – 91642,4 руб. Следовательно, включение крезацина в схему синхронизации половой охоты телок является экономически выгодным мероприятием.

Ключевые слова: телки, казахская белоголовая порода, синхронизация половой охоты, крезацин, оплодотворяемость, экономический эффект, рентабельность

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2024-2026 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2024-0001).

Для цитирования: Эффективность применения различных схем синхронизации половой охоты телок в мясном скотоводстве / П.И. Христиановский, С.С. Щетинин, С.А. Платонов, Т.Б. Алдыяров, Е.С. Медетов // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 86-95. [Khristianovsky PI, Shchetinin SS, Platonov SA, Aldyarov TB, Medetov ES. Efficiency of using different schemes for synchronizing the sexual heat of heifers in beef cattle breeding. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):86-95. (In Russ.).] <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-86>

Original article

Efficiency of using different schemes for synchronizing the sexual heat of heifers in beef cattle breeding

Pavel I Khristianovsky¹, Sergey S Shchetinin², Stanislav A Platonov³, Timur B Aldyarov⁴, Erlan S Medetov⁵

^{1,2,3,4,5} Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹paor1953@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3902-4379>

²Shchetinin261184@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3959-1525>

³platonstas1994@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9806-412X>

⁴aldyyarov97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8636-7553>

⁵erlanmedetov29@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9424-4254>

Abstract. In beef cattle breeding, the transfer of mature herd to a seasonal reproduction system takes time and may be accompanied by a decrease in the yield of young animals. To avoid this, various schemes for synchronizing sexual heat have been developed. Of these, the most effective are double administration of prostaglandins and a combination of prostaglandins with releasing hormone. But even so, the fertilisation rate from frontal insemination is on average 40 %. A reserve for increasing efficiency is the combined use of hormonal drugs and adaptogens in synchronization schemes. Four groups of the Kazakh White-Headed heifers of 40 heads each were formed for comparative tests. Sexual heat was synchronized in all groups according to the following protocols: in I group - a double injection of estropane, in II group - a double injection of estropane and two simultaneous injections of cresacin (adaptogen) solution, in III group - the Ovsynch scheme, in IV group - the Ovsynch scheme and two simultaneous injections of cresacin solution. Frontal insemination was performed in each group, fertilization was taken into account, and the economic effect of synchronization was calculated. The results of fertilization were 42.5% in I group, 47.5% in II group, 40.0% in III group, and 50.0% in IV group. The reduced fertility rate in III group is due to a stronger stress effect on animals when performing the Ovsynch scheme in beef cattle breeding. The maximum result was obtained in II and III groups, i.e. with the combined use of hormonal drugs and cresacin. When calculating economic indicators, similar results were obtained: the cost of maintaining infertile heifers decreased in I group by 76296.68 rubles, in II group by 83330.36 rubles, in III group by 72880.64 rubles, in IV group by 91642.4 rubles, Therefore, the inclusion of cresacin in the synchronization scheme of sexual heat of heifers is an economically beneficial measure.

Keywords: heifers, Kazakh White-Headed breed, synchronization of sexual heat, fertilization, economic effect, profitability

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024-2026 FSBRI FRC BST RAS (No. FNWZ-2024-0001).

For citation: Khristianovsky PI, Shchetinin SS, Platonov SA, Aldyarov TB, Medetov ES. Efficiency of using different schemes for synchronizing the sexual heat of heifers in beef cattle breeding. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):86-95. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-86>

Введение.

В мясном скотоводстве технологически обоснованная система содержания животных базируется на сезонности воспроизводства стада (Винс М.С. и др., 2024). Перевод маточного поголовья на сезонный отел может занимать длительное время и сопровождается уменьшением количества получаемого приплода. Для ускорения этого процесса необходимо применять стимуляцию и синхронизацию половой охоты коров и телок (Аминова А.Л. и Мирошников С.А., 2022; Медетов Е.С., 2024). В настоящее время разработано несколько схем синхронизации, из которых наиболее высокая эффективность достигается при использовании простагландинов F2α (Назаров М.В. и др., 2018; Гуминская Е.Ю. и др., 2024; Кнуров Д.А. и др., 2022). В мясном скотоводстве нередко применяется двукратная инъекция простагландинов с последующим фронтальным осеменением (Кашковская Л.М. и др.,

2022). Однако оплодотворяемость при использовании этих схем невысока – до 40 % (Tibbetts TA et al., 2006).

В молочном скотоводстве чаще используют схему Ovsynch, сочетающую действие простагландинов и релизинг-гормонов (Перерядкина С. П. и др., 2022; Stangafetto ML et al., 2019). При этом оплодотворяемость достигает 40-50 %. В мясном скотоводстве применение этой схемы сопряжено с технологическими трудностями, поэтому работа по совершенствованию схем синхронизации продолжает оставаться актуальной.

Существенным резервом повышения оплодотворяемости может служить сочетанное применение гормональных препаратов и адаптогенов в схемах синхронизации. Выраженным адаптогенным действием обладает крезацин (трекрезан, иркутин) синтезированный в Иркутском НИИ органической химии. Являясь аналогом ауксинов (ростовых веществ растений), крезацин проявляет адаптогенное и общестимулирующее действие на животных, имеются сообщения о повышении плодовитости у самок при применении им крезацина (Zarubina IV, 2008; Voronkov MG et al., 2002; Voronkov MG et al., 2004; Singh VP et al., 2017).

Использование крезацина в схемах синхронизации половой охоты не исследовалось.

Цель исследования.

Провести сравнительные испытания оплодотворяемости телок казахской белоголовой породы при различных схемах синхронизации половой охоты, а также при включении в эти схемы адаптогенного препарата – крезацина.

Материалы и методы исследований.

Объект исследования. Телки казахской белоголовой породы.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fncbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН.

Схема эксперимента. Работа выполнялась в СПК им. Фурманова Первомайского района Оренбургской области. Были сформированы четыре группы телок по 40 голов в каждой, в возрасте 16-20 месяцев, живая масса – 330-390 кг. Предварительным гинекологическим обследованием патологий половой системы не выявлено. Перед началом синхронизации всем животным провели витаминизацию элеовитом.

В I группе телкам применили двукратную инъекцию эстрофана в дозе 2 мл на голову с интервалом 11 суток, затем на 14-й день ввели сурфагон в/м в дозе 20 мкг на голову и провели фронтальное осеменение, на 15-й день осеменение повторили (табл. 1). Во II группе использовали ту же схему, при этом в 1-й и 11-й дни телкам применили дополнительные подкожные инъекции раствора крезацина в дозе 10 мг/кг живой массы или 3,6 г на голову.

В III и IV группах телкам применили схему Ovsynch: в 1-й день вводили сурфагон в дозе 20 мкг на голову, на 8-й день ввели эстрофан в дозе 2 мл на голову, на 11-й день – сурфагон и ИО, на 12-й день – ИО. Кроме того, в IV группе одновременно инъекцировали телкам водный раствор крезацина подкожно в дозе 3,6 г на голову (18 мл 20 %-ного раствора) в 1-й и 8-й дни синхронизации.

Осеменение проводили глубокзамороженной спермой, ректоцервикальным способом, двукратно, фронтально. Учет результатов осеменения – через 2 месяца с помощью ультразвукового исследования.

Таблица 1. Схема опыта
Table 1. Scheme of experiment

№ группы/ No. of group	Число животных в группе/ Number of animals in the group	Дни эксперимента/ Days of experiment					
		1	8	11	12	14	15
I	40	Эстрофан/ estrophan		Эстрофан/ estrophan		Сурфагон, ИО/ surfagon, artificial insemination	ИО /artificial insemination
II	40	Эстрофан, крезацин / esrophan, cresacin		Эстрофан, крезацин / estrophan, cresacin		Сурфагон, ИО/ surfagon, artificial insemination	ИО /artificial insemination
III	40	Сурфагон/ surfagon	Эстрофан/ estrophan	Сурфагон, ИО/ surfagon, artificial insemination	ИО / artificial insemination		
IV	40	Сурфагон, крезацин / surfagon, cresacin	Эстрофан, крезацин / estrophan, cresacin	Сурфагон, ИО/ surfagon, artificial insemination	ИО / artificial insemination		

Оборудование и технические средства. Для определения стельности телок использовали УЗИ-сканер «Kaixin-5600G» (Xuzhou Kaixin Electronic Instrument Co., Китай).

Статистическая обработка. Показатель оплодотворяемости вычисляли после исследования телок на стельность путем определения процента оплодотворившихся при фронтальном осеменении от общего числа животных в группе. Индекс осеменения рассчитывали как отношение общего количества осеменений по группе телок к числу плодотворных осеменений.

Показатель снижения производственных затрат по группам телок рассчитывали по формуле:

$$\text{ИСЗ}_{\text{бт}} = \text{З}_p - \text{З}_ф - \text{С}_c - \text{С}_п,$$

где: ИСЗ_{бт} – итоговое снижение затрат на содержание бесплодных телок, руб.;

З_р – расчетная сумма затрат на содержание бесплодных телок, руб.;

З_ф – фактическая сумма затрат на содержание бесплодных телок, руб.;

С_с – стоимость спермы, руб.;

С_п – стоимость препаратов, руб.

Результаты исследований.

Важнейшим показателем эффективности синхронизации является оплодотворяемость маток от фронтального осеменения. Результаты оплодотворяемости телок в нашем опыте представлены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели оплодотворяемости телок в эксперименте
Table 2. Indicators of fertilization of heifers in the experiment

Группа/ Group	Количество животных, голов/ Number of animals, heads	Оплодотворилось, голов/ Fertilized, heads	% оплодотворения/ % of fertilization	Индекс осеменения/ Insemination index
I	40	17	42,5	4,7
II	40	19	47,5	4,2
III	40	16	40,0	5,0
IV	40	20	50,00	4,0

Применяемые в опыте схемы синхронизации требуют четырехкратных манипуляций на животных, причем для каждой необходим длительный перегон к месту работы. Это неминуемо приводит к стрессовому состоянию у телок, что негативно отражается на оплодотворяемости. Добавление в схемы синхронизации адаптогена – крезацина снизило силу стрессовых проявлений, что обусловило повышение оплодотворяемости телок. Во II группе оплодотворяемость была выше на 5,0 %, чем в I группе; в IV группе – на 10,0 % выше, чем в III группе. Связь крезацина с процессами биосинтеза стероидных половых гормонов и антистрессового гормона кортизола изучена нами в специальных биохимических исследованиях крови подопытных животных.

Сравнение результатов оплодотворяемости между I и III группами (две разные схемы синхронизации без крезацина) показало, что при эстрофанной схеме оплодотворяемость телок была на 2,5 % выше, чем при схеме Ovsynch. Дело в том, что при выполнении схемы Ovsynch стрессовые воздействия более уплотнены во времени, а значит и более сильны, что отрицательно влияет на оплодотворяемость.

Различия оплодотворяемости телок в опытных группах непосредственно отразились на экономической составляющей эксперимента. Известно, что экономическая эффективность отрасли мясного скотоводства определяется количеством полученного приплода и затратами на содержание коров. Следовательно, одним из важнейших показателей является количество дней бесплодия на одну голову и в целом по группе маток. Для коров – это длительность сервис-периода, т. е. число дней от отела до плодотворного осеменения. Для телок случного возраста таким показателем можно считать период от начала случной кампании до наступления стельности.

В данном случае периодом бесплодия мы считаем время от фронтального осеменения телок до контрольного исследования на стельность. В нашем опыте, согласно датам осеменения, он составляет 78 суток в каждой из четырех групп животных. Следовательно, расчетное (максимальное) количество дней бесплодия по каждой группе равно $78 \text{ суток} \times 40 \text{ голов} = 3120 \text{ суток}$. Затраты на содержание телок в хозяйстве в исследуемый период составляли 75,18 руб. в сутки на одну голову, а расчетная сумма общих затрат на группу телок за период бесплодия равнялась $75,18 \text{ руб.} \times 3120 \text{ суток} = 34561,6 \text{ руб.}$

В каждой группе часть телок оплодотворилась при фронтальном осеменении. Остались неоплодотворившимися в I группе – 23 головы, во II группе – 21 голова, в III группе – 24 головы, в IV группе – 20 голов. Следовательно, фактическое число дней бесплодия по группам составило:

В I группе – $78 \text{ суток} \times 23 \text{ головы} = 1794 \text{ суток}$;

Во II группе – $78 \text{ суток} \times 21 \text{ голову} = 1638 \text{ суток}$;

Во III группе – $78 \text{ суток} \times 24 \text{ головы} = 1892 \text{ суток}$;

Во IV группе – $78 \text{ суток} \times 20 \text{ голов} = 1560 \text{ суток}$.

При этом фактические затраты на содержание бесплодных телок по группам равны:

по I группе – $75,18 \text{ руб.} \times 1794 \text{ суток} = 134872,92 \text{ руб.}$;

по II группе – $75,18 \text{ руб.} \times 1638 \text{ суток} = 123144,84 \text{ руб.}$;

по III группе – $75,18 \text{ руб.} \times 1892 \text{ суток} = 140736,96 \text{ руб.}$;

по IV группе – $75,18 \text{ руб.} \times 1560 \text{ суток} = 117280,8 \text{ руб.}$

Таким образом, в результате синхронизации произошло снижение затрат на содержание бесплодных телок за учетный период в каждой группе. Оно вычисляется как разность между расчетной (максимальной) суммой затрат и фактическими затратами по группам телок за вычетом стоимости препаратов и стоимости спермы (табл. 3).

Из таблицы 3 следует, что уменьшение производственных затрат за учетный период по сравнению с расчетной величиной произошло в каждой группе телок. При этом сумма уменьшения затрат была выше в группах телок, получавших крезацин.

Таблица 3. Расчет снижения производственных затрат при синхронизации половой охоты телок

Table 3. Calculation of reduction of production costs when synchronizing sexual hunting of heifers

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	I	II	III	IV
Количество животных, гол. / Number of animals, head.	40	40	40	40
Расчетное количество дней бесплодия, суток / Estimated number of infertility days, days	3120	3120	3120	3120
Расчетная сумма затрат на содержание телок в течение периода бесплодия, руб. / The estimated cost of maintaining heifers during the infertility period, rub.	234561,6	234561,6	234561,6	234561,6
Количество неоплодотворившихся телок, гол. / Number of unfertilized heifers, head.	23	21	24	20
Фактическое количество дней бесплодия, суток / The actual number of infertility days, days	1794	1638	1872	1560
Фактические затраты на содержание бесплодных телок, руб. / The actual cost of maintaining infertile heifers, rub.	134872,92	123144,84	140736,96	117280,8
Стоимость препаратов, руб. / The cost of drugs, rub.	7392	12086,4	4944	9638,4
Стоимость спермы, руб. / The cost of sperm, rub.	16000	16,000	16000	16000
Сумма снижения производственных затрат, руб. / The amount of reduction in production costs, rub.	76296,68	83330,36	72880,64	91642,4

Обсуждение полученных результатов.

Эффективность синхронизации половой охоты телок определяется многими факторами, из которых весьма существенными являются система содержания и направление продуктивности животных, а также характер применяемой схемы синхронизации (Христиановский П.И. и др., 2021).

В нашем исследовании на телках казахской белоголовой породы при использовании двукратной инъекции эстрофана оплодотворяемость животных была на 2,5 % выше, чем при использовании схемы Ovsynch. Причиной этого является более сильное стрессовое воздействие на организм при выполнении этой схемы, так как при этом необходимы более частые перегоны телок с последующим прогоном через раскол и жесткой фиксацией животных.

В этом же исследовании изучена оплодотворяемость телок при включении стресс-протектора (крезацин) в обе схемы синхронизации. При сочетании применения крезацина с двукратной инъекцией эстрофана оплодотворяемость телок повысилась на 5,0 % и достигла значения 47,5 %. При включении крезацина в схему Ovsynch оплодотворяемость была максимальной (50,0 %) и на 10,0 % превышала таковую по группе телок, не получавших крезацин. Антистрессовое, адаптогенное и иммуностимулирующее действие крезацина на животных различных видов отмечали и другие ученые (Шабанов П.Д. и др., 2014).

Одной из основных задач исследования являлось определение экономической эффективности работы. Расчет ее при синхронизации половой охоты для коров и для телок имеет свою специфику. Она обусловлена тем, что у нетелей еще не прошел растел, от них еще не получен приплод. Поэтому главной составляющей экономического эффекта по телкам принято сокращение дней бесплодия и, в итоге, снижение затрат на содержание бесплодных телок.

В нашем опыте при включении крезацина в схему с двукратной инъекцией эстрофана получено увеличения снижения затрат на 9,2 % (II группа по сравнению с I группой). Включение крезацина в схему Ovsynch повысило сумму снижения на 25,7 % (IV группа по сравнению с III группой). При применении различных схем синхронизации без крезацина более высокий результат по-

лучен при использованиях эстрофанной схемы по сравнению со схемой Ovsynch (в I группе – на 4,5 % выше, чем в III группе).

Более значительная величина снижения производственных затрат в I группе телок по сравнению с III группой позволяет считать применение схемы синхронизации с двукратной инъекцией эстрофана более эффективным для мясного скота.

Заключение.

При синхронизации половой охоты телок казахской белоголовой породы по схеме с двукратным применением эстрофана получена более высокая оплодотворяемость по сравнению со схемой Ovsynch.

Комбинированное применение крезацина и гормональных препаратов при синхронизации половой охоты телок повысило оплодотворяемость по эстрофанной схеме на 5,0 %, по схеме Ovsynch – на 10,0 %.

В результате синхронизации половой охоты телок произошло сокращение общего количества дней бесплодия по каждой группе за учетный период по сравнению с максимальным значением, что обусловило снижение производственных затрат. Более значительное снижение зафиксировано при сочетании гормональных препаратов и крезацина в схемах синхронизации.

При выполнении синхронизации половой охоты без адаптогенов можно считать схему с двукратным применением эстрофана более технологичной и эффективной для использования в мясном скотоводстве.

Список источников

1. Аминова А.Л., Мирошников С.А. Коррекция репродуктивной функции коров в послеродовой период // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7(184). С. 163-170. [Aminova AL, Miroshnikov SA. Cows reproductive function correction in the postpartum period. Bulletin of KSAU. 2022;7(184):163-170. (In Russ.)]. doi: 10.36718/1819-4036-2022-7-163-170
2. Винс М.С., Третьякова Р.Ф., Каюмов Ф.Г. Эффективность разведения калмыцкого скота в Кабардино-Балкарии: анализ и перспективы // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 2. С. 96-106. [Vince MS, Tretyakova RF, Kayumov FG. Efficiency of production of Kalmyk cattle in Kabardino-Balkaria: analysis and prospects. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):96-106. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-96
3. Влияние гормональных схем синхронизации телок-реципиентов на приживляемость заморожено-оттаянных эмбрионов / Д.А. Кнуров, А.В. Бригида, О.А. Скачкова и др. // Ветеринария и кормление. 2022. № 2. С. 30-32. [Knurov DA, Brigida AV, Skachkova OA, et al. Influence of hormonal schemes of synchronization of heifers-recipients on engraftment of frozen-thawed embryos. Veterinary Medicine and Feeding. 2022;2:30-32. (In Russ.)]. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-2-8
4. Кашковская Л.М., Бобкова М.В., Бондар А.В. Эффективная синхронизация полового цикла коров с применением современных российских препаратов // Ветеринария. 2022. № 12. С. 36-40. [Kashkovskaya LM, Bobkova MV, Bondar AV. Effective synchronization of the sexual cycle of cows with the use of modern Russian drugs. Veterinary Medicine. 2022;12:36-40. (In Russ.)]. doi: 10.30896/0042-4846.2022.25.12.36-40
5. Медетов Е.С. Интерьерные показатели коров голштино-фризской породы при сочетанном применении крезацина и половых гормонов // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 2. С. 128-138. [Medetov ES. Interior parameters of the Holstein-Friesian cows with the combined use of krezacin and sex hormones. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):128-138. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-128
6. Перерядкина С.П., Гальченко В.А., Лисиченко Г.О. Определение эффективности ультразвукового исследования яичников при синхронизации половой охоты у коров // Международный вестник ветеринарии. 2022. № 1. С. 180-185. [Pereryadkina SP, Galchenko VA,

Lisichenko GO. Determination of the effectiveness of ovarian ultrasound during synchronization of sexual hunting in cows. International bulletin of Veterinary Medicine. 2022;1:180-185. (*In Russ.*)]. doi: 10.52419/issn2072-2419.2022.1.180

7. Совершенствование методики синхронизации половых циклов у коров / М.В. Назаров, С.Н. Забашта, Я.А. Руднева, В.А. Казаринов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 75. С. 150-153. [Nazarov MV, Zabashta SN, Rudneva YA, Kazarinov VA. Perfection of the synchronization technique of sexual cycles in cows. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018;75:150-153. (*In Russ.*)]. doi: 10.21515/1999-1703-75-150-153

8. Способы искусственного регулирования полового цикла маточного поголовья абердин-ангусской породы / Е.Ю. Гуминская, С.В. Сидунов, Р.В. Лобан, М.Н. Сидунова // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2024. Т. 62, № 1. С. 45-56. [Guminskaya EYu, Sidunov SV, Loban RV, Sidunova MN. Methods of artificial regulation of estrous cycle of aberdeen angus breeding stock. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series. 2024;62(1):45-56. (*In Russ.*)]. doi: 10.29235/1817-7204-2024-62-1-45-56

9. Сравнительный анализ эффективности фронтального осеменения коров при различных схемах синхронизации половой охоты / П.И. Христиановский, М.С. Сеитов, С.А. Платонов и др. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6(92). С. 217-220. [Khristianovsky PI, Seitov MS, Platonov SA, et al. Comparative analysis of the effectiveness of frontal insemination of cows with different schemes of synchronization of sexual heat. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;6(92):217-220. (*In Russ.*)]. doi: 10.37670/2073-0853-2021-92-6-217-221

10. Шабанов П.Д., Зарубина И.В., Мокренко Е.В. Фармакология трекрезан – нового иммуномодулятора и адаптогена // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2014. Т. 12. № 2. С. 12-27. [Shabanov PD, Zarubina IV, Mokrenko EV. Pharmacology of trekrezan, a new immunomodulator and adaptogenic. Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy. 2014;12(2):12-27. (*In Russ.*)].

11. Singh VP, Prasad SM, Munné-Bosch S, Müller M. Editorial: phytohormones and the regulation of stress tolerance in plants: current status and future directions. Front Plant Sci. 2017;8:1871. doi: 10.3389/fpls.2017.01871

12. Stangaferro ML, Wijma RW, Giordano JO. Profitability of dairy cows submitted to the first service with the Presynch-Ovsynch or Double-Ovsynch protocol and different duration of the voluntary waiting period. J Dairy Sci. 2019;102(5):4546-4562. doi: 10.3168/jds.2018-15567

13. Tibbetts TA, Conneely OM, O'Malley BW. Progesterone via its receptor antagonizes the pro-inflammatory activity of estrogen in the mouse uterus. Biology of Reproduction. 1999;60(5):1158-1165. <https://doi.org/10.1095/biolreprod60.5.1158>

14. Voronkov MG, Mirskova AN, Levkovskaya GG. Carcinostatic, protective, and adaptive activities of tris-(2-hydroxyethyl)ammonium salts of arylheteroacetic acids. Dokl Biol Sci. 2002;386:404-406. doi: 10.1023/a:1020797714298

15. Voronkov MG, Pavel YG, Karus AL, Kumar YA, Shattshneider TK, Myuirsepp EY, Pavel KhYu, Poverina E, Rasulov MM. Effect of trekrezan on immunogenesis under experimental conditions. Bull Exp Biol Med. 2004;138(2):172-173. doi: 10.1023/b:bebm.0000048379.06448.c7

16. Zarubina IV. Metabolic effects of trekrezan during adaptation of rats to intermittent hypoxic hypoxia. Bull Exp Biol Med. 2008;145(1):47-50. doi: 10.1007/s10517-008-0010-0

References

1. Aminova AL, Miroshnikov SA. Cows reproductive function correction in the postpartum period. Bulletin of KSAU. 2022;7(184):163-170. doi: 10.36718/1819-4036-2022-7-163-170
2. Vince MS, Tretyakova RF, Kayumov FG. Efficiency of production of Kalmyk cattle in Kabardino-Balkaria: analysis and prospects. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):96-106. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-96

3. Knurov DA, Brigida AV, Skachkova OA, et al. Influence of hormonal schemes of synchronization of heifers-recipients on engraftment of frozen-thawed embryos. *Veterinary Medicine and Feeding*. 2022;2:30-32. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-2-8
4. Kashkovskaya LM, Bobkova MV, Bondar AV. Effective synchronization of the sexual cycle of cows with the use of modern Russian drugs. *Veterinary Medicine*. 2022;12:36-40. doi: 10.30896/0042-4846.2022.25.12.36-40
5. Medetov ES. Interior parameters of the Holstein-Friesian cows with the combined use of krezacin and sex hormones. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(2):128-138. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-128
6. Pereryadkina SP, Galchenko VA, Lisichenko GO. Determination of the effectiveness of ovarian ultrasound during synchronization of sexual hunting in cows. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2022;1:180-185. doi: 10.52419/issn2072-2419.2022.1.180
7. Nazarov MV, Zabashta SN, Rudneva YA, Kazarinov VA. Perfection of the synchronization technique of sexual cycles in cows. *Proceedings of Kuban State Agrarian University*. 2018;75:150-153. doi: 10.21515/1999-1703-75-150-153
8. Guminskaya EYu, Sidunov SV, Loban RV, Sidunova MN. Methods of artificial regulation of estrous cycle of Aberdeen Angus breeding stock. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2024;62(1):45-56. doi: 10.29235/1817-7204-2024-62-1-45-56
9. Khristianovsky PI, Seitov MS, Platonov SA, et al. Comparative analysis of the effectiveness of frontal insemination of cows with different schemes of synchronization of sexual heat. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;6(92):217-220. doi: 10.37670/2073-0853-2021-92-6-217-221
10. Shabanov PD, Zarubina IV, Mokrenko EV. Pharmacology of trekrezan, a new immunodulator and adaptogenic. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy*. 2014;12(2):12-27.
11. Singh VP, Prasad SM, Munné-Bosch S, Müller M. Editorial: phytohormones and the regulation of stress tolerance in plants: current status and future directions. *Front Plant Sci*. 2017;8:1871. doi: 10.3389/fpls.2017.01871
12. Stangaferro ML, Wijma RW, Giordano JO. Profitability of dairy cows submitted to the first service with the Presynch-Ovsynch or Double-Ovsynch protocol and different duration of the voluntary waiting period. *J Dairy Sci*. 2019;102(5):4546-4562. doi: 10.3168/jds.2018-15567
13. Tibbetts TA, Conneely OM, O'Malley BW. Progesterone via its receptor antagonizes the pro-inflammatory activity of estrogen in the mouse uterus. *Biology of Reproduction*. 1999;60(5):1158-1165. <https://doi.org/10.1095/biolreprod60.5.1158>
14. Voronkov MG, Mirskova AN, Levkovskaya GG. Carcinostatic, protective, and adaptive activities of tris-(2-hydroxyethyl)ammonium salts of arylheteroacetic acids. *Dokl Biol Sci*. 2002;386:404-406. doi: 10.1023/a:1020797714298
15. Voronkov MG, Pavel YG, Karus AL, Kumar YA, Shattshneider TK, Myuirsepp EY, Pavel KhYu, Poverina E, Rasulov MM. Effect of trekrezan on immunogenesis under experimental conditions. *Bull Exp Biol Med*. 2004;138(2):172-173. doi: 10.1023/b:bebm.0000048379.06448.c7
16. Zarubina IV. Metabolic effects of trekrezan during adaptation of rats to intermittent hypoxic hypoxia. *Bull Exp Biol Med*. 2008;145(1):47-50. doi: 10.1007/s10517-008-0010-0

Информация об авторах:

Павел Игоревич Христиановский, доктор биологических наук, старший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, Россия, тел.: 8(3532)43-46-78, тел.: 89877814269.

Сергей Сергеевич Щетинин, аспирант, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; тел.: 89878775922.

Станислав Андреевич Платонов, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 89619483786.

Тимур Бажикенович Алдыяров, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29.

Ерлан Сагитович Медетов, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29.

Information about the authors:

Pavel I Khristianovsky, Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8(3532)43-46-78, tel.: 89877814269.

Sergey S Shchetinin, post-graduate student, Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Stanislav A Platonov, Cand. Sci. (Biology), Researcher at the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 89619483786.

Timur B Aldyarov, Cand. Sci. (Agriculture), Junior Researcher at the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Erlan S Medetov, Cand. Sci. (Agriculture), Junior Researcher at the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Статья поступила в редакцию 14.11.2024; одобрена после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 14.11.2024; approved after reviewing 26.02.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Обзорная статья

УДК 636.085:636.22/.28:591.543

doi:10.33284/2658-3135-108-1-96

Последствия влияния теплового стресса в кормопроизводстве и животноводстве и пути их решения

**Шамиль Касымович Шакиров^{1,6}, Наталья Юрьевна Сафина², Альбина Ленаровна Аминова³,
Ирек Гадеевич Мустафин⁴, Вакиль Миргалиевич Шириев⁵**

^{1,2,3,4,5}Опытная станция «Уфимская» – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Уфа, Россия,

⁶Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

^{1,6}intechkorm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3362-0463>

²natysafina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1184-3188>

³albina_ufa@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2738-4692>

⁴oph_ufimskoe@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5532-450X>

⁵vakil2005@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8223-0961>

Аннотация. В АПК в условиях участвовавшего количества экстремально высоких летних засух объективно возникает потребность в структурно-значимых изменениях сырьевого конвейера кормопроизводства за счет интродукции нетрадиционных засухоустойчивых кормовых культур – суданской травы, сорго и сорго-суданковых гибридов, а также кормовых культур с коротким периодом вегетации для бесперебойного обеспечения животноводства кормами. В условиях теплового стресса важно использовать правильно подобранные высококачественные корма и специальные кормовые добавки, снижающие производство в организме метаболического тепла, а также скорректировать режимы кормления, следить за уровнем температурно-влажностного индекса, показатели которых позволят своевременно оценить потребность животных в охлаждении. Статья представляет сведения обзорного характера о состоянии кормопроизводства и животноводства в условиях экстремально высоких температур. Были рассмотрены работы российских и зарубежных авторов касательно различных практических стратегий смягчения последствий теплового стресса при содержании и кормлении коров, которые могут быть полезны специалистам в области молочного животноводства.

Ключевые слова: потепление климата, кормовые культуры, скотоводство, тепловой стресс, температурно-влажностный индекс, рацион, кормление, продуктивность, эмбриопродуктивность

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2022-2024 гг. Опытной станции «Уфимская» УФИЦ РАН (№ 224020600680-2).

Для цитирования: Последствия влияния теплового стресса в кормопроизводстве и животноводстве и пути их решения (обзор) / Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, А.Л. Аминова, И.Г. Мустафин, В.М. Шириев // Животноводство и кормопроизводство. Т. 108. № 1. С. 96-114. [Shakirov ShK, Safina NYu, Aminova AL, Mustafin IG, Shiriev VM. Consequences of the heat stress in forage production and animal husbandry and ways to solve them (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):96-114. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-96>

Review article

**Consequences of the heat stress in forage production and animal husbandry
and ways to solve them**

Shamil K Shakirov^{1,6}, Natalia Yu Safina², Albina L Aminova³, Irek G Mustafin⁴, Vakil M Shiriev⁵

^{1,2,3,4,5}Experimental station "Ufinskaya" - a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

⁶Tatar Research Institute of Agriculture - a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center "Kazan Research Center of the Russian Academy of Sciences", Kazan, Russia

^{1,6}intechkorm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3362-0463>

²natysafina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1184-3188>

³albina_ufa@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2738-4692>

⁴oph_ufinskoe@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5532-450X>

⁵vakil2005@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8223-0961>

Abstract. In the agro-industrial complex, in the conditions of an increasing number of extremely high summer droughts, there is an objective need for structurally significant changes in the feed production feedstock conveyor by introducing non-traditional drought-resistant forage crops - Sudan grass, sorghum and sorghum-Sudan hybrids, as well as forage crops with a short growing season for an uninterrupted supply of livestock with feed. Under heat stress, it is important to use properly selected high-quality feed and special feed additives that reduce the production of metabolic heat in the body, as well as to adjust feeding regimes, monitor the level of the temperature-humidity index, the indicators of which will allow a timely assessment of the need for cooling of animals. The article presents overview information on the state of forage production and livestock farming in conditions of extremely high temperatures. The papers of Russian and foreign authors on various practical strategies for mitigating the effects of heat stress in the maintenance and feeding of cows, which may be useful to specialists in the field of dairy farming, were reviewed.

Keywords: global warming, forage crops, cattle breeding, heat stress, temperature-humidity index, diet, feeding, productivity, embryo productivity

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2022-2024 of the Experimental Station "Ufinskaya" of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (No. 224020600680-2).

For citation: Shakirov ShK, Safina NYu, Aminova AL, Mustafin IG, Shiriev VM. Consequences of the heat stress in forage production and animal husbandry and ways to solve them (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):96-114. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-96>

Введение.

В современных условиях одной из важнейших задач агропромышленного комплекса страны является бесперебойное обеспечение населения России продуктами питания необходимого ассортимента, высокого качества и по доступным ценам. Правильно и хорошо сбалансированное питание крупного рогатого скота является одним из важных условий повышения продуктивности и воспроизводительных качеств. При комплексном использовании биологически активных веществ в рационах получают более высокий эффект (Нуржанов Б.С. и др., 2019).

Успешное решение поставленной задачи возможно при дальнейшем развитии и интенсификации кормопроизводства и животноводства на основе широкого освоения инновационных технологий, способствующих росту продуктивности животных, финансовой успешности отрасли и, в конечном итоге, продовольственной безопасности страны.

С начала XXI века на территории Среднего Поволжья и Южного Урала участились аномальные природные явления: практически ежегодные засухи, небывалые ливни, град и внезапные резкие колебания температуры, которые наносят большой урон сельскому хозяйству. Это наглядно подтверждается последствиями экстремальных засух 2010 и 2021 гг., когда урожайность кормовых культур снижалась на 50 % и более, обеспеченность животноводства в объемистых кормах составила лишь 30-60 %. При этом объективно возникает потребность в структурно-значимых изменениях сырьевого конвейера кормопроизводства за счет интродукции нетрадиционных засухоустойчивых культур (сорго и сорго-суданковые гибриды) для бесперебойного обеспечения животноводства кормами в системах кормления и содержания животных (Дронов А.В. и др., 2016).

Тепловой стресс – большая проблема для молочного скотоводства, которая проявляется в жаркую погоду в результате дисбаланса между притоком тепла из окружающей среды и выделением тепла из организма (Буряков Н.П. и др., 2016). Это приводит к снижению потребления корма, нарушению метаболических процессов у лактирующих коров и, в конечном счете, к потере молочной продуктивности, снижению качества молока, ухудшению показателей воспроизводства, благополучия и здоровья животных в целом.

Цель исследования.

Представить сведения обзорного характера о состоянии кормопроизводства и животноводства в условиях экстремально высоких температур, а также изучить стратегию оптимизации содержания и кормления коров в условиях теплового стресса.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. В качестве материалов для обзора были использованы различные литературные источники, в которых были представлены данные исследований о динамике изменяющегося климата и состоянии кормопроизводства в условиях экстремально высоких температур в Среднем Поволжье и Южном Урале, а также о негативном влиянии теплового стресса и критериях его оценки для молочных коров. Поиск и анализ литературы проводился с использованием интернет-ресурсов: РИНЦ – <https://www.elibrary.ru>, ScienceDirect – <https://www.sciencedirect.com>, PubMed – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>, Google Scholar (Google Академия) – <https://scholar.google.ru/> за период 2000-2024 гг.

В поисковых запросах были использованы следующие основные ключевые слова и комбинации: сырьевой конвейер, кормовые культуры, крупный рогатый скот, рацион, молочная продуктивность, воспроизводительная функция, heat stress, temperature-humidity index.

Результаты исследования и их обсуждение.

Динамика изменяющегося климата в Среднем Поволжье и Южном Урале. Поволжье и Урал издавна считаются зоной неустойчивого, рискованного земледелия. В период с 1870 по 1983 гг. на территории Республики Татарстан были 39 засушливых лет, в том числе сильно засушливых – 20 (с осадками за период май-июль менее 68 % от нормы), что составляет соответственно 35 и 18 % от общей суммы лет. Следовательно, засухи повторялись в среднем через каждые 3-4 года и половина из них были сильными. Потепление явственно проявилось во второй половине XIX в., а в конце XX в. стало ускоряться. Первоначальная скорость потепления на территории Татарстана составляла 0,9 °C за 100 лет, причем зима теплела быстрее (на 1,1 °C), чем теплый период года (на 0,7 °C). Темпы потепления постепенно увеличиваются, но в разных частях света по-своему. Так, на территории Республики Татарстан среднегодовая температура воздуха в начале XXI в. повышается в 2 раза быстрее, чем в целом на планете (Шакиров Ш.К. и др., 2023).

В Башкортостане, расположенном на границе Русской равнины и Уральских гор, выделяют равнинное Башкирское Предуралье, Южный Урал (горная часть), холмистое Башкирское Зауралье. Изменение средней годовой температуры воздуха неодинаково в различных районах Урала, которая меняется в течение последних 100 лет, начиная от 2-3 °C для юга территории и Зауралья до 0,7-0,8 °C для Северного Урала (Камалова Р.Г. и др., 2023; Галимова Р.Г., 2020).

В связи с этим появилась необходимость адаптации хозяйственной деятельности, особенно в агропромышленном комплексе, к ожидаемым климатическим изменениям.

Состояние кормопроизводства в условиях экстремально высоких температур. Общая тенденция к потеплению чревата целым перечнем сопутствующих экстремальных климатических явлений, непосредственно отражающихся и на характер кормопроизводства как основополагающей отрасли сельского хозяйства, в связи с этим в последние годы на практике АПК сложилась тревожная ситуация. С ростом температуры окружающей среды значительно усилилась неравномерность выпадения осадков, как по сезонам года, так и по отдельным месяцам. В самые засушливые годы наблюдаются периоды без дождей продолжительностью до 70 дней, а в 2010 г. в большинстве районов Республики Татарстан не было дождей в течение 57 дней (Шайтанов О.Л. и Тагиров М.Ш., 2018). В таких участвовавших количествах рекордно высоких летних условиях засухи, привычные и традиционно возделываемые кормовые культуры и даже луговые травы (Шайтанов О.Л. и др., 2022) снижают свою урожайность или вообще не плодоносят, так как просто «выгорают», потому что по своей биологии они не способны переносить экстремально высокую температуру (Большаков А.З. и др., 2023).

Устоявшиеся и ставшие привычными агротехнологии возделывания кормовых культур в своем большинстве были разработаны с учетом условий достаточного увлажнения и новейшими достижениями научно-технического прогресса, и открытий уже давно прошедшего времени.

Кроме того, следует отметить тот факт, что традиционные кормовые культуры, технологии их возделывания, которые эффективно обеспечивали достижение высоких результатов в животноводстве, в настоящее время, в силу объективно сложившихся неблагоприятных природных явлений, уже не могут иметь прежнего потенциала, а потому не способны или утрачивают возможность обеспечить достаточное количество и качество кормов для животноводства.

В этих аномально неблагоприятных условиях, на примере 2010 и 2021 гг., урожайность многолетних и однолетних трав, и кормосмесей находилась на уровне 65,6-113,2 ц/га, или снижение их по сравнению с 2020 г. составило 52,4-56,7 %. Как следствие, это привело к недобору объемов заготовок: сена – на 42,3 %, сенажа – на 39,8 % и силоса – на 52,2 %. При этом уменьшение объемов производства кормов в расчете на 1 усл. гол. составило 47,6 % от потребности (Шакиров Ш.К. и др., 2022). По наблюдениям Шайтанова О.Л. и Тагирова М.Ш. (2018) установлено, что в среднем за 6 лет, предшествующих 2010 г., термические ресурсы вегетационного периода растений оценивались в 980 °С, а в последующих 6 лет после 2010 г. их средняя величина составила 1160 °С (против 1486 °С в 2010 г., как аномального, в расчет не брался).

Расчеты по сбору питательных веществ с урожая 2021 г. по сравнению со средними данными за 2018-2020 гг. свидетельствуют о том, что без учета покупных кормов и кормовых добавок в целом, он оставался дефицитным в сельхозпредприятиях с развитым молочным скотоводством по обменной энергии на 24,6-36,7 % и сырому протеину – на 28,6-40,3 %. При таком огромном недоборе питательных веществ объемистых кормов и зернофуража проблема сбалансированного кормления высокопродуктивных животных была решена только за счет дополнительных покупных энергопротеиновых кормов. Это привело к тому, что доля покупных кормов в структуре концентратов существенно возросла и составила в пределах 35,8-50,0 %. Эти данные приведены на основе анализа фактических производственно-экономических показателей 9 сельхозпредприятий Республики Татарстан, ранжированных в зависимости от уровня молочной продуктивности, систем содержания и кормления молочного скота (Шакиров Ш.К. и др., 2022).

К сожалению, до настоящего времени не приняты достаточные меры по смягчению воздействия новых засух. Сырьевой конвейер кормопроизводства продолжает оставаться в разбалансированном состоянии, снижаются из года в год посевные площади под многолетние культуры, однолетние кормосмеси и увеличиваются площади под маргинальные культуры – пшеницу, подсолнечник и др., что создает новые риски в обеспечении животноводства полноценными кормами в перспективе. Данные выводы явились следствием анализа фактической структуры посевных площадей кормовых, зернобобовых и технических культур Республики Татарстан (Шакиров Ш.К. и др., 2022).

В целом это означает, что активная динамика климатических процессов требует глубокого анализа и существенного пересмотра в приоритетности отдельных традиционных и интродукции нетрадиционных кормовых культур в сырьевом конвейере в направлении использования более засухоустойчивых видов, сортов и гибридов высокоурожайных кормовых растений с коротким периодом вегетации, а также совершенствования технологии их возделывания.

Негативное влияние теплового стресса и критерии его оценки для молочных коров. Температурно-влажностный индекс. В условиях глобального потепления климата тепловой стресс становится актуальной проблемой высокопродуктивного животноводства (Кузьминова Е.В. и др., 2020; Рудь Е.Н. и др., 2020). Уоррен Х. (2023) приводит информацию, что современные породы крупного рогатого скота молочного направления продуктивности, например, голштино-фризская, выведены в северных странах, поэтому они более устойчивы к условиям холодного климата, но высокочувствительны к жаре, которая оказывает негативное влияние на организм высокопродуктивных и новотельных коров, а также на сухостойных животных и нетелей. Головань В.Т. и соавторы (2017) считают, что для животных оптимальная температура среды равна или близка к среднегодовой температуре региона выведения породы. В связи с этим Степанов Д.В. с коллегами (2015) предлагают в племенной работе с завезенным скотом европейских пород проводить отбор животных не только по продуктивным качествам, но и по приспособленности к высоким температурам окружающей среды. В то же время, по мнению Воронова Д. и соавторов (2024), до настоящего времени попытки влиять на устойчивость животных к жаре через генетику не привели к существенному успеху.

Однако тепловой стресс в отечественном молочном скотоводстве пока остается непризнанной проблемой, хотя является актуальной для всех европейских стран, где потери молочной продуктивности от его пагубного влияния доходят до 5,5 кг молока на корову в сутки (Пирон О. и Малинин И., 2015), или финансовые потери в среднем оцениваются в размере более 400 евро на корову в год. При этом 80 % потерь связаны со снижением молочной продуктивности, а 20 % – с ухудшением здоровья.

Исследованиями установлено, что даже в период краткосрочного действия высоких температур молочная продуктивность коров снижается на 10-35 %, при этом последствия однократного сильного теплового стресса могут продолжаться от шести (Муханина Е.Н. и др., 2024; Уоррен Х., 2023) до восьми недель (Буряков Н.П. и др., 2016), что обусловлено гормональным статусом коров. Однако максимальные изменения молочной продуктивности выявлены через 24-48 часов после перенесенного теплового стресса.

Для отечественных пород крупного рогатого скота зона комфорта находится в температурном диапазоне от +4 до +20 °С, для высокопродуктивных коров – от +9 до +16 °С (Кузьминова Е.В. и др., 2020; Полховская Н., 2016). За пределами оптимальной температуры организму животных требуется включение активных механизмов терморегуляции (Кузьминова Е.В. и др., 2020; Brown-Brandi ТМ, 2018), которые приводят к физиологическим и поведенческим изменениям (Полховская Н., 2016).

В жару, при сильном тепловом стрессе, из-за своих физиологических особенностей коровы едят меньше, и, в первую очередь, сокращается потребление объемистой части рациона. Это негативно сказывается на состоянии рубца и приводит к уменьшению потребления сухого вещества на 10-30 %, что приводит к недополучению энергии и снижению суточного удоя (Буряков Н.П. и др., 2016). А выборочное поедание концентратов, с меньшей теплопродукцией провоцирует развитие ацидозов, которые усиливают недостаток энергии, необходимой для производства молока (Пирон О. и Малинин И., 2015). В закисленном рубце хуже перерабатываются питательные вещества даже на рационах богатых клетчаткой, что приводит к сокращению синтеза молочного жира.

Как известно, тепловой стресс возникает в результате дисбаланса между выделением тепла организмом и притоком тепла из окружающей среды (Буряков Н.П. и др., 2016). Установлено, что корова с продуктивностью 45-50 кг молока в сутки производит вдвое больше тепла, чем с

продуктивностью 18-20 кг (Абилов А. и др., 2018). Коровы испытывают тепловой стресс не только от высокой температуры воздуха, но и в совокупности с высокой или низкой влажностью, а также определенными особенностями технологии производства молока (Буряков Н.П. и др., 2016).

Температурно-влажностный индекс (ТВИ или THI – temperature-humidity index) является показателем технологии содержания коров (Второй В.Ф. и др., 2016; Полховская Н., 2016). Li G с соавторами (2020) предложили модель, включающую температуру окружающей среды, относительную влажность, скорость ветра, надой, временные блоки, ректальную температуру и частоту дыхания, и заявили, что модель лучше подавляет ошибку прогноза и имеет лучшую чувствительность и точность в распознавании теплового стресса.

В настоящее время степень проявления и тяжести теплового стресса у коров оценивают по классификации Zimbelman RB and Collier RJ (2011) (Кузьминова Е.В. и др., 2020), согласно которой ТВИ на уровне 68-71 соответствует слабому стрессу, 72-79 – умеренному, 80-89 – сильному и 90-99 – жесткому стрессу. ТВИ так же коррелирует с ректальной температурой и демонстрирует пороговые значения, выше которых животные будут страдать от теплового стресса (Шакиров Ш.К. и др., 2023). Однако уровень дискомфорта для коровы начинает негативно влиять на продуктивность по-разному. Так, Vernabucci U с коллегами (2014) в своих исследованиях установили, что у высокопродуктивных коров уже при ТВИ, равном 65-68 (а это, к примеру, всего при температуре +22 °С и влажности воздуха 40 %), возникают факторы воздействия на организм и здоровье животного. Не стоит забывать, что у животных, которые находятся в условиях ТВИ на уровне 65-75 единиц, уже включаются механизмы адаптации.

У крупного рогатого скота тепловой стресс пагубно влияет на физиологические функции, включая репродуктивные процессы. Воздействие на молочных коров высокой температуры окружающей среды приводит к уменьшению продолжительности и интенсивности течки за счет нарушения функции яичников, а также к снижению частоты наступления стельности после искусственного осеменения. ТВИ отрицательно коррелировал с длиной 16-дневного эмбриона, показывая, что оптимальная температура и относительная влажность являются наиболее важными факторами, необходимыми для успешного раннего эмбрионального развития. Несмотря на то, что уязвимость эмбриона крупного рогатого скота к тепловому стрессу после 7-го дня развития неясна, есть утверждение, что выживание эмбриона не зависит от теплового стресса матери. Тем не менее, сообщили, что тепловой стресс с 8-го по 16-й день эмбрионального развития снизил качество эмбриональных клеток мясного скота. Некоторые исследования показали, что воздействие на коров острого теплового стресса не было связано со снижением концентрации прогестерона (Kasimanickam R и Kasimanickam V, 2021). Повышенная концентрация прогестерона, наблюдаемая в этих случаях, была связана с секрецией прогестерона надпочечниками при остром тепловом стрессе. Интересно, что значительное снижение прогестерона обычно наблюдалось, когда коровы подвергались хроническому сезонному тепловому стрессу. Это можно приписать нарушению образования и функции желтого тела после аномального развития преовуляторных фолликулов у коров, подвергшихся тепловому стрессу. В исследовании Kasimanickam R и Kasimanickam V (2021) снижение концентрации прогестерона было замечено у коров, подвергшихся тепловому стрессу, и это снижение было связано со снижением выхода эмбрионов отличного качества и длины эмбриональной клетки при двухнедельном развитии. Следует отметить, что наблюдалось увеличение концентрации прогестерона и более крупные эмбрионы на 13-й и 16-й день развития после добавления прогестерона с 3-го дня эмбрионального развития и далее, подтверждая важность концентраций прогестерона.

У коров, подвергшихся тепловому стрессу, наблюдается повышенный уровень кортизола, который снижает синтез молочного белка и ингибирует выделение окситоцина. Все это приводит к тому, что у коров растет риск возникновения мастита и снижается содержание молочного жира в молоке (Карпач О.Е., 2023). Кроме этого, повышенный уровень кортизола вызывает нарушение полового цикла, вследствие чего происходит задержка овуляции и подавление иммунитета (Рудь Е.Н. и др., 2020).

Экстремально высокие температуры увеличивают вероятность аборт, а смертность животных может достигать до 5 % (Кузьмина Е.В. и др., 2022).

Биомаркер окислительного стресса изопростан-8 имел более высокую концентрацию у коров, подвергшихся кратковременному острому тепловому стрессу, и оказывал негативное влияние на выход эмбрионов, пригодных для пересадки (Kasimanickam R and Kasimanickam V, 2021). Хотя тепловой стресс не увеличивает перекисное окисление липидов и не снижает концентрации липидорастворимых антиоксидантов в крови. Повышенные уровни изопростана-8 у коров, подвергшихся тепловому стрессу, и коров с субклиническим эндометритом, вероятно, могут быть связаны с повышенными активными формами кислорода (АФК). Изопростаны непосредственно влияют на функциональные последствия окислительного стресса (например, через активацию простаноидного рецептора), влияя на функцию и регенерацию эндотелиальных клеток, тонус сосудов, гемостаз и ишемию. У коров, подвергшихся тепловому стрессу, внутриутробная среда была нарушена из-за снижения кровотока к матке.

Повышенные концентрации простагландина в матке отрицательно связаны с качеством эмбрионов и частотой наступления стельности и оказывают токсическое действие на развитие эмбрионов коров *in vitro* (Kasimanickam R and Kasimanickam V, 2021).

Влияние теплового стресса на зачатие и качество эмбриона после однократного осеменения отрицательно сказалось на производстве эмбрионов после суперовуляции, и эмбриональное развитие было нарушено в жаркие сезоны. Тепловой стресс может повышать уровень гормона стресса и потенциально нарушать раннее эмбриональное развитие (Kasimanickam R and Kasimanickam V, 2021). Было показано, что тепловой стресс увеличивает уровни окислительных маркеров, таких как TBARS, супероксиддисмутаза и каталаза в плазме и эритроцитах у коров.

Таким образом, в результате теплового стресса у лактирующих коров повышается уровень кортизола, пролактина, простагландина в крови, которые в свою очередь приводят к нарушению фолликулогенеза, качества ооцитов и функции желтого тела и в результате снижается уровень прогестерона и увеличивается концентрация изопростана-8, простагландина, что приводит к снижению качества эмбрионов после суперовуляции.

Статистически хорошо документированы сезонные эффекты теплового стресса на частоту двоен. Проанализировав более 8000 отелов, установлено, что при зачатии в жаркие месяцы двойни рождались в 6,9 % случаев, в прохладное время – в 3,9 % случаев (Куделич В., 2024).

Стратегия оптимизации содержания и кормления коров в условиях теплового стресса. Высокая температура воздуха – стресс, характерный для летнего периода. С целью реализации генетического потенциала необходимо минимизировать отрицательное влияние теплового стресса на организм животных (Бокзонади А., 2021; Фабер В. и др., 2020а). Для этого имеются следующие методы профилактики и борьбы с последствиями теплового стресса (Пирон О. и Малинин И., 2015; Буряков Н.П. и др., 2016): усовершенствование технологии содержания; кормления; выведение новых пород и типов, устойчивых к тепловому стрессу (Буряков Н.П. и др., 2016).

Для снижения теплового риска необходима установка в коровниках систем вентиляции, которые окупаются за счет снижения потерь молока из-за теплового стресса. Существуют системы принудительной вентиляции. В условиях нашего изменяющегося климата можно устанавливать циркуляционные вентиляторы, которые обеспечивают движение воздуха вдоль коровника (Муханина Е.Н. и др., 2024; Шакиров Ш.К. и др., 2023).

Более сложный метод – охлаждение животных путем распыления мелкодисперсного тумана или сильных струй воды. Важно сочетать применение вентиляции и систем орошения (Воронов Д. и др., 2024). Уменьшение количества животных в группе, достаточный фронт поения также являются одними из методов, используемых на практике (Уоррен Х., 2023). При этом потребность в воде при тепловом стрессе увеличивается на 50 %. Необходимо следить за влажностью кормосмеси и при сортировке добавлять в нее воду (Пирон О. и Малинин И., 2015). Оптимальная влажность кормосмеси должна составлять 55-60 %.

Для нормального функционирования рубцового пищеварения кормосмесь должна быть прохладной, без признаков разогрева и дрожжевой активности. Чтобы добиться такого эффекта, следует использовать консервированные корма с высокой аэробной стабильностью, так же правильно организовать их ежедневную выемку, обеспечивая равномерный забор по всему срезу траншеи на глубину не менее 20-30 см (Пирон О. и Малинин И., 2015).

Во время теплового стресса из-за снижения потребления корма рекомендуется изменить время и число кормлений животных. Известно, что 2/3 суточного количества корма коровы поедают в ночное время, ежедневная порция рациона тоже должна рассчитываться из этого соотношения. С учетом этого целесообразно изменить время кормления животных и скармливать 30-40 % суточного рациона рано утром в 5 часов и 60-70 % – вечером, примерно с 20 до 22 часов, предоставив возможность свободного доступа к свежему корму (Буряков Н.П. и др., 2016; Бокзонади А., 2021). Также следует учитывать то, что при однократном кормлении возникает риск аэробной ферментации кормосмеси, вследствие чего происходит ее нагревание, потеря энергии и питательных веществ. А это снова ведет к снижению поедаемости (Шакиров Ш.К. и др., 2021).

В рационах необходимо увеличить энергонасыщенность сухого вещества. Во избежание развития ацидоза лучше всего использовать корма богатые энергией за счет высокого содержания жира, а не крахмалосодержащих веществ. Допускается вводить в рацион до 5 % в сухом веществе незащищенного жира или 5-7 % защищенного. Переваривание защищенных жиров сопровождается небольшим выделением тепла (Буряков Н.П. и др., 2016).

Одним из важных компонентов рациона является протеин (Лебедев С.В. и др., 2018б). Избыток протеина в рационе, особенно быстро расщепляемый в рубце, может усиливать теплообразование, увеличив потребность коровы в энергии, что нежелательно, когда потребность сухого вещества снижена. Кроме того, избыток протеина повышает уровень азота и мочевины в крови, что, как известно, негативно влияет на эффективность использования протеина рациона и на молочную продуктивность коров (Уоррен Х., 2023). Поэтому его концентрация в рационе не должна превышать 18 % в сухом веществе (Полховская Н., 2016). Лучше в жаркие дни уделить внимание источникам транзитного протеина. Его доля в общем количестве сырого протеина должна составлять не менее 40 % (Карпач О.Е., 2023).

В обычных климатических условиях организм самостоятельно регулирует уровень pH рубца, благодаря слюне, но из-за воздействия жары организм с потом и мочой теряет большое количество минералов, особенно буферных элементов – гидрокарбоната или бикарбоната натрия, тем самым нарушается баланс электролитов. Возникает состояние метаболического ацидоза, и только применение бикарбоната натрия в дозе 0,7-1,0 % от сухого вещества рациона, а также увеличение концентрации в рационе калия до 1,5 %, магния – до 0,4 %, натрия – до 0,6 % и других буферных кормовых добавок поможет предотвратить негативные процессы в метаболизме животных (Буряков Н.П. и др., 2016). Хорошие результаты дает удвоение нормы ввода в премиксы таких макроэлементов, как цинк, медь, селен, и витаминов С, Е, чтобы снизить окислительные реакции в организме (Шакиров Ш.К. и др., 2023; Харламов А.В. и др., 2024), а также добавление органоминеральных комплексов на основе ультрадисперсных частиц оксидов хрома и кремния, янтарной кислоты, каротинсинтезирующих дрожжей (Шейда Е.В. и др., 2020; Камирова А.М. и др., 2024; Довыденкова М.В. и др., 2024). Нуржанов Б.С. с коллегами (2024) разработали комбикорм, в составе которого увеличен ряд микроэлементов: цинка – на 9,4 %, марганца – на 125 %, кобальта – на 67 %, железа – на 9,1 % и хрома – 33,3 % по сравнению с нормами 2001 года, в результате увеличилось потребление комбикормов на 24,4 % и продуктивность молочных коров – в среднем на 4,5 %.

Известно, что любой стресс, в том числе тепловой, негативно влияет на выработку инсулина поджелудочной железой, который способствует ускорению метаболизма глюкозы, мобилизации жира из депо, чтобы компенсировать недостаток энергии (Фабер В. и др., 2020б). При этом также ускоряется мобилизация такого малоизученного и незаменимого микроэлемента, как хром, а именно его компонента хром-медулина, играющего ключевую роль в реакции клеток на

инсулин (Куделич В., 2024) с последующей его экскрецией (Уоррен Х., 2023). Установлено, что дополнение рациона пиколином хрома в дозе 8 мг/кг сухого вещества стимулирует белковый и липидный обмен, а также увеличивает биодоступность основных макро- и микроэлементов (Шошина О.В., 2024). Добавление хрома в рационы крыс приводило к уменьшению уровня холестерина в плазме крови (Кузнецов С.Г. и Калашник В.И., 2002).

Многочисленные исследования активности гидролитических ферментов микроорганизмов рубца показали, что добавление хром-метионина в инкубационную среду азотсодержимым рубца имело более выраженное стимулирующее влияние на пролиферацию микробных клеток и метаболическую активность по сравнению с добавлением неорганического хрома (Lebedev S et al., 2018; Лебедев С.В. и др., 2018а,в,г; Левахин Г.И. и др., 2018; Губайдуллина И.З. и др., 2018).

Так как в тонком кишечнике животных всасывается менее 2 % неорганического хрома (Крохина В.А. и др., 1989), поэтому в рацион животных необходимо вводить дополнительный биодоступный органический хром, который стимулирует активность инсулина, повышает потребление глюкозы и энергии клетками организма, улучшает обмен веществ, а также снижает концентрацию кортизола, противодействуя стрессу (Куделич В., 2024).

Для практического решения этой проблемы нами разработаны оригинальные отечественные технологии синтеза, востребованного в современном высокопродуктивном животноводстве, органического хрома и его комплексных композиций с другими микроэлементами и витаминами. Новые перспективные соединения созданы совместно с учеными УФИЦ РАН и НПП «Уралтехпром». В настоящее время опытные партии проходят фармако-токсикологическую оценку в творческом содружестве с учеными Казанской ГАВМ. Такие кормовые добавки позволяют нивелировать негативное влияние на обменные процессы и продуктивность животных не только теплового, но и физиологического, технологического стрессов в течение круглого года.

Наряду с традиционными буферными добавками более 90 % высокопродуктивные коровы Европы и США получают в рационах специальные пробиотические препараты на основе штаммов дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisia* как в отдельности, так и в комплексе с другими буферными компонентами.

Разработанная нами комплексная добавка «Цеол-буфер» состоит из активированного цеолита (64 %), бикарбоната натрия (16 %), окиси магния (16 %) и препарата И-Сак^{1• 2•} (4 %), которая позволила оптимизировать pH рубцовой жидкости и активизировать утилизацию молочной кислоты, способствовала развитию целлюлозолитических бактерий и грибов, обеспечивающих полную и быструю ферментацию клетчатки. Это привело к повышению молочной продуктивности коров на 13,8 %, увеличению выходу молочного жира и белка – на 16,5 %.

Снизить метаболический и рубцовый ацидоз и восполнить потерю буферных элементов позволяют также углеводно-витаминно-минеральные концентраты-лизунцы, в состав которых входят такие буферные соединения, как бикарбонат натрия, окись магния, другие макро- и микроэлементы и витамины. При этом дополнительно роль буферов, а также адсорбентов, играют цеолиты, бентонитовая глина и сапропель, в процессе лизания которых секретируется обильное выделение слюны, нормализующей pH рубца, что предупреждает ацидоз и улучшает рубцовое пищеварение.

В настоящее время коллективом авторов ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН, ФГБОУ ВО «Казанская ГАВМ им. Н.Э. Баумана» и Опытной станции «Уфимский» УФИЦ РАН разработано и освоено производство целой линейки УВМК-лизунцов: «Хазинэ», «Салават», «Вита-Баланс» и «Урал-Микс».

Использование таких лизунцов в качестве дополнительной балансирующей и профилактической добавки в рационах лактирующих коров привело к улучшению физиолого-биохимических показателей крови, рубцового пищеварения, повысилась молочная продуктивность на 8,3 %, возрос выход молочного жира и белка на 9,9 %. В результате введения в рацион специальных составов УВМК-лизунцов козوماتкам также установлено увеличение молочной

продуктивности на 5,8 %, а массовой доли жира и белка в молоке – на 0,37 и 0,10 % соответственно (Хайруллин Д.Д. и др., 2020). Перспективным научным направлением является селекция коров с повышенной устойчивостью к тепловому стрессу. Существует генетическая изменчивость по термотолерантности, которую можно использовать путем отбора. Недавние достижения в геномной селекции открывают новые возможности для разведения термотолерантного молочного скота.

В настоящее время известно, что белок теплового шока 70 (HSP70) является одним из ключевых генов семейства белков теплового шока, связанных с реакцией на тепловой стресс (Муханина Е.Н. и др., 2024). Высокополиморфные области в генах семейства HSP, ассоциированные с термотолерантностью и эксплуатационными характеристиками, делают эти гены потенциальными кандидатами для отбора животных с помощью маркеров (Муханина Е.Н. и др., 2024; Efimova IO et al., 2020; Hassan F et al., 2019).

В ходе наших ранее проведенных исследований по изучению влияния высоких температур на показатели продуктивности и качество молока высокопродуктивных коров голштинской породы установлено, что наивысший удой зафиксирован в июне (36,92-38,84 кг). Далее, от месяца к месяцу, в зависимости от температуры и влажности окружающей среды, наблюдается снижение уровня продуктивности. Общая потеря молока с первого летнего месяца по сравнению с последним составила в пределах 4,48-6,75 кг, или 11,5-17,5 % ($p < 0,001$). При круглогодичной однотипной системе содержания и кормления, а также синхронизации осеменений высокопродуктивного скота, фактор снижения молочной продуктивности нивелируется в зависимости от сезона года и месяца лактации коров в стаде. Максимальные потери наблюдаются у коров-носителей гетерозиготного генотипа C/- гена HSP70.1. Самыми устойчивыми к воздействиям высоких температур являлись животные, имеющие в локусе гена HSP70.1-MspR 9I гомозиготный C/C генотип (Сафина Н.Ю. и др., 2023). Аналогичные результаты, полученные в результате экспериментов другими авторами (Efimova IO et al., 2020; Mariana E et al., 2020) с различными породами скота, так же указывают на высокие удои животных с генотипами C/C (Муханина Е.Н. и др., 2024).

Следует отметить, что, не смотря на умеренно-высокий ТВИ, на протяжении всего опытного периода коровы в условиях роботизированной мегафермы смогли сохранить стабильно хороший уровень среднесуточного удоя по сравнению с показателями подопытных животных, находящихся в коровниках с традиционным привязным содержанием (Муханина Е.Н. и др., 2024).

Заключение.

В условиях участвовавшего количества экстремально высоких летних засух объективно возникает необходимость в структурно-значимых изменениях сырьевого конвейера кормопроизводства за счет интродукции нетрадиционных засухоустойчивых сорговых культур, а также культур с коротким периодом вегетации. При этом также важно скорректировать структуру рационов, обогащенных кормовыми добавками, снижающими производство метаболического тепла в организме животных.

Тепловой стресс пагубно влияет на физиологические функции, включая репродуктивные процессы, в результате которых у лактирующих коров повышается уровень кортизола, пролактина, простагландина в крови, вследствие чего снижаются фертильные качества скота.

Достижения геномной селекции открывают новые уникальные возможности для создания высокопродуктивных популяций термотолерантного крупного рогатого скота и способны стать ценной стратегией смягчения последствий теплового стресса.

Список источников

1. Абилов А., Жаворонкова Н., Абилова С. Не перегревайте ваших коров // Животноводство России. 2018. № 5. С. 51-54. [Abilov A, Zhavoronkova N, Abilova S. Do not overheat your cows. Zhivotnovodstvo Rossii. 2018;5:51-54. (In Russ.)].

2. Активность пищеварительных ферментов и количество пищеварительных соков у телят при использовании в рационе различного по качеству протеина / Г.И. Левахин, И.С. Мирошников, В.А. Рязанов, В.В. Гречкина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 6(74). С. 244-245. [Levakhin GI, Miroshnikov IS, Ryazanov VA, Grechkina VV. Activity of digestive enzymes and the amount of digestive juices in calves fed diets containing protein of different quality. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;6(74):244-245. (*In Russ.*)].
3. Анализ состояния и планирование производства кормов в сельхозпредприятиях Республики Татарстан / Ш.К. Шакиров, Е.О. Крупин, О.Л. Шайтанов и др. Казань: Издательский дом "Логос Пресс", 2022. 84 с. [Shakirov ShK, Krupin EO, Shaitanov OL, et al. Analiz sostojanija i planirovanie proizvodstva kormov v sel'-hozpredprijatijah Respubliki Tatarstan. Kazan': Izdatel'skij dom "Logos Press"; 2022:84 p. (*In Russ.*)].
4. Ассоциация полиморфизма гена коэнзим Q9 (COQ9) с показателями репродуктивных качеств голштинских коров / Н.Ю. Сафина, З.Ф. Фаттахова, Э.Р. Гайнутдинова, Ш.К. Шакиров // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 3. С. 59-62. [Safina NYu, Fattakhova ZF, Gainutdinova ER, Shakirov ShK. Association of coenzyme Q9 (COQ9) gene polymorphism with indicators of reproductive qualities of Holstein cows. Russian Agricultural Science. 2023;3:59-62. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S2500262723030110
5. Бокзонади А. Тепловой стресс. Контроль состояния дойных коров // Эффективное животноводство. 2021. № 3(169). С. 98-101. [Bokzonadi A. Teplovoj stress. Kontrol' sostojanija dojnyh korov. Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2021; 3(169):98-101. (*In Russ.*)].
6. Большаков А.З., Целовальников И.К., Семенова Ф.К. Зерновое сорго как новый кормовой ресурс для КРС молочного и мясного направления в условиях планетарного потепления климата // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2. С. 109-113. [Bolshakov AZ, Tselovalnikov IK, Semenova FK. Grain sorghum as a new feed resource for dairy and meat cattle in the conditions of planetary warming. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2023;2:109-113. (*In Russ.*)].
7. Буряков Н.П., Бурякова М.А., Алешин Д.Е. Тепловой стресс и особенности кормления молочного скота // Российский ветеринарный журнал. 2016. № 3. С. 5-13. [Buryakov NP, Buryakova MA, Aleshin DE. Heat stress and feeding features of the dairy cattle. Russian Veterinary Journal. 2016;3:5-13. (*In Russ.*)].
8. Влияние наночастиц хрома на активность пищеварительных ферментов и морфологические и биохимические параметры крови телёнка / С.В. Лебедев, О.В. Кван, И.З. Губайдуллина, И.А. Гавриш, В.В. Гречкина, Б. Момчилович, Н.И. Рябов // Животноводство и кормопроизводство. 2018а. Т. 101. № 4. С. 136-142. [Lebedev SV, Kvan OV, Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Grechkina VV, Momčilović B, Ryabov NI. Effect of chromium nanoparticles on digestive enzymes activity and morphological and biochemical parameters of calf blood. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018a;101(4):136-142. (*In Russ.*)].
9. Влияние различных источников протеина в рационе на всасывание питательных веществ в желудочно-кишечном тракте животного / С.В. Лебедев, Г.И. Левахин, И.З. Губайдуллина, И.В. Маркова, Е.В. Шейда // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018б. № 6(74). С. 205-208. [Lebedev SV, Levakhin GI, Gubaidullina IZ, Markova IV, Sheyda EV. Effect of different protein sources in the ration on nutrients assimilation in the digestive tract of animals. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018b;6(74):205-208. (*In Russ.*)].
10. Влияние ультрадисперсных частиц хрома и пиколината хрома на гематологические показатели крови лабораторных животных / С.В. Лебедев, И.А. Гавриш, О.В. Кван, Е.А. Русакова, И.З. Губайдуллина // Технологии живых систем. 2018в. Т. 15, № 4. С. 57-61. [Lebedev SV, Gavrish IA, Kvan OV, Rusakova EA, Gubaidullina IZ. The effect of nanoparticles chromium and chromium picolinate on hematological parameters of blood in laboratory animals. Technologies of Living Systems. 2018c;15(4):56-61. (*In Russ.*)]. doi: 10.18127/j20700997-201804-07

11. Воздействие ультрадисперсных частиц хрома различной дозировки на элементный статус цыплят-бройлеров / И.З. Губайдуллина, И.А. Гавриш, И.В. Маркова, А.С. Мустафина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 6(74). С. 263-265. [Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Markova IV, Mustafina AS. Effect of ultradispersed chrome particles of different dosage on the elemental status of broilers-chicks. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;6(74):263-265. (*In Russ.*)].
12. Воронов Д., Сенько А., Сутько С. Механизма развития термостресса у коров: современные научные данные // Белорусское сельское хозяйство. 2024. № 5(263). С. 39-42. [Voronov D, Senko A, Sutko S. Mehanizma razvitija termostressa u korov: sovremennye nauchnye dannye. Belarusian Agriculture. 2024;5(263):39-42. (*In Russ.*)].
13. Галимова Р.Г. Анализ изменений температурно-влажностного режима на территории Республики Башкортостан в современный период // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30, № 1. С. 83-93. [Galimova RG. Analysis of changes in temperature and humidity regime in the republic of Bashkortostan in recent period. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 2020;30(1):83-93. (*In Russ.*)]. doi: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-83-93
14. Головань В.Т., Юрин Д.А., Кучерявенко А.В. Способы и устройства защиты скота от интенсивного излучения на юге России // Эффективное животноводство. 2017. № 4(134). С. 60-63. [Golovan VT, Yurin DA, Kucheryavenko AV. Sposoby i ustrojstva zashhity skota ot intensivnogo izlucheniya na juge Rossii. Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2017;4(134):60-63. (*In Russ.*)].
15. Естественные травостои – как резерв увеличения производства и качества кормов: справочник / О.Л. Шайтанов, Р.М. Низамов, Ш.К. Шакиров, Р.Х. Идиятова. Казань: Изд-во АН РТ, 2022. 51 с. [Shaitanov OL, Nizamov RM, Shakirov ShK, Idiyatova RKh. Estestvennye travostoi – kak rezerv uvelicheniya proizvodstva i kachestva kormov: spravochnik. Kazan': Izd-vo AN RT; 2023:51 p. (*In Russ.*)].
16. Изучение негативного влияния теплового стресса на показатели молочной продуктивности коров при различных способах содержания / Е.Н. Муханина, Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, Э.Р. Гайнутдинова // Международный вестник ветеринарии. 2024. № 4. С. 509-517. [Mukhanina EN, Shakirov ShK, Safina NYu, Gainutdinova ER. Study of the negative effect of heat stress on dairy productivity of cows under different housing methods. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2024;4:509-517. (*In Russ.*)]. doi: 10.52419/issn2072-2419.2023.3.267
17. Камалова Р.Г., Козлова А.С., Фирстов А.О. Современные изменения агроклиматических ресурсов в природно-сельскохозяйственных зонах Республики Башкортостан в теплый период // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2023. Т. 33. № 4. С. 434-444. [Kamalova RG, Kozlova AS, Firstov AO. Modern changes in agroclimatic resources in natural agricultural zones of the Republic of Bashkortostan during warm period. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 2023;33(4):434-444. (*In Russ.*)]. doi: 10.35634/2412-9518-2023-33-4-434-444
18. Карпач О.Е. Причины и профилактика теплового стресса у коров // Наше сельское хозяйство. 2024. № 10(330). С.54-58. [Karpach OE. Prichiny i profilaktika teplovogo stressa u korov. Nashe sel'skoe hozjajstvo. 2024;10(330):54-58. (*In Russ.*)].
19. Карпач О.Е. Тепловой стресс у коров: причины и профилактика // Наше сельское хозяйство. 2023. № 14(310). С. 4-12. [Karpach OE. Heat stress in cows: causes and prevention. Our agriculture. 2023;14(310):4-12. (*In Russ.*)].
20. Крохина В.А., Илюхина Л.А., Хренов А.А. Комбикорма, добавки и премиксы в кормлении высокопродуктивных коров // Новое в кормлении высокопродуктивных животных: сб. науч. тр. М.: Агропромиздат, 1989. С. 65-73. [Krokhina VA, Ilyukhina LA, Khrenov AA. Kombikorma, dobavki i premiksy v kormlenii vysokoproduktivnyh korov. Novoe v kormlenii vysokoproduktivnyh zhivotnyh: sb. nauch. tr. Moscow: Agropromizdat; 1989:65-73. (*In Russ.*)].

21. Куделич В. Тепловой стресс и воспроизводство молочного скота: стратегия смягчения // Белорусское сельское хозяйство. 2024. № 5(265). С. 32-35. [Kudelich V. Teplovoj stress i vosproizvodstvo molochного skota: strategija smjagchenija. Belarusian Agriculture. 2024;5(265):32-35. (In Russ.)].
22. Кузнецов С.Г., Калашник В.И. Эффективность использования премиксов в кормлении дойных коров // Зоотехния. 2002. № 2. С. 14-18. [Kuznetsov SG, Kalashnik VI. Effectivity of premix using in cow in-milk feeding. Zootechniya. 2002;2:14-18. (In Russ.)].
23. Многообразие различных жиродержащих препаратов с включением микро- и наноэлементов в кормлении животных (обзор) / Б.С. Нуржанов, Ю.И. Левахин, В.А. Рязанов, Е.Б. Джуламанов, М.М. Поберухин // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102, № 1. С. 149-163. [Nurzhonov BS, Levakhin YuI, Ryazanov VA, Dzhulamanov EB, Poberukhin MM. Variety of different fat-containing drugs including micro- and nanoelements in animal feeding (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(1):149-163. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-149
24. Научно-практические аспекты коррекции витаминно-минерального питания жвачных животных / Д.Д. Хайруллин и др. Казань: Казан. гос. академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана, 2020. 172 с. [Khairullin DD, et al. Nauchno-prakticheskie aspekty korrekcii vitaminno-mineral'nogo pitaniya zhvachnyh zhiivotnyh. Kazan: Kazanskaja gosudarstvennaja akademija veterinarnoj mediciny im. N.E. Bauman; 2020: 172 p. (In Russ.)].
25. Нуржанов Б.С., Логачев К.Г., Дускаев Г.К. Эффективность использования комбикормов с скорректированной минеральной питательностью по различным нормативам NRC и NASEM на молочную продуктивность коров // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 4. С. 169-176. [Nurzhonov BS, Logachev KG, Duskaev GK. Efficiency of compound feeds with adjusted mineral nutrition according to various NRC and NASEM standards on milk productivity of cows. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(4):169-176. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-169
26. Органоминеральный комплекс на основе ультрадисперсных кремнийсодержащих частиц, как модулятор микробиома желудочно-кишечного тракта крупного рогатого скота / А.М. Камирова, Е.А. Сизова, А.П. Иванищева, Д.Е. Шошин, Е.В. Яушева // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 2. С. 13-26. [Kamirova AM, Sizova EA, Ivanishcheva AP, Shoshin DE, Yausheva EV. The organic mineral complex based on ultrafine silicon-containing particles as a microbiome modulator of gastrointestinal tract of cattle. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):13-26. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-13
27. Оценка влияния ультрадисперсных частиц Cr_2O_3 на метаболические процессы в организме телят, выращиваемых на белковых рационах / Е.В. Шейда, С.В. Лебедев, С.А. Мирошников, В.В. Гречкина, В.А. Рязанов // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 4. С. 14-25. [Sheyda EV, Lebedev SV, Miroshnikov SA, Grechkina VV, Ryazanov VA. Assessment of influence of ultrafine particles of Cr_2O_3 on metabolic processes in the body of calves raised on protein diets. Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(4):14-25. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-14
28. Оценка состояния температурно-влажностного режима в коровнике с использованием графического информационного моделирования / В.Ф. Вторый, В.В. Гордеев, С.В. Вторый, Е.О. Ланцова // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016. № 4(24). С. 67-72. [Wtory VF, Gordeev VV, Wtory SV, Lantsova EO. The cowsheds temperature-and-humidity conditions with graphic information modeling using assessment. Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mehanizacii zhiivotnovodstva. 2016;4(24):67-72. (In Russ.)].
29. Переваривание питательных веществ в различных отделах желудочно-кишечного тракта в зависимости от качества протеина в рационе у телят / С.В. Лебедев, О.В. Кван, Е.В. Шейда, И.В. Маркова, И.З. Губайдуллина, В.В. Гречкина, В.Л. Королёв // Животноводство и кормопроизводство. 2018г. Т. 101. № 4. С. 158-163. [Lebedev SV, Kvan OV, Sheyda EV, Markova IV,

Gubaidullina IZ, Grechkina VV, Korolyov VL. Digestion of nutrients in different sections of the gastrointestinal tract depending on protein quality in the calves diet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018g;101(4):158-163. *(In Russ.)*.

30. Пирон О., Малинин И. Как пережить тепловой стресс и не потерять молоко // *Животноводство России*. 2015. № 6. С.48-50. [Piron O, Malinin I. How to live through thermal stress and not to lose milk. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2015;6:48-50. *(In Russ.)*].

31. Полховская Н. Тепловой стресс: влияние на продуктивность коров // *Комбикорма*. 2016. № 6. С. 52-55. [Polkhovskaya N. Teplovoj stress: vlijanie na produktivnost' korov. *Combined Feed*. 2016;6:52-55. *(In Russ.)*].

32. Проблема теплового стресса в молочном животноводстве / Е.Н. Рудь, Е.В. Кузьминова, М.П. Семененко и др. // *Ветеринария Кубани*. 2020. № 3. С.10-11. [Rud EN, Kuzminova EV, Semenenko MP, et al. Heat stress problem in dairy farming. *Veterinaria Kubani*. 2020;3:10-11. *(In Russ.)*]. doi: 10.33861/2071-8020-2020-3-10-11

33. Проблема теплового стресса в молочном животноводстве / Е.В. Кузьминова, М.П. Семененко, А.А. Абрамов, Н.А. Рудь, Е.Н. Рудь // *Ветеринария Кубани*. 2020. № 3. С. 10-11. [Kuzminova EV, Semenenko MP, Abramov AA, Rud NA, Rud EN. Heat stress problem in dairy farming. *Veterinaria Kubani*. 2020;3:10-11. *(In Russ.)*]. doi: 10.33861/2071-8020-2020-3-10-11

34. Современные технологии в кормопроизводстве и животноводстве, проблемы и пути их решения (500 вопросов и ответов): справочник / Ш.К. Шакиров, О.Л. Шайтанов, М.А. Сушенцова и др. 4-е изд., дораб. и доп. Казань: Изд-во АН РТ, 2023. 416 с. [Shakirov ShK, Shajtanov OL, Sushencova MA, et al. *Sovremennye tehnologii v kormoproizvodstve i zhivotnovodstve, problemy i puti ih reshenija (500 voprosov i otvetov): spravochnik*. 4-e izd., dorab. i dop. Kazan': Izd-vo AN RT; 2023: 426 p. *(In Russ.)*].

35. Сорговые культуры в зелёном и сырьевом конвейерах регионального кормопроизводства / А.В. Дронов, В.В. Дьяченко, С.А. Бельченко, В.Ю. Симонов // *Вестник Брянской ГСХА*. 2016. № 2(54). С. 52-58. [Dronov AV, Dyachenko VV, Belchenko SA, Simonov VYu. Sorghum crops in the green and raw material conveyors of the regional forage production. *Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2016;2(54):52-58. *(In Russ.)*].

36. Теория и практика производства и использования объемистых кормов / Ш.К. Шакиров, О.Л. Шайтанов, Е.О. Крупин и др. 2-изд., дораб. и доп. Казань: ФЭН, 2021. 292 с. [Shakirov ShK, Shaitanov OL, Krupin EO, et al. *Teoriya i praktika proizvodstva i ispol'zovanija obemistyh kormov*. 2-izd., dorab. i dop. Kazan': FEN; 2021:292 p. *(In Russ.)*].

37. Уоррен Х. Нивелирование негативных последствий теплового стресса на предприятии. *International Dairy Topics*. 2024. № 3(16). С. 7-9. [Warren H. Mitigating the Negative Consequences of Heat Stress in the Enterprise. *International Dairy Topics*. 2024;3(16):7-9. *(In Russ.)*].

38. Фабер В., Акмалиев Т., Гусева О. Минеральное питание жвачных // *Животноводство России*. 2020a. № 5. С. 30-33. [Faber W, Akmaliev T, Guseva O. Mineral nutrition for ruminants. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2020a;5:30-33. *(In Russ.)*].

39. Фабер В., Акмалиев Т.А., Гусева О.А. Хром для крупного рогатого скота // *Молочное и мясное скотоводство*. 2020b. № 4. С. 42-45. [Faber W, Akmaliev TA, Guseva OA. Chromium for ruminants. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2020b;4:42-45. *(In Russ.)*].

40. Фармокоррекция теплового стресса у молочного скота: метод. рекомендации / Е.В. Кузьминова, Е.Н. Рудь, М.П. Семененко, О.Ю. Черных, Д.В. Оsepчук, А.А. Абрамов, К.А. Семененко. Краснодар: Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии. 2022. 47 с. [Kuzminova EV, Rud EN, Semenenko MP, Chernykh OYu, Osepchuk DV, Abramov AA, Semenenko KA. *Farmokorrekcija teplovogo stressa u molochного skota: metod. rekomendacii*. Krasnodar: Krasnodarskij nauchnyj centr po zootehnii i veterinarii; 2022: 47 p. *(In Russ.)*]. doi: 10.48612/monograph-2022-4

41. Формирование приспособленности животных к температурам среды / Д.В. Степанов, А.К. Гаффоров, А.В. Мамаев, Н.Д. Родина // *Вестник Орловского государственного аграрного университета*. 2015. № 1(52). С. 51-60. [Stepanov DV, Gafforov AK, Mamaev AV, Ro-

dina ND. Formation of animals adaptation to the environmental temperatures. Vestnik OrelGAU. 2015;1(52):51-60. (In Russ.).

42. Харламов А.В., Фролов А.Н., Ильин В.В. Влияние кормовых добавок, содержащих Zn и Se органической формы, на продуктивные и гематологические показатели бычков чёрно-пёстрой породы при заключительном откорме // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 3. С. 79-88. [Kharlamov AV, Frolov AN, Ilyin VV. The influence of feed additives containing organic Zn and Se on productive and hematological parameters of Black Spotted bulls on final fattening. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(3):79-88. (In Russ)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-3-79

43. Шайтанов О.Л., Тагиров М.Ш. Основные тенденции изменения климата Татарстана в XIX веке. Казань: Фолиант, 2018. 63 с. [Shaitanov OL, Tagirov MSh. Osnovnye tendencii izmeneniya klimata Tatarstana v XIX veke. Kazan': Foliant; 2018: 63 p. (In Russ.).]

44. Шошина О.В. Оценка элементного и биохимического состава сыворотки крови при включении в рацион бычков казахской белоголовой породы пиколината хрома // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 31-41. [Shoshina OV. Assessment of the elemental and biochemical composition of blood serum after inclusion of chromium picolinate in Kazakh White-Headed bulls' diet. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(1):31-41. (In Russ.).] doi: 10.33284/2658-3135-107-1-31

45. Эффективность использования каротинсинтезирующих дрожжей *Rhodotorula spp.* в кормлении сельскохозяйственных животных (обзор) / М.В. Довыденкова, Е.Н. Колодина, Д.А. Никанова, Т.И. Логвинова, О.А. Артемьева // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 2. С. 149-169. [Dovydenkova MV, Kolodina EN, Nikanova DA, Logvinova TI, Artemyeva OA. Efficiency of using carotene-synthesizing yeast *Rhodotorula spp.* in the feeding of farm animals (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):149-169. (In Russ.).] doi: 10.33284/2658-3135-107-2-149

46. Bernabucci U, Biffani S, Buggiotti L, Vitali A, Lacetera N, Nardone A. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. Journal of Dairy Science. 2014;97(1):471-486. doi: 10.3168/jds.2013-6611

47. Brown-Brandt TM. Understanding heat stress in beef cattle. Revista Brasileira de Zootecnia. 2018;47:e20160414. doi: 10.1590/rbz4720160414

48. Efimova IO, Zagidullin LR, Khisamov RR, Akhmetov TM, Shaidullin RR, Tyulkin SV, Gilmanov KhKh. Assessment on milk productivity and milk quality in cattle with different genotypes by HSP70.1 gene. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020;604:012016. doi: 10.1088/1755-1315/604/1/012016

49. Hassan F, Nawaz A, Rehman MS, Ali MA, Dilshad SMR, Yang Ch. Prospects of HSP70 as a genetic marker for thermo-tolerance and immuno-modulation in animals under climate change scenario. Animal Nutrition. 2019;5(4):340-350. doi: 10.1016/j.aninu.2019.06.005

50. Kasimanickam R, Kasimanickam V. Impact of heat stress on embryonic development during first 16 days of gestation in dairy cows. Scientific Reports. 2021;11:14839. doi: 10.1038/s41598-021-94278-2

51. Lebedev S, Gavrish I, Rusakova E, Kvan O, Gubaidullina I. Influence of various chromium compounds on physiological, morpho-biochemical parameters, and digestive enzymes activity in Wistar rats. Trace Elements and Electrolytes. 2018;35(4):242-245. doi: 10.5414/TEX0155419

52. Li G, Chen S, Chen J, Peng D, Gu X. Predicting rectal temperature and respiration rate responses in lactating dairy cows exposed to heat stress. J Dairy Sci. 2020;103:5466-5484. doi: 10.3168/jds.2019-16411

53. Mariana E, Sumantri C, Astuti DA, Anggraeni A, Gunawan A. Association of HSP70 gene with milk yield and milk quality of Friesian Holstein in Indonesia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020;425:012045. doi: 10.1088/1755-1315/425/1/012045

54. Zimbelman RB, Collier RJ. Feeding strategies for high producing dairy cows during periods of elevated heat and humidity. Tri-State Dairy Nutrition Conference. 2011:111-126.

References

1. Abilov A, Zhavoronkova N, Abilova S. Do not overheat your cows. *Animal Husbandry of Russia*. 2018;5:51-54.
2. Levakhin GI, Miroshnikov IS, Ryazanov VA, Grechkina VV. Activity of digestive enzymes and the amount of digestive juices in calves fed diets containing protein of different quality. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018;6(74):244-245.
3. Shakirov ShK, Krupin EO, Shaitanov OL, et al. Analysis of the state and planning of feed production in agricultural enterprises of the Republic of Tatarstan. Kazan: Publishing house "Logos Press";2022:84.
4. Safina NYu, Fattakhova ZF, Gainutdinova ER, Shakirov ShK. Association of coenzyme Q9 (COQ9) gene polymorphism with indicators of reproductive qualities of Holstein cows. *Russian Agricultural Science*. 2023;3:59-62. doi: 10.31857/S2500262723030110
5. Bokzonadi A. Eat stress. Monitoring the condition of dairy cows. *Effective Animal Husbandry*. 2021;3(169):98-101.
6. Bolshakov AZ, Tselovalnikov IK, Semenova FK. Grain sorghum as a new feed resource for dairy and meat cattle in the conditions of planetary warming. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2023;2:109-113.
7. Buryakov NP, Buryakova MA, Aleshin DE. Heat stress and feeding features of the dairy cattle. *Russian Veterinary Journal*. 2016;3:5-13.
8. Lebedev SV, Kvan OV, Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Grechkina VV, Momčilović B, Ryabov NI. Effect of chromium nanoparticles on digestive enzymes activity and morphological and biochemical parameters of calf blood. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018a;101(4):136-142.
9. Lebedev SV, Levakhin GI, Gubaidullina IZ, Markova IV, Sheyda EV. Effect of different protein sources in the ration on nutrients assimilation in the digestive tract of animals. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018b;6(74):205-208.
10. Lebedev SV, Gavrish IA, Kwan OV, Rusakova EA, Gubaidullina IZ. The effect of nanoparticles chromium and chromium picolinate on hematological parameters of blood in laboratory animals. *Technologies of Living Systems*. 2018c;15(4):56-61. doi: 10.18127/j20700997-201804-07
11. Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Markova IV, Mustafina AS. Effect of ultradispersed chrome particles of different dosage on the elemental status of broilers-chicks. *Bulletin of Orenburg State Agrarian University*. 2018;6(74):263-265.
12. Voronov D, Senko A, Sutko S. Mechanism of development of thermal stress in cows: modern scientific data. *Belarusian Agriculture*. 2024;5(263):39-42.
13. Galimova RG. Analysis of changes in temperature and humidity regime in the republic of Bashkortostan in recent period. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2020;30(1):83-93. doi: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-83-93
14. Golovan VT, Yurin DA, Kucheryavenko AV. Methods and devices for protecting livestock from intense radiation in the south of Russia. *Effective Animal Husbandry*. 2017;4(134):60-63.
15. Shaitanov OL, Nizamov RM, Shakirov ShK, Idiyatova RKh. Natural grass stands as a reserve for increasing the production and quality of feed: reference book. Kazan: Publishing house of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; 2023: 51 p.
16. Mukhanina EN, Shakirov ShK, Safina NYu, Gainutdinova ER. Study of the negative effect of heat stress on dairy productivity of cows under different housing methods. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2024;4:509-517. doi: 10.52419/issn2072-2419.2023.3.267
17. Kamalova RG, Kozlova AS, Firstov AO. Modern changes in agroclimatic resources in natural agricultural zones of the Republic of Bashkortostan during warm period. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2023;33(4):434-444. doi: 10.35634/2412-9518-2023-33-4-434-444
18. Karpach OE. Causes and prevention of heat stress in cows. *Our agriculture*. 2024;10(330):54-58.

19. Karpach OE. Heat stress in cows: causes and prevention. *Our agriculture*. 2023;14(310):4-12.
20. Krokhnina VA, Ilyukhnina LA, Khrenov AA. Combined feed, additives and premixes in feeding highly productive cows. *New in Feeding Highly Productive Animals: collection of scientific papers*. Moscow: Agropromizdat: 1989:65-73.
21. Kudelich V. Heat stress and reproduction of dairy cattle: mitigation strategy. *Belarusian Agriculture*. 2024;5(265):32-35.
22. Kuznetsov SG, Kalashnik VI. Effectivity of premix using in cow in-milk feeding. *Zootechniya*. 2002;2:14-18.
23. Nurzhanov BS, Levakhin YuI, Ryazanov VA, Dzhulamanov EB, Poberukhin MM. Variety of different fat-containing drugs including micro- and nanoelements in animal feeding (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(1):149-163. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-149
24. Khairullin DD, et al. Scientific and practical aspects of correction of vitamin and mineral nutrition of ruminants. Kazan: Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman; 2020:172 p.
25. Nurzhanov BS, Logachev KG, Duskaev GK. Efficiency of compound feeds with adjusted mineral nutrition according to various NRC and NASEM standards on milk productivity of cows. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):169-176. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-169
26. Kamirova AM, Sizova EA, Ivanishcheva AP, Shoshin DE, Yausheva EV. The organic mineral complex based on ultrafine silicon-containing particles as a microbiome modulator of gastrointestinal tract of cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(2):13-26. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-13
27. Sheyda EV, Lebedev SV, Miroshnikov SA, Grechkina VV, Ryazanov VA. Assessment of influence of ultrafine particles of Cr₂O₃ on metabolic processes in the body of calves raised on protein diets. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(4):14-25. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-14
28. Wtory VF, Gordeev VV, Wtory SV, Lantsova EO. The cowsheds temperature-and-humidity conditions with graphic information modeling using assessment. *Bulletin of the All-Russian Research Institute of Animal Husbandry Mechanization*. 2016;4(24):67-72.
29. Lebedev SV, Kvan OV, Sheyda EV, Markova IV, Gubaidullina IZ, Grechkina VV, Korolyov VL. Digestion of nutrients in different sections of the gastrointestinal tract depending on protein quality in the calf diet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018d;101(4):158-163.
30. Piron O, Malinin I. How to live through thermal stress and not to lose milk. *Animal Husbandry of Russia*. 2015;6:48-50.
31. Polkhovskaya N. Heat stress: impact on cow productivity. *Combined feed*. 2016;6:52-55.
32. Rud EN, Kuzminova EV, Semenenko MP, et al. Heat stress problem in dairy farming. *Veterinary Science of Kuban*. 2020;3:10-11. doi: 10.33861/2071-8020-2020-3-10-11
33. Kuzminova EV, Semenenko MP, Abramov AA, Rud NA, Rud EN. Heat stress problem in dairy farming. *Veterinary Science of Kuban*. 2020;3:10-11. doi: 10.33861/2071-8020-2020-3-10-11
34. Shakirov ShK, Shajtanov OL, Sushencova MA, et al. Modern technologies in feed and animal production, problems and ways to solve them (500 questions and answers): reference book. 4th ed., revised and enlarged. Kazan: AN RT Publishing House; 2023: 426 p.
35. Dronov AV, Dyachenko VV, Belchenko SA, Simonov VYu. Sorghum crops in the green and raw material conveyors of the regional forage production. *Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2016;2(54):52-58.
36. Shakirov ShK, Shaitanov OL, Krupin EO, et al. Theory and practice of production and use of bulk feeds. 2nd ed., revised and enlarged. Kazan: FEN; 2021: 292 p.
37. Warren H. Mitigating the Negative Consequences of Heat Stress in the Enterprise. *International Dairy Topics*. 2024; 3 (16): 7-9.
38. Faber W, Akmaliev T, Guseva O. Mineral nutrition for ruminants. *Animal Husbandry of Russia*. 2020a;5:30-33.

39. Faber W, Akmaliev TA, Guseva OA. Chromium for ruminants. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2020b;4:42-45.
40. Kuzminova EV, Rud EN, Semenenko MP, Chernykh OYu, Osepchuk DV, Abramov AA, Semenenko KA. Pharmacocorrection of heat stress in dairy cattle: method. recommendations. Krasnodar: Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Science; 2022: 47 p. doi: 10.48612/monograph-2022-4
41. Stepanov DV, Gafforov AK, Mamaev AV, Rodina ND. Formation of animals adaptation to the environmental temperatures. Vestnik OrelGAU. 2015;1(52):51-60.
42. Kharlamov AV, Frolov AN, Ilyin VV. The influence of feed additives containing organic Zn and Se on productive and hematological parameters of Black Spotted bulls on final fattening. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(3):79-88. doi: 10.33284/2658-3135-107-3-79
43. Shaitanov OL, Tagirov MSh. Main trends of climate change in Tatarstan in the twentieth century. Kazan: Foliant; 2018: 63 p.
44. Shoshina OV. Assessment of the elemental and biochemical composition of blood serum after inclusion of chromium picolinate in Kazakh White-Headed bulls' diet. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(1):31-41. doi: 10.33284/2658-3135-107-1-31
45. Dovydenkova MV, Kolodina EN, Nikanova DA, Logvinova TI, Artemyeva OA. Efficiency of using carotene-synthesizing yeast *Rhodotorula spp.* in the feeding of farm animals (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):149-169. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-149
46. Bernabucci U, Biffani S, Buggiotti L, Vitali A, Lacetera N, Nardone A. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. Journal of Dairy Science. 2014;97(1):471-486. doi: 10.3168/jds.2013-6611
47. Brown-Brandt TM. Understanding heat stress in beef cattle. Revista Brasileira de Zootecnia. 2018;47:e20160414. doi: 10.1590/rbz4720160414
48. Efimova IO, Zagidullin LR, Khisamov RR, Akhmetov TM, Shaidullin RR, Tyulkin SV, Gilmanov KhKh. Assessment on milk productivity and milk quality in cattle with different genotypes by HSP70.1 gene. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020;604:012016. doi: 10.1088/1755-1315/604/1/012016
49. Hassan F, Nawaz A, Rehman MS, Ali MA, Dilshad SMR, Yang Ch. Prospects of HSP70 as a genetic marker for thermo-tolerance and immuno-modulation in animals under climate change scenario. Animal Nutrition. 2019;5(4):340-350. doi: 10.1016/j.aninu.2019.06.005
50. Kasimanickam R, Kasimanickam V. Impact of heat stress on embryonic development during first 16 days of gestation in dairy cows. Scientific Reports. 2021;11:14839. doi: 10.1038/s41598-021-94278-2
51. Lebedev S, Gavrish I, Rusakova E, Kvan O, Gubaidullina I. Influence of various chromium compounds on physiological, morpho-biochemical parameters, and digestive enzymes activity in Wistar rats. Trace Elements and Electrolytes. 2018;35(4):242-245. doi: 10.5414/TEX0155419
52. Li G, Chen S, Chen J, Peng D, Gu X. Predicting rectal temperature and respiration rate responses in lactating dairy cows exposed to heat stress. J Dairy Sci. 2020;103:5466-5484. doi: 10.3168/jds.2019-16411
53. Mariana E, Sumantri C, Astuti DA, Anggraeni A, Gunawan A. Association of HSP70 gene with milk yield and milk quality of Friesian Holstein in Indonesia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020;425:012045. doi: 10.1088/1755-1315/425/1/012045
54. Zimbelman RB, Collier RJ. Feeding strategies for high producing dairy cows during periods of elevated heat and humidity. Tri-State Dairy Nutrition Conference. 2011:111-126.

Информация об авторах:

Шамиль Касымович Шакиров, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии

наук», 420259, г. Казань, Оренбургский тракт, 48, тел.: +7 (843) 2778117; Опытная станция «Уфимская» – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, 450054, г. Уфа, проспект Октября, д. 71, тел.: +7 (347) 2356022.

Наталья Юрьевна Сафина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», 420259, г. Казань, Оренбургский тракт, 48, тел.: +7 (843) 2778117.

Альбина Ленаровна Аминова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Опытная станция «Уфимская» – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, 450054, г. Уфа, проспект Октября, д. 71, тел.: +7 (347) 2356022.

Ирек Гадеевич Мустафин, кандидат сельскохозяйственных наук, Опытная станция «Уфимская» – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, 450054, г. Уфа, проспект Октября, д. 71, тел.: +7 (347) 2356022.

Вакиль Миргалиевич Шириев, доктор биологических наук, профессор, Опытная станция «Уфимская» – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, 450054, г. Уфа, проспект Октября, д. 71, тел.: +7 (347) 2356022.

Information about the authors:

Shamil K Shakirov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Tatar Research Institute of Agriculture, Federal Research Center “Kazan Research Centre of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Orenburgskiy tract, 48, 420259, tel.: +7 (843) 2778117; Ufimskaya Experimental Station, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 71 Oktyabrya ave., Ufa, 450054, tel.: +7 (347) 2356022.

Natalia Yu Safina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Tatar Research Institute of Agriculture, Federal Research Center “Kazan Research Centre of the Russian Academy of Sciences”, 48 Orenburgsky tract, Kazan, 420259, tel.: +7 (843) 2778117.

Albina L Aminova, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Ufimskaya Experimental Station, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Oktyabrya Avenue, 71, 450054, tel.: +7 (347) 2356022.

Irek G Mustafin, Cand. Sci (Agriculture), Ufimskaya Experimental Station, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71 Oktyabrya Avenue, Ufa, 450054, tel.: +7 (347) 2356022.

Vakil M Shiriev, Dr. Sci. (Biology), Professor, Ufimskaya Experimental Station, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 71 Oktyabrya Avenue, Ufa, 450054, tel.: +7 (347) 2356022.

Статья поступила в редакцию 28.01.2025; одобрена после рецензирования 27.02.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 28.01.2025; approved after reviewing 27.02.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 115-127.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 115-127.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА КОРМЛЕНИЯ

Научная статья
УДК 636.088.5:577.36
doi:10.33284/2658-3135-108-1-115

Модификация метаболизма и продуктивности молочного скота при применении ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт

Антонина Ивановна Афанасьева¹, Владислав Андреевич Сарычев²

^{1,2}Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия

¹antonina59-09@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6970-5987>

²Smy-asau@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4412-4366>

Аннотация. Современные методы кормления молочного скота, в том числе круглогодное однотипное кормление, не всегда оптимальны для жвачных животных, что может привести к снижению эффективности усвоения питательных веществ, особенно при избыточном поступлении концентрированных кормов, при котором в микробиоме рубца в результате сбраживания углеводов, образуется большое количество молочной кислоты, оказывающей негативное влияние на метаболизм, структуру и функцию внутренних органов. Одним из возможных решений этой проблемы в кормлении высокопродуктивных коров является направленное воздействие на симбионтную микрофлору преджелудков за счет скармливания пробиотических препаратов. В связи с этим целью наших исследований являлось изучение влияния ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт на метаболический статус, молочную продуктивность и качество молока лактирующих коров в условиях круглогодного однотипного кормления. Анализ молочной продуктивности коров после первого скармливания (в течение 15 дней) Профорта показал, что среднесуточный удой у животных увеличился на 6,1 %, в сравнении с животными контрольной группы. Молочная продуктивность коров после повторного скармливания препарата оставалась выше на 4,6 %, чем у контрольных животных. После окончания эксперимента и очередного скармливания препарата разница среднесуточного удоя составляла 1,9 кг (4,9 %) в пользу коров опытной группы. Валовой надой молока за период эксперимента в опытной группе был выше на 5,94 %. Использование ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт улучшает функцию печени у лактирующих коров. Показатели общего белка увеличились на 1,46 %, альбуминов – на 16,5 % ($P \leq 0,05$), снизилась активность АсАТ на 15 % ($P \leq 0,05$) и АлАТ – на 17,5 %; уровень мочевины, триглицеридов и холестерина снизился на 11, 20 и 30,5 % соответственно, что указывает на улучшение состояния метаболизма.

Ключевые слова: коровы, голштинская порода, кормление, ферментно-пробиотическая кормовая добавка Профорт, лактация, среднесуточный удой, биохимические показатели крови

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ (№ 124122000001-3).

Для цитирования: Афанасьева А.И., Сарычев В.А. Модификация метаболизма и продуктивности молочного скота при применении ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 115-127. [Afanasyeva AI, Sarychev VA. Modification of metabolism and productivity of dairy cattle using the enzyme-probiotic feed additive Profort. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):115-127. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-115>

THEORY AND PRACTICE OF FEEDING

Original article

Modification of metabolism and productivity of dairy cattle using the enzyme-probiotic feed additive Profort**Antonina I Afanasyeva¹, Vladislav A Sarychev²**^{1,2}Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia¹antonina59-09@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6970-5987>²Smy-asau@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4412-4366>

Abstract. Modern methods of feeding dairy cattle, including year-round uniform feeding, are not always optimal for ruminants, which can lead to a decrease in the efficiency of nutrient absorption, especially with excessive intake of concentrated feeds, in which a large amount of lactic acid is formed in the rumen microbiome as a result of carbohydrate fermentation, which has a negative effect on the metabolism, structure and function of internal organs. One of the possible solutions to this problem in feeding highly productive cows is a targeted effect on the symbiotic microflora of the forestomachs by feeding probiotic preparations. In this regard, the aim of our research was to study the effect of the enzyme-probiotic feed additive Profort on the metabolic status, milk productivity and milk quality of lactating cows under conditions of year-round uniform feeding. Analysis of the milk productivity of cows after the first feeding (within 15 days) of Profort showed that the average daily milk yield in animals increased by 6.1%, compared with animals in the control group. Milk productivity of cows after repeated feeding of the preparation remained higher by 4.6 % than in the control animals. After the end of the experiment and the next feeding of the preparation, the difference in average daily milk yield was 1.9 kg (4.9%) in favor of the cows of the experimental group. Gross milk yield during the experiment in the experimental group was higher by 5.94%. The use of the enzyme-pobiotic feed additive Profort improves liver function in lactating cows. Total protein indicators increased by 1.46%, albumins - by 16.5% ($P \leq 0.05$), AST activity decreased by 15% ($P \leq 0.05$) and ALT - by 17.5%; the level of urea, triglycerides and cholesterol decreased by 11, 20 and 30.5%, respectively, which indicates an improvement in the metabolic state.

Keywords: cows, Holstein breed, feeding, enzyme-probiotic feed additive Profort, lactation, average daily milk yield, biochemical blood parameters

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works Altai State Agrarian University (No. 124122000001-3).

For citation: Afanasyeva AI, Sarychev VA. Modification of metabolism and productivity of dairy cattle using the enzyme-probiotic feed additive Profort. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):115-127. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-115>

Введение.

Молочное животноводство является важным сегментом агропромышленного комплекса, обеспечивающим население ценным источником белка и других питательных веществ. Молочная продуктивность коров – ключевой фактор, определяющий экономическую эффективность молочного производства, во многом зависящим от качества кормовой базы. В последние годы резкое увеличение продуктивности молочного скота стало возможным благодаря значительным изменениям в системе кормления коров, что позволило в полной мере использовать их генетический потенциал (Груздева В.В. и Калеев Н.В., 2017).

В настоящее время многие сельхозтоваропроизводители для обеспечения резко возрастающей потребности высокопродуктивных коров в энергии и наиболее значимых нутриентах значительно увеличивают долю концентрированных кормов в рационе (50-60 %), что для жвачных является не физиологичным и ведет не только к снижению активности симбиотической микрофлоры преджелудков, но и ее качественного состава, в результате чего снижается усвоение и переваривание питательных веществ корма (Зайцев В.В. и др., 2022).

Одним из действенных подходов для повышения эффективности усвояемости кормов и нормализации обмена веществ у лактирующих коров является целенаправленная модификация симбиотической микрофлоры рубца лактирующих коров путем введения в рацион пробиотических кормовых добавок (Барымова О.П. и Михаленчик Т.А., 2023; Тагиров Х.Х. и др., 2023; Ыылдырым Е.А. и др., 2024).

Введение пробиотиков в рацион молочного скота открывает новые возможности для агропромышленного комплекса, направленные на устойчивое и экологически безопасное сельское хозяйство. Понимание механизмов действия и оптимизация применения пробиотических добавок может существенно повысить эффективность молочного производства (Тагиров Х.Х. и др., 2023; Ыылдырым Е.А. и др., 2024).

Цель исследования.

Изучить влияние ферментно-пробиотического препарата Профорт на метаболический статус, молочную продуктивность и качество молока лактирующих коров в условиях круглогодового однотипного кормления.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Коровы черно-пестрой голштинской породы.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Работа выполнена на базе ООО "Агро-Сибирь", расположенного в Смоленском районе Алтайского края. В период с 2023 по 2024 год проведены исследования, направленные на оценку эффективности использования ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт (ООО "Биотроф", Россия) при круглогодовом однотипном кормлении молочных коров. Формирование контрольной (n=20) и опытной групп (n=20) животных проходило в соответствии с методикой сбалансированных групп-аналогов, рекомендованной А.И. Овсянниковым (1976) по схеме, представленной в таблице 1.

Таблица 1. **Схема опыта**
 Table 1. **Experimental scheme**

Группа/ <i>Group</i>	Количество голов/ <i>Number of heads</i>	Условия проведения эксперимента / <i>Experiment conditions</i>
Контрольная/ <i>Control</i>	20	Основной рацион (ОР) / <i>Basic ration (BR)</i>
Опытная/ <i>Experimental</i>	20	ОР+кормовая добавка на основе ферментативно-пробиотического препарата Профорт в течение 15 дней, интервалом по 15 дней, в дозе 30,0 г на голову в сутки / <i>BR+feed additive based on the enzyme-probiotic preparation Profort for 15 days, at intervals of 15 days, at a dose of 30.0 g per head per day</i>

Предложенная технологическая схема использования ферментно-пробиотической кормовой добавки в рационе коров основана на анализе литературных источников и рекомендаций научного сообщества по применению пробиотиков с целью устранения возможных побочных эффектов. Перерыв в период использования Профорта важен для избежания риска дисбактериоза, предотвращения привыкания организма, оптимизации действия пробиотиков и улучшения усвое-

ния питательных веществ корма (Терещенко В.А. и др., 2017; Дускаев Г.К. и др., 2019; Андреев В.А. и др., 2022).

Содержание животных – беспривязное, кормление – круглогодичное однотипное согласно рекомендациям по кормлению ВИЖа (Калашников В.И., 2016), с учетом физиологического состояния животных и питательной ценности кормов. Тип кормления – силосно-сенажно-концентратный.

Кормовая добавка Профорт содержит пробиотическую смесь, состоящую из двух видов бактерий: *Enterococcus faecium* 1-35 и *Bacillus megaterium* В-4801. Каждый штамм представлен в высушенной биомассе в концентрации $3,8 \times 10^7$ КОЕ на 1 грамм добавки, равномерно нанесенный на отруби, которые используются, в качестве наполнителя.

Анализ уровня молочной продуктивности, показателей жира и белка молока за подготовительный период и за время всех этапов скармливания ферментно-пробиотической кормовой добавки проведен по данным ИАС «Селэкс» и программы «М-комплекс». Молочную продуктивность контролировали по контрольным дойкам.

Отбор проб для определения массовой доли жира и белка в молоке проводился по ГОСТ 13928-84 «Молоко и сливки заготавливаемые. Правила приемки, методы отбора проб и подготовка их к анализу» и ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу (для молока и сливок)».

Изучены показатели, отражающие биохимический статус крови и, дающие представление о динамике белкового (общий белок, альбумин, мочевины), липидного (холестерин, триглицериды), углеводного (глюкозы), минерального обмена (кальций, фосфор) и ферментативной активности печени (АсАТ, АлАТ, щелочная фосфатаза) с использованием биохимического анализатора BioChemSA и набора реактивов фирмы «Витал диагностикс СПб».

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы лаборатории «Иммуногенетики, иммунитета и контроля за качеством продукции» ФГБОУ ВО Алтайского ГАУ:

1. Химический анализ молока проведен с помощью автоматизированного измерительного комплекса "Лактан" 700 (Россия). Принцип действия анализатора молока основан на измерении скорости и степени затухания ультразвуковых колебаний при прохождении их в молоке при двух различных температурах. Методика выполнения измерений массовой доли жира и массовой доли белка аттестована в соответствии с ГОСТ Р 8.563-96 ГЦИ СИ ГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева". Свидетельство об аттестации МВИ №2420/230-00 от 21 августа 2000 г.

2. Биохимические показатели крови изучили на полуавтоматический биохимический анализатор НТИ BioChem SA (США) фотометрическим методом с использованием диагностических наборов реагентов фирмы «Витал диагностикс СПб», в соответствии с инструкцией по применению.

Статистическая обработка. Сравнительный анализ проведен с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» («Microsoft», США) с применением «Excel» («Microsoft», США), в соответствии с методами вариационной статистики. Были рассчитаны средние значения ($\bar{S}$) и стандартные ошибки средних ($\pm SEM$) для обеих групп на каждом этапе скармливания препарата. Сравнение средних значений проводилось с помощью t-критерия Стьюдента.

Результаты исследования.

Эффективность использования ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт оценивали по сравнительному анализу количественных и качественных показателей молочной продуктивности коров. В связи с этим нами изучена динамика среднесуточных удоев коров до применения препарата и за период скармливания ферментно-пробиотической добавки (рис. 1).

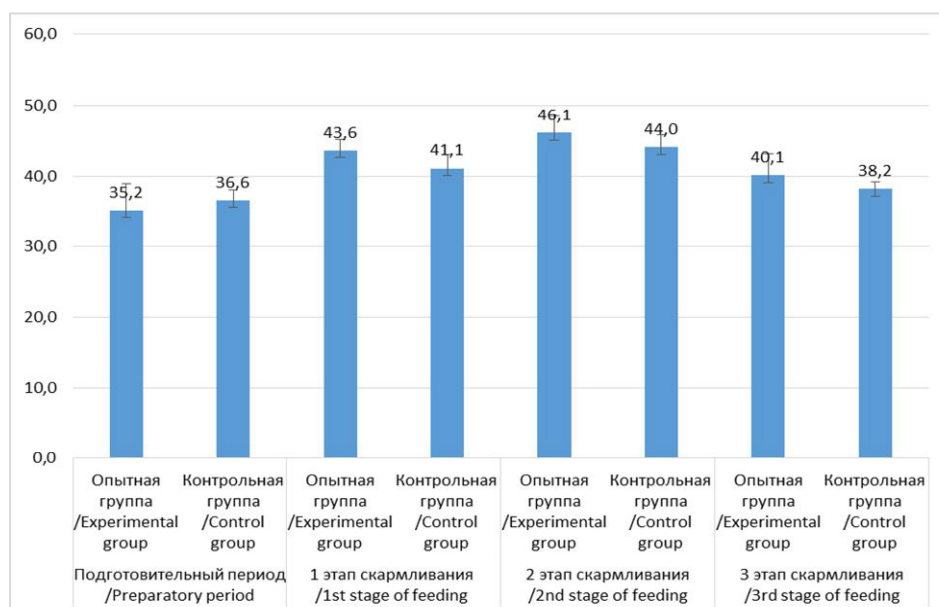


Рисунок 1. Динамика среднесуточных надоев молока у лактирующих коров при использовании кормовой добавки на основе ферментно-пробиотического препарата Профорт, кг

Figure 1. Dynamics of average daily milk yields of lactating cows when using a feed additive based on the enzyme-probiotic preparation Profort, kg

Общая динамика величины среднесуточных удоев у животных экспериментальных групп обусловлена физиологически закономерным изменением гормонального фона после отела и повышением секреторной активности щитовидной и других желез внутренней секреции, активирующих процессы лактопоэза и лактогенеза (Солоднева Е.В. и др., 2022), однако наиболее выраженный эффект отмечается в опытной группе. Исследования показали, что использование ферментно-пробиотического препарата Профорт в составе кормовой добавки лактирующим коровам в весенне-летний период, при круглогодичном однотипном кормлении, способствовало повышению среднесуточного удоя после первого этапа скармливания на 6,1 % (до 43,6 кг) у коров опытной группы в сравнении с контрольной группой животных. Молочная продуктивность коров после повторного скармливания препарата оставалась выше на 4,6 % в сравнении со значениями, установленными у животных контрольной группы.

На третьем месяце исследований, после очередного введения препарата (3-й этап скармливания), уровень среднесуточных удоев снизился на 6 л (13 %) в сравнении с предыдущим этапом, но оставался выше, чем у контрольных животных на 1,9 л (4,9 %).

Таким образом, исследования показали, что введение ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт в рацион кормления лактирующих коров черно-пестрой голштинской породы приводит к увеличению среднесуточного удоя у коров опытной группы от 4,7 до 6,1 % на всех этапах скармливания, что подчеркивает эффективность ее применения для повышения продуктивности молочного скота.

Установлено, что трехкратное введение в рацион кормления коров в период пика и разгара лактации, при круглогодичном однотипном кормлении ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт (рис. 2) сопровождалось повышением массовой доли жира в молоке от 0,05 до 0,07 % и массовой доли белка на 0,02-0,04 %. Причем, максимальная разница в показателях массовой доли жира и белка между животными опытной и контрольной групп установлена после второго этапа скармливания.



Рисунок 2. Показатели содержания жира и белка в молоке коров опытных групп, %
Figure 2. Indicators of fat and protein content in milk of cows of experimental groups, %

Таблица 2. Величина валового надоя (n=40, M±SEM)

Table 2. Gross milk yield (n=40, M±SEM)

Показатель/Indicator	Группа/Group		% к контролю/ % to control	+- к контролю/ - to control
	опытная/ Experimental	контроль- ная/Control		
Валовой надой за период опыта, кг /Gross milk yield during the experimental period, kg	3896,4±58,7*	3677,73±53,78	5,9	218,7
Валовой надой молока базисной жирности за период опыта, кг /Gross milk yield of basic fat milk during the experimental period, kg	4279,4±65,99*	3992,4±58,5	6,7	287,0

Примечание: * – $P \leq 0,01$ разница статистически достоверна, в сравнении с контрольной группой
Note: * – $P \leq 0,01$ the difference is statistically significant, compared to the control group

Результаты исследований показали, что использование кормовой добавки на основе ферментно-пробиотического препарата Профорт в рационе коров опытной группы привело к заметно-му увеличению величины валового надоя за 100 дней эксперимента по сравнению с контрольной группой. Так, валовой надой молока увеличился на 5,9 % (218,7 кг) (табл. 2), количество молока базисной жирности у животных опытной группы за период эксперимента увеличилось на 6,7 % (287,0 кг) в сравнении с аналогичными показателями у животных контрольной группы.

Наши исследования, выполненные в молекулярно-генетической лаборатории компании «Биотроф» с использованием ПЦР-диагностики, позволили установить, что применение ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт способствовало повышению в рубцовом содержимом среднего значения содержания семейства *Lachnospiraceae*, в сравнении с образцами рубцовой жидкости, полученной у контрольных животных. Бактерии этого семейства отвечают за метаболизм полисахаридов, содержащихся в корме, и производят различные короткие цепочки жирных кислот, которые могут обеспечивать животных дополнительным источником энергии, необходимым при производстве молока.

Для всестороннего понимания механизмов действия пробиотиков и их эффектов на организм животного необходимо принимать во внимание изменения в биохимических показателях крови, которые отражают физиологическое состояние животного и могут служить индикаторами

его здоровья и метаболического статуса. Динамика интерьерных показателей указывает на модификацию метаболических процессов в организме, в том числе, как результат изменения симбиотической микрофлоры рубца коров при использовании пробиотиков (табл. 3).

Таблица 3. Биохимические показатели сыворотки крови лактирующих коров при использовании кормовой добавки на основе ферментно-пробиотического препарата Профорт (n=40, M±SEM)
 Table 3. Biochemical parameters of blood serum of lactating cows when using a feed additive based on the enzyme-probiotic preparation "Profort", (n=40, M±SEM)

Показатель / Indicator	Физиол. норма / Physiological norm	Опытная / Experimental		Контрольная / Control	
		в начале опыта / at the start of the experiment	в конце опыта / at the end of experiment	в начале опыта / at the start of the experiment	в конце опыта / at the end of experiment
Общий белок, г/л/Total protein, g/l	62-82	72,7±0,873	75,3±0,957	71,4±0,779	76,4±0,864
Альбумины, г/л/Albumin, g/l	25-39	28,5±0,477	26,2±1,087	29,1±0,521	31,4±1,587*
АсАТ (аспартатаминотрансфераза), ЕД/л / AST, U/l	45-110	82,9±5,89	107,7±6,03	85,1±6,24	91,6±5,17*
АлАТ (аланинаминотрансфераза), ЕД/л/ ALT, U/l	6,9-35	29,59±1,86	55,70±8,032	27,73±2,11	45,93±3,213
Щелочная фосфатаза, ЕД/л /Alkaline phosphatase	18-153,0	82,5±9,88	91,2±11,27	87,3±8,71	95,5±12,45
Мочевина, ммоль/л /Urea, mmol/l	3,3-6,7	4,14±0,215	3,91±0,177	4,35±0,231	3,48±0,150
Глюкоза, ммоль/л/Glucose, mmol/l	2,2-3,3	2,36±0,079	2,52±0,047	2,44±0,085	2,68±0,077
Триглицериды, ммоль/л /Triglycerides, mmol/l	0,15-0,35	0,187±0,036	0,223±0,020	0,193±0,031	0,176±0,046
Холестерин, ммоль/л /Cholesterol, mmol/l	2,6-5,5	3,42±0,422	4,07±0,626	3,26±0,508	2,83±0,770
Кальций, ммоль/л/Ca, mmol/l	2,1-3,8	2,46±0,071	2,61±0,059	2,51±0,088	2,61±0,098
Фосфор, ммоль/л/P, mmol/l	1,45-2,5	1,76±0,296	1,86±0,368	1,78±0,252	1,69±0,679

Примечание: * – P≤0,05 разница статистически достоверна, в сравнении с контрольной группой
 Note: * – P≤0.05 the difference is statistically significant, compared to the control group

Использование в рационе кормления лактирующих коров ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт при круглогодичном однотипном кормлении способствовало модификации метаболизма и улучшению показателей всех видов обмена веществ.

Уровень общего белка в опытной группе увеличился на 1,46 % по сравнению с контрольной группой, что указывает на потенциальное улучшение питательного статуса животных за счет использования препарата. Еще более заметное улучшение наблюдается в содержании альбуминов, где разница составила 16,5 % (P≤0,05).

Существенные изменения отмечались в концентрации ферментов, отражающих функциональную активность печени. Активность АсАТ снизилась на 15 % (P≤0,05), а АлАТ – на 17,5 %, что свидетельствует о потенциальном улучшении функции печени. Отмечалось незначительное увеличение уровня щелочной фосфатазы на 4,7 % в пределах нормы.

Более того, уровень мочевины в опытной группе снизился на 11 %, что может указывать на улучшение азотного обмена. Уровень глюкозы увеличился на 6,3 % и отражает улучшение состояния обмена веществ, что, вероятно, связано с увеличением в рубце коров опытной группы целлюлолитических микроорганизмов, представленных семействами: *Prevotellaceae*, *Lachnospiraceae*, *Clostridia* UCG-014, *Eubacterium*, *Oscillospiraceae*, *Hungateiclostridiaceae*, *Christensenellaceae* и

Ruminococcaceae, при использовании ферментно-пробиотической кормовой добавки «Профорт». Как известно, целлюлозолитические микроорганизмы расщепляют клетчатку до сахаров и сбраживают углеводы с образованием летучих жирных кислот, в том числе пропионовой, из которой синтезируется глюкоза.

Нами отмечалось существенное снижение концентрации триглицеридов и холестерина на 20 % и 30,5 % соответственно, что свидетельствует о положительном влиянии препарата на липидный обмен.

Содержание кальция и фосфора в крови коров опытной группы оставались стабильным. Это подчеркивает, что основное влияние ферментно-пробиотического препарата Профорт направлено на улучшение обмена веществ, функцию печени и питательного статуса животных, что может способствовать повышению их продуктивности и улучшению здоровья, без негативного влияния на минеральный обмен.

Обсуждение полученных результатов.

Уровень молочной продуктивности животных напрямую зависит от состояния здоровья и обмена веществ, а также отражает эффективность используемого рациона (Барымова О.П. и Михаленчик Т.А., 2023).

В ходе эксперимента нами установлено, что в условиях круглогодогового однотипного кормления введение в рацион ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт приводит к улучшению количественных и качественных характеристик молока.

Нормализация и модификация метаболизма лактирующих коров при использовании кормовой добавки Профорт способствовали повышению среднесуточных удоев у коров опытной группы.

Следует отметить, что полученные нами результаты по молочной продуктивности согласуются с результатами, установленными отечественными коллективами авторов (Никулина Н.Ш. и др., 2018; Тишенков П.И. и Корвяков А.М., 2020; Смоленцев С.Ю., 2021). Так, по оценкам ученых, в результате применения пробиотиков продуктивность животных повышается на 15-20 % (Аникин С.В. и др., 2023; Гульбет А.Э. и др., 2024).

Пробиотики могут оказывать влияние на метаболизм животных путем модуляции кишечной микрофлоры, они усиливают переваримость веществ корма, за счет воздействия на симбиотическую микрофлору и активность ферментативных систем (Аникин С.В. и др., 2023), положительно влияя на повышение энергетического статуса животного, за счет усиления сбраживания клетчатки и легкоферментируемых углеводов (Аникин С.В. и др., 2023; Гульбет А.Э. и др., 2024).

Причём продукты этой ферментации, особенно уксусная кислота, являются предшественниками синтеза молочного жира (Sun X et al., 2021). Результаты исследований ряда авторов также указывают на улучшение pH рубца, соотношение уксусной и пропионовой кислот, что ведет к увеличению содержания жира в молоке. Этот факт подтверждают и наши исследования, отметившие увеличение содержания молочного жира в молоке коров опытной группы. Косвенным подтверждением этих показателей являются изменения уровня углеводного и липидного обменов. Так, снижение уровня триглицеридов и холестерина на фоне повышения концентрации глюкозы может указывать на усиление их использования в качестве субстрата для синтеза составных частей молока (Moallem U et al., 2009; Peng H et al., 2012; So S et al., 2021).

Изменения количественного и качественного составов микрофлоры в рубце напрямую влияют на количество микробного сырого протеина, который синтезируется микроорганизмами кишечника, что напрямую влияет на количество и качество метаболизируемого белка, впоследствии превращающегося в молочный белок (Xie Y et al., 2019; Ma ZZ et al., 2020). Отражением этого факта в наших исследованиях является увеличение уровня альбуминов в крови и белка в молоке лактирующих коров, получавших ферментно-пробиотический препарат. Этот эффект может быть обусловлен увеличением популяции бактерий, разлагающих клетчатку, и относительным снижением популяции метаногенов и простейших в рубце (Izuddin WI et al., 2019).

Заключение.

Таким образом, использование ферментно-пробиотической кормовой добавки Профорт лактирующим коровам опытной группы способствует модификации метаболизма, увеличению количественных показателей и качества молока, валового надоя молока на 5,9 %, надоя молока базисной жирности на 6,7 % по сравнению с контрольной группой.

Список источников

1. Андреев В.А., Стецюк О.У., Андреева И.В. Пробиотики: нерешенные вопросы // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2022. Т. 24. № 4. С. 345-360. [Andreev VA, Stetsiouk OU, Andreeva IV. Probiotics: controversial issues. Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy. 2022;24(4):345-360. (*In Russ.*)] doi: 10.36488/cmac.2022.4.345-360
2. Аникин С.В., Филатов А.В., Шемуранова Н.А. Молочная продуктивность и показатели воспроизводства при использовании пробиотического комплекса Профорт Т // Зоотехния. 2023. № 3. С. 16-18. [Anikin SV, Filatov AV, Shemuranova NA. Milk productivity and reproduction indicators when using the probiotic complex Profort T. Zootechniya. 2023;3:16-18. (*In Russ.*)] doi: 10.25708/ZT.2023.15.68.004
3. Барымова О.П., Михаленчик Т.А. Влияние пробиотика «Бацелл» на молочную продуктивность и качество молока // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 6. С. 115-118. [Barymova OP, Mikhalechik TA. Influence of probiotic "Bacell" on milk productivity and milk quality. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2023;6:115-118. (*In Russ.*)]
4. Влияние биологически активных добавок на молочную продуктивность коров / В.В. Зайцев, М.С. Сеитов, Л.М. Зайцева, И.С. Емельянова, Ю.М. Поликашина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 2(94). С. 288-292. [Zaitsev VV, Seitov MS, Zaitseva LM, Emelyanova IS, Polikashina YuM. Influence of biologically active additives on milk productivity of cows. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;2(94):288-292. (*In Russ.*)] doi: 10.37670/2073-0853-2022-94-2-288-292
5. Влияние скармливания пробиотика ибентонитовой глины на молочную продуктивность и биохимические показатели крови коров / В.А. Терещенко, Е.А. Иванов, М.М. Филиппев, О.В. Иванова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 8(154). С. 117-124. [Tereshchenko VA, Ivanov YeA, Filipyev MM, Ivanova OV. Influence of feeding probiotics and bentonite clay on milk production and biochemical indices of cows. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017;8(154):117-124. (*In Russ.*)]
6. ГОСТ 13928-84. Молоко и сливки заготавливаемые. Правила приемки, методы отбора проб и подготовка их к анализу. Введ. 1986-01.01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 6 с. [GOST 13928-84. Milk up milk and cream. Acceptance rules, methods of sampling and preparation of samples for testing. Vved. 1986-01.01. Moscow: IPC Publishing House of Standards; 2003:6 p. (*In Russ.*)]
7. ГОСТ 26809-86. Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Введ. 1987-01.01. М.: Стандартиформ, 2009. 11 с. [GOST 26809-86. Milk and milk products. Acceptance regulations, methods of sampling and preparation for testing. Vved. 1987-01.01. Moscow: Standartinform; 2009:11 p. (*In Russ.*)]
8. ГОСТ Р 8.563-96. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. М.: Госстандарт России, 2010. 23 с. [GOST R 8.563-96. State system for ensuring the uniformity of measurements. Procedures of measurements. Vved. 1997-07-01. Moscow: Gosstandart of Russia; 2010:23 p. (*In Russ.*)]
9. Груздева В.В., Калеев Н.В. Особая роль молочного скотоводства, как составной части сельскохозяйственной отрасли и агропромышленного комплекса в экономике страны // Вестник НГИЭИ. 2017. № 8(75). С. 80-89. [Gruzdeva VV, Kaleev NV. The special role of dairy cattle, as an

integral part of the agricultural sector and agriculture in the country's economy. Bulletin NGIEI. 2017;8(75):80-89. (In Russ.).

10. Гульбет А.Э., Амерханов Х.А., Соловьева О.И. Качество молозива и молока коров разных пород при использовании пробиотика Зоонорм // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 2. С. 116-127. [Gulbet AE, Amerkhanov KhA, Solovyova OI. Quality of colostrum and milk from cows of different breeds when using Zoonorm probiotic. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):116-127. (In Russ.). doi: 10.33284/2658-3135-107-2-116

11. Использование пробиотиков и растительных экстрактов для улучшения продуктивности жвачных животных (обзор) / Г.К. Дускаев, Г.И. Левахин, В.Л. Королев, Ф.Х. Сиразетдинов // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. № 1. С. 136-148. [Duskaev GK, Levakhin GI, Korolev VL, Sirazetdinov FK. Use of probiotics and plant extracts to improve the productivity of ruminants (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(1):136-148. (In Russ.). doi: 10.33284/2658-3135-102-1-136

12. Лактационные кривые как инструмент своевременного мониторинга состояния здоровья животных и их продуктивности - мини-обзор / Е.В. Солоднева, Р.В. Смольников, С.А. Баженов, Д.А. Воробьева, Ю.А. Столповский // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 2. С. 257-271. [Solodneva EV, Smolnikov RV, Bazhenov SA, Vorobyeva DA, Stolpovsky YuA. Lactation curves as a tool for monitoring the health and performance of dairy cows - a mini-review. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2022;57(2):257-271. (In Russ.). doi: 10.15389/agrobiology.2022.2.257rus doi: 10.15389/agrobiology.2022.2.257eng

13. Никулина Н.Ш., Никулин А.Ф., Маркова И.В. Эффективность пробиотической добавки Биогумитель-Г на молочную продуктивность коров чёрно-пёстрой породы // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 1. С. 161-170. [Nikulina NSh, Nikulin AF, Markova IV. The effectiveness of probiotic supplement biogumitel-g on milk productivity of black spotted cows. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(1):161-170. (In Russ.).

14. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. / под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. М., 2003. 456 с. [Kalashnikov AP, Fisinin VI, Shcheglov VV, Kleymenov NI ed. Norms and rations for feeding farm animals. Reference manual. 3rd edition revised and supplemented. Moscow; 2003:456 p. (In Russ.).

15. Овсянников А.И. Основы опытного дела в животноводстве: учеб. пособие для вузов. М.: Колос, 1976. 304 с. [Ovsyannikov AI. Fundamentals of experimental work in animal husbandry: a teaching aid for universities. Moscow: Kolos; 1976:304 p. (In Russ.).

16. Результаты анализа состава микрофлоры рубца коров под влиянием пробиотика методом NGS-секвенирования / Е.А. Ыылдырым, Г.Ю. Лаптев, Е.Г. Дубровина, Л.А. Ильина, Д.Г. Тюрина, В.А. Филиппова, А.В. Дубровин, К.А. Калиткина, С.П. Складаров // Вестник КрасГАУ. 2024. № 1(202). С. 108-118. [Yildirim EA, Laptev GYu, Dubrovina EG, Ilyina LA, Tyurina DG, Filippova VA, Dubrovin AV, Kalitkina KA, Sklyarov SP. Analysis results of cow rumen microflora composition under the probiotics influence by ngs sequencing method. Bulletin of KSAU. 2024;1(202):108-118. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2024-1-108-118

17. Смирнова Ю.М., Платонов А.В., Котелевская В.А. Эффективность использования пробиотика "Румит" в рационе дойных коров айрширской породы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24. № 3. С. 468-477. [Smirnova YuM, Platonov AB, Kotelevskaya VA. Effectiveness of probiotic Runit in the dairy Ayrshire cattle diet. Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):468-477. (In Russ.). doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.468-477

18. Смоленцев С.Ю. Влияние пробиотиков на молочную продуктивность коров // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2021. № 23. С. 522-525. [Smolencev SJu. Vliyanie probiotikov na molochnuju produktivnost' korov. Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tehnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo hozjajstva. 2021;23:522-525. (In Russ.).

19. Тагиров Х.Х., Хазиахметов Ф.С., Андриянова Э.М. Влияние пробиотика Кормозим-П на микрофлору кишечника и показатели крови телят молочного периода // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 2. С. 176-184. [Tagirov KhKh, Khaziakhmetov FS, Andriyanova EM. The effect of the probiotic Kormozim-P on the intestinal microflora and hematological parameters of dairy calves. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(2):176-184. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-176
20. Тищенко П.И., Корвяков А.М. Влияние пробиотика на основе лактобацилл на неспецифическую резистентность, физиологическое состояние и энергию роста телят-молочников // Зоотехния. 2020. № 11. С. 13-17. [Tishenkov PI, Korvyakov AM. Effect of a lactobacillus-based probiotic on non-specific resistance, physiological state and growth energy of dairy calves. Zootechniya. 2020;11:13-17. (In Russ.)]. doi: 10.25708/ZT.2020.60.56.004
21. Izuddin WI, Loh TC, Samsudin AA, Foo HL, Humam AM, Shazali N. Effects of postbiotic supplementation on growth performance, ruminal fermentation and microbial profile, blood metabolite and GHR, IGF-1 and MCT-1 gene expression in post-weaning lambs. BMC Vet Res. 2019;15:315. doi: 10.1186/s12917-019-2064-9
22. Ma ZZ, Cheng YY, Wang SQ, Ge JZ, Shi HP, Kou JC. Positive effects of dietary supplementation of three probiotics on milk yield, milk composition and intestinal flora in Sannan dairy goats varied in kind of probiotics. J Anim Physiol Anim Nutr. 2020;104(1):44-55. doi: 10.1111/jpn.13226
23. Moallem U, Lehrer H, Livshitz L, Zachut M, Yakoby S. The effects of live yeast supplementation to dairy cows during the hot season on production, feed efficiency, and digestibility. J Dairy Sci. 2009;92(1):343-351. doi: 10.3168/jds.2007-0839
24. Peng H, Wang JQ, Kang HY, Dong SH, Sun P, Bu DP, et al. Effect of feeding *Bacillus subtilis* natto fermentation product on milk production and composition, blood metabolites and rumen fermentation in early lactation dairy cows. J Anim Physiol Anim Nutr. 2012;96(3):506-512. doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01173.x
25. So S, Wanapat M, Cherdthong A. Effect of sugarcane bagasse as industrial by-products treated with *Lactobacillus casei* TH14, cellulase and molasses on feed utilization, ruminal ecology and milk production of mid-lactating Holstein Friesian cows. J Sci Food Agric. 2021;101(11):4481-4489. doi: 10.1002/jsfa.11087
26. Sun X, Wang Y, Wang E, Zhang S, Wang Q, Zhang Y, et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* culture on ruminal fermentation, blood metabolism, and performance of high-yield dairy cows. Animals. 2021;11(8):2401. doi: 10.3390/ani11082401
27. Xie Y, Wu Z, Wang D, Liu J. Nitrogen partitioning and microbial protein synthesis in lactating dairy cows with different phenotypic residual feed intake. J Anim Sci Biotechnol. 2019;10:54. doi: 10.1186/s40104-019-0356-3

References

1. Andreev VA, Stetsiouk OU, Andreeva IV. Probiotics: controversial issues. Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy. 2022;24(4):345-360. doi: 10.36488/cmac.2022.4.345-360
2. Anikin SV, Filatov AV, Shemuranova NA. Milk productivity and reproduction indicators when using the probiotic complex Profort T. Zootechniya. 2023;3:16-18. doi: 10.25708/ZT.2023.15.68.004
3. Barymova OP, Mikhalenchik TA. Influence of probiotic "Bacell" on milk productivity and milk quality. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2023;6:115-118.
4. Zaitsev VV, Seitov MS, Zaitseva LM, Emelyanova IS, Polikashina YuM. Influence of biologically active additives on milk productivity of cows. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;2(94):288-292. doi: 10.37670/2073-0853-2022-94-2-288-292
5. Tereshchenko VA, Ivanov YeA, Filipyev MM, Ivanova OV. Influence of feeding probiotics and bentonite clay on milk production and biochemical indices of cows. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017;8(154):117-124.

6. State Standard 13928-84. Milk up milk and cream. Acceptance rules, methods of sampling and preparation of samples for testing. Implementation date 1986-01.01. Moscow: IPC Publishing House of Standards; 2003:6 p.
7. State Standard 26809-86. Milk and milk products. Acceptance regulations, methods of sampling and preparation for testing. Implementation date 1987-01.01. Moscow: Standartinform; 2009:11 p.
8. State Standard R 8.563-96. State system for ensuring the uniformity of measurements. Procedures of measurements. Implementation date 1997-07-01. Moscow: Gosstandart of Russia; 2010:23 p.
9. Gruzdeva VV, Kaleev NV. The special role of dairy cattle, as an integral part of the agricultural sector and agriculture in the country's economy. Bulletin NGIEI. 2017;8(75):80-89.
10. Gulbet AE, Amerkhanov KhA, Solovyova OI. Quality of colostrum and milk from cows of different breeds when using Zoonorm probiotic. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):116-127. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-116
11. Duskaev GK, Levakhin GI, Korolev VL, Sirazetdinov FK. Use of probiotics and plant extracts to improve the productivity of ruminants (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(1):136-148. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-136
12. Solodneva EV, Smolnikov RV, Bazhenov SA, Vorobyeva DA, Stolpovsky YuA. Lactation curves as a tool for monitoring the health and performance of dairy cows - a mini-review. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2022;57(2):257-271. doi: 10.15389/agrobiology.2022.2.257eng
13. Nikulina NSh, Nikulin AF, Markova IV. The effectiveness of probiotic supplement biogumitel-g on milk productivity of black spotted cows. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(1):161-170.
14. Kalashnikov AP, Fisinin VI, Shcheglov VV, Kleymenov NI ed. Norms and rations for feeding farm animals. Reference manual. 3rd edition revised and supplemented. Moscow; 2003:456 p.
15. Ovsyannikov AI. Fundamentals of experimental work in animal husbandry: a teaching aid for universities. Moscow: Kolos; 1976:304 p.
16. Yildirim EA, Laptev GYu, Dubrovina EG, Ilyina LA, Tyurina DG, Filippova VA, Dubrovin AV, Kalitkina KA, Sklyarov SP. Analysis results of cow rumen microflora composition under the probiotics influence by NGS sequencing method. Bulletin of KSAU. 2024;1(202):108-118. doi: 10.36718/1819-4036-2024-1-108-118
17. Smirnova YuM, Platonov AB, Kotelevskaya VA. Effectiveness of probiotic Rumit in the dairy Ayrshire cattle diet. Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):468-477. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.468-477
18. Smolencev SJu. Influence of probiotics on milk productivity of cows. Actual Questions of Improvement of Technology of Production and Processing of Agricultural Products. 2021;23:522-525.
19. Tagirov KhKh, Khaziakhmetov FS, Andriyanova EM. The effect of the probiotic Kormozim-P on the intestinal microflora and hematological parameters of dairy calves. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(2):176-184. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-176
20. Tishenkov PI, Korvyakov AM. Effect of a lactobacillus-based probiotic on non-specific resistance, physiological state and growth energy of dairy calves. Zootechniya. 2020;11:13-17. doi: 10.25708/ZT.2020.60.56.004
21. Izuddin WI, Loh TC, Samsudin AA, Foo HL, Humam AM, Shazali N. Effects of postbiotic supplementation on growth performance, ruminal fermentation and microbial profile, blood metabolite and GHR, IGF-1 and MCT-1 gene expression in post-weaning lambs. BMC Vet Res. 2019;15:315. doi: 10.1186/s12917-019-2064-9
22. Ma ZZ, Cheng YY, Wang SQ, Ge JZ, Shi HP, Kou JC. Positive effects of dietary supplementation of three probiotics on milk yield, milk composition and intestinal flora in Sannan dairy goats varied in kind of probiotics. J Anim Physiol Anim Nutr. 2020;104(1):44-55. doi: 10.1111/jpn.13226
23. Moallem U, Lehrer H, Livshitz L, Zachut M, Yakoby S. The effects of live yeast supplementation to dairy cows during the hot season on production, feed efficiency, and digestibility. J Dairy Sci. 2009;92(1):343-351. doi: 10.3168/jds.2007-0839

24. Peng H, Wang JQ, Kang HY, Dong SH, Sun P, Bu DP, et al. Effect of feeding *Bacillus subtilis* natto fermentation product on milk production and composition, blood metabolites and rumen fermentation in early lactation dairy cows. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2012;96(3):506-512. doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01173.x
25. So S, Wanapat M, Cherdthong A. Effect of sugarcane bagasse as industrial by-products treated with *Lactobacillus casei* TH14, cellulase and molasses on feed utilization, ruminal ecology and milk production of mid-lactating Holstein Friesian cows. *J Sci Food Agric.* 2021;101(11):4481-4489. doi: 10.1002/jsfa.11087
26. Sun X, Wang Y, Wang E, Zhang S, Wang Q, Zhang Y, et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* culture on ruminal fermentation, blood metabolism, and performance of high-yield dairy cows. *Animals.* 2021;11(8):2401. doi: 10.3390/ani11082401
27. Xie Y, Wu Z, Wang D, Liu J. Nitrogen partitioning and microbial protein synthesis in lactating dairy cows with different phenotypic residual feed intake. *J Anim Sci Biotechnol.* 2019;10:54. doi: 10.1186/s40104-019-0356-3

Информация об авторах:

Антонина Ивановна Афанасьева, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой общей биологии, биотехнологии и разведения животных, Алтайский государственный аграрный университет, 656049, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Красноармейский, 98, тел.: 8-905-928-32-80.

Владислав Андреевич Сарычев, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей биологии, биотехнологии и разведения животных, Алтайский государственный аграрный университет, 656049, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Красноармейский, 98, тел.: 8-902-140-62-71.

Information about the authors:

Antonina I Afanasyeva, Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of General Biology, Biotechnology and Animal Breeding, Altai State Agrarian University, Krasnoarmeysky Ave., 98, Altai Krai, Barnaul, 656049, tel.: 8-905-928-32-80.

Vladislav A Sarychev, Cand. Sci (Biology), Associate Professor of the Department of General Biology, Biotechnology and Animal Breeding, Altai State Agrarian University, Krasnoarmeysky Ave., 98, Altai Krai, Barnaul, 656049, tel.: 8-902-140-62-71.

Статья поступила в редакцию 01.11.2024; одобрена после рецензирования 06.02.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 01.11.2024; approved after reviewing 06.02.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 128-144.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 128-144.

Обзорная статья
УДК 636.085:633.131.14:577.15
doi:10.33284/2658-3135-108-1-128

Молочные дрожжи *Kluyveromyces* и их биологический потенциал

Ольга Анатольевна Артемьева¹, Татьяна Ивановна Логвинова², Дарья Александровна Никанова³

^{1,2,3}Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Дубровицы, Россия

¹vijmikrob@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7706-4182>

²vijmikrob@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7075-544X>

³vijmikrob@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5164-244X>

Аннотация. На сегодняшний день актуальным является использование кормовых добавок микробного происхождения на основе простейших грибов в питании сельскохозяйственных животных и птицы. Исключение кормовых антибиотиков вызвало интерес к кормовым дрожжам и изучению влияния дрожжевых культур на систему желудочно-кишечного тракта, микрофлору и функционирование рубца.

Kluyveromyces – новые нетрадиционные пищевые и кормовые дрожжи, которые выделяют из различных мест обитания, таких как кефирное зерно, кисломолочные продукты, сточные воды сахарной промышленности, растений. Уникальный набор полезных свойств, а именно быстрый рост, термотолерантность и широкий спектр субстратов делает эти дрожжи особенно привлекательными для применения в различных отраслях пищевой, фармацевтической промышленности и биотехнологии. Молочные дрожжи – перспективные пробиотические микроорганизмы, способные расщеплять лактозу. В этой связи актуальным является изучение молочных дрожжей *Kluyveromyces* в качестве надежного источника дрожжевых клеток для производства различных ферментов, биоэтанола, клеточных белков, пробиотиков, фруктозы и фруктоолигосахаридов, а также вакцин с природными свойствами.

Ключевые слова: молочные дрожжи *Kluyveromyces*, кормовая добавка, пробиотические микроорганизмы, ферменты

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2024 г. ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста 124020200032-4 (№ FGGN-2024-0016).

Для цитирования: Артемьева О.А., Логвинова Т.И., Никанова Д.А. Молочные дрожжи *Kluyveromyces* и их биологический потенциал (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 128-144. [Artemyeva OA, Logvinova TI, Nikanova DA. The yeast *Kluyveromyces* and its biological potential (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):128-144. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-128>

Review article

The yeast *Kluyveromyces* and its biological potential

Olga A Artemyeva¹, Tatyana I Logvinova², Daria A Nikanova³

^{1,2,3}Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Dubrovitsy, Russia

¹vijmikrob@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7706-4182>

²vijmikrob@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7075-544X>

³vijmikrob@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5164-244X>

Abstract. Today, it is relevant to use feed additives of microbial origin based on the simplest fungi in the nutrition of farm animals and poultry. The exclusion of feed antibiotics has provoked interest in

feed yeast and the study of the effect of yeast cultures on the gastrointestinal tract, microflora and rumen function.

Kluyveromyces is a new non-traditional food and feed yeast that is isolated from various habitats, such as kefir grains, fermented dairy products, waste water from the sugar industry, and plants. A unique set of useful properties, namely rapid growth, thermotolerance and a wide range of substrates makes these yeasts especially attractive for use in various sectors of the food, pharmaceutical and biotechnology industries. Dairy yeasts are promising probiotic microorganisms that can break down lactose. In this regard, it is relevant to study the dairy yeast *Kluyveromyces* as a reliable source of yeast cells for the production of various enzymes, bioethanol, cellular proteins, probiotics, fructose and fructooligosaccharides, as well as vaccines with natural properties.

Keywords: yeast *Kluyveromyces*, feed additive, probiotic microorganisms, enzymes

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024 Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst 124020200032-4 (No. FGGN-2024-0016).

For citation: Artemyeva OA, Logvinova TI, Nikanova DA. The yeast *Kluyveromyces* and its biological potential (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):128-144. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-128>

Введение.

В качестве кормовых препаратов в рационах сельскохозяйственных животных и птицы используются живые микроорганизмы. Микробиальные продукты, называемые пробиотиками, оказывают положительное влияние на продуктивность животных при добавлении в корма. (Денев С.А. и др., 2007; Aragon G et al., 2010; Ventura M et al., 2009; Гулиц А.Ф. и Мирошникова Е.П., 2023; Гульбет А.Э. и др., 2024).

Слово “пробиотики” впервые было использовано Эли Мечниковым в начале 20-го века (Bastani P et al., 2016). Они эффективны при многих заболеваниях и обладают антиканцерогенным, противодиабетическим и противовоспалительным действиями, улучшают непереносимость лактозы и снижают уровень холестерина в крови, давление, подавляют рост патогенных бактерий, разрушая рецепторы токсинов в слизистой оболочке, активируя гены кишечного муцина и стимулируя иммунную систему (Garcia-Tejedor A et al., 2014; Homayouni Rad A et al., 2013; Aziz Homayouni-Rad et al., 2020). При этом пробиотический продукт должен содержать $>10^7$ КОЕ/г или $>10^7$ КОЕ/сут жизнеспособных пробиотических клеток (Homayouni Rad A et al., 2012; Abdolhosseinzadeh E et al., 2018).

В настоящее время дрожжи – перспективная биологически активная кормовая и пищевая добавка, накапливающая до 60 % белка в сухой массе и содержащая витамины группы В (Rakowska R et al., 2017; Pérez-Torrado R et al., 2015; Ferreira I et al., 2010). Дрожжи – это одноклеточные грибы, входящие в большую группу микроорганизмов, используемых в биотехнологической, пищевой, экологической и фармацевтической областях (Bilal M et al., 2021; Mamaev D and Zvyagilskaya R, 2021). Уникальные полезные свойства дрожжей делают их привлекательными кандидатами для широкого спектра применения в различных отраслях промышленности (Wagner JM and Alper HS, 2016; Shurson GC, 2018).

Генофонд дрожжей, используемых в различных исследованиях, постоянно расширяется. Внимание многих исследователей привлекают нетрадиционные несакхаромицетные молочные дрожжи рода *Kluyveromyces* с уникальными свойствами (Наумов Г.И., 2006).

Дрожжи *Kluyveromyces* являются значимым объектом многих научных исследований, представляют собой компоненты молочнокислых продуктов, молочной сыворотки, используются для производства различных гетерологичных белков, являются продуцентами биоэтанола из растительных отходов сельского хозяйства и деревообрабатывающей промышленности (van Ooyen AJ et al., 2006; Fonseca GG et al., 2008; Suzuki T et al., 2014).

Ученые (Bolla PA et al., 2011; Zhou J et al., 2009) классифицируют дрожжи *Kluyveromyces* как пробиотические микроорганизмы, продуцирующие фермент β -галактозидазу (лактазу), расщепляющие лактозу на глюкозу и галактозу. Этот фермент применяется для производства различных молочных продуктов, переработки молочной сыворотки (Husain Q, 2010; Anisha GS et al., 2017; Pendon MD et al., 2021). В настоящее время высока популярность молочных продуктов с пониженным содержанием лактозы. Необходимо отметить, что дрожжи *K. lactis* и *K. marxianus* безопасны и для человека, поэтому могут применяться в питании. Создание производственных штаммов дрожжей *Kluyveromyces*, способных быстро и в полной мере ферментировать лактозу, является актуальным (Лютова Л.В. и Наумова Е.С., 2023).

Так, производители молока используют кормовые дрожжи для обеспечения рубцового пищеварения, нормализации состава микрофлоры и профилактики ацидоза рубца у жвачных (Миколайчик И.Н. и др., 2017).

На сегодняшний день разнообразие дрожжевых кормовых добавок представлено широко. Основной целью их введения в рацион сельскохозяйственных животных является обогащение кормов незаменимыми аминокислотами, в частности лизином.

В этой связи актуальным направлением является изучение биологического потенциала молочных дрожжей *Kluyveromyces* и разработка пробиотических препаратов кормового назначения с использованием в качестве продуцентов пробиотических микроорганизмов молочных дрожжей.

Цель исследования.

Представить краткий обзор аспектов, связанных с исследованиями биологических свойств новых нетрадиционных кормовых дрожжей *Kluyveromyces*, как потенциальных пробиотических микроорганизмов, осуществляющих секрецию литических ферментов (инулиназы, β -галактозидазы и пектиназы), получающих этанол путем ферментации, и возможности применения их в производстве продуктов питания и в качестве кормовой добавки в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы.

Материалы и методы исследования.

Поиск и анализ литературы проводился с использованием интернет-ресурсов: РИНЦ – <https://www.elibrary.ru>, <https://alternativa-sar.ru/tehnologu/mol/mikrobiologiya-moloka-i-molochnykh-pro>, National library of medicine – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov> за период 2000-2024 гг.

Результаты исследования и обсуждение.

В последние годы растет интерес к изучению пробиотического потенциала нетрадиционных дрожжей. По современной классификации вид *Kluyveromyces lactis* включает две разновидности: 1) культурные молочные дрожжи *K. lactis* var. *Lactis*, 2) природные штаммы *K. lactis* var. *Drosophilarum* (не сбрасывающие лактозу).

Лютова Л.В. с соавторами (2022), изучив генетическое родство 35 штаммов *K. lactis*, выделенных из молочных продуктов и природных источников в разных регионах мира, описали разделение дрожжей *K. lactis* var. *Drosophilarum* на три генетически изолированные популяции: “*krassilnikovii*”, “*drosophilarum*” и “*phaseolosporus*”, отличающиеся по хромосомным наборам.

Kluyveromyces marxianus впервые описан датским микологом Е.С. Hansen в 1888 году, относится к роду *Saccharomyces* как *S. Marxianus*, назвавший этот вид в честь зимолога L. Marx, выделившего его из винограда (Fonseca GG et al., 2008). В 1956 году Van der Walt отнес данный вид к роду *Kluyveromyces*, ближайшим родственником *Kl. marxianus* являются дрожжи *Kluyveromyces lactis*. (Lane MM et al., 2011). *Kluyveromyces* и *Saccharomyces* считаются частью “комплекса сахаромикетов”, подкласса сахаромикетов (Lane MM et al., 2010).

Культуры дрожжей *Kluyveromyces lactis* и *Kluyveromyces marxianus* полностью усваивают лактозу и накапливают фермент β -галактозидазу в конце логарифмической фазы роста (Яхин И.Р. и Рытченкова О.В., 2011).

В исследованиях Лютовой Л.В. и Наумовой Е.С. (2023) показана возможность межштаммовой гибридизации для получения молочных штаммов *Kluyveromyces*, ферментирующих лактозу.

Kluyveromyces marxianus – аскомицетовые дрожжи, особенностью которых является их термоустойчивость, быстрый рост, секреция литических ферментов, способность усваивать широкий спектр сахаров и получать этанол путем ферментации. Перечисленные свойства делают его пригодным для промышленного использования в различных коммерческих целях (Morrissey JP et al., 2015; Varela JA et al., 2017; Lane MM et al., 2010; Фоменко И.А. и др., 2021).

Данный вид дрожжей получил статус “Общепризнанного безопасного” (GRAS) от Управления по контролю за продуктами и лекарствами (FDA) и “Квалифицированную презумпцию безопасности” (QPS) от Европейского органа по безопасности пищевых продуктов (EFSA) (Diaz-Vergara L et al., 2017).

K. marxianus считается перспективным пробиотиком благодаря его способности изменять адгезию, клеточный иммунитет и микробиоту кишечника, также обладающий противовоспалительными, антиоксидантными и гипохолестеринемическими свойствами (Xie Y et al., 2015; Cho YJ et al., 2018). Он может выживать в пищеварительном тракте, достигая кишечника, чтобы служить пребиотиком благодаря толерантности к кислотам и желчи, присутствующим в желудочно-кишечной среде. *K. marxianus*, выделенный из кефира, обладает способностью снижать уровень холестерина на 30 %, что даже больше, чем у *K. Lactis* ATCC 34440 и *S. cerevisiae* ATCC 6037 (Cho YJ et al., 2018).

K. marxianus K. AS4, полученный из молочных продуктов (сыры, йогурты), показал устойчивость к кислому pH, высокое содержание солей желчи и высокую антимикробную активность. Учеными выявлена противоопухолевая активность в отношении опухолевых клеток желудочно-кишечного тракта (Saber A et al., 2017).

Результаты экспериментов показали, что увеличение количества добавок дрожжей *K. marxianus* привело к снижению эффективности переработки корма, но линейному улучшению относительной массы тимуса, повышению уровней IgG в сыворотке крови и лизоцима у цыплят-бройлеров (Wang W et al., 2017).

Согласно литературным данным, *K. marxianus* положительно влияют на вкусовые качества шоколада, а также текстуру и вкус сыра, кефира и кумыса (Crafack M et al., 2013; Fleet G et al., 2006). Некоторые штаммы *K. marxianus* (VST44 и ZIM75) могут быть использованы для производства этанола в промышленных масштабах, так как сбраживают лактозу с образованием этанола (Grba S et al., 2002; Chandra R et al., 2018).

Учеными показана возможность получения дрожжевой кормовой добавки, используя отходы переработки картофеля, и при ферментации подсырной сыворотки дрожжами *Kluyveromyces fragilis*. (Gélinas P et al., 2007; Ghaly AE and Kamal MA, 2004).

Øverland M и соавторы (2013) использовали дрожжи *Kluyveromyces marxianus* в качестве кормовой добавки в рыбоводстве, тем самым существенно заменили содержание белка (40 %) дорогостоящей рыбной муки без потери в показателях роста лосося.

Наращивание биомассы дрожжей на курином помете способствует утилизации токсичных отходов птицеводства (Yan Z et al., 2013). Микробиологическая переработка отходов АПК в белковые продукты снижает негативное воздействие на окружающую среду (Matassa S et al., 2016; Фоменко И.А. и др., 2021).

В своих исследованиях Massaferrì S с соавторами (2012) показали пробиотические свойства штамма *Kl. marxianus* B0399, выделенного из сыворотки коровьего молока (Massaferrì S et al., 2012). Diaz-Vergara L и соавторы (2017) инкапсулировали штаммы *K. marxianus* для производства кормовых добавок в кормлении животных.

Одной из важных характеристик этого вида *K. marxianus* является его устойчивость к ферментам желудочно-кишечного тракта (Golubev W et al., 2006). Diaz-Vergara L с соавторами (2017) выделили *K. marxianus* из молочной сыворотки и в лабораторных условиях продемонстрировал пробиотические свойства этих дрожжей в кормах для животных. В ходе этого исследования ото-

бренные штаммы оказались устойчивыми к условиям желудочно-кишечного тракта (Aziz Homayouni-Rad et al., 2020).

Недавно *K. marxianus* был использован в качестве продуцента инулиназы для превращения фруктозы в инулин (Hoshida H et al., 2018). Этот вид дрожжей может продуцировать пектиназу, β -галактозидазу, β -глюкозидазу, полигалактуроназу и некоторые другие ферменты (Anand S et al., 2018; Arevalo-Villena M et al., 2017). Инулиназа – это фермент, который отщепляет молекулы фруктозы от инулина. Его экспрессия индуцируется инулином или сахарозой, и фермент может выделяться в культуральную среду или оставаться связанным с клеточной стенкой (Rouwenhorst RJ et al., 1988; Barranco-Florido E et al., 2001). *K. marxianus* широко изучался на предмет производства инулиназы с целью получения фруктозного сиропа из инулина (Cruz-Guerrero A et al., 1995). Pessoa Jr A and Vitolo M (1999) получили самую высокую активность инулиназы у штамма *K. marxianus* DSM 70106, используя инулин в качестве источника углерода. Рост *K. marxianus* на сахарозе также происходит под действием внеклеточной инулиназы, которая подавляется, когда рост не ограничен сахарозой (Fonseca GG et al., 2008).

K. marxianus может быть использован как источник олигонуклеотидов (усилитель вкуса в пищевых продуктах), олигосахаридов (в качестве пребиотиков), олигопептидов (иммуностимуляторы) (Belem MAF and Lee BH, 1998; Belem MAF and Lee BH, 1999).

Кроме того, *K. marxianus* обладает потенциалом продуцировать одноклеточные белки (SCP) (Yadav JSS et al., 2014) и может выступать в качестве альтернативного *S. cerevisiae* источника дрожжевых автолизатов, нерастворимых в щелочах глюканов и природных биоэмульсий (Lukondeh T et al., 2003).

В области биоремедиации были разработаны методы для удаления ионов меди, используя *K. marxianus* (II) и мелассу в качестве источника питательных веществ (Aksu Z and Dönmez G, 2000). Установлено снижение образования биомассы при поглощении свинца (II) *K. marxianus* из загрязненной патоки. При этом способность к биосорбции повысилась при более высоких начальных концентрациях свинца (II) (Skountzou P et al., 2003).

K. marxianus был исследован в качестве дрожжей-хозяина для производства гетерологичных белков. В целом, дрожжи способны осуществлять некоторые посттрансляционные модификации клеточных белков, такие как гликозилирование и другие модификации, необходимые для оптимальной биологической активности и стабильности (Hensing MC et al., 1995). *K. marxianus* были наиболее часто используемыми дрожжами-хозяевами для производства гетерологичных белков (Gellissen G and Hollenberg CP et al., 1997; Porro D et al., 2005). Тем не менее, у них есть некоторые недостатки, такие как сильная аэробная ферментация и склонность к гипергликозилированию секретируемых гликопротеинов (Hensing MS et al., 1995).

K. lactis также использовался для получения гетерологичных клеточных белков (Panuwatsuk W and da Silva NA, 2002; Bartkevičiute D and Sasnauskas K, 2003; van Ooyen AJ, 2006). Предполагается, что *K. marxianus*, филогенетически близкий к *K. lactis*, обладает сходной способностью к синтезу и секреции высокомолекулярных клеточных белков (Wésolowski-Louvel M et al., 1996).

Pescota DC с соавторами (2007) успешно экспрессировали активность лактатдегидрогеназы у *K. marxianus*, используя интегративную систему с несколькими копиями, что привело к выработке лактата этими дрожжами. Hong H и соавторы (2007) экспрессировали термостабильную эндо- β -1,4-глюканазу, целлюбогидролазу и β -глюкозидазу, также используя интегративную систему, для получения штамма, способного превращать целлюлозные материалы в этанол. Хотя эти исследования демонстрируют, что гетерологичные белки, экспрессируемые в *K. marxianus*, были функциональными, способность *K. marxianus* осуществлять посттрансляционные модификации гетерологичных белков все еще остается не до конца изученной.

По сравнению с его сородичем и модельным организмом, *Kluyveromyces lactis*, накопленных знаний о *K. marxianus* гораздо меньше, и они распространяются на ряд различных штаммов. Хотя в открытом доступе нет генома *Kluyveromyces lactis*, *K. marxianus* характеризуется как факультативно ферментативный и выявлен отрицательный эффект Крэбтри (van Dijken JP et al., 1993).

Ученые установили у него отсутствие роста в строго анаэробных условиях, образование этанола связано с недостатком кислорода (Bellaver LH et al., 2004).

Blank LM с соавторами (2005) показали, что у *K. marxianus* – самый высокий уровень цикличности трикарбоновых кислот при периодическом выращивании на глюкозе среди 14 гемиаскомицетных дрожжей, изученных в рамках консорциума Génolevures (Souciet J-L et al., 2000). В других исследованиях изучалось влияние CO₂ на выживаемость *K. marxianus* (Isenschmid A et al., 1995), влияние специфической скорости роста на морфологию штамма NRRLy2415, который демонстрирует значительный рост в псевдогифальной форме (Fonseca GG et al., 2008), влияние повышенного давления воздуха на урожайность биомассы *K. marxianus*, его реакцию на окислители, такие как перекись водорода, а также макромолекулярный состав клеток *K. marxianus* как функцию удельного темпа роста (Fonseca GG et al., 2007).

Исследования физиологических процессов *K. marxianus* показали значительные различия в параметрах роста (μ max и Yx/s) как для разных штаммов внутри вида, так и для одного и того же штамма. Это позволило бы разработать эффективные молекулярно-генетические инструменты для *K. marxianus* (вероятно, начиная с секвенирования генома), являющиеся основой для проведения систематических исследований, которые в конечном итоге приведут к лучшему пониманию биологии этого вида (Fonseca GG et al., 2007).

Согласно литературным данным, штаммы, принадлежащие к виду дрожжей *Kluyveromyces marxianus*, были выделены из большого разнообразия местообитаний, что приводит к высокому метаболическому разнообразию и значительной степени внутривидового полиморфизма.

На сегодняшний день количество исследований, касающихся дрожжей, *K. marxianus*, увеличивается. Растущий во всем мире спрос на биомолекулы, которые будут применяться в пищевых и других продуктах, требует использования потенциала *K. marxianus* в биотехнологических целях, включая производство ферментов, ферментацию этанола, одноклеточный белок, приготовление вакцин и пробиотиков (рис. 1).



Рисунок 1. Функциональные биопродукты, полученные из *Kluyveromyces marxianus* (Bilal M et al., 2022)

Figure 1. Functional bioproducts obtained from *Kluyveromyces marxianus* (Bilal M et al., 2022)

Однако отсутствие фундаментальной информации о генетике и физиологии является основным препятствием для его развития (Morrissey JP et al., 2015). Сейчас достигнут значительный прогресс в оптимизации условий выращивания и процессов ферментации. Более того, для выведения новых штаммов с уникальными свойствами применяются эволюционные подходы (Bilal M et al., 2022).

Заключение.

Использование данных, полученных из мировых культурных коллекций, по метаболическому разнообразию и в потенциальных областях применения *Kluyveromyces marxianus* усложняет получение информации о метаболизме и физиологии этих дрожжей. Поэтому, необходимо сделать выбор в пользу одного или двух штаммов с характеристиками, которые дают *K. marxianus* преимущество перед другими дрожжами: термостойкость, высокая скорость роста, отсутствие ферментативного метаболизма при избытке сахара и широкий спектр субстратов.

Таким образом, дрожжи *K. marxianus* рассматривают как пробиотический микроорганизм, имеющий множество полезных свойств и применений в разных отраслях. Использование молочных дрожжей *Kluyveromyces* в качестве продуцентов полезных бактерий создает возможность для получения кормовых продуктов, обладающих высокой кормовой ценностью и пробиотическими свойствами.

Список источников

1. Внутривидовой полиморфизм дрожжей *Kluyveromyces lactis*: генетические популяции / Л.В. Лютова, Г.И. Наумов, А.В. Шнырева, Е.С. Наумова // Микробиология. 2022. Т. 91, № 4. С. 480-491. [Lyutova LV, Naumov GI, Shnyreva AV, Naumova ES. Intraspecific polymorphism of the yeast *Kluyveromyces lactis*: genetic populations. Microbiology. 2022;91(4):480-491. (In Russ.)]. doi: 10.31857/S002636562230019X
2. Гульбет А.Э., Амерханов Х.А., Соловьева О.И. Качество молозива и молока коров разных пород при использовании пробиотика Зоонорм // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 2. С. 116-127. [Gulbet AE, Amerkhanov KhA, Soloveva OI. Quality of colostrum and milk from cows of different breeds when using Zoonorm probiotic. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):116-127. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-116
3. Дрожжевые культуры в питании жвачных / С.А. Денев, Ц. Пеева, П. Радулова, Н.Г. Станчева, Г. Стайкова, Г. Беев, П. Тодорова, С. Чобанова // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2007. № 13. С. 357-374. [Denev SA, Peeva TZ, Radulova P, Stancheva P, Staykova G, Beev G, Todorova P, Tchobanova S. Yeast cultures in ruminant nutrition. Bulg J Agric Sci. 2007;13:357-374. (In Russ.)].
4. К пониманию действия пробиотических препаратов на рост и гематологические параметры крови цыплят-бройлеров / А.Ф. Гулиц, Е.П. Мирошникова, С.А. Мирошников, М.С. Мингазова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 191-202. [Gulits AF, Miroshnikova EP, Miroshnikov SA, Mingazova MS. Towards an understanding of the effect of probiotic preparations on growth and hematological parameters of blood of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):191-202. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-191>
5. Лютова Л.В., Наумова Е.С. Сравнительный анализ сбраживания лактозы и ее компонентов, глюкозы галактозы, межштаммовыми гибридами молочных дрожжей *Kluyveromyces lactis* // Биотехнология. 2023. Т. 39. № 1. С. 3-11. [Lyutova LV, Naumova ES. Comparative analysis of the fermentation of lactose and its components, glucose and galactose, by interstrain hybrids of dairy yeast *Kluyveromyces lactis*. Biotechnologiya. 2023;39(1):3-11. (In Russ.)]. doi: 10.56304/S0234275823010064
6. Миколайчик И.Н., Морозова Л.А., Ступина Е.С. Эффективность современных дрожжевых пробиотиков в коррекции питания телят // Молочное и мясное скотоводство. 2017. № 5. С. 23-26. [Mikolajchik IN, Morozova LA, Stupina ES. Efficiency of the latest yeast probiotics in the correction of calf feeding. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2017;5:23-26. (In Russ.)].

7. Наумов Г.И. Генетика полиморфизма утилизации лактозы у дрожжей *Kluyveromyces marxianus*. Доклады академии наук. 2006. Т. 409. № 3. С. 422-424. [Naumov GI. Genetics of lactose utilization polymorphism in the yeast *Kluyveromyces marxianus*. Doklady Biological Sciences. 2006;409(3):317-319. (In Russ.)].
8. Получение белкового концентрата из дрожжевой биомассы *Kluyveromyces Van der Walt* (1965) / И.А. Фоменко, И.А. Дегтярев, Л.А. Иванова, Н.Г. Машенцева // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 6. С. 1172-1182. [Fomenko IA, Degtyarev IA, Ivanova LA, Mashentseva NG. A Technology for obtaining a protein concentrate from yeast biomass of *Kluyveromyces Marxianus* Van Der Walt (1965). Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2021;56(6):1172-1182. (In Russ.)]. doi: 10.15389/agrobiology.2021.6.1172rus doi: 10.15389/agrobiology.2021.6.1172eng
9. Яхин И.Р., Рытченкова О.В. Исследование роста дрожжей *KLUYVEROMYCES LACTIS* и *KLUYVEROMYCES MARXIANUS* на отходах молокоперерабатывающих предприятий // Успехи в химии и химической технологии. 2011. Т. 25. № 10(126). С. 33-36. [Yakhin IR, Rytchenkova OV. Issledovanie rosta drozhzhej *KLUYVEROMYCES LACTIS* i *KLUYVEROMYCES MARXIANUS* na othodah molokopererabatyvajushih predpriyatij. Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii. 2011;25(10-126):33-36. (In Russ.)].
10. Abdolhosseinzadeh E, Dehnad AR, Pourjafar H, Homayouni A, Ansari F. The production of probiotic Scallion yogurt: viability of *Lactobacillus acidophilus* freely and microencapsulated in the product. Carpath J Food Sci Technol. 2018;10(3):72-80.
11. Aksu Z, Dönmez G. The use of molasses in copper (II) containing wastewaters: effects on growth and copper (II) bioaccumulation properties of *Kluyveromyces marxianus*. Proc Biochem. 2000;36(5):451-458. doi: 10.1016/S0032-9592(00)00234-X
12. Anand S, Singh KS, Aggarwal D. Expanding avenues for probiotic yeast: *Saccharomyces boulardii*. Microbial Cell Factories. USA: CRC Press. 2018;125-47. doi: 10.1201/b22219-7
13. Anisha GS. β -Galactosidases. In: Pandey A, Negi N, Soccol CR, editors. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. Amsterdam: Elsevier. 2017;395-421. doi: 10.1016/B978-0-444-63662-1.00017-8
14. Aragon G, Graham DB, Borum M, Doman DB. Probiotic therapy for irritable bowel syndrome. Gastroenterol Hepatol. 2010;6(1):39-44.
15. Arevalo-Villena M, Briones-Perez A, Corbo MR, Sinigaglia M, Bevilacqua A. Biotechnological application of yeasts in food science: starter cultures, probiotics and enzyme production. J Appl Microbiol. 2017;123(6):1360-72. doi: 10.1111/jam.13548
16. Aziz Homayouni-Rad, Aslan Azizi, Parvin Oroojzadeh and Hadi Pourjafar. *Kluyveromyces marxianus* as a probiotic yeast: a mini-review. Current Nutrition & Food Science. 2020;16(8):1163-1169. doi: 10.2174/1573401316666200217113230
17. Barranco-Florido E, García-Garibay M, Gómez-Ruiz L, Azaola A. Immobilization system of *Kluyveromyces marxianus* cells in barium alginate for inulin hydrolysis. Proc Biochem. 2001;37(5):513-519. doi: 10.1016/S0032-9592(01)00235-7
18. Bartkevičiute D, Sasnauskas K. Studies of yeast *Kluyveromyces lactis* mutations conferring super-secretion of recombinant proteins. Yeast. 2003;20(1):1-11. doi: 10.1002/yea.935
19. Bastani P, Homayouni A, Norouzi-Panahi L, et al. The mechanisms of immune system regulation by probiotics in immunerelated diseases. J Pharm Nutr Sci. 2016;6(3):105-111. doi: 10.6000/1927-5951.2016.06.03.4
20. Belem MAF, Lee BH. Fed-batch fermentation to produce oligonucleotides from *Kluyveromyces marxianus* grown on whey. Proc Biochem. 1999;34:501-509.
21. Belem MAF, Lee BH. Production of bioingredients from *Kluyveromyces marxianus* grown on whey: an alternative. Crit Rev Food Sci Nut. 1998;38(7):565-598. doi: 10.1080/10408699891274318

22. Bellaver LH, de Carvalho NMB, Abrahão-Neto J, Gombert AK. Ethanol formation and enzyme activities around glucose-6-phosphate in *Kluyveromyces marxianus* CBS 6556 exposed to glucose or lactose excess. *FEMS Yeast Res.* 2004;4(7):691-698. doi: 10.1016/j.femsyr.2004.01.004
23. Bilal M, Xu S, Iqbal HM, Cheng H. *Yarrowia Lipolytica* as an emerging biotechnological chassis for functional sugars biosynthesis. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2021;61(4):535-552. doi: 10.1080/10408398.2020.1739000
24. Bilal M, Ji L, Xu Y, Xu S, Lin Y, Iqbal HMN, Cheng H. Bioprospecting *Kluyveromyces marxianus* as a robust host for industrial biotechnology. *Front Bioeng Biotechnol.* 2022;10:851768. doi: 10.3389/fbioe.2022.851768
25. Blank LM, Lehmbeck F, Sauer U. Metabolic-flux and network analysis in fourteen hemiascomycetous yeasts. *FEMS Yeast Res.* 2005;5(6-7):545-558. doi: 10.1016/j.femsyr.2004.09.008
26. Bolla PA, Serradell M de los Angeles, de Urraza PJ, de Antoni GL. Effect of freeze-drying on viability and in vitro probiotic properties of a mixture of lactic acid bacteria and yeasts isolated from kefir. *J Dairy Res.* 2011;78(1):15-22. doi: 10.1017/S0022029910000610
27. Chandra R, Castillo-Zacarias C, Delgado P, Parra-Saldivar R. A biorefinery approach for dairy wastewater treatment and product recovery towards establishing a biorefinery complexity index. *J Clean Prod.* 2018;183:1184-1196. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.124
28. Cho YJ, Kim DH, Jeong D, Seo KH, Jeong HS, Lee HG, et al. Characterization of yeasts isolated from kefir as a probiotic and its synergic interaction with the wine byproduct grape seed flour/extract. *Lwt.* 2018;90:535-539. doi: 10.1016/j.lwt.2018.01.010
29. Craack M, Mikkelsen MB, Særens S, et al. Influencing cocoa flavour using *Pichia kluyveri* and *Kluyveromyces marxianus* in a defined mixed starter culture for cocoa fermentation. In *J Food Microbiol.* 2013;167(1):103-116. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.024
30. Cruz-Guerrero A, García-Peña I, Bárcana E, García-Garibay M, Gómez-Ruiz L. *Kluyveromyces marxianus* CDBB-L-278: a wild inulinase hyperproducing strain. *J Ferm Bioeng.* 1995;80(2):159-163. doi: 10.1016/0922-338x(95)93212-3
31. Diaz-Vergara L, Pereyra CM, Montenegro M, Pena GA, Aminahuel CA, Cavaglieri LR. Encapsulated whey-native yeast *Kluyveromyces marxianus* as a feed additive for animal production. *Food Addit Contam: Part A.* 2017;34(5):750-759. doi: 10.1080/19440049.2017.1290830
32. Ferreira I, Pinho O, Vieira E, Távarela JG. Brewer's *Saccharomyces* yeast biomass: characteristics and potential applications. *Trends in Food Science & Technology.* 2010;21(2):77-84. doi: 10.1016/j.tifs.2009.10.008
33. Fleet G. The commercial and community significance of yeasts in food and beverage production. In: Querol A, Fleet G, editors. *Yeasts in food and beverages.* UK: Springer; 2006:1-12. doi: 10.1007/978-3-540-28398-0_1
34. Fonseca GG, Gombert AK, Heinzle E, Wittmann C. Physiology of the yeast *Kluyveromyces marxianus* during batch and chemostat cultures with glucose as the sole carbon source. *FEMS Yeast Res.* 2007;7:422-435. doi: 10.1111/j.1567-1364.2006.00192.x
35. Fonseca GG, Heinzle E, Wittmann C., Gombert Andreas K. The yeast *Kluyveromyces marxianus* and its biotechnological potential. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2008;79:339-354. doi: 10.1007/s00253-008-1458-6
36. Garcia-Tejedor A, Sanchez-Rivera L, Castelly-Ruiz M, Recio I, Salom JB, Manzanares P. Novel antihypertensive lactoferrinderived peptides produced by *Kluyveromyces marxianus*: gastrointestinal stability profile and in vivo angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibition. *J Agric Food Chem.* 2014;62(7):1609-1616. doi: 10.1021/jf4053868
37. Gélinas P, Barrette J. Protein enrichment of potato processing waste through yeast fermentation. *Bioresource Technology.* 2007;98(5):1138-1143. doi: 10.1016/j.biortech.2006.04.021
38. Gellissen G, Hollenberg CP. Application of yeasts in gene expression studies: A comparison of *Saccharomyces cerevisiae*, *Hansenula polymorpha* and *Kluyveromyces lactis*—a review. *Gene.* 1997;190(1):87-97. doi: 10.1016/s0378-1119(97)00020-6

39. Ghaly AE, Kamal MA. Submerged yeast fermentation of acid cheese whey for protein production and pollution potential reduction. *Water Research*. 2004;38(3):631-644. doi: 10.1016/j.watres.2003.10.019
40. Golubev W. Antagonistic interactions among yeasts. In: Gábor P, Carlos R, editors. *Biodiversity and ecophysiology of yeasts*. UK: Springer; 2006:197-219. doi: 10.1007/3-540-30985-3_10
41. Grba S, Stehlik-Tomas V, Stanzer D, Vahcic N, Škrlin A. Selection of yeast strain *Kluyveromyces marxianus* for alcohol and biomass production on whey. *Chem Biochem Eng Q*. 2002;16(1):13-16.
42. Hensing MC, Rouwenhorst RJ, Heijnen JJ, van Dijken JP, Pronk JT. Physiological and technological aspects of large-scale heterologous-protein production with yeasts. *Antonie van Leeuwenhoek*. 1995;67:261-279. doi: 10.1007/BF00873690
43. Homayoni Rad A, Mehrabany EV, Alipoor B, Mehrabany LV, Javadi M. Do probiotics act more efficiently in foods than in supplements? *Nutrition*. 2012;28(7-8):733-736. doi: 10.1016/j.nut.2012.01.012
44. Homayouni Rad A, Torab R, Ghalibaf M, Norouzi S, Mehrabany EV. Might patients with immune-related diseases benefit from probiotics? *Nutrition*. 2013;29(3):583-586. doi: 10.1016/j.nut.2012.10.008
45. Hong J, Wang Y, Kumagai H, Tamaki H. Construction of thermotolerant yeast expressing thermostable cellulase genes. *J Biotechnol*. 2007;130(2):114-123. doi: 10.1016/j.jbiotec.2007.03.008
46. Hoshida H, Kidera K, Takishita R, Fujioka N, Fukagawa T, Akada R. Enhanced production of extracellular inulinase by the yeast *Kluyveromyces marxianus* in xylose catabolic state. *J Biosci Bioeng*. 2018;125(6):676-681. doi: 10.1016/j.jbiosc.2017.12.024
47. Husain Q. β Galactosidases and their potential applications: a review. *Crit Rev Biotechnol*. 2010;30(1):41-62. doi: 10.3109/07388550903330497
48. Isenschmid A, Marison IW, von Stockar U. The influence of pressure and temperature of compressed CO₂ on the survival of yeast cells. *J Biotechnol*. 1995;39(3):229-237. doi: 10.1016/0168-1656(95)00018-1
49. Lane MM, Burke N, Karreman R, Wolfe Kenneth H, O'Byrne Conor P, Morrissey John P. Physiological and metabolic diversity in the yeast *Kluyveromyces marxianus*. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2011;100(4):507-519. doi: 10.1007/s10482-011-9606-x
50. Lane MM, Morrissey J. *Kluyveromyces marxianus*: a yeast emerging from its sister's shadow. *Fungal Biology Reviews*. 2010;24(1-2):17-26. doi: 10.1016/J.FBR.2010.01.001
51. Lukondeh T, Ashbolt NJ, Rogers PL. Evaluation of *Kluyveromyces marxianus* FII 510700 grown on a lactose-based medium as a source of a natural bioemulsifier. *J Ind Microbiol Biotechnol*. 2003;30(12):715-720. doi: 10.1007/s10295-003-0105-6
52. Maccaferri S, Klinder A, Brigidi P, Cavina P, Constable A. Potential probiotic *Kluyveromyces marxianus* B0399 modulates the immune response in CACO-2 cells and peripheral blood mononuclear cells and impacts the human gut microbiota in an in vitro colonic model system. *Applied and Environmental Microbiology*. 2012;78(4):956-964. doi: 10.1128/AEM.06385-11
53. Mamaev D, Zvyagilskaya R. *Yarrowia lipolytica*: a multitasking yeast species of ecological significance. *FEMS Yeast Res*. 2021;21(2):foab008. doi: 10.1093/femsyr/foab008
54. Matassa S, Boon N, Pikaar I, Verstraete W. Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microbial Biotechnology*. 2016;9(5):568-575. doi: 10.1111/1751-7915.12369
55. Morrissey JP, Etschmann MM, Schrader J, de Billerbeck GM. Cell factory applications of the yeast *kluyveromyces marxianus* for the biotechnological production of natural flavour and fragrance molecules. *Yeast*. 2015;32(1):3-16. doi: 10.1002/yea.3054

56. Øverland M, Karlsson A, Mydland LT, Romarheim OH, Skrede A. Evaluation of *Candida utilis*, *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces cerevisiae* yeasts as protein sources in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 2013;402-403:1-7. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.03.016
57. Panuwatsuk W, da Silva NA. Evaluation of pKD1-based plasmid systems for heterologous protein production in *Kluyveromyces lactis*. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2002;58:195-201. doi: 10.1007/s002530100815
58. Pecota DC, Rajgarhia V, da Silva NA. Sequential gene integration for the engineering of *Kluyveromyces marxianus*. *J Biotechnol*. 2007;127(3):408-416. doi: 10.1016/j.jbiotec.2006.07.031
59. Pendon MD, Madeira JV, Romanin DE, Rumbo M, Gombert AK, Garrote GL. A biorefinery concept for the production of fuel ethanol, probiotic yeast, and whey protein from a byproduct of the cheese industry. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2021;105(9):3859-3871. doi: 10.1007/s00253-021-11278-y
60. Pérez-Torrado R, Gamero E, Gómez-Pastor R, Garre E, Aranda A, Matallana E. Yeast bio-mass, an optimised product with myriad applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2015;46(2):167-175. doi: 10.1016/j.tifs.2015.10.008
61. Pessoa JrA, Vitolo M. Inulinase from *Kluyveromyces marxianus*: culture medium composition and enzyme extraction. *Braz J Chem Eng*. 1999;16(3):237-245. doi: 10.1590/S0104-66321999000300003
62. Porro D, Sauer M, Branduardi P, Mattanovich D. Recombinant protein production in yeasts. *Mol Biotechnol*. 2005;31:245-259. doi: 10.1385/MB:31:3:245
63. Rakowska R, Sadowska A, Dybkowska E, Swiderski F. Spent yeast as natural source of functional food additives. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*. 2017;68(2):115-121.
64. Rouwenhorst RJ, Visser LE, van der Baan AA, Scheffers WA, van Dijken JP. Production, distribution, and kinetic properties of inulinase in continuous culture of *Kluyveromyces marxianus* CBS 6556. *Appl Environ Microbiol*. 1988;54(5):1131-1137. doi: 10.1128/aem.54.5.1131-1137.1988
65. Saber A, Alipour B, Faghfoori Z, Khosroushahi AY. Secretion metabolites of dairy *Kluyveromyces marxianus* as41 isolated as probiotic, induces apoptosis in different human cancer cell lines and exhibit antipathogenic effects. *J Funct Foods*. 2017;34:408-421. doi: 10.1016/j.jff.2017.05.007
66. Shurson GC. Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Animal Feed Science and Technology*. 2018;235:60-76. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.11.010
67. Skountzou P, Soupioni M, Bekatorou A, Kanellaki M, Koutinas AA, Marchant R, Banat IM. Lead (II) uptake during baker's yeast production by aerobic fermentation of molasses. *Proc Biochem*. 2003;38(10):1479-1482. doi: 10.1016/S0032-9592(03)00023-2
68. Souciet J-L, Artiguenave MAF, Blandin G, Bolotin-Fukuhara M, Bon E, Brottier P, et al. Genomic exploration of the hemiascomycetous yeasts: 1. A set of yeast species for molecular evolution studies. *FEBS Letters*. 2000;487(1):3-12. doi: 10.1016/s0014-5793(00)02272-9
69. Suzuki T, Hoshino T, Matsushika A. Draft genome sequence of *Kluyveromyces marxianus* strain DMB1, isolated from sugarcane bagasse hydrolysate. *Genome Announc*. 2014;2(4):e00733-14. doi: 10.1128/genomeA.00733-14
70. van Dijken JP, Weusthuis RA, Pronk JT. Kinetics of growth and sugar consumption in yeasts. *Antonie van Leeuwenhoek*. 1993;63:343-352. doi: 10.1007/BF00871229
71. van Ooyen AJ, Dekker P, Huang M, Olsthoorn MM, Jacobs DI, Colossi PA, Taron CH. Heterologous protein production in the yeast *Kluyveromyces lactis*. *FEMS Yeast Res*. 2006;6(3):381-392. doi: 10.1111/j.1567-1364.2006.00049.x
72. Varela JA, Gethins L, Stanton C, Ross P, Morrissey JP. Applications of *Kluyveromyces marxianus* in biotechnology. In: Satyanarayana T, Kunze G, editors. *Yeast diversity in human welfare*. UK: Springer 2017;439-453. doi: 10.1007/978-981-10-2621-8_17
73. Ventura M, et al. Genome-scale analyses of health-promoting bacteria: probiogenomics. *Nat Rev Microbiol*. 2009;7:61-71. doi: 10.1038/nrmicro2047

74. Wagner JM, Alper HS. Synthetic biology and molecular genetics in non-conventional yeasts: current tools and future advances. *Fungal Genet Biol.* 2016;89:126-136. doi: 10.1016/j.fgb.2015.12.001
75. Wang W, Li Z, Lv Z, Zhang B, Lv H, Guo Y. Effects of *Kluyveromyces marxianus* supplementation on immune responses, intestinal structure and microbiota in broiler chickens. *PloS One.* 2017;12(7):e0180884. doi: 10.1371/journal.pone.0180884
76. Wésolowski-Louvel M, Breunig KD, Fukuhara H. *Kluyveromyces lactis*: genetics, biochemistry and molecular biology of non-conventional yeast. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.1996.
77. Xie Y, Zhang H, Liu H, Xiong L, Gao X, Jia H, Han T. Hypcholesterolemic effects of *Kluyveromyces Marxianus* M3 isolated from tibetan mushrooms on diet-induced hypercholesterolemia in rat. *Braz J Microbiol.* 2015;46(2):389-395. doi: 10.1590/s1517-838246220131278
78. Yadav JSS, Bezawada J, Ajila CM, Yan S, Tyagi RD, Surampalli RY. Mixed culture of *Kluyveromyces marxianus* and *Candida krusei* for single-cell protein production and organic load removal from whey. *Bioresour Technol.* 2014;164:119-127. doi: 10.1016/j.biortech.2014.04.069
79. Yan Z, Liu X, Yuan Y, Liao Y, Li X. Deodorization study of the swine manure with two yeast strains. *Biotechnology and Bioprocess Engineering.* 2013;18(1):135-143. doi: 10.1007/s12257-012-0313-x
80. Zhou J, Liu X, Jiang H, Dong M. Analysis of the microflora in Tibetan kefir grains using denaturing gradient gel electrophoresis. *Food Microbiol.* 2009;26(8):770-775. doi: 10.1016/j.fm.2009.04.009

References

1. Lyutova LV, Naumov GI, Shnyreva AV, Naumova ES. Intraspecific polymorphism of the yeast *Kluyveromyces lactis*: genetic populations. *Microbiology.* 2022;91(4):480-491. doi: 10.31857/S002636562230019X
2. Gulbet AE, Amerkhanov KhA, Soloveva OI. Quality of colostrum and milk from cows of different breeds when using Zoonorm probiotic. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2024;107(2):116-127. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-116
3. Denev SA, Peeva TZ, Radulova P, Stancheva P, Staykova G, Beev G, Todorova P, Tchobanova S. Yeast cultures in ruminant nutrition. *Bulg J Agric Sci.* 2007;13:357-374.
4. Gulits AF, Miroshnikova EP, Miroshnikov SA, Mingazova MS. Towards an understanding of the effect of probiotic preparations on growth and hematological parameters of blood of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2023;106(4):191-202. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-191
5. Lyutova LV, Naumova ES. Comparative analysis of the fermentation of lactose and its components, glucose and galactose, by interstrain hybrids of dairy yeast *Kluyveromyces lactis*. *Biotechnology.* 2023;39(1):3-11. doi: 10.56304/S0234275823010064
6. Mikolajchik IN, Morozova LA, Stupina ES. Efficiency of the latest yeast probiotics in the correction of calf feeding. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding.* 2017;5:23-26.
7. Naumov GI. Genetics of lactose utilization polymorphism in the yeast *Kluyveromyces marxianus*. *Doklady Biological Sciences.* 2006;409(3):317-319.
8. Fomenko IA, Degtyarev IA, Ivanova LA, Mashentseva NG. A Technology for obtaining a protein concentrate from yeast biomass of *Kluyveromyces Marxianus* Van Der Walt (1965). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology].* 2021;56(6):1172-1182. doi: 10.15389/agrobiology.2021.6.1172eng
9. Yakhin IR, Rytchenkova OV. Investigation of the growth of yeast *KLUYVEROMYCES LACTIS* and *KLUYVEROMYCES MARXIANUS* on waste from dairy processing enterprises. *Advances in Chemistry and Chemical Technology.* 2011;25(10-126):33-36.

10. Abdolhosseinzadeh E, Dehnad AR, Pourjafar H, Homayouni A, Ansari F. The production of probiotic Scallion yogurt: viability of *Lactobacillus acidophilus* freely and microencapsulated in the product. Carpath J Food Sci Technol. 2018;10(3):72-80.
11. Aksu Z, Dönmez G. The use of molasses in copper (II) containing wastewaters: effects on growth and copper (II) bioaccumulation properties of *Kluyveromyces marxianus*. Proc Biochem. 2000;36(5):451-458. doi: 10.1016/S0032-9592(00)00234-X
12. Anand S, Singh KS, Aggarwal D. Expanding avenues for probiotic yeast: *Saccharomyces boulardii*. Microbial Cell Factories. USA: CRC Press. 2018;125-47. doi: 10.1201/b22219-7
13. Anisha GS. β -Galactosidases. In: Pandey A, Negi N, Soccol CR, editors. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. Amsterdam: Elsevier. 2017;395-421. doi: 10.1016/B978-0-444-63662-1.00017-8
14. Aragon G, Graham DB, Borum M, Doman DB. Probiotic therapy for irritable bowel syndrome. Gastroenterol Hepatol. 2010;6(1):39-44.
15. Arevalo-Villena M, Briones-Perez A, Corbo MR, Sinigaglia M, Bevilacqua A. Biotechnological application of yeasts in food science: starter cultures, probiotics and enzyme production. J Appl Microbiol. 2017;123(6):1360-72. doi: 10.1111/jam.13548
16. Aziz Homayouni-Rad, Aslan Azizi, Parvin Oroojzadeh and Hadi Pourjafar. *Kluyveromyces marxianus* as a probiotic yeast: a mini-review. Current Nutrition & Food Science. 2020;16(8):1163-1169. doi: 10.2174/1573401316666200217113230
17. Barranco-Flrido E, García-Garibay M, Gómez-Ruiz L, Azaola A. Immobilization system of *Kluyveromyces marxianus* cells in barium alginate for inulin hydrolysis. Proc Biochem. 2001;37(5):513-519. doi: 10.1016/S0032-9592(01)00235-7
18. Bartkevičiute D, Sasnauskas K. Studies of yeast *Kluyveromyces lactis* mutations conferring super-secretion of recombinant proteins. Yeast. 2003;20(1):1-11. doi: 10.1002/yea.935
19. Bastani P, Homayouni A, Norouzi-Panahi L, et al. The mechanisms of immune system regulation by probiotics in immunerelated diseases. J Pharm Nutr Sci. 2016;6(3):105-111. doi: 10.6000/1927-5951.2016.06.03.4
20. Belem MAF, Lee BH. Fed-batch fermentation to produce oligonucleotides from *Kluyveromyces marxianus* grown on whey. Proc Biochem. 1999;34:501-509.
21. Belem MAF, Lee BH. Production of bioingredients from *Kluyveromyces marxianus* grown on whey: an alternative. Crit Rev Food Sci Nutr. 1998;38(7):565-598. doi: 10.1080/10408699891274318
22. Bellaver LH, de Carvalho NMB, Abrahão-Neto J, Gombert AK. Ethanol formation and enzyme activities around glucose-6-phosphate in *Kluyveromyces marxianus* CBS 6556 exposed to glucose or lactose excess. FEMS Yeast Res. 2004; 4(7):691-698. doi: 10.1016/j.femsyr.2004.01.004
23. Bilal M, Xu S, Iqbal HM, Cheng H. *Yarrowia Lipolytica* as an emerging biotechnological chassis for functional sugars biosynthesis. Crit Rev Food Sci Nutr. 2021;61(4):535-552. doi: 10.1080/10408398.2020.1739000
24. Bilal M, Ji L, Xu Y, Xu S, Lin Y, Iqbal HMN, Cheng H. Bioprospecting *Kluyveromyces marxianus* as a robust host for industrial biotechnology. Front Bioeng Biotechnol. 2022;10:851768. doi: 10.3389/fbioe.2022.851768
25. Blank LM, Lehmbeck F, Sauer U. Metabolic-flux and network analysis in fourteen hemiascomycetous yeasts. FEMS Yeast Res. 2005;5(6-7):545-558. doi: 10.1016/j.femsyr.2004.09.008
26. Bolla PA, Serradell M de los Angeles, de Urreza PJ, de Antoni GL. Effect of freeze-drying on viability and in vitro probiotic properties of a mixture of lactic acid bacteria and yeasts isolated from kefir. J Dairy Res. 2011;78(1):15-22. doi: 10.1017/S0022029910000610
27. Chandra R, Castillo-Zacarias C, Delgado P, Parra-Saldivar R. A biorefinery approach for dairy wastewater treatment and product recovery towards establishing a biorefinery complexity index. J Clean Prod. 2018;183:1184-1196. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.124

28. Cho YJ, Kim DH, Jeong D, Seo KH, Jeong HS, Lee HG, et al. Characterization of yeasts isolated from kefir as a probiotic and its synergic interaction with the wine byproduct grape seed flour/extract. *Lwt.* 2018;90:535-539. doi: 10.1016/j.lwt.2018.01.010
29. Craack M, Mikkelsen MB, Særens S, et al. Influencing cocoa flavour using *Pichia kluyveri* and *Kluyveromyces marxianus* in a defined mixed starter culture for cocoa fermentation. In *J Food Microbiol.* 2013;167(1):103-116. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.024
30. Cruz-Guerrero A, García-Peña I, Bárzana E, García-Garibay M, Gómez-Ruiz L. *Kluyveromyces marxianus* CDBB-L-278: a wild inulinase hyperproducing strain. *J Ferm Bioeng.* 1995;80(2):159-163. doi: 10.1016/0922-338x(95)93212-3
31. Diaz-Vergara L, Pereyra CM, Montenegro M, Pena GA, Aminahuel CA, Cavaglieri LR. Encapsulated whey-native yeast *Kluyveromyces marxianus* as a feed additive for animal production. *Food Addit Contam: Part A.* 2017;34(5):750-759. doi: 10.1080/19440049.2017.1290830
32. Ferreira I, Pinho O, Vieira E, Távora JG. Brewer's *Saccharomyces* yeast biomass: characteristics and potential applications. *Trends in Food Science & Technology.* 2010;21(2):77-84. doi: 10.1016/j.tifs.2009.10.008
33. Fleet G. The commercial and community significance of yeasts in food and beverage production. In: Querol A, Fleet G, editors. *Yeasts in food and beverages.* UK: Springer; 2006:1-12. doi: 10.1007/978-3-540-28398-0_1
34. Fonseca GG, Gombert AK, Heinzle E, Wittmann C. Physiology of the yeast *Kluyveromyces marxianus* during batch and chemostat cultures with glucose as the sole carbon source. *FEMS Yeast Res.* 2007;7:422-435. doi: 10.1111/j.1567-1364.2006.00192.x
35. Fonseca GG, Heinzle E, Wittmann C., Gombert Andreas K. The yeast *Kluyveromyces marxianus* and its biotechnological potential. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2008;79:339-354. doi: 10.1007/s00253-008-1458-6
36. García-Tejedor A, Sánchez-Rivera L, Castelly-Ruiz M, Recio I, Salom JB, Manzanares P. Novel antihypertensive lactoferrinderived peptides produced by *Kluyveromyces marxianus*: gastrointestinal stability profile and in vivo angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibition. *J Agric Food Chem.* 2014;62(7):1609-1616. doi: 10.1021/jf4053868
37. Gélinas P, Barrette J. Protein enrichment of potato processing waste through yeast fermentation. *Bioresource Technology.* 2007;98(5):1138-1143. doi: 10.1016/j.biortech.2006.04.021
38. Gellissen G, Hollenberg CP. Application of yeasts in gene expression studies: A comparison of *Saccharomyces cerevisiae*, *Hansenula polymorpha* and *Kluyveromyces lactis*—a review. *Gene.* 1997;190(1):87-97. doi: 10.1016/s0378-1119(97)00020-6
39. Ghaly AE, Kamal MA. Submerged yeast fermentation of acid cheese whey for protein production and pollution potential reduction. *Water Research.* 2004;38(3):631-644. doi: 10.1016/j.watres.2003.10.019
40. Golubev W. Antagonistic interactions among yeasts. In: Gábor P, Carlos R, editors. *Biodiversity and ecophysiology of yeasts.* UK: Springer; 2006:197-219. doi: 10.1007/3-540-30985-3_10
41. Grba S, Stehlik-Tomas V, Stanzer D, Vahcic N, Škrin A. Selection of yeast strain *Kluyveromyces marxianus* for alcohol and biomass production on whey. *Chem Biochem Eng Q.* 2002;16(1):13-16.
42. Hensing MC, Rouwenhorst RJ, Heijnen JJ, van Dijken JP, Pronk JT. Physiological and technological aspects of large-scale heterologous-protein production with yeasts. *Antonie van Leeuwenhoek.* 1995;67:261-279. doi: 10.1007/BF00873690
43. Homayoni Rad A, Mehrabany EV, Alipoor B, Mehrabany LV, Javadi M. Do probiotics act more efficiently in foods than in supplements? *Nutrition.* 2012;28(7-8):733-736. doi: 10.1016/j.nut.2012.01.012
44. Homayouni Rad A, Torab R, Ghalibaf M, Norouzi S, Mehrabany EV. Might patients with immune-related diseases benefit from probiotics? *Nutrition.* 2013;29(3):583-586. doi: 10.1016/j.nut.2012.10.008

45. Hong J, Wang Y, Kumagai H, Tamaki H. Construction of thermotolerant yeast expressing thermostable cellulase genes. *J Biotechnol.* 2007;130(2):114-123. doi: 10.1016/j.jbiotec.2007.03.008
46. Hoshida H, Kidera K, Takishita R, Fujioka N, Fukagawa T, Akada R. Enhanced production of extracellular inulinase by the yeast *Kluyveromyces marxianus* in xylose catabolic state. *J Biosci Bioeng.* 2018;125(6):676-681. doi: 10.1016/j.jbiosc.2017.12.024
47. Husain Q. β Galactosidases and their potential applications: a review. *Crit Rev Biotechnol.* 2010;30(1):41-62. doi: 10.3109/07388550903330497
48. Isenschmid A, Marison IW, von Stockar U The influence of pressure and temperature of compressed CO₂ on the survival of yeast cells. *J Biotechnol.* 1995;39(3):229-237. doi: 10.1016/0168-1656(95)00018-1
49. Lane MM, Burke N, Karreman R, Wolfe Kenneth H, O'Byrne Conor P, Morrissey John P. Physiological and metabolic diversity in the yeast *Kluyveromyces marxianus*. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 2011;100(4):507-519. doi: 10.1007/s10482-011-9606-x
50. Lane MM, Morrissey J. *Kluyveromyces marxianus*: a yeast emerging from its sister's shadow. *Fungal Biology Reviews.* 2010;24(1-2):17-26. doi: 10.1016/J.FBR.2010.01.001
51. Lukondeh T, Ashbolt NJ, Rogers PL. Evaluation of *Kluyveromyces marxianus* FII 510700 grown on a lactose-based medium as a source of a natural bioemulsifier. *J Ind Microbiol Biotechnol.* 2003;30(12):715-720. doi: 10.1007/s10295-003-0105-6
52. Maccaferri S, Klinder A, Brigidi P, Cavina P, Constable A. Potential probiotic *Kluyveromyces marxianus* B0399 modulates the immune response in CACO-2 cells and peripheral blood mononuclear cells and impacts the human gut microbiota in an in vitro colonic model system. *Applied and Environmental Microbiology.* 2012;78(4):956-964. doi: 10.1128/AEM.06385-11
53. Mamaev D, Zvyagilskaya R. *Yarrowia lipolytica*: a multitasking yeast species of ecological significance. *FEMS Yeast Res.* 2021;21(2):foab008. doi: 10.1093/femsyr/foab008
54. Matassa S, Boon N, Pikaar I, Verstraete W. Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microbial Biotechnology.* 2016;9(5):568-575. doi: 10.1111/1751-7915.12369
55. Morrissey JP, Etschmann MM, Schrader J, de Billerbeck GM. Cell factory applications of the yeast *kluyveromyces marxianus* for the biotechnological production of natural flavour and fragrance molecules. *Yeast.* 2015;32(1):3-16. doi: 10.1002/yea.3054
56. Øverland M, Karlsson A, Mydland LT, Romarheim OH, Skrede A. Evaluation of *Candida utilis*, *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces cerevisiae* yeasts as protein sources in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture.* 2013;402-403:1-7. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.03.016
57. Panuwatsuk W, da Silva NA. Evaluation of pKD1-based plasmid systems for heterologous protein production in *Kluyveromyces lactis*. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2002;58:195-201. doi: 10.1007/s002530100815
58. Pecota DC, Rajgarhia V, da Silva NA. Sequential gene integration for the engineering of *Kluyveromyces marxianus*. *J Biotechnol.* 2007;127(3):408-416. doi: 10.1016/j.jbiotec.2006.07.031
59. Pendon MD, Madeira JV, Romanin DE, Rumbo M, Gombert AK, Garrote GL. A biorefinery concept for the production of fuel ethanol, probiotic yeast, and whey protein from a byproduct of the cheese industry. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2021;105(9):3859-3871. doi: 10.1007/s00253-021-11278-y
60. Pérez-Torrado R, Gamero E, Gómez-Pastor R, Garre E, Aranda A, Matallana E. Yeast bio-mass, an optimised product with myriad applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology.* 2015;46(2):167-175. doi: 10.1016/j.tifs.2015.10.008
61. Pessoa JrA, Vitolo M. Inulinase from *Kluyveromyces marxianus*: culture medium composition and enzyme extraction. *Braz J Chem Eng.* 1999;16(3):237-245. doi: 10.1590/S0104-66321999000300003
62. Porro D, Sauer M, Branduardi P, Mattanovich D. Recombinant protein production in yeasts. *Mol Biotechnol.* 2005;31:245-259. doi: 10.1385/MB:31:3:245

63. Rakowska R, Sadowska A, Dybkowska E, Swiderski F. Spent yeast as natural source of functional food additives. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*. 2017;68(2):115-121.
64. Rouwenhorst RJ, Visser LE, van der Baan AA, Scheffers WA, van Dijken JP. Production, distribution, and kinetic properties of inulinase in continuous culture of *Kluyveromyces marxianus* CBS 6556. *Appl Environ Microbiol*. 1988;54(5):1131-1137. doi: 10.1128/aem.54.5.1131-1137.1988
65. Saber A, Alipour B, Faghfoori Z, Khosroushahi AY. Secretion metabolites of dairy *Kluyveromyces marxianus* as41 isolated as probiotic, induces apoptosis in different human cancer cell lines and exhibit antipathogenic effects. *J Funct Foods*. 2017;34:408-421. doi: 10.1016/j.jff.2017.05.007
66. Shurson GC. Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Animal Feed Science and Technology*. 2018;235:60-76. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.11.010
67. Skountzou P, Soupioni M, Bekatorou A, Kanellaki M, Koutinas AA, Marchant R, Banat IM. Lead (II) uptake during baker's yeast production by aerobic fermentation of molasses. *Proc Biochem*. 2003;38(10):1479-1482. doi: 10.1016/S0032-9592(03)00023-2
68. Souciet J-L, Artiguenave MAF, Blandin G, Bolotin-Fukuhara M, Bon E, Brottier P, et al. Genomic exploration of the hemiascomycetous yeasts: 1. A set of yeast species for molecular evolution studies. *FEBS Letters*. 2000;487(1):3-12. doi: 10.1016/s0014-5793(00)02272-9
69. Suzuki T, Hoshino T, Matsushika A. Draft genome sequence of *Kluyveromyces marxianus* strain DMB1, isolated from sugarcane bagasse hydrolysate. *Genome Announc*. 2014;2(4):e00733-14. doi: 10.1128/genomeA.00733-14
70. van Dijken JP, Weusthuis RA, Pronk JT. Kinetics of growth and sugar consumption in yeasts. *Antonie van Leeuwenhoek*. 1993;63:343-352. doi: 10.1007/BF00871229
71. van Ooyen AJ, Dekker P, Huang M, Olsthoorn MM, Jacobs DI, Colossi PA, Taron CH. Heterologous protein production in the yeast *Kluyveromyces lactis*. *FEMS Yeast Res*. 2006;6(3):381-392. doi: 10.1111/j.1567-1364.2006.00049.x
72. Varela JA, Gethins L, Stanton C, Ross P, Morrissey JP. Applications of *Kluyveromyces marxianus* in biotechnology. In: Satyanarayana T, Kunze G, editors. *Yeast diversity in human welfare*. UK: Springer 2017;439-453. doi: 10.1007/978-981-10-2621-8_17
73. Ventura M, et al. Genome-scale analyses of health-promoting bacteria: probiogenomics. *Nat Rev Microbiol*. 2009;7:61-71. doi: 10.1038/nrmicro2047
74. Wagner JM, Alper HS. Synthetic biology and molecular genetics in non-conventional yeasts: current tools and future advances. *Fungal Genet Biol*. 2016;89:126-136. doi: 10.1016/j.fgb.2015.12.001
75. Wang W, Li Z, Lv Z, Zhang B, Lv H, Guo Y. Effects of *Kluyveromyces marxianus* supplementation on immune responses, intestinal structure and microbiota in broiler chickens. *PloS One*. 2017;12(7):e0180884. doi: 10.1371/journal.pone.0180884
76. Wésolowski-Louvel M, Breunig KD, Fukuhara H. *Kluyveromyces lactis*: genetics, biochemistry and molecular biology of non-conventional yeast. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. 1996.
77. Xie Y, Zhang H, Liu H, Xiong L, Gao X, Jia H, Han T. Hypocholesterolemic effects of *Kluyveromyces Marxianus* M3 isolated from tibetan mushrooms on diet-induced hypercholesterolemia in rat. *Braz J Microbiol*. 2015;46(2):389-395. doi: 10.1590/s1517-838246220131278
78. Yadav JSS, Bezawada J, Ajila CM, Yan S, Tyagi RD, Surampalli RY. Mixed culture of *Kluyveromyces marxianus* and *Candida krusei* for single-cell protein production and organic load removal from whey. *Bioresour Technol*. 2014;164:119-127. doi: 10.1016/j.biortech.2014.04.069
79. Yan Z, Liu X, Yuan Y, Liao Y, Li X. Deodorization study of the swine manure with two yeast strains. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 2013;18(1):135-143. doi: 10.1007/s12257-012-0313-x
80. Zhou J, Liu X, Jiang H, Dong M. Analysis of the microflora in Tibetan kefir grains using denaturing gradient gel electrophoresis. *Food Microbiol*. 2009;26(8):770-775. doi: 10.1016/j.fm.2009.04.009

Информация об авторах:

Ольга Анатольевна Артемьева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8(4967)651133.

Татьяна Ивановна Логвинова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории микробиологии, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8(4967)651133.

Дарья Александровна Никанова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8(4967)651133.

Information about the authors:

Olga A Artemyeva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher at the Microbiology Laboratory, Federal Research Center of Animal Husbandry – VIZ named after Academician L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, tel.: 8(4967)651133.

Tatyana I Logvinova, Cand. Sci. (Biology), Researcher at the Microbiology Laboratory, Federal Research Center of Animal Husbandry – VIZ named after Academician L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, tel.: 8(4967)651133.

Daria A Nikanova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Microbiology Laboratory, Federal Research Center of Animal Husbandry – VIZ named after Academician L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, tel.: 8(4967)651133.

Статья поступила в редакцию 15.10.2024; одобрена после рецензирования 14.01.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 15.10.2024; approved after reviewing 14.01.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 145-157.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 145-157.

Научная статья
УДК 636.5:636.087.8:577.2
doi:10.33284/2658-3135-108-1-145

Влияние кормовой добавки, сочетающей антикокцидийный и пребиотический препараты, на сохранность и приросты цыплят-бройлеров

Людмила Викторовна Хорошевская¹, Иван Фёдорович Горлов^{2,8}, Марина Ивановна Сложенкина^{3,9}, Александр Анатольевич Мосолов⁴, Сергей Владиславович Абрамов⁵, Андрей Владимирович Балышев⁶, Алексей Петрович Хорошевский⁷
^{1,2,3,4,5,6,7} Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия

^{8,9}Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

¹niimmp@mail.ru

^{2,8}niimmp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>

^{3,9}niimmp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

⁴niimmp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4927-7065>

⁵120.net@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9445-4577>

⁶bav898@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9186-2671>

⁷niimmp@mail.ru

Аннотация. Полноценное сбалансированное кормление животных является одним из основополагающих моментов в повышении производства животноводческой продукции и ее качественных показателей. В птицеводстве наряду с повышением продуктивности важной задачей является и профилактика различных заболеваний, в частности кокцидиоза. В статье приводятся результаты исследований по изучению совместного применения пребиотической добавки ЛактуСупер и нового антикокцидийного препарата Эймицид в кормлении цыплят-бройлеров и их влиянию на показатели роста, микробиома кишечника, развития органов пищеварения и убойные характеристики. В результате исследований выявлено, что комбинированное использование в рационах бройлера антикокцидийного и пребиотического препаратов является более эффективным, чем по отдельности, так как птица именно этой группы отличалась большей сохранностью, более высокими среднесуточными приростами живой массы и общим микробным числом в слепых отростках с преобладанием полезной микрофлоры, а все корректировочные изменения по массе органов были направлены в сторону усиления микробиоценоза кишечной микрофлоры, что способствовало получению большего выхода тушек, субпродуктов и съедобных частей тушки.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, ооцисты, эймерии, кокцидиоз, пребиотические кормовые добавки, слизистая оболочка ЖКТ, финишный период откорма, прирост бройлеров

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2025-2029 гг. ГНУ НИИММП (№ 125020701763-0).

Для цитирования: Влияние кормовой добавки, сочетающей антикокцидийный и пребиотический препараты, на сохранность и приросты цыплят-бройлеров / Л.В. Хорошевская, И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, А.А. Мосолов, С.В. Абрамов, А.В. Балышев, А.П. Хорошевский // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 145-157. [Khoroshevskaya LV, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Mosolov AA, Abramov SV, Balyshv AV, Khoroshevsky AP. The effect of a feed additive combining anticoccidium and prebiotic preparations on the safety and growth of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):145-157. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-145>

Original article

The effect of a feed additive combining anticoccidium and prebiotic preparations on the safety and growth of broiler chickens

Lyudmila V Khoroshevskaya¹, Ivan F Gorlov^{2,8}, Marina I Slozhenkina^{3,9}, Alexander A Mosolov⁴, Sergey V Abramov⁵, Andrey V Balyshev⁶, Alexey P Khoroshevsky⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russia

^{8,9}Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

¹niimmp@mail.ru

^{2,8}niimmp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>

^{3,9}niimmp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

⁴niimmp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4927-7065>

⁵120.net@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9445-4577>

⁶bav898@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9186-2671>

⁷niimmp@mail.ru

Abstract. Complete balanced feeding of animals is one of the fundamental moments in increasing the production of livestock products and their quality indicators. In poultry farming, along with increasing productivity, an important task is the prevention of various diseases, in particular coccidiosis. The article presents the results of studies on the combined use of the prebiotic additive "LactuSuper" and the new anticoccidial drug Eimicide in feeding broiler chickens and their impact on growth rates, intestinal microbiome, development of the digestive organs and slaughter characteristics. As a result of the research, it was found that the combined use of anticoccidial and prebiotic preparations in broiler diets is more effective than separately, since the experimental animals of this particular group were distinguished by greater survival, average daily live weight gain, total microbial count in the blind processes of broiler chickens with a predominance of beneficial microflora, and all corrective changes in the mass of organs were aimed at strengthening the microbiocenosis of intestinal microflora, which contributed to obtaining a greater yield of carcasses, offal and edible parts of the carcass.

Keywords: broiler chickens, feeding, oocysts, eimeria, coccidiosis, prebiotic feed additives, gastrointestinal mucosa, final fattening period, broiler growth

Acknowledgments: the work was completed in accordance to the plan of research works for 2025-2029 NIIMMP (No. 125020701763-0).

For citation: Khoroshevskaya LV, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Mosolov AA, Abramov SV, Balyshev AV, Khoroshevsky AP. The effect of a feed additive combining anticoccidium and prebiotic preparations on the safety and growth of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):145-157. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-145>

Введение.

В условиях современного промышленного птицеводства по откорму бройлеров при напольном способе содержания повсеместно встречается поражение организма птицы простейшим организмом – эймерией (*Eimeria*). Эти простейшие обладают плотной, очень устойчивой к неблагоприятным условиям внешней среды оболочкой в виде ооцисты, имеют очень большую распространенность во многих птицеводческих хозяйствах, даже там, где соблюдаются все зоогигиенические требования. Скученное содержание бройлеров на большой промышленной площади, повышенная влажность воздуха и слой помета на подстилке создают все условия для широкого распространения заболевания кокцидиозом благодаря высокой устойчивости ооцист к низким температурам и дезинфицирующим веществам. Заболевание кокцидиозом способно вызывать серьезные энзоотии, зараженность кокцидиозом может составлять до 70 %, причиняя большой ущерб птицеводческим хозяйствам. Поэтому во всех птицеводческих промышленных хозяйствах принимается

ряд профилактических мер по предотвращению заболевания кокцидиозом, и основное из них – скармливание птице с кормом различных антикокцидийных препаратов (Сатин Б.В. и Баркова А.С., 2023; Яковлева Е.Г. и др., 2022).

Однако кокцидиостатики в Российской Федерации и странах Таможенного Союза во избежание их накопления в печени и других продуктах убоя по требованиям ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции» (2013) следует выводить из рациона бройлера не позднее 5 дней до убоя поголовья, а именно в финишном периоде откорма, когда подстилка пола уже сильно загрязнена, нагрузка на квадратный метр пола массы бройлеров максимальна, и появляется реальная угроза заражения большого количества поголовья бройлера ооцистами эймерии. Уже более 10 лет назад за рубежом проводились исследования, в которых сообщалось, что наряду с антикокцидийными препаратами исследователи давали птице с кормом или с водой различные пребиотические кормовые добавки, которые, кроме улучшения питательности рациона, дополнительно оказывают благотворное влияние на состояние желудочно-кишечного тракта (Taherpour K et al., 2012).

Коллективы зарубежных ученых (Paul SS et al., 2022; Novoa Rama E et al., 2023) сообщают, что ввод в рацион птицы комбинированных кормовых добавок с наличием лактулозосодержащих и полисахаридных добавок, органических подкислителей может снижать способность патогенов колонизировать желудочно-кишечный тракт за счет физического барьера, который повышает вязкость химуса и защищает слизистую оболочку кишечника от паразитарной инфекции. Было обнаружено, что пребиотические добавки увеличивают скорость восстановления пораженных колониями эймерий участков слизистой после их гибели под действием кокцидиостатика. В финишный период откорма, когда антикокцидийные препараты противопоказаны в составе корма, а пре- и пробиотические добавки присутствуют в рационе до конца откорма, воздействуя на слизистую тонкого отдела кишечника, а также способствуют увеличению количества бокаловидных клеток, которые выделяют белковые барьерные факторы, тем самым защищая клетки кишечного эпителия и увеличивая его всасывающую способность, обеспечивая тем самым более высокие приросты живой массы в финишном периоде откорма (Бирюков И.М. и Бирюкова Т.М., 2022).

Кокцидиоз – наиболее распространенное паразитарное заболевание, встречающееся в птицеводстве в виде острой, скрытой в хронической или субклинической форме, наносит значительный экономический ущерб предприятиям из-за существенного снижения приростов живой массы, а также ослабленного иммунитета, который становится неспособным противостоять другим бактериальным и вирусным заболеваниям. По данным ряда исследователей (Mesa-Pineda C et al., 2021), ооцисты эймерии очень быстро вырабатывают резистентность к используемым антикокцидийным препаратам, поэтому каждый следующий тур откорма необходимо менять препараты по схеме или разрабатывать новые формы препаратов.

Пребиотические препараты при вводе в рационы птицы поддерживают здоровье кишечника за счет питания и последующего роста колоний лактобактерий и бифидобактерий, влияя на длину ворсинок эпителия, отвечающего за всасывание питательных веществ рациона (Горлов И.Ф. и др. 2023; Halder N et al., 2024), что способствует лучшему усвоению питательных веществ и высоким приростам бройлеров. Однако, по сообщениям других исследователей (Гулиц А.Ф. и др. 2023; Саломатин В.В. и Волкова О.А., 2024), пробиотики и пребиотики также способны сдерживать распространение патогенов и зоонозных агентов в ЖКТ птицы, повышая сохранность поголовья и снижая затраты корма на приросты. Имеется ряд сообщений о синергическом эффекте в организме молодняка птицы при одновременном вводе в рацион птицы пребиотического препарата и кокцидиостатика, когда эндогенное развитие простейших может быть ограничено путем их одновременного использования в кормлении птицы.

Цель исследований.

Проверка эффективности сочетания в организме цыплят-бройлеров пребиотической добавки ЛактуСупер (ГНУ НИИММП, Волгоград) и нового антикокцидийного препарата Эймицид.

Материалы и методы исследований.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса «Росс-308» с суточного возраста до убоя в возрасте 38 дней.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. В исследовании оценивалась эффективность:

- пребиотической кормовой добавки ЛактуСупер (ГНУ НИИММП, г. Волгоград, Россия), которая представляет собой композицию натуральных биологически активных веществ, полученных путем комбинирования лактулозы, глицина, янтарной кислоты, фолиевой кислоты и витамина Е, и является антиоксидантным антистрессовым препаратом для нормализации микробиологических процессов в пищеварительном тракте, повышения сохранности поголовья, интенсивности роста и продуктивности птицы мясного и яичного направлений,

- нового препарата Эймицид (ООО «НИТА-ФАРМ», г. Саратов, Россия), относящегося к антикокцидийным лекарственным препаратам группы полиэфирных ионофоров. Салиномицин, входящий в состав лекарственного препарата, представляет собой продукт ферментации гриба *Streptomyces albus*, обладающего широким спектром антикокцидийного действия, активен в отношении многих видов кокцидий, паразитирующих у птиц (Рябцев П.С., 2023; Рябцев П.С. и др., 2024).

Опыт проводился в условиях вивария НВЦ «Новые биотехнологии» ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» в мае-июне 2024 года. Цыплята-бройлеры в суточном возрасте были закуплены у фермера и по принципу аналогов разделены на четыре группы по 15 голов в каждой. Содержание испытуемого поголовья – на соломе в качестве подстилки. Кормление птицы осуществлялось вволю сухими полноценными комбикормами. Питательная ценность рационов рассчитана программой «Корм Оптима» для кросса «Росс-308» по рекомендациям фирмы «Авиаген» (разработчик кросса) с учетом стартового, ростового и финишного периодов кормления испытуемого поголовья бройлеров.

Контрольная группа, получала весь период откорма стандартный рацион корма, без ввода кокцидиостатика и пребиотика.

I опытная группа получала в составе корма антикокцидийный препарат Эймицид в дозе 500 г на тонну корма (или 6 мг салиномицина на 1 кг живой массы) согласно утвержденной инструкции по применению с 8 по 30-е сутки откорма. В период старта откорма до момента полного рассасывания желточного мешка и вакцинаций от особо опасных инфекционных заболеваний ветеринарная служба не рекомендует вводить кокцидиостатики в корм бройлеру, также необходимо исключить из корма препарат минимум за 5 суток до убоя поголовья во избежание его накопления в мясе и печени с целью предотвращения отравления потребителя.

II опытная группа получала в составе корма с первого дня откорма и до последнего только пребиотическую добавку ЛактуСупер в дозе 5 г на 1 кг живой массы.

III опытная группа получала Эймицид в дозе 500 г на тонну корма (или 6 мг салиномицина на 1 кг живой массы) согласно утвержденной инструкции по применению с 8 по 30-е сутки откорма и пребиотическую добавку ЛактуСупер в дозе 5 г на 1 кг живой массы весь период от корма.

Раз в пять дней от каждой группы с подстилки собирали пометные массы, не менее 5 грамм, которые в условиях лаборатории анализировали по методу Мак-Мастера путем флотации в плотном насыщенном растворе сульфата магния (плотность – 1,28 г/см³) с целью определения наличия ооцист.

В исследованиях прирост живой массы подопытного поголовья определяли индивидуальным ежедневным взвешиванием цыплёнка на весах ВК-3000 (ГОСТ 31962-2013) в течение всего опытного периода. Сохранность птицы учитывалась по павшим особям поголовья. При обнаружении павшей птицы проводили анатомическое вскрытие свежего трупа птицы с целью исследования ЖКТ на наличие поражения эймериозом.

По окончании опыта у бройлеров отбирали кровь на исследование из подязычной артерии, убивали методом декапитации, взвешивали, вскрывали, устанавливали массу различных отделов пищеварительного тракта (желудок, двенадцатиперстная, тощая и слепая кишки).

Контрольный убой и анатомическая разделка тушек подопытного поголовья проводился на 38-й день выращивания по общепринятым методикам.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции», НВЦ «Новые биотехнологии» (г. Волгоград), Применялись общеизвестные зоотехнические, ветеринарные, математические и др. методы исследований и анализа. Интенсивность прироста живой массы ремонтного молодняка и динамику роста определяли путем индивидуального еженедельного взвешивания каждой подопытной особи, согласно ГОСТ 31962-2013 на электронных весах марки ВК-3000 (Россия).

На анализаторе URIT-3020 Vet Plus (Китай) гематологические исследования осуществляли на биопробах, взятых у 5 голов цыплят из каждой группы. Количественную и качественную характеристику микробиома слепых отростков кишечника определяли с использованием современных молекулярно-генетических методов (г. Москва, МГАВМиБ им. К.И. Скрябина).

Статистическая обработка. Полученные результаты обработаны при помощи математических статистических методов с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 6.0» («Stat Soft Inc.», США). Запись результатов в таблицах 1-4 представлена в виде среднего (M) и стандартной ошибки среднего (m), перед которой ставится знак « $\pm$ ». Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t -критерию Стьюдента, при этом значения при $P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$; $P \leq 0,001$ считали достоверными.

Результаты исследований.

Оценка основных производственных результатов. Случаи падежа цыплят-бройлеров отмечались в контрольной группе на 24 и 37 день откорма. Во всех опытных группах отхода поголовья во время опыта не отмечалось.

В образцах помета бройлеров опытных групп признаков поражения кишечника ооцистами эймерий не выявлялось. У бройлеров контрольной группы наблюдались признаки кокцидиоза появлением крови в фекалиях, что было визуально подтверждено при вскрытии павшего поголовья и осмотра слепых отростков кишечника и двенадцатиперстной кишки с признаками колоний ооцист и вымороченной крови.

Результаты опыта по основным производственным показателям изложены в таблице (табл.1). На основании данных таблицы 1 можно убедиться в несомненном влиянии изучаемых препаратов на состояние ЖКТ цыплят и ход обменных процессов в организме опытных цыплят. Так, цыплята-бройлеры 2 и 3 опытных групп, с первого дня откорма получавшие пребиотическую добавку с кормом, к концу уже первой недели откорма по приросту живой массы достоверно превосходили цыплят контрольной группы и 1 опытной группы.

К концу откорма цыплята-бройлеры 1 и 2 опытных групп выровнялись между собой по живой массе, среднесуточному приросту и конверсии корма на 1 кг прироста живой массы. Бройлеры 3 опытной группы, в рацион которым весь период откорма вводился испытываемый кокцидиостатик Эймицид согласно инструкции и пребиотическая кормовая подкормка ЛактуСупер, имели по всем производственным показателям преимущество перед цыплятами 1 и 2 опытных групп и контролем.

Таблица 1. Основные производственные результаты по итогам опыта (n=15)
Table 1. Key production results from the experiment (n=15)

Показатели / Indicator	Группы / Groups			
	контрольная/ control	1 опытная/ 1 experimental	2 опытная/ 2 experimental	3 опытная/ 3 experimental
Живая масса, г / Live weight, g				
В сутки, г / Per day, g	40,5±0,17	40,7±0,15	40,3±0,12	40,2±0,18
На 7 сутки, г / On the 7th day, g	177,4±5,21	176,9±6,18	189,7±5,35	188,9±5,64
На 14 сутки, г / On the 14th day, g	502,7±7,24	515,8±7,54	519,3±8,14	524,5±7,74a
На 21 сутки, г / On the 21th day, g	923,5±11,18	955,1±12,7	956,2±13,52	967,1±12,4a
На 28 сутки, г / On the 28th day, g	1485,5±15,3	1534,8±13,8a	1532,6±15,3a	1557,5±17,2b
На 38 сутки, г / On the 38th day, g	2306,8±25,5	2457,5±27,4c	2452,6±24,8c	2575,8±25,5c
Суточный прирост, г / Daily gain, g	59,63±0,14	63,62±0,15c	63,49±0,12c	66,74±0,17c
Сохранность, % / Safety, %	86,7	100	100	100
Конверсия корма, кг / Feed conversion, kg	1,58	1,54	1,54	1,53
ЕИЭ, ед. / European Performance Index, units	327,2	413,12	412,27	436,21

Примечание: а – $P \leq 0,05$; b – $P \leq 0,01$; c – $P \leq 0,001$

Note: a – $P \leq 0.05$; b – $P \leq 0.01$; c – $P \leq 0.001$

По живой массе у цыплят-бройлеров 3 опытной группы перед аналогами контрольной группы преимущество составило 11,66 %, по среднесуточному приросту живой массы – 11,92 %, по сохранности поголовья – 13,3 %, по конверсии корма на кг прироста живой массы – 3,27 %, что доходчиво подтверждает эффективность комбинированного использования в рационах бройлера сочетания антикокцидийного и пребиотического препаратов, которые своим воздействием на простейших и состояние слизистой ЖКТ позволяют быстрее восстанавливать пораженные участки кишечника и слепой кишки, отмечающиеся в клинические эпизоды кокцидиоза, наращивать количество полезной микрофлоры на поверхности слизистой тонкого отдела кишечника и усиливать обменные процессы в организме.

Оценка воздействия активных компонентов кормовых добавок на кишечную микрофлору цыплят-бройлеров. На 38 день откорма был проведен анализ на установление общего микробного числа в слепых отростках кишечника цыплят-бройлеров, результаты которого отражены в таблице 2. Установлено, что нормофлора в слепых отростках цыплят-бройлеров опытных групп стала больше, чем у цыплят контрольной группы, о чём достоверно свидетельствует возросшее количество бактерий рода *Bifidobacteriales* и *Lactobacillales* соответственно на 0,76 и 7,96 % ($P \leq 0,01$ и $P \leq 0,001$) по 1 опытной группе, на 0,88 и 8,17 % ($P \leq 0,01$ и $P \leq 0,001$) – по 2 опытной группе, на 0,95 и 8,62 % ($P \leq 0,01$ и $P \leq 0,001$) – по 3 опытной группе соответственно. При этом количество патогенной и нежелательной микрофлоры относительно контрольной группы снизилось на 0,80; 0,85 и 1,00 % ($P \leq 0,001$, $P \leq 0,001$ и $P \leq 0,001$) в 1, 2 и 3 опытных группах соответственно (табл. 2).

Оценка органов пищеварения цыплят-бройлеров. Перед убоем по окончании опыта все поголовье бройлера было выдержано без доступа к корму более 6 часов. При убое цыплят-бройлеров были взяты пробы крови на исследование от 5 голов из каждой группы и проведено тщательное обследование органов ЖКТ при вскрытии, которое не выявило клинического поражения кокцидиозом. Напротив, у бройлеров контрольной группы наблюдались патогномоничные признаки кокцидиоза с балом поражения до 3,5 о.р.г. (среднее количество ооцист на 1 грамм помета). Вскрытие только что убитой птицы выявило наличие точечных скоплений в двенадцатиперстной кишке, что отразилось на приростах бройлеров.

Таблица 2. Общее микробное число в слепых отростках кишечника цыплят-бройлеров на 38 день откорма, % (n=5)

Table 2. Total microbial count in the caecum of broiler chickens on day 38 of fattening, % (n=5)

Показатели / <i>Indicators</i>	Группы / <i>Groups</i>			
	контрольная/ <i>control</i>	1 опытная/ <i>1 experimental</i>	2 опытная/ <i>2 experimental</i>	3 опытная/ <i>3 experimental</i>
Общее микробное число, клеток/г / <i>Total microbial count, cells/g</i>	(0,97±0,11)×10 ⁶	(1,25±0,13)×10 ⁶	(1,26±0,12)×10 ⁶	(1,29±0,12)×10 ⁶
Нормофлора / <i>Normoflora</i>	96,63±2,64	97,43±2,16	97,48±2,56	97,63±2,24
В том числе: / <i>Including:</i>				
Род <i>Bifidobacteriales</i> / <i>Genus Bifidobacteriales</i>	0,29±0,14	1,05±0,12b	1,17±0,21b	1,24±0,17b
Род <i>Lactobacillales</i> / <i>Genus Lactobacillales</i>	7,25±0,37	15,21±0,24c	15,42±0,31c	15,87±0,28c
Патогенная и нежелательная микрофлора / <i>Pathogenic and unwanted microflora</i>	3,37±0,05	2,57±0,06c	2,52±0,05c	2,37±0,05c

Примечание: b – P≤0,01; c – P≤0,001

Note: b – P≤0.01; c – P≤0.001

На рисунке 1 приведены результаты общих замеров органов пищеварения у суточных цыплят-бройлеров в начале опыта, а в таблице 3 – эти же показатели по каждой группе цыплят-бройлеров при убое в возрасте 38 суток.

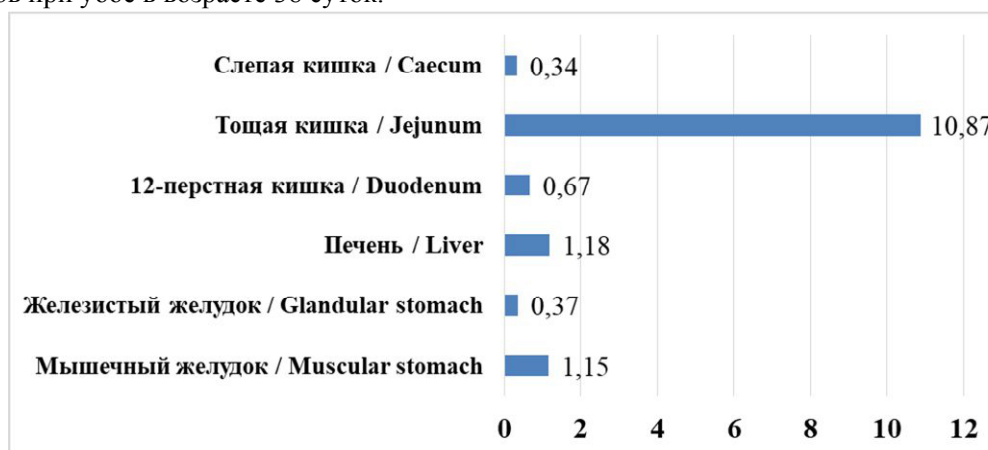


Рисунок 1. Развитие органов пищеварения у суточных цыплят, г

Figure 1. Development of the digestive organs in day-old chicks, g

На основании данных таблицы 3 доказано, что ввод в рацион бройлеров как кокцидиостатика, так и пребиотика оказывает прямое или косвенное влияние на динамику развития органов пищеварительной системы макроорганизма. При совместном их использовании в кормлении птицы все корректировочные изменения по массе органов направлены в сторону усиления микробиоценоза кишечной микрофлоры.

Таблица 3. Развитие органов пищеварения у подопытных бройлеров за период опыта, г (n=5)
Table 3. Development of digestive organs in experimental broilers during the experimental period, g (n=5)

Показатели / <i>Indicator</i>	Группы / <i>Groups</i>			
	контрольная <i>/control</i>	1 опытная/ <i>1 experimental</i>	2 опытная/ <i>2 experimental</i>	3 опытная/ <i>3 experimental</i>
Мышечный желудок / <i>Muscular stomach</i>	38,9±0,14	37,42±0,11c	37,51±0,15c	37,21±0,17c
Железистый желудок / <i>Glandular stomach</i>	6,8±0,07	6,5±0,05b	6,5±0,06a	6,4±0,07b
Печень / <i>Liver</i>	46,47±1,64	46,78±1,73	46,82±1,59	47,14±1,62
12-перстная кишка / <i>Duodenum</i>	19,1±0,25	20,7±0,38c	20,7±0,32b	21,8±0,43c
Тощая кишка / <i>Jejunum</i>	48,9±0,28	54,7±0,31c	55,4±0,32c	61,8±0,27c
Слепая кишка / <i>Caecum</i>	9,8±0,06	11,4±0,07c	11,5±0,08c	11,8±0,07c

Примечание: a – P≤0,05; b – P≤0,01; c – P≤0,001

Note: a – P≤0,05; b – P≤0,01; c – P≤0,001

То есть, достоверно просматривается уменьшение железистого и мышечного желудков по массе и объему при вводе испытуемых препаратов как по отдельности, так совместно, при одновременном увеличении размеров тонкого отдела кишечника, где происходят основные процессы расщепления питательных веществ из забора потоками крови и переноса ко всем основным системам и тканям макроорганизма.

Оценка убойных показателей. По итогам убоя опытного поголовья бройлеров были выявлены анатомические различия между бройлерами, которых кормили с вводом испытуемых препаратов как по отдельности (1, 2 опытные группы), так и совместно (3 опытная группа). Достоверно установлено, что наибольший выход тушек, субпродуктов и съедобных частей тушки бройлеров оказался в 3 опытной группе бройлеров, которые потребляли в своем рационе оба испытуемых препарата.

Средние показатели выхода мясopодукции, морфологического и качественного состава тушек испытуемых цыплят-бройлеров по итогам проведенного опыта представлены в таблице 4. Отмечено, что живая масса бройлеров и сортность тушек после убоя поголовья контрольной группы значительно хуже аналогичных показателей опытных групп, потреблявших изучаемый кокцидиостатик и пребиотическую добавку с кормом.

Таблица 4. Результаты выхода мясopодукции, морфологического и качественного состава тушек испытуемых цыплят-бройлеров по итогам опыта, % (n=15)

Table 4. Results of meat product yield, morphological and qualitative composition of carcasses of test broiler chickens based on the results of the experiment, % (n=15)

Показатели / <i>Indicator</i>	Группы / <i>Groups</i>			
	контроль- ная/ <i>control</i>	1 опытная/ <i>1 experimental</i>	2 опытная/ <i>2 experimental</i>	3 опытная/ <i>3 experimental</i>
Живая масса перед убоем, г / <i>Live weight before slaughter, g</i>	2306,8±25,3	2457,5±27,4c	2452,6±24,8c	2575,8±25,5c
Выход потрошеной тушки / <i>Output of gutted carcass</i>	72,6	74,5	74,5	74,8
Масса тушки потрошеной, г / <i>Weight of gutted carcass, g</i>	1674,7±26,3	1830,8±28,5c	1827,2±25,8c	1926,7±25,5c
Выход субпродуктов / <i>Output of by-products</i>	10,6	11,2	11,2	11,3
Масса субпродуктов, г / <i>Weight of by-products, g</i>	244,52±12,1	275,24±18,6	274,70±16,7	291,1±17,4a
Съедобные части, всего / <i>Edible parts, total</i>	83,5	86,3	86,3	87,2
Несъедобные части, всего / <i>Inedible parts, total</i>	16,5	13,7	13,7	12,8
Сортность: / <i>Grade:</i>				
первый / <i>first</i>	74,3	85,5	85,7	87,2
второй / <i>second</i>	25,7	14,5	14,7	12,8

Примечание: a – P≤0,05; c – P≤0,001/Note: a – P≤0,05; c – P≤0,001

Обсуждение полученных результатов.

Таким образом, исследование показало высокую эффективность салиномицина в профилактике кокцидиоза у бройлеров. В 1 и 3 опытных группах, получавших Эймицид, включающий салиномицин, наблюдалось минимальное выпадение ооцист *Eimeria* и полное отсутствие клинических признаков заболевания. Это подтверждает данные многочисленных исследований, демонстрирующие эффективность ионофорных антикокцидийных препаратов, таких как салиномицин, в подавлении развития эймериоза у птицы (Рябцев П.С., 2023; Рябцев П.С. и др., 2024).

Механизм действия салиномицина основан на нарушении ионного транспорта в клетках *Eimeria*, что приводит к их гибели. Салиномицин воздействует на проницаемость мембран паразитов, нарушая градиент ионов натрия и калия, что делает невозможным нормальное функционирование и размножение эймерий (Chappel Larry R, 1979). Это приводит к снижению количества ооцист в помете и, как следствие, к отсутствию клинических симптомов кокцидиоза. Интересные результаты были получены во 2 опытной группе, где цыплята получали только пребиотическую добавку ЛактуСупер. Отсутствие клинических проявлений кокцидиоза в этой группе свидетельствует о значительном потенциале пребиотиков в борьбе с этой болезнью. Механизм действия пребиотика, вероятно, связан с модуляцией кишечной микробиоты. Пребиотики, такие как те, что содержатся в ЛактуСупер, являются неперевариваемыми пищевыми волокнами, которые селективно стимулируют рост и активность полезных бактерий, например, лактобацилл и бифидобактерий (Горлов И.Ф. и др., 2023). Увеличение численности этих бактерий приводит к нескольким позитивным эффектам. Во-первых, полезная микрофлора конкурентно подавляет развитие патогенных микроорганизмов, в том числе *Eimeria*, за счет конкуренции за питательные вещества и адгезию к эпителию кишечника. Во-вторых, лактобациллы и бифидобактерии продуцируют различные вещества, обладающие антимикробной активностью, например, органические кислоты, бактериоцины и водородные пероксиды (Гулиц А.Ф. и др. 2023). В-третьих, усиление роста ворсинок тонкого кишечника, замеченное в нашем исследовании, способствует увеличению всасывающей поверхности и улучшению пищеварения, что повышает резистентность организма к инфекциям (Halder N et al., 2024).

Таким образом, ЛактуСупер способствует формированию здоровой кишечной микробиоты, которая препятствует колонизации *Eimeria* и развитию кокцидиоза. Комбинированное применение Эймицида (салиномицина) и ЛактуСупер показало синергетический эффект. Быстрое восстановление поврежденных участков кишечника и слепой кишки, увеличение количества полезной микрофлоры и усиление обменных процессов в организме свидетельствуют о том, что такое сочетание препаратов обеспечивает более эффективную защиту от кокцидиоза по сравнению с монотерапией. Антикокцидийный препарат напрямую подавляет развитие паразитов, а пребиотик способствует восстановлению и укреплению барьерной функции кишечника, создавая неблагоприятные условия для размножения *Eimeria* и способствуя более быстрому выздоровлению. Это согласуется с современными представлениями о важности поддержания баланса кишечной микробиоты для поддержания здоровья птицы (Гулиц А.Ф. и др. 2023; Горлов И.Ф. и др., 2023; Саломатин В.В. и Волкова О.А., 2024; Halder N et al., 2024).

Заключение.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что пребиотическая кормовая добавка ЛактуСупер, используемая отдельно или в комбинации с новым антикокцидийным препаратом Эймицид в кормах для птицы, увеличивает прирост живой массы, оказывает благотворное влияние на выход мяса, съедобных субпродуктов, сортности тушек и размер кишечника. Однако, необходимы дальнейшие исследования для определения оптимальных доз и соотношений салиномицина и ЛактуСупер для достижения максимальной эффективности. Кроме того, важно учитывать потенциальные взаимодействия между этими препаратами и другие факторы, которые могут влиять на эффективность терапии, такие как генетическая предрасположенность птиц к кокцидиозу, условия содержания и уровень гигиены в птичнике.

Список источников

1. Бирюков И.М., Бирюкова Т.М. Структурные особенности иммунного ответа организма кур при кокцидиозе // Птицеводство. 2022. № 11. С. 73-81. [Biryukov IM, Biryukova TM. The elements of the immune response to coccidiosis in chicken. Ptitsevodstvo. 2022;11:73-81. (In Russ.)]. doi: 10.33845/0033-3239-2022-71-11-73-81
2. Влияние новой фитопребиотической кормовой добавки на хозяйственно-биологические показатели цыплят-бройлеров / И.Ф. Горлов, Н.В. Калинина, М.И. Сложенкина, З.Б. Комарова, А.В. Рудковская, А.К. Натиров, П.Б. Должанов, О.А. Березина // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 178-190. [Gorlov IF, Kalinina NV, Slozhenkina MI, Komarova ZB, Rudkovskaya AV, Natyrov AK, Dolzhanov PB, Berezina OA. The influence of a new phyto-prebiotic feed additive on economic and biological indicators of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):178-190. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-178
3. К пониманию действия пробиотических препаратов на рост и гематологические параметры крови цыплят-бройлеров / А.Ф. Гулиц, Е.П. Мирошникова, С.А. Мирошников, М.С. Мингазова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 191-202. [Gulits AF, Miroshnikova EP, Miroshnikov SA, Mingazova MS. Towards an understanding of the effect of probiotic preparations on growth and hematological parameters of blood of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):191-202. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-191
4. Рябцев П.С. Эффективность совместного применения салиномицина и митофена при эймериозе бройлеров // Птица и птицепродукты. 2023. № 4. С. 44-46. [Ryabtsev PS. Efficacy of the combined application of salinomycin and mitofen at eimeriosis of broilers. Poultry & Chicken Products. 2023;4:44-46. (In Russ.)]. doi: 10.30975/2073-4999-2023-25-4-44-46
5. Саломатин В.В., Волкова О.А. Формирование мясной продуктивности цыплят-бройлеров при выпаивании биологически активной добавки // Птицеводство. 2024. № 3. С. 25-28. [Salomatina VV, Volkova OA. Meat productivity in broilers after the supplementation of drinking water with carotene based bioactive additive. Ptitsevodstvo. 2024;3:25-28. (In Russ.)]. doi: 10.33845/0033-3239-2024-73-3-25-28
6. Сатин Б.В., Баркова А.С. Кокцидиоз у сельскохозяйственных птиц // Молодежь и наука. 2023. № 8. Порядковый номер 31. [Satin BV, Barkova AS. Coccidiosis in farm poultry. Molodezh' i nauka. 2023;8:31. (In Russ.)].
7. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» (ТР ТС 034/2013) [Электронный ресурс]: с изменениями на 27 сентября 2023 года, редакция, действующая с 10 июля 2024 года: принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 9 октября 2013 г. № 68. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант». [Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza «O bezopasnosti mjasa i mjasnoj produkcii» (TR TS 034/2013) [Jelektronnyj resurs]: s izmenenijami na 27 sentjabrja 2023 goda, redakcija, dejstvujushhaja s 10 ijulja 2024 goda : prinjat Resheniem Soveta Evrazijskoj jekonomicheskoi komissii ot 9 oktjabrja 2013 g. № 68. Dostup iz sprav.-prav. sistemy «Garant». (In Russ.)].
8. Целесообразность применения противэймериозных препаратов и фитобиотика на фоне заражения цыплят эймериозом и влияние их на качество поствакцинального иммунитета / Е.Г. Яковлева, М. Ракаускайте, Р.В. Щербинин, Д.В. Трубников // Ветеринария и кормление. 2022. № 1. С. 71-76. [Jakovleva EG, Rakauskajte M, Shherbinin RV, Trubnikov DV. Applicability of anti-eimeriosis drugs and phytobiotic for chickens with artificial inoculation eimeriosis and effect of these preparations on the quality of postvaccination immunity. Veterinariya i kormleniye. 2022;1:71-76. (In Russ.)]. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-1-18
9. Эффективность сочетанного применения кормовой добавки «Бетакорм» и салиномицина при кокцидиозе бройлеров кросса «Смена 9» / П.С. Рябцев, Г.М. Ильин, И.М. Бирюков, А.А. Слободянюк // Птицеводство. 2024. № 9. С. 72-77. [Ryabtsev PS, Ilyin GM, Biryukov IM, Slobodyanyuk AA. Efficiency of the combined application of feed additive Betakorm and salinomycin

against experimental coccidiosis in Smena-9 broilers. *Ptitsevodstvo*. 2024;9:72-77. (*In Russ.*)]. doi: 10.33845/0033-3239-2024-73-9-72-77

10. Chappel Larry R. The site of action of the anticoccidial salinomycin (coxistac). *The Journal of Parasitology*. 1979;65(1):137-143. doi: 10.2307/3280218

11. Halder N, Sunder J, De A, Bhattacharya, D, Joardar SN. Probiotics in poultry: a comprehensive review. *The Journal of Basic and Applied Zoology*. 2024;85(1):23. doi: 10.1186/s41936-024-00379-5

12. Mesa-Pineda C, Navarro-Ruiz JL, López-Osorio S, Chaparro-Gutiérrez JJ, Gómez-Osorio LM. Chicken coccidiosis: from the parasite lifecycle to control of the disease. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021;8:787653. doi: 10.3389/fvets.2021.787653

13. Novoa Rama E, Bailey M, Kumar S, Leone C, den Bakker HC, Thippareddi H, Singh M. Characterizing the gut microbiome of broilers raised under conventional and no antibiotics ever practices. *Poult Sci*. 2023;102(8):102832. doi: 10.1016/j.psj.2023.102832

14. Paul SS, Rama Rao SV, Hegde N, Williams NJ, Chatterjee RN, Raju MVLN, Reddy GN, Kumar V, Phani Kumar PS, Mallick S, Gargi M. Effects of dietary antimicrobial growth promoters on performance parameters and abundance and diversity of broiler chicken gut microbiome and selection of antibiotic resistance genes. *Front Microbiol*. 2022;13:905050. doi: 10.3389/fmicb.2022.905050

15. Taherpour K, Moravej H, Taheri HR, Shivaza M. Effect of dietary inclusion of probiotic, prebiotic and butyric acid glycerides on resistance against coccidiosis in broiler chickens. *The Journal of Poultry Science*. 2012;49(1):57-61. doi: 10.2141/jpsa.011031

References

1. Biryukov IM, Biryukova TM. The elements of the immune response to coccidiosis in chicken. *Poultry farming*. 2022;11:73-81. doi: 10.33845/0033-3239-2022-71-11-73-81

2. Gorlov IF, Kalinina NV, Slozhenkina MI, Komarova ZB, Rudkovskaya AV, Natyrov AK, Dolzhanov PB, Berezina OA. The influence of a new phytoprebiotic feed additive on economic and biological indicators of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):178-190. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-178

3. Gulits AF, Miroshnikova EP, Miroshnikov SA, Mingazova MS. Towards an understanding of the effect of probiotic preparations on growth and hematological parameters of blood of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):191-202. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-191

4. Ryabtsev PS. Efficacy of the combined application of salinomycin and mitofen at eimeriosis of broilers. *Poultry & Chicken Products*. 2023;4:44-46. doi: 10.30975/2073-4999-2023-25-4-44-46

5. Salomatin VV, Volkova OA. Meat productivity in broilers after the supplementation of drinking water with carotene based bioactive additive. *Poultry farming*. 2024;3:25-28. doi: 10.33845/0033-3239-2024-73-3-25-28

6. Satin BV, Barkova AS. Coccidiosis in farm poultry. *Youth and Science*. 2023;8:31.

7. Technical Regulations of the Customs Union "On the Safety of Meat and Meat Products" (TR CU 034/2013) [Electronic resource]: with amendments as of September 27, 2023, version effective from July 10, 2024: adopted by the Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission dated October 9, 2013 No. 68. Access from the reference and legal system "Garant".

8. Yakovleva EG, Rakauskajte M, Shherbinin RV, Trubnikov DV. Applicability of anti-eimeriosis drugs and phytobiotic for chickens with artificial inoculation eimeriosis and effect of these preparations on the quality of postvaccination immunity. *Veterinary Science and Feeding*. 2022;1:71-76. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-1-18

9. Ryabtsev PS, Ilyin GM, Biryukov IM, Slobodyanyuk AA. Efficiency of the combined application of feed additive Betakorm and salinomycin against experimental coccidiosis in Smena-9 broilers. *Poultry farming*. 2024;9:72-77. doi: 10.33845/0033-3239-2024-73-9-72-77

10. Chappel Larry R. The site of action of the anticoccidial salinomycin (coxistac). The Journal of Parasitology. 1979;65(1):137-143. doi: 10.2307/3280218
11. Halder N, Sunder J, De A, Bhattacharya, D, Joardar SN. Probiotics in poultry: a comprehensive review. The Journal of Basic and Applied Zoology. 2024;85(1):23. doi: 10.1186/s41936-024-00379-5
12. Mesa-Pineda C, Navarro-Ruiz JL, López-Osorio S, Chaparro-Gutiérrez JJ, Gómez-Osorio LM. Chicken coccidiosis: from the parasite lifecycle to control of the disease. Frontiers in Veterinary Science. 2021;8:787653. doi: 10.3389/fvets.2021.787653
13. Novoa Rama E, Bailey M, Kumar S, Leone C, den Bakker HC, Thippareddi H, Singh M. Characterizing the gut microbiome of broilers raised under conventional and no antibiotics ever practices. Poult Sci. 2023;102(8):102832. doi: 10.1016/j.psj.2023.102832
14. Paul SS, Rama Rao SV, Hegde N, Williams NJ, Chatterjee RN, Raju MVLN, Reddy GN, Kumar V, Phani Kumar PS, Mallick S, Gargi M. Effects of dietary antimicrobial growth promoters on performance parameters and abundance and diversity of broiler chicken gut microbiome and selection of antibiotic resistance genes. Front Microbiol. 2022;13:905050. doi: 10.3389/fmicb.2022.905050
15. Taherpour K, Moravej H, Taheri HR, Shivaza M. Effect of dietary inclusion of probiotic, prebiotic and butyric acid glycerides on resistance against coccidiosis in broiler chickens. The Journal of Poultry Science. 2012;49(1):57-61. doi: 10.2141/jpsa.011031

Информация об авторах:

Людмила Викторовна Хорошевская, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий специалист отдела производства продукции животноводства, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская область, г. Волгоград, ул. имени Рокоссовского, д. 6, тел.: 8(8442)39-11-01.

Иван Фёдорович Горлов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Россия, Волгоградская область, г. Волгоград, ул. имени Рокоссовского, д. 6; заведующий кафедрой «Технология пищевых производств», Волгоградский государственный технический университет, 400005, Россия, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. имени В.И. Ленина, 28, тел.: (8442)39-10-48; 39-11-01; 37-38-09.

Марина Ивановна Сложенкина, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская область, г. Волгоград, ул. имени Рокоссовского, д. 6; профессор кафедры «Технология пищевых производств», Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. имени В.И. Ленина, 28, тел.: 8(844)239-10-48; 39-11-01; 37-38-09.

Александр Анатольевич Мосолов, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. имени Рокоссовского, д. 6, тел.: 8(844)239-10-48.

Сергей Владиславович Абрамов, кандидат ветеринарных наук, комплексная аналитическая лаборатория, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. имени Рокоссовского, д. 6.

Андрей Владимирович Балышев, кандидат биологических наук, комплексная аналитическая лаборатория, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. имени Рокоссовского, д. 6.

Алексей Петрович Хорошевский, кандидат ветеринарных наук, докторант, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400131, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. имени Рокоссовского, д. 6, тел.: 7-9308095309.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Lyudmila V Khoroshevskaya, Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Livestock Production Department, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, 6, Rokossovsky st., Volgograd region, Volgograd, 400066, tel.: +8(8442)39-11-01.

Ivan F Gorlov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, 6, Rokossovsky st., Volgograd region, Volgograd, 400066; Head of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University, 28 Avenue named after V.I. Lenin, Volgograd region, Volgograd, 400005, tel.: (8442)39-10-48; 39-11-01; 37-38-09.

Marina I Slozhenkina, Dr. Sci. (Biology), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, 6, Rokossovsky st., Volgograd region, Volgograd, 400066; Professor of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University, 28 Avenue named after V.I. Lenin, Volgograd region, Volgograd, 400005, tel.: (8442)39-10-48; 39-11-01; 37-38-09.

Alexander A Mosolov, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher of the Povolzhsky Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, 6, Rokossovsky st., Volgograd region, Volgograd, 400066, tel.: 8(844)239-10-48.

Sergey V Abramov, Cand. Sci. (Veterinary), comprehensive analytical laboratory, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, 6, Rokossovsky st., Volgograd region, Volgograd, 400066.

Andrey V Balyshev, Cand. Sci. (Biology), comprehensive analytical laboratory, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, 6, Rokossovsky st., Volgograd region, Volgograd, 400066.

Aleksey P Khoroshevsky, Cand. Sci. (Veterinary), Grand PhD courses, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production; 6, Rokossovsky st., Volgograd region, Volgograd, 400066, tel.: 7-9308095309.

Contribution of the authors: all authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 13.12.2024; одобрена после рецензирования 03.02.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 13.12.2024; approved after reviewing 03.02.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 158-174.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 158-174.

Научная статья

УДК 639.3.043:577.17

doi:10.33284/2658-3135-108-1-158

**Влияние биологически активных кормовых добавок в составе рациона
на гематологические параметры рыбы**

**Марина Сергеевна Мингазова¹, Елена Петровна Мирошникова²,
Юлия Владимировна Киякова³, Азамат Ерсанович Аринжанов⁴**

^{1,2,3,4}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹ms.mingazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>

²elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

³fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

⁴arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

Аннотация. Гематологический анализ является одним из основных инструментов оценки влияния различных кормовых добавок на организм животных. В статье представлены результаты влияния биологически активных кормовых добавок на рост и морфобиохимические показатели крови карпа (*Cyprinus carpio*). Годовикам на протяжении 42 суток дополнительно к основному рациону включали ванилин (I опытная), пробиотик (II опытная), комплекс ванилин+пробиотик (III опытная), комплекс ванилин+ультрадисперсные частицы диоксида кремния+пробиотик (IV опытная) или комплекс ванилин+ультрадисперсные частицы диоксида кремния+Zn+I+Cr+Co (V опытная). Установлено, что кормовые добавки оказали различное действие на организм рыб. Если в I, II и V опытных группах был зафиксирован прирост живой массы до 10,2 % ($P \leq 0,01$), то в III и IV опытных группах рост рыб снижался относительно контроля до 19,6 % ($P \leq 0,001$). Морфологический анализ крови показал, что биологически активные кормовые добавки способствовали повышению гемоглобина ($P \leq 0,05$) во всех опытных группах, за исключением III и V групп, где установлено снижение ($P \leq 0,05$). При исследовании биохимических параметров была зафиксирована общая тенденция изменения ряда показателей в группах, в рацион которых входил пробиотик. Отмечались значительные различия в концентрации АЛТ, общем белке, триглицеридов и холестерина. Таким образом, действие биологически активных кормовых добавок способствовало получению отличительных данных. Положительные результаты по гематологическим показателям были установлены в I и V опытных группах, в то же время неоднозначные – во II, III и IV группах.

Ключевые слова: аквакультура, рыба, карп, кормление, кормовые добавки, живая масса, морфологические показатели крови, биохимические показатели крови

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России, проект № 075-15-2024-550.

Для цитирования. Влияние биологически активных кормовых добавок в составе рациона на гематологические параметры рыбы / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Киякова, А.Е. Аринжанов // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 158-174. [Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhanov AE. The effect of biologically active feed additives in the diet on the hematological parameters of fish. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):158-174. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-158>

Original article

The effect of biologically active feed additives in the diet on the hematological parameters of fish**Marina S Mingazova¹, Elena P Miroshnikova², Yulia V Kilyakova³, Azamat E Arinzhanov⁴**^{1,2,3,4} Orenburg State University, Orenburg, Russia¹ms.mingazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>²elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>³fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>⁴arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

Abstract. Hematological analysis is one of the main tools for assessing the effect of various feed additives on the animal body. The article presents the results of the effect of biologically active feed additives on the growth and morpho-biochemical parameters of the blood of carp (*Cyprinus carpio*). For 42 days, in addition to the basic diet, vanillin (I experimental), probiotic (II experimental), vanillin + probiotic complex (III experimental), vanillin + ultrafine particles of silicon dioxide + probiotic (IV experimental) or vanillin + ultrafine particles of silicon dioxide + Zn + I + Cr + Co complex (V experimental), were included in the yearlings' diet. It was found that feed additives had a different effect on the body of fish. If in the I, II and V experimental groups an increase in live weight was recorded to 10.2% ($P \leq 0.01$), then in the III and IV experimental groups the growth of fish decreased relative to the control to 19.6% ($P \leq 0.001$). Morphological blood analysis showed that biologically active feed additives contributed to an increase ($P \leq 0.05$) in hemoglobin in all experimental groups, with the exception of groups III and V, where a decrease ($P \leq 0.05$) was recorded. In the study of biochemical parameters, a general trend of changes in a number of indicators was recorded in groups whose diet included probiotics. There were significant differences in the concentration of ALT, total protein, triglycerides and cholesterol. Thus, the effect of biologically active feed additives contributed to obtaining distinctive results. Positive results on hematological parameters were established in the I and V experimental groups, while ambiguous results were found in the II, III and IV groups.

Keywords: aquaculture, fish, carp, feeding, feed additives, live weight, morphological parameters of blood, biochemical parameters of blood

Acknowledgments: the research was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project No. 075-15-2024-550.

For citation: Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhanov AE. The effect of biologically active feed additives in the diet on the hematological parameters of fish. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):158-174. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-158>

Введение.

Аквакультура в настоящий момент интегрирована в глобальную производственную систему, обладает быстрым ростом производства и активно продвигает развитие в сфере кормопроизводства с целью улучшения технологий и включения в корма новых ингредиентов. Благодаря этому мировое население получило доступ к высокопитательной продукции, богатой белком и микроэлементами. Но несмотря на все достижения, отрасль по-прежнему сталкивается с серьезными проблемами, которые могут приводить к неблагоприятному исходу (Naylor RL et al., 2021; Fiorella KJ et al., 2021). Среди важных проблем выделяют антибиотикорезистентность и снижение качества кормления (Puri P et al., 2022).

Решением проблем высококачественного кормления и снижения числа заболеваний является дополнительное использование в рационе биологически активных кормовых добавок (Liang Q et al., 2022). В последние десятилетия успехом пользуются пробиотики (Khan S et al., 2020). Включение в рацион пробиотических препаратов положительно влияет на рост, активацию пищеварительных ферментов, повышает иммунный ответ и устойчивость к болезням (Rahman M et al., 2022). В то же время ультрадисперсные частицы металлов – перспективные добавки, имеющие высокую

адсорбционную активность и обладающие минимальной токсичностью для организма (Zhang L et al., 2023). Указывается, что применение комплексов, состоящих из ультрадисперсных частиц, пробиотиков и микроэлементов, сопряжено с повышением интенсивности роста и улучшением физиологического состояния рыб (Аринжанова М.С. и др., 2023).

Совершенно новым направлением в изучении влияния кормовых добавок в рационах сельскохозяйственных животных является опыт использования ингибиторов кворум сенсинга (Дускаев Г.К. и др., 2023). Данные вещества способны подавлять кворум бактерий, за счёт чего происходит контролирование экспрессии генов вирулентности у патогенных микроорганизмов (Torres M et al., 2019). В аквакультуре применение ингибиторов кворум сенсинга возможно при лечении ряда заболеваний, в том числе вибриоза (Gupta DS and Kumar MS, 2022). Описывается использование различных веществ анти-кворума, которые активно используют в аквакультуре (Мингазова М.С. и др., 2024). Одним из интересных является ванилин, который обладает антимикробными, ароматическими, антиоксидантными и другими свойствами, при этом не токсичен (Fuentes C et al., 2021).

Таким образом, наукой накоплен большой опыт использования различных биологически активных кормовых добавок в кормлении гидробионтов. С другой стороны, в настоящее время активно изучают новые компоненты питания и их комплексы как перспективные препараты в питании. Важным моментом в исследованиях является рассмотрение гематологических показателей крови (Witeska M et al., 2023).

Цель исследования.

Оценить эффективность применения в рационе рыб ванилина, пробиотика, ультрадисперсных частиц диоксида кремния и микроэлементов на рост и гематологические параметры крови карпа.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Годовики карпа (*Cyprinus carpio*) ($m=97\pm 2$ г).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов, протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Эксперимент проведен в условиях аквариумного стенда на кафедре «Биотехнология животного сырья и аквакультуры» Оренбургского государственного университета. Методом пар-аналогов сформированы 6 групп. Учетный период – 42 суток. Контроль получал основной рацион (ОР), опытные группы, начиная с учетного периода, дополнительно с ОР получали: I опытная – ванилин, II опытная – пробиотик, III опытная – ванилин+ пробиотик, IV опытная – ванилин+ультрадисперсные частицы диоксида кремния (УДЧ SiO_2)+пробиотик, V опытная – ванилин+УДЧ SiO_2 +Zn+I+Cr+Co.

Дозировка для ванилина («Sigma-Aldrich», Сент-Луис, США) составила 25 мг/кг корма, пробиотика (ООО Биотехнологическая фирма «Компонент», г. Бугуруслан, Россия) на основе штаммов *Enterococcus faecium* (2×10^{10} КОЕ), *Lactobacillus plantarum* (1×10^5 КОЕ), *Lactobacillus buchneri* (1×10^5 КОЕ), *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *Shermanii* (2×10^8 КОЕ), *Bifidobacterium bifidum* (1×10^9 КОЕ)) – 1 г/кг корма, УДЧ SiO_2 (ИП Хисамутдинов Р.А., Россия) – 200 мг/кг корма, для Zn (ООО «Квадрат-С», г. Москва, Россия) – 20 мг/кг корма, I (ООО «Квадрат-С», г. Москва, Россия) – 0,6 мг/кг корма, Cr (ООО «Квадрат-С», г. Москва, Россия) – 2 мг/кг корма, Co (ООО «НПК «Асконт+», г. Серпухов, Россия) – 2 мг/кг корма.

В качестве ОР был использован комбикорм КРК-110-1 (ОАО «Оренбургский комбикормовый завод», Россия). Корм задавали ежедневно по 4 раза, 2-5 % от массы тела. Расчет нормы кормления проводили еженедельно после взвешивания. Дозировка кормовых добавок основана на про-

водимых раннее исследованиях (Мингазова М.С. и др., 2023б; Akter S et al., 2021; Степанцова Г.Е. и др., 2018).

Измерение живой массы проводили еженедельно, утром, до кормления с индивидуальным взвешиванием (± 1 г). Кровь отбирали в последний день эксперимента после взвешивания. После отлова рыбу выдерживали в аэрируемой воде (5-10 минут). Отбор крови осуществляли после отсечения хвостового стебля в вакуумные пробирки с ЭДТА-КЗ и активатором свертывания.

Оборудование и технические средства. Исследования морфобиохимических показателей выполнены по стандартизированным методикам с использованием приборной базы ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>) на автоматическом гематологическом анализаторе «URIT-2900 Vet Plus» («URIT Medical», Китай) и автоматическом биохимическом анализаторе «DIRUI CS-T240» («DURIT Industrial Co., Ltd», Китай).

Статистическая обработка. Для статистического анализа применялись методы вариационной статистики по Стьюденту. Расчёты выполнены с использованием программного комплекса «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Значения с $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ и $P \leq 0,001$ считались статистически значимым.

Результаты исследования.

Включение в рацион карпа ванилина, пробиотика, УДЧ SiO_2 и микроэлементов (Zn, I, Cr, Co) оказало следующее действие на организм (рис. 1). В первые две недели исследования отмечалось отсутствие разницы по живой массе с контролем, изменения фиксировали с третьей недели.

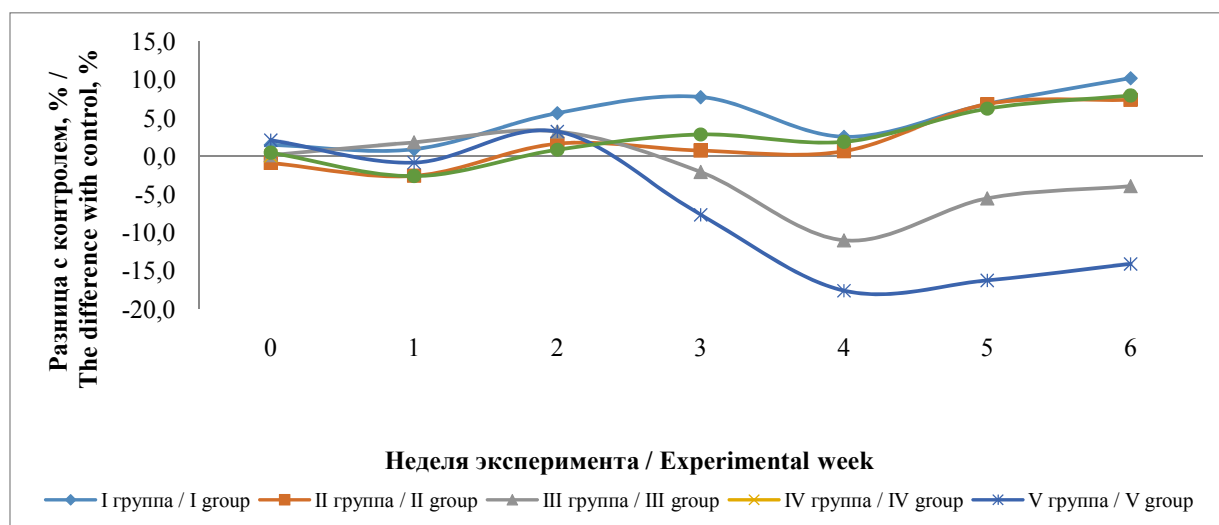


Рисунок 1. Динамика живой массы карпа в опытных группах относительно контроля, %
 Figure 1. Dynamics of live weight of carp in experimental groups relative to control, %

В I опытной группе повышение живой массы зафиксировано на третьей, пятой и шестой неделе исследования – на 7,7 % ($P \leq 0,05$), 6,8 % ($P \leq 0,05$) и 10,2 % ($P \leq 0,01$). Во II группе живая масса достоверно отличалась от контрольных значений на пятой и шестой неделях – на 6,8 % ($P \leq 0,05$) и 7,3 % ($P \leq 0,05$). Похожий результат был установлен в V опытной группе, где прирост отмечали на двух последних неделях эксперимента (6,2 %; $P \leq 0,05$ и 7,9 %; $P \leq 0,01$).

В то же время в III и IV опытных группах было установлено снижение роста в течение исследования. Так, в IV опытной группе наблюдали снижение роста с 7,7 % ($P \leq 0,05$) на третьей неделе до 14,1 % ($P \leq 0,001$) – на шестой, с достижением максимальной разницы на четвертой неделе

(19,6 %; $P \leq 0,001$) по сравнению с контролем. В III опытной группе отмечено максимальное отрицательное отклонение от контроля на четвертой неделе (11,0 %; $P \leq 0,01$).

Результаты морфологического состава крови представлены в таблице 1. Установлено, что уровень гемоглобина повышался у рыб в I, II и IV группах – на 4,5 % ($P \leq 0,05$), 3,7 % ($P \leq 0,05$) и 4,5 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля. При этом в III и V опытных группах показатель снижался на 6,0 % ($P \leq 0,05$) и 3,7 % ($P \leq 0,05$) соответственно.

Таблица 1. Морфологические показатели крови карпа

Table 1. Morphological blood parameters of carp

Показатели / <i>Indicators</i>	Группа / <i>Group</i>					
	кон- троль / <i>Control</i>	I опыт- ная / <i>I experi- mental</i>	II опыт- ная / <i>II experi- mental</i>	III опыт- ная / <i>III experi- mental</i>	IV опытная / <i>IV experi- mental</i>	V опытная / <i>V experi- mental</i>
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$ / <i>Leukocytes, $10^9/\text{l}$</i>	80,7 $\pm$ 4,2	77,7 $\pm$ 4,0	78,7 $\pm$ 3,2	83,0 $\pm$ 2,0	86,3 $\pm$ 2,1	78,3 $\pm$ 3,1
Эритроциты, $10^{12}/\text{л}$ / <i>Erythrocytes, $10^{12}/\text{l}$</i>	0,46 $\pm$ 0,17	0,35 $\pm$ 0,06	0,34 $\pm$ 0,25	0,32 $\pm$ 0,13	0,51 $\pm$ 0,13	0,29 $\pm$ 0,04
Тромбоциты, $10^9/\text{л}$ / <i>Trombocytes, $10^9/\text{l}$</i>	8,0 $\pm$ 4,0	8,3 $\pm$ 0,58	9,3 $\pm$ 1,53	10,0 $\pm$ 1,0	8,3 $\pm$ 0,58	7,3 $\pm$ 0,58
Гемоглобин, г/л / <i>Hemoglobin, g/l</i>	134 $\pm$ 2,0	140 $\pm$ 1,5*	139 $\pm$ 2,0*	126 $\pm$ 2,5*	140 $\pm$ 2,52*	129 $\pm$ 2,0*
Гематокрит, % / <i>Hematocrit, %</i>	9,8 $\pm$ 4,3	7,1 $\pm$ 1,5	8,7 $\pm$ 3,4	9,8 $\pm$ 1,85	11,1 $\pm$ 3,3	7,4 $\pm$ 2,43

Примечание: * – $P \leq 0,05$ при сравнении с контрольной группой

Note: * – $P \leq 0.05$ when compared with the control group

В III и IV группах повышался уровень лейкоцитов до 6,9 % при недостоверной разнице с контролем. В других опытных группах отмечено снижение количества лейкоцитов в крови рыб до 3,7 %.

В то же время выявлено, что содержание эритроцитов снижалось до 37,0 %, за исключением IV группы, но данные были недостоверными. При этом уровень эритроцитов во всех группах соответствовал норме (0,1-2 $10^{12}/\text{л}$). Похожий эффект был установлен и для уровня гематокрита в крови подопытных рыб. Содержание тромбоцитов в опытных группах не имело значительных различий с контролем.

Результаты биохимических показателей крови карпа представлены в таблице 2.

В I группе наблюдалось повышение уровня аспартаминотрансферазы (АСТ) на 46,3 % ($P \leq 0,001$), общего белка – на 10,9 % ($P \leq 0,05$), мочевины и триглицеридов – на 133 % ($P \leq 0,01$) и 282 % ($P \leq 0,01$). При этом снижалась концентрация магния на 5,3 % ($P \leq 0,05$).

Для II опытной группы установлено повышение аланинаминотрансферазы (АЛТ) – на 53,4 % ($P \leq 0,001$), АСТ – на 56,7 % ($P \leq 0,001$), билирубина общего – на 112 % ($P \leq 0,05$), глюкозы – на 48,5 % ($P \leq 0,05$), мочевой кислоты – на 140 % ($P \leq 0,05$), общего белка – на 11,4 % ($P \leq 0,05$), триглицеридов – на 232 % ($P \leq 0,05$) и холестерина – на 129 % ($P \leq 0,01$). Уровень магния снижался на 7,3 % ($P \leq 0,05$).

В III опытной группе зафиксировано только повышение показателей: АСТ – на 27,8 % ($P \leq 0,01$), билирубина общего – на 66,0 % ($P \leq 0,05$), глюкозы – на 48,5 % ($P \leq 0,05$), креатинина – на 100 % ($P \leq 0,01$), мочевой кислоты – на 113 % ($P \leq 0,05$), мочевины – на 126 % ($P \leq 0,01$), общего белка – на 11,4 % ($P \leq 0,05$) и триглицеридов – на 184 % ($P \leq 0,05$).

Таблица 2. Биохимические показатели крови карпа
 Table 2. Biochemical blood parameters of carp

Показатели / Indicators	Группа / Group					
	контроль / Control	I опытная / I experimental	II опытная / II experi- mental	III опытная / III experi- mental	IV опытная / IV experi- mental	V опытная / V experi- mental
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	3,3±0,3	3,4±0,2	4,9±0,9*	4,9±0,7*	4,7±0,7*	4,1±0,6
АЛТ, Ед/л / ALT, U/l	70,4±4,6	72,2±7,1	108±5,4***	76,9±5,4	102±7,1**	66,3±8,1
АСТ, Ед/л / AST, U/l	236±9,5	346±18,6***	370±23,8***	302±17,5**	374±16,5***	391±25,6***
Билирубин об- щий, мкмоль/л / Total bilirubin, μmol/l	1,0±0,26	1,21±0,28	2,12±0,41*	1,66±0,31*	1,0±0,45	0,59±0,19
Альбумин, г/л / Albumin, g/l	7,3±1,5	8,7±0,6	8,7±0,6	8,3±1,2	9,0±1,0	9,3±1,2
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μmol/l	14,5±3,6	18,9±2,7	20,5±1,5	29,1±3,8**	19,8±1,4	18,0±2,2
Мочевая кисло- та, мкмоль/л / Uric acid, μmol/l	9,3±2,2	14,0±3,8	22,3±5,5*	19,8±3,5*	13,8±4,8	11,5±1,2
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	2,63±0,76	6,13±0,35**	5,5±0,82*	5,93±0,55**	4,3±0,7*	2,1±0,3
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	19,3±1,0	21,4±0,4*	21,6±0,5*	21,5±0,3*	23,8±1,1**	22,2±1,0*
Триглицери- ды, ммоль/л / Triglycerides, mmol/l	0,38±0,15	1,45±0,34**	1,26±0,32*	1,08±0,35*	1,47±0,2**	1,55±0,27**
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	2,27±0,44	2,53±0,81	5,2±0,54**	2,71±0,24	3,37±0,5*	3,11±0,32
Кальций, ммоль/л / Calcium, mmol/l	5,97±0,59	6,33±0,33	5,8±0,06	6,16±0,05	5,96±0,45	6,27±0,31
Железо, мкмоль/л / Iron, μmol/l	10,7±2,7	10,2±2,6	11,6±2,3	8,3±2,0	6,6±1,2	7,2±0,7
Магний, ммоль/л / Magnesium, mmol/l	3,97±0,09	3,76±0,10*	3,68±0,15*	3,98±0,14	4,22±0,06*	3,77±0,04*
Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/l	4,31±0,67	3,98±0,33	3,73±0,16	4,37±0,78	5,62±0,2*	3,88±0,57

Примечание: * – P≤0,05; ** – P≤0,01; *** – P≤0,001 при сравнении с контрольной группой
 Note: * – P≤0.05; ** – P≤0.01; *** – P≤0.001 when compared with the control group

В IV опытной группы при включении в комплекс ванилин+пробиотик ультрадисперсных частиц нами установлено, что ряд показателей увеличивался аналогично II группе. Так, повышалось содержание АЛТ на 44,9 % ($P \leq 0,01$), АСТ – на 58,4 % ($P \leq 0,001$), глюкозы – на 42,4 % ($P \leq 0,05$), мочевины – на 63,5 % ($P \leq 0,05$), общего белка – на 23,3 % ($P \leq 0,01$), триглицеридов – на 287 % ($P \leq 0,01$) и холестерина – на 48,5 % ($P \leq 0,05$). Кроме того, минеральный состав крови также был подвержен увеличению некоторых показателей: магния и фосфора – на 6,3 % ($P \leq 0,05$) и 30,4 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с контрольными значениями.

В V опытной группе достоверные различия были представлены только по содержанию общего белка и АСТ, уровень которых превышал контроль на 15,0 % ($P \leq 0,05$) и 65,6 % ($P \leq 0,001$) соответственно. Кроме того, триглицериды превышали контроль в 3 раза ($P \leq 0,01$). В то же время содержание магния снижалось на 5 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля.

Обсуждение полученных результатов.

Применение кормовых добавок в аквакультуре имеет место при интенсивных и полунтенсивных системах выращивания гидробионтов для увеличения продуктивности. Указывается, что увеличение метаболизма у рыб связано с потреблением корма (Syed R et al., 2022). Кроме того, включение биологически активных веществ в рацион рыб оказывает положительное воздействие как в лечении, так и в профилактике заболеваний (Зуева М.С., 2022). Кормовые препараты способствуют повышению живой массы и выживаемости, повышают иммунитет и стимулируют улучшение метаболической активности (Килякова Ю.В. и др., 2022).

Исследования биологически активных веществ, используемых в составе рациона рыб, в основном показывают положительное действие на прирост живой массы (Ильяшенко А.Н., 2022). При этом отмечается закономерность увеличения роста: в первые недели у гидробионтов происходит адаптация, рост начинается с третьей -пятой недели включения добавок (Аринжанова М.С. и др., 2022). Кроме того, максимальный прирост фиксируется в среднем на шестой неделе (Мингазова М.С. и др., 2023б). В нашем эксперименте были получены противоречивые результаты. С одной стороны, в группах, потреблявших ванилин (I), пробиотик (II) и комплекс ванилин+УДЧ SiO_2 +микроэлементы (V), мы наблюдали увеличение роста с достижением максимального различия с контролем до 10,2 % ($P \leq 0,01$). Использование пробиотиков в аквакультуре показало перспективность добавки и их благоприятное воздействие не только на рост, но и на общее физиологическое состояние организма, в том числе как альтернативы антибиотикам (Chiu S-T et al., 2021; Зуева М.С. и др., 2023). Включение ванилина и его действие на повышение роста обусловлено увеличением привлекательности корма и повышением аппетита у рыбы за счёт ароматических свойств добавки (Liu Y et al., 2023b), что нашло отражение и в V опытной группе, при добавлении ультрадисперсных частиц и микроэлементов.

В то же время использование в рационе карпа комплексов ванилин+ пробиотик (III), в том числе совместно с УДЧ (IV), приводило к негативному результату – масса подопытных рыб снижалась до 19,6 % ($P \leq 0,001$), их поведение отличалось – карпы были пугливыми, избегали корм и плохо его поедали. Данные результаты наталкивают на особенности использования в составе кормов комплексов, состоящих из ванилина и пробиотиков, в которых УДЧ действует как катализатор и усиливает негативное воздействие (Naguib M et al., 2020). Вероятно, в нашем исследовании был выявлен антагонистический эффект от применения двух веществ, которые идентифицируются как ингибиторы кворума сенсинга (Fuentes C et al., 2021; Nami Y et al., 2022).

Исследование крови – важный инструмент для оценки здоровья рыб и эффективности их кормления (Ullah M et al., 2022). Гематологические показатели способны предоставить существенную информацию о физиологическом состоянии организма, включая состояние нейроэндокринной и иммунной систем, ряда заболеваний и последствий из-за неблагоприятного содержания (Seibel H et al., 2021). Нами было выявлено, что использование в рационе карпа биологически активных кормовых добавок и их комплексов не приводило к достоверным изменениям в морфологическом

составе крови, за исключением содержания гемоглобина во всех опытных группах по сравнению с контролем. Причём если в I, II и IV опытных группах гемоглобин повышался до 4,5 % ($P \leq 0,05$), то в III и V группах снижался до 6,0 % ($P \leq 0,05$).

В исследованиях указано, что гемоглобин оказывает действие на окисление липидов в организме рыб (Ghirmai S et al., 2022). Повышение его концентрации при включении в рацион кормовых добавок связывают с ростом и устойчивостью к заболеваниям (Abdel-Razek N et al., 2023; Abdel-Rahman AN et al., 2023). В прошлом учёные (Головина Н.А. и др., 1977) указывали на зависимость одновременного снижения гемоглобина и эритроцитов на начальных стадиях некоторых заболеваний. Современные данные показывают, что концентрация гемоглобина может снижаться вследствие лизиса красных клеток крови (Карпенко Л.Ю. и др., 2020). При этом уровень лейкоцитов в опытных группах не имел достоверных различий относительно контроля и соответствовал норме ($49-81 \cdot 10^9/\text{л}$) или незначительно её превышал (Ахметова В.В. и Васина С.Б., 2015), последнее согласуется с ранними исследованиями о повышении лейкоцитов в крови при использовании кормовых добавок (Мингазова М.С. и др., 2023а). Это указывало на отсутствие ряда заболеваний, так как именно лейкоциты демонстрируют быстрые иммунотенные реакции на инфекции (Ghirmai S et al., 2022).

Помимо морфологических показателей огромное значение в понимании физиологического состояния организма оказывают биохимические параметры крови (Wang H et al., 2022). Нами были зафиксированы значительные изменения в уровне АСТ, общего белка и триглицеридов во всех опытных группах, при этом наименьшее расхождение было актуально для концентрации альбумина и креатинина. Наиболее серьезные изменения претерпевали показатели крови в группах, где присутствовал пробиотик.

В первую очередь следует отметить концентрацию глюкозы, так как её уровень отражает реакцию организма на стресс (Kesbic OS et al., 2022). Выявлено, что глюкоза повышалась ($P \leq 0,05$) во II, III и IV группах относительно контроля, при этом в I и V группах содержание глюкозы не имело достоверных различий по сравнению с контролем. В то же время только в I группе уровень глюкозы был в пределах физиологической нормы (1,5-4 ммоль/л) (Ахметова В.В. и Васина С.Б., 2015).

Нами установлено, что с повышением глюкозы отмечалось увеличение триглицеридов и холестерина во II и IV группах. Содержание глюкозы и липидный метаболизм могут быть взаимосвязаны, взаимодействовать в метаболических и энергетических процессах и приводить к дисбалансу в клеточном энергоснабжении (Liu Y et al., 2023а). Кроме того, исследования (Song X et al., 2023) указывают, что избыток глюкозы, полученный при кормлении, способствует увеличению триглицеридов и холестерина и ухудшает прирост. Полученные нами данные указывают на изменение показателей только в тех группах, в рационе которых присутствовал пробиотический препарат, при этом только во II группе концентрация триглицеридов превышала физиологическую норму (1,9-3,9 ммоль/л) в 1,3 раза (Мингазова М.С. и др., 2023а). Это может указывать на действие штаммов на регуляцию метаболитов, связанных с глюкозой, и оказывать наиболее отрицательный эффект при использовании в кормлении только пробиотических препаратов (Ding Q et al., 2022). В то же время повышение триглицеридов ($P \leq 0,01$) в I и V группах не отразилось на уровне глюкозы и лишь незначительно увеличило содержание холестерина (данные недостоверны), что является показателем улучшения липидного обмена (Hassaan MS et al., 2018).

Во всех опытных группах отмечено увеличение концентрации общего белка от 10,9 % ($P \leq 0,05$) до 23,3 % ($P \leq 0,01$), что обусловлено повышением интенсивности питания рыб, улучшением обмена веществ (Жандалгарова А.Д. и др., 2023) и является показателем отсутствия дисфункций печени (Ni M et al., 2021).

Следует указать, что в результате включения биологически активных кормовых добавок и их комплексов в рацион карпа было отмечено повышение уровня АСТ во всех опытных группах до 65,6 % ($P \leq 0,001$) и повышение АЛТ во II и IV группах на 53,4 % ($P \leq 0,001$) и 44,9 % ($P \leq 0,001$) по сравнению с контролем. Целостность печени и нормальное функционирование пищеварения оценивают по концентрации АЛТ и АСТ (Liu WB et al., 2021; Nabi N et al., 2022). Данные результаты

могут свидетельствовать о реорганизации белкового обмена и изменении активности аминотрансфераз. Кроме того, высокие показатели могут встречаться у младшей возрастной группы, и с возрастом концентрация АЛТ и АСТ снижается, а также при повышении двигательной активности (Омельченко С.О. и др., 2016). Вместе с тем значительное увеличение ферментов АЛТ и АСТ может быть связано с гепатотоксическим эффектом, который способствует увеличению высвобождения ферментов в крови (Diab AM et al., 2018).

Уровень мочевины в крови является показателем целостности или нарушения функции почек (Xu M et al., 2019). Несмотря на то, что нами зафиксировано повышение ее концентрации до 133 % ($P \leq 0,01$), уровень был в пределах физиологической нормы (1,83-6,2 ммоль/л) (Мингазова М.С. и др., 2023а), что указывает на отсутствие негативного воздействия добавок на почки (Diab AM et al., 2018). В то же время повышение креатинина ($P \leq 0,01$) в III группе при увеличении мочевины ($P \leq 0,01$) и билирубина общего ($P \leq 0,05$) может указывать на снижение функций печени и почек (Diab AM et al., 2018) и возможно связано с антагонистическим эффектом добавок и повышением их токсичности (Kanu KC et al., 2023) или в связи со стрессом (Dawood MAO et al., 2020).

Повышение концентрации магния в крови подопытных рыб было выявлено во всех группах за исключением III опытной, где были недостоверные результаты. Анализ данных показал, что дефицита минеральных веществ в крови нет (Isla A et al., 2022; Klykken C et al., 2023). Наибольшие изменения зафиксированы в IV группе, в которой содержание магния и фосфора превышало контроль на 6,3 % ($P \leq 0,05$) и 30,4 % ($P \leq 0,05$). Вероятно, это связано с тем, что комплекс добавок влияет на печень (Singh M et al., 2019).

Заключение.

Включение биологически активных кормовых добавок и их комплексов в рацион карпа приводило как к повышению, так и к снижению живой массы у подопытных рыб. Действие кормовых добавок оказывало различное влияние на морфобиохимические параметры. С одной стороны, введение в рацион ванилина и комплекса ванилин+УДЧ $\text{SiO}_2 + \text{Zn} + \text{I} + \text{Cr} + \text{Co}$ оказало положительное влияние на гематологические показатели. С другой стороны, применение пробиотика, комплекса ванилин+пробиотик и комплекса ванилин+УДЧ SiO_2 +пробиотик привело к неоднозначным результатам.

Список источников

1. Ахметова В.В., Васина С.Б. Оценка морфологической и биохимической картины крови карповых рыб, выращиваемых в ООО «Рыбхоз» Ульяновского района Ульяновской области // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3(31). С. 53-58. [Akhmetova VV, Vasina SB. Assessment of morphological and biochemical blood picture of carps grown in LLC «Fish Farm» in Ulyanovsk district of Ulyanovsk region. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2015;3(31):53-58. (In Russ.)]. doi: 10.18286/1816-4501-2015-3-53-58
2. Биологическое действие кормовых добавок на организм карпа / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Килякова, А.Е. Аринжанов // Животноводство и кормопроизводство. 2023а. Т. 106. № 3. С. 121-137. [Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhanov AE. Biological effect of feed additives on carp. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023a;106(3):121-137. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-121
3. Биологическое действие ультрадисперсных частиц SiO_2 , пробиотического препарата Бифидобиом и комплекса микроэлементов на организм карпа / М.С. Аринжанова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 1. С. 48-66. [Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JV. Biological effect of ultrafine particles of SiO_2 , probiotic preparation Bifidobiom and a complex of microelements on the body of carp. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023b;106(1):48-66. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-48

4. Влияние кадмия на гематологические показатели карпа / Л.Ю. Карпенко, П.А. Полистовская, А.И. Енукашвили, А.Б. Балыкина // *Международный вестник ветеринарии*. 2020. № 1. С. 92-96. [Karpenko LYu, Polistovskaya PA, Enukashvili AI, Balykina AB. Influence of cadmium on hematological indicators of carp. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2020;1:92-96. (*In Russ.*)]. doi: 10.17238/issn2072-2419.2020.1.92

5. Влияние пробиотиков на элементный состав мышечной ткани карпа / М.С. Зуева, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // *Животноводство и кормопроизводство*. 2023. Т. 106. № 2. С. 8-20. [Zueva MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. The effect of probiotics on the elemental composition of muscle tissue in carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):8-20. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-8

6. Влияние ультрадисперсных частиц диоксида кремния на рост и аминокислотный состав печени рыб / М.С. Аринжанова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105. № 2. С. 8-16. [Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Influence of ultrafine particles of silicon dioxide on the growth and amino acid composition of fish liver. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(2):8-16. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-2-8

7. Влияние фитобиотических кормовых добавок на рост и морфобиохимические показатели крови рыб / Ю.В. Килякова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, М.С. Аринжанова // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105. № 3. С. 115-125. [Kilyakova YuV, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Arinzhanova MS. Influence of phytobiotic feed additives on growth and morphobiochemical parameters of fish blood. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):115-125. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-3-115

8. Головина Н.А., Поддубная А.П., Манкирова В.Б. Влияние некоторых заболеваний карпа на гематологические показатели // *Вестник зоологии*. 1977. № 5. С. 29-33. [Golovina NA, Poddubnaya AP, Mankirova VB. Vliyaniye nekotorykh zabolevaniy karpa na gematologicheskiye pokazateli. *Vestnik zoologii*. 1977;5:29-33. (*In Russ.*)].

9. Жандалгарова А.Д., Бахарева А.А., Грозеску Ю.Н. Оценка влияния пробиотического препарата на энтеросорбенте "Флорин форте" на физиолого-иммунологическое состояние бестера // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. 2023. № 4. С. 42-47. [Zhandalgarova AD, Bakhareva AA, Grozesku YuN. Probiotic drug effect evaluation on the enterosorbent "Florin forte" on the physiological and immunological state of bester. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2023;4:42-47. (*In Russ.*)]. doi: 10.24143/2073-5529-2023-4-42-47

10. Зуева М.С. Современный опыт включения биологически активных кормовых добавок в рацион рыб (обзор) // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105. № 4. С. 146-164. [Zueva MS. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):146-164. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146

11. Изучение влияния микроэлементов на физиолого-биохимические показатели радужной форели / Г.Е. Степанцева, Е.В. Нижникова, Н.П. Нефедова, В.И. Воробьев, О.Т. Лемперт // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2018. Т. 4, № 2. С. 128-135. [Stepantsova GE, Nizhnikova EV, Nefedova NP, Vorobjov VI, Lemper OT. Effect study of microelements on fiziologo-biochemical indicators of the rainbow trout. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2018;4(2):128-135. (*In Russ.*)].

12. Ильяшенко А.Н. Бациллярные пробиотики в кормлении и содержании гидробионтов (обзор) // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105, № 4. С. 165-180. [Ilyashenko AN. Baccillus probiotics in the feeding and maintenance of hydrobionts (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):165-180. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-165

13. Использование ванилина в кормлении цыплят-бройлеров / Г.К. Дускаев, Е.В. Шейда, О.В. Кван, М.Я. Курилкина, Ш.Г. Рахматуллин // *Птицеводство*. 2023. № 3. С. 14-19. [Duskaev GK,

Sheida EV, Kvan OV, Kurilkina MYa, Rakhmatullin ShG. On the use of vanillin in diets for broilers. *Ptitsevodstvo*. 2023;3:14-19. (*In Russ.*). doi: 10.33845/0033-3239-2023-72-3-14-19

14. Концентрация химических элементов в мышечной ткани карпа при включении в рацион биологически активных веществ / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Киякова // Животноводство и кормопроизводство. 2023б. Т. 106. № 4. С. 18-29. [Mingazova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Concentration of chemical elements in carp muscle tissue when biologically active substances are included in the diet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023b;106(4):18-29. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-106-4-18

15. Общее понимание кворум сенсинга бактерий и применение ингибиторов кворума в аквакультуре (обзор) / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Киякова // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 1. С. 128-146. [Mingazova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. General understanding of bacterial quorum sensing and use of quorum inhibitors in aquaculture (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):128-146. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-107-1-128

16. Омельченко О.С., Чеснокова И.И., Залевская И.Н. Особенности азотистого обмена и содержания нитрозаминов в тканях черноморских рыб, относящихся к разным экологическим группам // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2016. Т. 2(68), № 2. С. 47-57. [Omelchenko SO, Chesnokova II, Zalevskaya IN. Peculiarities of nitrogen metabolism and nitrosamines content in tissues of black sea fish species belonging to different ecological groups. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Biologiya. Himiya*. 2016;2-68(2):47-57. (*In Russ.*).

17. Abdel-Rahman AN, Amer SA, Behairy A, Younis EM, Abdelwarith AA, Osman A, Moustafa AA, Davies SJ, Ibrahim RE. Using *Azadirachta indica* protein hydrolysate as a plant protein in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet: Effects on the growth, economic efficiency, antioxidant-immune response and resistance to *Streptococcus agalactiae*. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2023;107(6):1502-1516. doi: 10.1111/jpn.13857

18. Abdel-Razek N, El-Sabbagh N, Khalil RH, Abdel-Tawwab M. Prophylactic effects of dietary caper (*Capparis spinosa*) extracts on the control of *Streptococcus agalactiae* infection, growth, immune-antioxidant, and inflammation cytokine responses of Nile tilapia fingerlings. *Fish & Shellfish Immunology*. 2023;142:109126. doi: 10.1016/j.fsi.2023.109126

19. Akter S, Jahan N, Rohani F, Akter Y, Shahjahan M. Chromium supplementation in diet enhances growth and feed utilization of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Biological Trace Element Research*. 2021;199:4811-4819. doi: 10.1007/s12011-021-02608-2

20. Chiu S-T, Chu T-W, Simangunsong T, Ballantyne R, Chiu C-S, Liu C-H. Probiotic, *Lactobacillus pentosus* BD6 boost the growth and health status of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* via oral administration. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021;117:124-135. doi: 10.1016/j.fsi.2021.07.024

21. Dawood MAO, Abdo SE, Gewaily MS, Moustafa EM, SaadAllah MS, AbdEl-kader MF, Hamouda AH, Omar AA, Alwakeel RA. The influence of dietary β -glucan on immune, transcriptomic, inflammatory and histopathology disorders caused by deltamethrin toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2020;98:301-311. doi: 10.1016/j.fsi.2020.01.035

22. Diab AM, Salem RM, Abeer E-KMS, Ali GIE, El-Habashi N. Experimental ochratoxicosis A in Nile tilapia and its amelioration by some feed additives. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*. 2018;6(2):149-158. doi: 10.1016/j.ijvsm.2018.09.004

23. Ding Q, Lu C, Hao Q, Zhang Q, Yang Y, Olsen RE, Ringo E, Ran C, Zhang Z, Zhou Z. Dietary succinate impacts the nutritional metabolism, protein succinylation and gut microbiota of zebrafish. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9:894278. doi: 10.3389/fnut.2022.894278

24. Fiorella KJ, Okronipa H, Baker K, Heilpern S. Contemporary aquaculture: implications for human nutrition. *Current Opinion in Biotechnology*. 2021;70:83-90. doi: 10.1016/j.copbio.2020.11.014

25. Fuentes C, Fuentes A, Barat JM, Ruiz MJ. Relevant essential oil components: a minireview on increasing applications and potential toxicity. *Toxicology Mechanisms and Methods*. 2021;31(8):559-565. doi: 10.1080/15376516.2021.1940408
26. Ghirmai S, Wu H, Axelsson M, Matsuhira T, Sakai H, Undeland I. Exploring how plasma- and muscle-related parameters affect trout hemolysis as a route to prevent hemoglobin-mediated lipid oxidation of fish muscle. *Scientific Reports*. 2022;12(1):13446. doi: 10.1038/s41598-022-16363-4
27. Gupta DS, Kumar MS. The implications of quorum sensing inhibition in bacterial antibiotic resistance- with a special focus on aquaculture. *Journal of Microbiological Methods*. 2022;203:106602. doi: 10.1016/j.mimet.2022.106602
28. Hassaan MS, Soltan MA, Mohammady EY, Elashry MA, El-Haroun ER, Davies SJ. Growth and physiological responses of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fed dietary fermented sunflower meal inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus subtilis*. *Aquaculture*. 2018;495:592-601. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.06.018
29. Isla A, Sánchez P, Ruiz P, Alborno R, Pontigo JP, Rauch MC, Hawes C, Vargas-Chacoff L, Yáñez AJ. Effect of low-dose *Piscirickettsia salmonis* infection on haematological-biochemical blood parameters in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Fish Biology*. 2022;101(4):1021-1032. doi: 10.1111/jfb.15167
30. Kanu KC, Okoboshi AC, Otitolaju AA. Haematological and biochemical toxicity in freshwater fish *Clarias gariepinus* and *Oreochromis niloticus* following pulse exposure to atrazine, mancozeb, chlorpyrifos, lambda-cyhalothrin, and their combination. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2023;270:109643. doi: 10.1016/j.cbpc.2023.109643
31. Kesbic OS, Acar U, Hassaan MS, Yilmaz S, Guerrero MC, Fazio F. Effects of tomato paste by-product extract on growth performance and blood parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). *Animals (Basel)*. 2022;12(23):3387. doi: 10.3390/ani12233387
32. Khan S, Moore RJ, Stanley D, Chousalkar KK. The gut microbiota of laying hens and its manipulation with prebiotics and probiotics to enhance gut health and food safety. *Applied and Environmental Microbiology*. 2020;86(13):e00600-20. doi: 10.1128/AEM.00600-20
33. Klykken C, Khan E, Karlsen C, Reed AK, Attramadal KJK, Olsen RE, Boissonnot L. Nephrocalcinosis in juvenile farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*) may be linked to osmoregulatory stress. *Journal of Fish Diseases*. 2023;46(9):13815. doi: 10.1111/jfd.13815
34. Liang Q, Yuan M, Xu L, Lio E, Zhang F, Mou H, Secundo F. Application of enzymes as a feed additive in aquaculture. *Marine Life Science & Technology*. 2022;4(2):208-221. doi: 10.1007/s42995-022-00128-z
35. Liu WB, Wang MM, Dai LY, Dong AH, Yuan XD, Yuan XD, Yuan SL, Tang Y, Liu JH, Peng LY, Xiao YM. Enhanced immune response improves resistance to cadmium stress in triploid crucian carp. *Frontiers in Physiology*. 2021;12:666363. doi: 10.3389/fphys.2021.666363
36. Liu Y, Liu S, Huang J, Liu Y, Wang Q, Chen J, Sun L, Tu W. Mitochondrial dysfunction in metabolic disorders induced by per- and polyfluoroalkyl substance mixtures in zebrafish larvae. *Environment International*. 2023a;176:107977. doi: 10.1016/j.envint.2023.107977
37. Liu Y, Sun L, Huo Y-X, Guo S. Strategies for improving the production of bio-based vanillin. *Microbial Cell Factories*. 2023b;22(1):147. doi: 10.1186/s12934-023-02144-9
38. Nabi N, Ahmed I, Wani GB. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2022;29(4):2942-2957. doi: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019
39. Naguib M, Mahmoud UM, Mekkawy IA, Sayed AEH. Hepatotoxic effects of silver nanoparticles on *Clarias gariepinus*; Biochemical, histopathological, and histochemical studies. *Toxicology Reports*. 2020;7:133-141. doi: 10.1016/j.toxrep.2020.01.002
40. Nami Y, Kahieshesfandiari M, Lornezhad G, Kiani A, Elieh-Ali-Komi D, Jafari M, Jaymand M, Haghshenas B. Administration of microencapsulated *Enterococcus faecium* ABRIINW.N7 with

fructo-oligosaccharides and fenugreek on the mortality of tilapia challenged with *Streptococcus agalactiae*. *Frontiers in Veterinary Sciences*. 2022;9:938380. doi: 10.3389/fvets.2022.938380

41. Naylor RL, Hardy RW, Buschmann AH, Bush SR, Cao L, Klinger DH, Little DC, Lubchenco J, Shumway SE, Troell M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*. 2021;591:551-563. doi: 10.1038/s41586-021-03308-6

42. Ni M, Liu M, Lou J, Mi G, Yuan J, Gu Z. Stocking density alters growth performance, serum biochemistry, digestive enzymes, immune response, and muscle quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in in-pond raceway system. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2021;47(4):1243-1255. doi: 10.1007/s10695-021-00948-3

43. Puri P, Sharma JG, Singh R. Biotherapeutic microbial supplementation for ameliorating fish health: developing trends in probiotics, prebiotics, and synbiotics use in finfish aquaculture. *Animal Health Research Reviews*. 2022;23(2):113-115. doi: 10.1017/S1466252321000165

44. Rahman M, Paul SI, Rahman A, Haque S, Ador AA, Foysal J, Islam T, Rahman M. Suppression of streptococcosis and modulation of the gut bacteriome in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the marine sediment bacteria *Bacillus haynesii* and *Advenella mimigardefordensis*. *Microbiology Spectrum*. 2022;10(6):e0254222. doi: 10.1128/spectrum.02542-22

45. Siebel H, Baßmann B, Rebl A. Blood will tell: what hematological analyses can reveal about fish welfare. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021;8:616955. doi: 10.3389/fvets.2021.616955

46. Singh M, Barman AS, Devi AL, Devi AG, Pandey PK. Iron mediated hematological, oxidative and histological alterations in freshwater fish *Labeo rohita*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019;170:87-97. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.11.129

47. Song X, Liu H, Jin J, Han D, Zhu X, Yang Y, Xie S. Data mining evidences variabilities in glucose and lipid metabolism among fish strains: a case study on three genotypes of gibel carp fed by different carbohydrate sources. *Aquaculture Nutrition*. 2023;2023:7589827. doi: 10.1155/2023/7589827

48. Syed R, Masood Z, Hassan HUI, Khan W, Mushtaq S, Ali A, Gui Y, Jafari H, Habib A, Ali Shah MI, Gabol K, Gul H, Ullah A. Growth performance, haematological assessment and chemical composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fed different levels of Aloe vera extract as feed additives in a closed aquaculture system. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2022;29(1):296-303. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.08.098

49. Torres M, Dessaux Y, Llamas I. Saline Environments as a Source of Potential Quorum Sensing Disruptors to Control Bacterial Infections: A Review. *Marine drugs*. 2019;17(3):191. doi: 10.3390/md17030191

50. Ullah M, Yousafzai AM, Muhammad I, Ullah SA, Zahid M, Khan MI, Khan K, Khayyam, Nayab GE, Aschner M, Alsharif KF, Alzahrani KJ, Khan H. Effect of cypermethrin on blood hematology and biochemical parameters in fresh water fish *Ctenopharyngodon idella* (Grass Carp). *Cell and Molecular Biology*. 2022;68(10-10):15-20. doi: 10.14715/cmb/2022.68.10.3

51. Wang H, Feng Y, Ming M, Song J, Chen Z, Xiao Z. Amelioration of Cd-induced bioaccumulation, hematological parameters, and heat shock protein-related genes by Vitamin C on common carp. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & Pharmacology*. 2022;258:109362. doi: 10.1016/j.cbpc.2022.109362

52. Witeska M, Kondera E, Bojarski B. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology-a review. *Animals (Basel)*. 2023;13(16):2625. doi: 10.3390/ani13162625

53. Xu M, Wang T, Wang J, Wan W, Wang Z, Guan D, Sun H. An evaluation of mixed plant protein in the diet of Yellow River carp (*Cyprinus carpio*): growth, body composition, biochemical parameters, and growth hormone/insulin-like growth factor 1. *Fish Physiol Biochem*. 2019;45(4):1331-1342. doi: 10.1007/s10695-019-00641-6

54. Zhang L, Liu Z, Deng Y, He C, Liu W, Li X. The benefits of nanosized magnesium oxide in fish *Megalobrama amblycephala*: evidence in growth performance, redox defense, glucose metabolism, and magnesium homeostasis. *Antioxidants (Basel)*. 2023;12(7):1350. doi: 10.3390/antiox12071350

References

1. Akhmetova VV, Vasina SB. Assessment of morphological and biochemical blood picture of carps grown in LLC «Fish Farm» in Ulyanovsk district of Ulyanovsk region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2015;3(31):53-58. doi: 10.18286/1816-4501-2015-3-53-58
2. Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhanov AE. Biological effect of feed additives on carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023a;106(3):121-137. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-121
3. Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JV. Biological effect of ultrafine particles of SiO₂, probiotic preparation Bifidobiom and a complex of microelements on the body of carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023b;106(1):48-66. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-48
4. Karpenko LYu, Polistovskaya PA, Erukashvili AI, Balykina AB. Influence of cadmium on hematological indicators of carp. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2020;1:92-96. doi: 10.17238/issn2072-2419.2020.1.92
5. Zueva MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. The effect of probiotics on the elemental composition of muscle tissue in carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):8-20. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-8
6. Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Influence of ultrafine particles of silicon dioxide on the growth and amino acid composition of fish liver. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(2):8-16. doi: 10.33284/2658-3135-105-2-8
7. Kilyakova YuV, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Arinzhanova MS. Influence of phytobiotic feed additives on growth and morphobiochemical parameters of fish blood. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):115-125. doi: 10.33284/2658-3135-105-3-115
8. Golovina NA, Poddubnaya AP, Mankirova VB. Effect of some carp diseases on haematological parameters. *Bulletin of Zoology*. 1977;5:29-33.
9. Zhandalgarova AD, Bakhareva AA, Grozesku YuN. Probiotic drug effect evaluation on the enterosorbent "Florin forte" on the physiological and immunological state of baster. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2023;4:42-47. doi: 10.24143/2073-5529-2023-4-42-47
10. Zueva MS. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):146-164. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146
11. Stepantsova GE, Nizhnikova EV, Nefedova NP, Vorobjov VI, Lemper OT. Effect study of microelements on fiziologo-biochemical indicators of the rainbow trout. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2018;4(2):128-135.
12. Ilyashenko AN. Bacillus probiotics in the feeding and maintenance of hydrobionts (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):165-180. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-165
13. Duskaev GK, Sheida EV, Kvan OV, Kurilkina MYa, Rakhmatullin ShG. On the use of vanillin in diets for broilers. *Poultry farming*. 2023;3:14-19. doi: 10.33845/0033-3239-2023-72-3-14-19
14. Mingazova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Concentration of chemical elements in carp muscle tissue when biologically active substances are included in the diet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023b;106(4):18-29. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-18
15. Mingazova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. General understanding of bacterial quorum sensing and use of quorum inhibitors in aquaculture (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):128-146. doi: 10.33284/2658-3135-107-1-128
16. Omelchenko SO, Chesnokova II, Zalevskaya IN. Peculiarities of nitrogen metabolism and nitrosamines content in tissues of black sea fish species belonging to different ecological groups. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2016;2-68(2):47-57.
17. Abdel-Rahman AN, Amer SA, Behairy A, Younis EM, Abdelwarith AA, Osman A, Moustafa AA, Davies SJ, Ibrahim RE. Using Azadirachta indica protein hydrolysate as a plant protein in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet: Effects on the growth, economic efficiency, antioxidant-immune re-

sponse and resistance to *Streptococcus agalactiae*. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2023;107(6):1502-1516. doi: 10.1111/jpn.13857

18. Abdel-Razek N, El-Sabbagh N, Khalil RH, Abdel-Tawwab M. Prophylactic effects of dietary caper (*Capparis spinosa*) extracts on the control of *Streptococcus agalactiae* infection, growth, immune-antioxidant, and inflammation cytokine responses of Nile tilapia fingerlings. Fish & Shellfish Immunology. 2023;142:109126. doi: 10.1016/j.fsi.2023.109126

19. Akter S, Jahan N, Rohani F, Akter Y, Shahjahan M. Chromium supplementation in diet enhances growth and feed utilization of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). Biological Trace Element Research. 2021;199:4811-4819. doi: 10.1007/s12011-021-02608-2

20. Chiu S-T, Chu T-W, Simangunsong T, Ballantyne R, Chiu C-S, Liu C-H. Probiotic, *Lactobacillus pentosus* BD6 boost the growth and health status of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* via oral administration. Fish & Shellfish Immunology. 2021;117:124-135. doi: 10.1016/j.fsi.2021.07.024

21. Dawood MAO, Abdo SE, Gewaily MS, Moustafa EM, SaadAllah MS, AbdEl-kader MF, Hamouda AH, Omar AA, Alwakeel RA. The influence of dietary β -glucan on immune, transcriptomic, inflammatory and histopathology disorders caused by deltamethrin toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Fish & Shellfish Immunology. 2020;98:301-311. doi: 10.1016/j.fsi.2020.01.035

22. Diab AM, Salem RM, Abeer E-KMS, Ali GIE, El-Habashi N. Experimental ochratoxigenesis A in Nile tilapia and its amelioration by some feed additives. International Journal of Veterinary Science and Medicine. 2018;6(2):149-158. doi: 10.1016/j.ijvsm.2018.09.004

23. Ding Q, Lu C, Hao Q, Zhang Q, Yang Y, Olsen RE, Ringo E, Ran C, Zhang Z, Zhou Z. Dietary succinate impacts the nutritional metabolism, protein succinylation and gut microbiota of zebrafish. Frontiers in Nutrition. 2022;9:894278. doi: 10.3389/fnut.2022.894278

24. Fiorella KJ, Okronipa H, Baker K, Heilpern S. Contemporary aquaculture: implications for human nutrition. Current Opinion in Biotechnology. 2021;70:83-90. doi: 10.1016/j.copbio.2020.11.014

25. Fuentes C, Fuentes A, Barat JM, Ruiz MJ. Relevant essential oil components: a minireview on increasing applications and potential toxicity. Toxicology Mechanisms and Methods. 2021;31(8):559-565. doi: 10.1080/15376516.2021.1940408

26. Ghirmai S, Wu H, Axelsson M, Matsuhira T, Sakai H, Undeland I. Exploring how plasma- and muscle-related parameters affect trout hemolysis as a route to prevent hemoglobin-mediated lipid oxidation of fish muscle. Scientific Reports. 2022;12(1):13446. doi: 10.1038/s41598-022-16363-4

27. Gupta DS, Kumar MS. The implications of quorum sensing inhibition in bacterial antibiotic resistance- with a special focus on aquaculture. Journal of Microbiological Methods. 2022;203:106602. doi: 10.1016/j.mimet.2022.106602

28. Hassaan MS, Soltan MA, Mohammady EY, Elashry MA, El-Haroun ER, Davies SJ. Growth and physiological responses of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fed dietary fermented sunflower meal inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus subtilis*. Aquaculture. 2018;495:592-601. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.06.018

29. Isla A, Sánchez P, Ruiz P, Alborno R, Pontigo JP, Rauch MC, Hawes C, Vargas-Chacoff L, Yáñez AJ. Effect of low-dose *Piscirickettsia salmonis* infection on haematological-biochemical blood parameters in Atlantic salmon (*Salmo salar*). Journal of Fish Biology. 2022;101(4):1021-1032. doi: 10.1111/jfb.15167

30. Kanu KC, Okoboshi AC, Otitoloju AA. Haematological and biochemical toxicity in freshwater fish *Clarias gariepinus* and *Oreochromis niloticus* following pulse exposure to atrazine, mancozeb, chlorpyrifos, lambda-cyhalothrin, and their combination. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. 2023;270:109643. doi: 10.1016/j.cbpc.2023.109643

31. Kesbic OS, Acar U, Hassaan MS, Yilmaz S, Guerrero MC, Fazio F. Effects of tomato paste by-product extract on growth performance and blood parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). Animals (Basel). 2022;12(23):3387. doi: 10.3390/ani12233387

- 32.Khan S, Moore RJ, Stanley D, Chousalkar KK. The gut microbiota of laying hens and its manipulation with prebiotics and probiotics to enhance gut health and food safety. *Applied and Environmental Microbiology*. 2020;86(13):e00600-20. doi: 10.1128/AEM.00600-20
- 33.Klykken C, Khan E, Karlsen C, Reed AK, Attramadal KJK, Olsen RE, Boissonnot L. Nephrocalcinosis in juvenile farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*) may be linked to osmoregulatory stress. *Journal of Fish Diseases*. 2023;46(9):13815. doi: 10.1111/jfd.13815
- 34.Liang Q, Yuan M, Xu L, Lio E, Zhang F, Mou H, Secundo F. Application of enzymes as a feed additive in aquaculture. *Marine Life Science & Technology*. 2022;4(2):208-221. doi: 10.1007/s42995-022-00128-z
- 35.Liu WB, Wang MM, Dai LY, Dong AH, Yuan XD, Yuan XD, Yuan SL, Tang Y, Liu JH, Peng LY, Xiao YM. Enhanced immune response improves resistance to cadmium stress in triploid crucian carp. *Frontiers in Physiology*. 2021;12:666363. doi: 10.3389/fphys.2021.666363
- 36.Liu Y, Liu S, Huang J, Liu Y, Wang Q, Chen J, Sun L, Tu W. Mitochondrial dysfunction in metabolic disorders induced by per- and polyfluoroalkyl substance mixtures in zebrafish larvae. *Environment International*. 2023a;176:107977. doi: 10.1016/j.envint.2023.107977
- 37.Liu Y, Sun L, Huo Y-X, Guo S. Strategies for improving the production of bio-based vanillin. *Microbial Cell Factories*. 2023b;22(1):147. doi: 10.1186/s12934-023-02144-9
- 38.Nabi N, Ahmed I, Wani GB. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2022;29(4):2942-2957. doi: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019
- 39.Naguib M, Mahmoud UM, Mekkiaw IA, Sayed AEH. Hepatotoxic effects of silver nanoparticles on *Clarias gariepinus*; Biochemical, histopathological, and histochemical studies. *Toxicology Reports*. 2020;7:133-141. doi: 10.1016/j.toxrep.2020.01.002
- 40.Nami Y, Kahieshesfandiari M, Lornezhad G, Kiani A, Elieh-Ali-Komi D, Jafari M, Jaymand M, Haghshenas B. Administration of microencapsulated *Enterococcus faecium* ABRINW.N7 with fructo-oligosaccharides and fenugreek on the mortality of tilapia challenged with *Streptococcus agalactiae*. *Frontiers in Veterinary Sciences*. 2022;9:938380. doi: 10.3389/fvets.2022.938380
- 41.Naylor RL, Hardy RW, Buschmann AH, Bush SR, Cao L, Klinger DH, Little DC, Lubchenco J, Shumway SE, Troell M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*. 2021;591:551-563. doi: 10.1038/s41586-021-03308-6
- 42.Ni M, Liu M, Lou J, Mi G, Yuan J, Gu Z. Stocking density alters growth performance, serum biochemistry, digestive enzymes, immune response, and muscle quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in in-pond raceway system. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2021;47(4):1243-1255. doi: 10.1007/s10695-021-00948-3
- 43.Puri P, Sharma JG, Singh R. Biotherapeutic microbial supplementation for ameliorating fish health: developing trends in probiotics, prebiotics, and synbiotics use in finfish aquaculture. *Animal Health Research Reviews*. 2022;23(2):113-115. doi: 10.1017/S1466252321000165
- 44.Rahman M, Paul SI, Rahman A, Haque S, Ador AA, Foysal J, Islam T, Rahman M. Suppression of streptococcosis and modulation of the gut bacteriome in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the marine sediment bacteria *Bacillus haynesii* and *Advenella mimigardefordensis*. *Microbiology Spectrum*. 2022;10(6):e0254222. doi: 10.1128/spectrum.02542-22
- 45.Siebel H, Baßmann B, Rebl A. Blood will tell: what hematological analyses can reveal about fish welfare. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021;8:616955. doi: 10.3389/fvets.2021.616955
- 46.Singh M, Barman AS, Devi AL, Devi AG, Pandey PK. Iron mediated hematological, oxidative and histological alterations in freshwater fish *Labeo rohita*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019;170:87-97. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.11.129
- 47.Song X, Liu H, Jin J, Han D, Zhu X, Yang Y, Xie S. Data mining evidences variabilities in glucose and lipid metabolism among fish strains: a case study on three genotypes of gibel carp fed by different carbohydrate sources. *Aquaculture Nutrition*. 2023;2023:7589827. doi: 10.1155/2023/7589827

48. Sved R, Masood Z, Hassan HUI, Khan W, Mushtaq S, Ali A, Gui Y, Jafari H, Habib A, Ali Shah MI, Gabol K, Gul H, Ullah A. Growth performance, haematological assessment and chemical composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fed different levels of Aloe vera extract as feed additives in a closed aquaculture system. Saudi Journal of Biological Sciences. 2022;29(1):296-303. doi: 10.1016/j.sbs.2021.08.098

49. Torres M, Dessaux Y, Llamas I. Saline Environments as a Source of Potential Quorum Sensing Disruptors to Control Bacterial Infections: A Review. Marine drugs. 2019;17(3):191. doi: 10.3390/md17030191

50. Ullah M, Yousafzai AM, Muhammad I, Ullah SA, Zahid M, Khan MI, Khan K, Khayyam, Nayab GE, Aschner M, Alsharif KF, Alzahrani KJ, Khan H. Effect of cypermethrin on blood hematology and biochemical parameters in fresh water fish *Ctenopharyngodon idella* (Grass Carp). Cell and Molecular Biology. 2022;68(10-10):15-20. doi: 10.14715/cmb/2022.68.10.3

51. Wang H, Feng Y, Ming M, Song J, Chen Z, Xiao Z. Amelioration of Cd-induced bioaccumulation, hematological parameters, and heat shock protein-related genes by Vitamin C on common carp. Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & Pharmacology. 2022;258:109362. doi: 10.1016/j.cbpc.2022.109362

52. Witeska M, Kondera E, Bojarski B. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology-a review. Animals (Basel). 2023;13(16):2625. doi: 10.3390/ani13162625

53. Xu M, Wang T, Wang J, Wan W, Wang Z, Guan D, Sun H. An evaluation of mixed plant protein in the diet of Yellow River carp (*Cyprinus carpio*): growth, body composition, biochemical parameters, and growth hormone/insulin-like growth factor 1. Fish Physiol Biochem. 2019;45(4):1331-1342. doi: 10.1007/s10695-019-00641-6

54. Zhang L, Liu Z, Deng Y, He C, Liu W, Li X. The benefits of nanosized magnesium oxide in fish *Megalobrama amblycephala*: evidence in growth performance, redox defense, glucose metabolism, and magnesium homeostasis. Antioxidants (Basel). 2023;12(7):1350. doi: 10.3390/antiox12071350

Информация об авторе:

Марина Сергеевна Мингазова, ассистент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-922-853-24-46.

Елена Петровна Мирошникова, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-987-862-98-86.

Юлия Владимировна Киякова, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-961-920-40-64.

Азамат Ерсанович Аринжанов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-922-806-33-43.

Information about the authors:

Marina S Mingazova, Assistant of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel: 8-922-853-24-46.

Elena P Miroshnikova, Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-987-862-98-86.

Yulia V Kilyakova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-961-920-40-64.

Azamat E Arinzhanov, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-922-806-33-43.

Статья поступила в редакцию 09.10.2024; одобрена после рецензирования 28.12.2024; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 09.10.2024; approved after reviewing 28.12.2024; accepted for publication 17.03.2025.

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 175-186.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 175-186.

Научная статья
УДК 636.088.663:636.085.54
doi:10.33284/2658-3135-108-1-175

**Оценка степени усвояемости корма при содержании собак служебных пород
на готовом рационе**

**Ирина Олеговна Крылова¹, Наталья Николаевна Трапезникова²,
Виктор Павлович Мурыгин³**

^{1,2}Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, Пермь, Россия

³Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь, Россия

¹irinabelevich@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7731-5225>

²trapeznat@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4323-0388>

³mvp21717@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-8475-6178>

Аннотация. В статье проанализированы данные по оценке усвояемости готового рациона Grand Prix на основе индейки и говядины у служебных собак. В ходе исследования установлено, что питательная ценность с учетом переваримости готового рациона не удовлетворена у всех собак анализируемой выборки: коэффициент переваримости корма по белкам составил в среднем 39,04 % у служебных собак породы немецкая овчарка и 48,44 % – у собак породы бельгийская овчарка (малинуа). Количество жиров в готовом рационе в среднем в 2,6 раза превышало суточную потребность животных при переваримости 89,00 %. Общий коэффициент переваримости по основным компонентам корма составил 63,54 % для немецкой овчарки и 68,41 % – для бельгийской овчарки (малинуа), в то время как расчетный показатель по данным производителя составил 88,09 %. Сформулированы проблемные вопросы практики выбора корма для служебных собак по степени усвояемости.

Ключевые слова: служебные собаки, рацион кормления, полнорационный сухой корм, потребность в макронутриентах, усвояемость корма

Для цитирования: Крылова И.О., Трапезникова Н.Н., Мурыгин В.П. Оценка степени усвояемости корма при содержании собак служебных пород на готовом рационе // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 175-186. [Krylova IO, Trapeznikova NN, Murygin VP. Assessment of the degree of digestibility of feed when keeping dogs of service breeds on a ready-made diet. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):175-186. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-175>

Original article

**Assessment of the degree of digestibility of feed when keeping dogs of service breeds
on a ready-made diet**

Irina O Krylova¹, Natalia N Trapeznikova², Viktor P Murygin³

^{1,2}Perm Military Institute of the National Guard of the Russian Federation, Perm, Russia

³Perm State Agrarian and Technological University, Perm, Russia

¹irinabelevich@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7731-5225>

²trapeznat@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4323-0388>

³mvp21717@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-8475-6178>

Abstract. The article analyzes data on the assessment of the digestibility of the ready-made Grand Prix diet based on turkey and beef in service dogs. The study found that the nutritional value,

taking into account the digestibility of the ready-made diet, was not satisfied in all dogs of the analyzed sample: the protein digestibility coefficient averaged 39.04% in service dogs of the German Shepherd breed and 48.44% in dogs of the Belgian Shepherd breed (Malinois). The amount of fat in the ready-made diet was on average 2.6 times higher than the daily requirement of animals with a digestibility of 89.00%. The total digestibility coefficient for the main components of the feed was 63.54 % for the German Shepherd and 68.41% for the Belgian Shepherd (Malinois), while the calculated indicator according to the manufacturer was 88.09 %. Problematic issues of the practice of choosing food for service dogs according to the degree of digestibility are formulated.

Keywords: service dogs, diet, complete dry food, macronutrient requirements, digestibility of feed

For citation: Krylova IO, Trapeznikova NN, Murygin VP. Assessment of the degree of digestibility of feed when keeping dogs of service breeds on a ready-made diet. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):175-186. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-175>

Введение.

Современный этап характеризуется сложным периодом адаптации отечественных производителей полнорационных сухих кормов к качеству сырья. Главная проблема кроется не только в количестве ингредиентов, закладываемых при приготовлении сбалансированного рациона для непродуктивных животных, но и в их качестве – такой химической форме веществ, при которой биодоступность макро- и микроэлементов и витаминов будет максимальной (Иванищева А.П. и др., 2023). Расчеты показателей усвояемости энергии корма согласно стандарту (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 55453-2022) по данным производителя устраивают потребителя до момента скармливания готового рациона питомцу. Расчетные данные для ряда кормов действительно показывают достаточный уровень переваримости и энергии корма, но на практике специалисты-кинологи сталкиваются с различными патологическими изменениями функциональных систем служебного животного, аллергическими реакциями, диареей, пищевыми расстройствами. Особую проблему при этом представляет несовершенство протеинового компонента – форма введения в готовый рацион, а главное – его переваримость. Белки как основные питательные вещества рациона собак представляют собой органические высокомолекулярные полимеры, состоящие из аминокислот, встречающиеся во всех клетках, тканях и жидкостях и играющие центральную роль в процессах жизнедеятельности клеток и в формировании клеточных структур. Белок считается ключевым питательным веществом в кормлении животных, не только обеспечивая их аминокислотами, но и являясь источником азота для синтеза микробного белка (Гречкина В.В. и др., 2021). Следует помнить, что белки являются одним из основных питательных веществ рациона собак – плотоядных животных, хищников, со сдвигом метаболизма в белково-липидную сторону. Белки животного происхождения отличаются повышенной переваримостью – в среднем 90,0 %, а белки растительного происхождения – не более 70,0 % (Садыкова Ю.Р. и Крылова И.О., 2022; Плотников Д.В. и Ситников В.А., 2020; Гречкина В.В. и др., 2021). Особое внимание в оценке энергетической ценности готовых рационов должно отводиться усвоению белков (Шевченко Е.А. и Баюров Л.И., 2020; Шляпников С.М. и др., 2012). Балластные вещества в продуктах растительного происхождения усиливают перистальтику желудочно-кишечного тракта, способствуют более быстрому выведению невсосавшихся аминокислот из организма. Кроме того, клетчатка, входящая в состав клеточных оболочек, ухудшает проникновение пищеварительных ферментов внутрь клеток.

По мнению некоторых авторов, собаки не могут адаптироваться к полноценному перевариванию и усвоению ингредиентов промышленных кормов, при приготовлении которых происходит денатурация белков и экзогенных ферментов, являющихся также белками. Кроме того, многие из них инактивируются и денатурируются в очень кислой среде желудка, не достигая тонкого кишечника, где и происходят основные процессы гидролиза и всасывания питательных веществ (Шевченко Е.А. и Баюров Л.И., 2020).

В 2013 году Hewson-Hughes АК с соавторами в ходе исследования установили, что белково-жиро-углеводный профиль питания волков описывается следующим соотношением по энергии: 54,0 %:45,0 %:1,0 % и довольно сильно отличается от белково-жиро-углеводного профиля питания у собак: 30,0 %:63,0 %:7,0 %. Ученые считают, что «липидный» отбор собак в ранний период приручения был определен их адаптацией к диете, связанной с людьми, которая состояла из антропогенных отходов растительного и животного происхождения.

Таким образом, при выборе готового рациона питания для служебных собак специалисту-кинологу необходимо руководствоваться, прежде всего, особенностями физиологии собаки, знать функции системы пищеварения, природные особенности чувствительности пищеварительного тракта. Осуществлять анализ рациона кормления как на общую калорийность, так и на нормативность количества и соотношения основных питательных компонентов, уметь пользоваться стандартными расчетными таблицами. При смене рациона осуществлять контроль за основными функциональными системами организма совместно с ветеринарным специалистом.

Цель исследования.

Произвести оценку степени усвояемости корма Grand Prix при содержании собак служебных пород на готовом рационе.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Служебные собаки породы немецкая и бельгийская овчарка (малинуа).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследование проводилось на учебном комплексе кинологического факультета Пермского военного института войск национальной гвардии Российской Федерации в осенне-зимний период. Кормление служебных собак осуществлялось полнорационным сухим кормом Grand Prix с индейкой и говядиной для взрослых собак крупных пород (ООО «ГросШеф», Московская область, г. Дмитров, Россия). Рацион кормления представляет собой раскладку продуктов согласно приказа Росгвардии (Об утверждении Порядка..., 2020).

Подбор собак для проведения исследования производился на основании сбора анамнеза, первичного осмотра с ветеринаром, клинического обследования (ГОСТ Р 58090-2018). Для эксперимента подобраны две группы служебных собак по три головы породы бельгийская (малинуа) и немецкая овчарки. Вольерное содержание собак было в одинаковых климатических условиях, с умеренной физической нагрузкой, кормление готовым рационом – идентичное, утром и вечером, в одно и то же время. Количество полнорационного корма на собаку весом от 10 до 23 кг – 400 грамм в сутки, весом от 23 до 40 кг – 600 грамм в сутки (Об утверждении Порядка..., 2020). Вода находилась в свободном доступе.

Суточную потребность собак в питательных веществах определяли исходя из нормативных показателей. Оценка удовлетворения потребностей собак в макронутриентах производили путем анализа теоретических и расчетных данных по рецептуре готового рациона в соответствии с нормативными данными (Ветеринарно-санитарные нормы..., 1997; ГОСТ Р 55453-2022).

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы лаборатории освоения агрозоотехнологий Пермского государственного аграрно-технологического университета (г. Пермь). Для оценки переваримости питательных веществ готового рациона согласно стандартам определяли сырой протеин (ГОСТ 13496.4), сырой жир (ГОСТ 13496.15-2016), сырую клетчатку (ГОСТ 31675-2012). Сахара определяли по методу

Бертрана с последующим расчетом коэффициента переваримости питательных веществ (Попов И.С., 1957). Пробы фекалий, собранные в стерильные контейнеры, подвергали копрологическому анализу согласно стандартным методикам макро- и микроскопического анализа (Микроскопические исследования ..., 2009; Методы ветеринарной клинической..., 2004).

Статистическая обработка. Результаты исследований подвергали статистической обработке с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и «STADIA 6.2» (Google, США) – находили среднее арифметическое значение (M), ошибку средней (m), достоверность отличий проверяли по методу Стьюдента и Фишера, проводили корреляционный анализ. Уровень значимой разницы $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Анализ состава готового рациона, заявленного производителем, выявил соответствие значений основных макронутриентов и отдельных ингредиентов в диапазонах, указанных в стандарте (табл. 1).

Таблица 1. Качественный состав сухого корма Grand Prix с индейкой и говядиной
Table 1. The qualitative composition of the Grand Prix with turkey and beef

Показатель, % / Indicator, %	Значения по ГОСТ* / Value according to GOST*	Данные производителя / Manufacturer's data
Сырой протеин/Raw protein	не < 18,00	26,00
Сырой жир/Raw fat	не < 5,00	13,00
Углеводы/Carbohydrates	-	43,70
Сырая зола/Raw ash	не > 11,00	7,30
Сырая клетчатка/Raw fiber	не > 5,80	2,00
Влажность/Humidity	-	8,00
Калий/Potassium	-	0,62
Натрий/Sodium	-	0,17
Кальций/Calcium	не < 0,60	1,30
Магний/Magnesium	-	0,10
Фосфор/Phosphorus	не < 0,50	1,00
Омега 3/омега 6 /Omega 3/ omega 6	-	0,50/3,60
Сумма метионина и цистина / The sum of methionine and cystine	-	0,80
Лизин/Lysine	-	1,60
Триптофан/Tryptophan	-	0,25
Таурин/Taurine	-	0,10
Энергетическая ценность, ккал/100 г / Energy value, kcal/100 g	не < 370,00	376,00

Примечание: * – ГОСТ Р 55453-2022 от 17.03.2022 г.; «-» – нет данных

Note: * – State Standart R 55453-2022 dated 03/17/2022; «-» – no data available

На основании первичных данных по качественным показателям произведен расчет энергетической и питательной ценности сухого корма для собак, которые, согласно рациона и роста-весовым характеристикам, получали по 600,0 г и по 400,0 г корма (табл. 2).

Энергетическая потребность служебной собаки весом 30 кг при средней степени использования в службе (96 ккал/кг массы тела) составляет 2880 ккал/сут, в зимнее время (коэффициент 1,3) – 3744,0 ккал/сут.

Таблица 2. Оценка макронутриентного состава и энергетической ценности суточного рациона
 Table 2. Assessment of the macronutrient composition and energy value of the daily diet

Показатель / Indicator	Содержание в 100 г корма / Content in 100 g of feed	Содержание в 400/600 г корма / Content in 400/600 g of feed	Калорийность (400/600 г) / Calorie content (400/600 g)	% от суточной энергоценности / % of the daily energy value
Белки, г / Proteins, g	26,00	104,00 / 156,00	426,40 / 639,60	26,21
Жиры, г / Fats, g	13,00	52,00 / 78,00	483,60 / 725,40	29,73
Углеводы, г / Carbohydrates, g	43,70	174,80 / 262,20	716,68 / 1075,02	44,06
Калорийность расчетная только на Б/Ж/У / The caloric content is calculated only for used			1626,68 / 2440,02	100,00
$376 (1575 \text{ кДж}) \times (400 \text{ г}) / (600 \text{ г}) = 1504 \text{ ккал} / 2256 \text{ ккал}$ $376 (1575 \text{ kJ}) \times (400 \text{ g}) / (600 \text{ g}) = 1504 \text{ kcal} / 2256 \text{ kcal}$				

Согласно ГОСТ Р 55453-2022 произведен расчет энергетической ценности корма Grand Prix с индейкой и говядиной, базируясь на исходных данных состава сухого корма, указанного производителем:

БЭВ (безазотистые экстрактивные вещества в продукте) (г/100 г):

$$100 - (8,0 \% + 26,0 \% + 13,0 \% + 7,3 \% + 2,0 \%) = 43,7 \text{ г/100 г}$$

ВЭ (валовая энергия корма) (ккал/100 г):

$$(5,7 \times 26,0 \%) + (9,4 \times 13,0 \%) + [4,1 \times (43,7 \text{ г/100 г} + 2,0 \%)] = 457,77 \text{ ккал/100 г}$$

% переваримости энергии:

$$91,2 - (1,43 \times 2,0 \% \times 100) / (100 - 8,0 \%) = 88,09 \%$$

перевариваемая энергия:

$$457,77 \times 88,09 \% / 100 = 403,25 \text{ ккал/100 г}$$

обменная (метаболическая) энергия:

$$403,25 - (1,04 \times 26,0 \%) = 376,21 \text{ ккал/100 г}$$

Итак, у собаки весом 30 кг при потреблении в сутки 600 г полнорационного корма Grand Prix с индейкой и говядиной:

БЭВ должна составлять 262,2 г в сутки;

ВЭ – 2746,62 ккал в суточной норме корма;

расчетная усвояемость энергии корма – 88,09 %;

расчетная перевариваемая энергия корма в сутки – 2419,5 ккал;

расчетная обменная энергия корма в сутки – 2257,26 ккал.

С целью оценки усвояемости готового рациона у анализируемой выборки собак предварительно было проведено копрологическое исследование. Получены следующие результаты:

(1 – макроскопия): форма и консистенция кала в 83,0 % случаев – оформленная и мягкая, без признаков диареи; цвет кала – зеленый и зелено-коричневый у всех исследуемых проб, что не соответствует норме; во всех пробах отмечено присутствие примесей в виде шерсти, сухой травы, семени злаков; кислотность проб в нормативном пределе в 83,0 % случаев составила от 5,5 до 6,5 pH; белок обнаружен в следовых количествах у пяти особей от общего числа выборки; отмечено присутствие гемоглобина, обнаруженного с помощью тест-полосок (в норме – отсутствует);

(2 – микроскопия): наличие непереваренных мышечных волокон – у двух особей; отсутствие жирных кислот – у всей анализируемой выборки; растительная перевариваемая клетчатка, отсутствующая в норме, выявлена в большом количестве у всех особей; неперевариваемая клетчатка избыточно обнаружена в кале у 50,0 % особей; обнаружены внутри- и внеклеточный крахмал, детрит, полиформные бактерии – у всех особей выборки; яйца глистов и простейших не выявлены. По породному признаку отличий по копрограмме не выявлено.

Расчет коэффициента переваримости полнорационного сухого корма Grand Prix с индейкой и говядиной, произведенный по данным, указанным производителем, составил 88,09 %, что является высоким показателем. Однако, опираясь на объективные данные (отрицательная динамика весовых характеристик собак анализируемой выборки, данные копрологического исследования, физикальные показатели и пр.), была проведена оценка усвояемости полнорационного сухого корма. Усвояемость готового рациона анализировалась по породному признаку (табл. 3).

Таблица 3. Переваримость питательных веществ готового рациона у собак породы немецкая/бельгийская овчарка

Table 3. The digestibility of the nutrients of the ready-made diet in German/ Belgian Shepherd dogs

Показатель / <i>Indicator</i>	Сырой протеин / <i>Crude protein</i>	Сырой жир / <i>Crude fat</i>	Легкоусвояемые углеводы / <i>Easily digestible carbohydrates</i>	Сырая клетчатка / <i>Crude fiber</i>
В г/100 г сухого корма / <i>Per g/100 g of dry food</i>	26,00	13,00	43,70	2,00
Выделено переваренных веществ в кале, г/100 г, $M \pm m$ / <i>Excreted digested substances in feces, g/100 g, $M \pm m$</i>	15,84 $\pm$ 1,628 / 13,41 $\pm$ 1,119	1,78 $\pm$ 0,105 / 1,41 $\pm$ 0,289	1,20 $\pm$ 0,027 / 1,29 $\pm$ 0,138	1,37 $\pm$ 0,202 / 1,22 $\pm$ 0,110
Переварено, г, $M \pm m$ / <i>Digested, g, $M \pm m$</i>	10,16 $\pm$ 1,628 / 12,59 $\pm$ 1,119	11,22 $\pm$ 0,105 / 11,59 $\pm$ 0,289	42,50 $\pm$ 0,027 / 42,41 $\pm$ 0,138	0,63 $\pm$ 0,202 / 0,78 $\pm$ 0,110
Коэффициент переваримости, %, $M \pm m$ / <i>Digestibility coefficient, %, $M \pm m$</i>	39,09 $\pm$ 6,260 / 48,44 $\pm$ 4,304	86,31 $\pm$ 0,810 / 89,13 $\pm$ 2,220	97,25 $\pm$ 0,063 / 97,05 $\pm$ 0,314	31,50 $\pm$ 10,120 / 39,00 $\pm$ 5,508
Коэффициент переваримости сухого корма, %, $M \pm m$ / по ГОСТ / <i>The coefficient of digestibility of dry food, %, $M \pm m$ / according to GOST</i>	63,54 $\pm$ 16,530 / 88,09 (для немецкой овчарки)* / 63,54 $\pm$ 16,530 / 88,09 (for the German Shepherd)* 68,41 $\pm$ 14,470 / 88,09 (для бельгийской овчарки)* / 68,41 $\pm$ 14,470 / 88,09 (for the Belgian Shepherd)*			

Примечание: * – достоверная разница опытных данных с расчетными данными ($P \leq 0,05$)

Note: * – significant difference between experimental data and calculated data ($P \leq 0.05$)

Таким образом, экспериментальные коэффициенты переваримости сухого корма составили в среднем 63,54 % для немецкой овчарки и 68,41 % для бельгийской овчарки (малинуа).

Данные по переваримости сухого корма соотнесены с потребностью собак анализируемой выборки в питательных веществах (табл. 4).

Анализ данных показывает, что питательная ценность с учетом переваримости готового рациона не удовлетворена у всех собак анализируемой выборки породы немецкая овчарка: коэффициент переваримости корма по белкам составил 39,09 %; по жирам – 86,31 % (количество завышено в 2,6 раза по сравнению с потребностью), по углеводам – 97,25 %.

Для бельгийской овчарки (малинуа) получены следующие данные: коэффициент переваримости корма по белкам составил 48,44 %; по жирам – 89,13 % (количество завышено в 2,6 раза по сравнению с потребностью), по углеводам – 97,05 %.

Данные по переваримости сухого корма соотнесены с динамикой веса собак: у собак породы немецкая овчарка – положительная динамика в среднем на 0,66 кг за период исследования, у собак породы бельгийская овчарка (малинуа) – отрицательная динамика в среднем на 1,0 кг живого веса.

Таблица 4. Средняя суточная потребность собак в питательных веществах
 Table 4. Average daily nutritional needs of dogs

Количество голов /Number of heads	Средний вес группы, кг /The average weight of the group, kg	Потребность г/сут, расчет по весу / Demand g/day, calculation by weight			Усвоено из корма, г/сут / Digested from feed, g/day		
		белки /proteins	жиры /fats	углеводы /carbohydrates	белки /proteins	жиры /fats	углеводы /carbohydrates
Получали по 600 г Бельгийские овчарки / Belgian Shepherds received 600 g each							
3	23,00	103,50	23,00	230,00	50,13	71,86	254,24
Получали по 600 г Немецкие овчарки / German Shepherds received 600 g each							
2	23,90	107,55	23,90	239,00	60,90	67,31	254,99
Получали по 400 г Немецкие овчарки / German Shepherds received 400 g each							
1	21,50	96,75	21,50	215,00	53,48	44,40	169,92

Обсуждение полученных результатов.

Потребность в пище – одна из первичных биологических потребностей, направленная на поддержание гомеостаза организма. Качество кормления является одним из факторов обеспечения здоровья и высокой работоспособности служебной собаки. Благодаря пище в организм животного поступают и усваиваются вещества, необходимые для восполнения энергетических и пластических затрат, построения и возобновления тканей и регуляции жизнедеятельности. Скармливание полнорационных кормов служебным собакам зависит от множества факторов и, в частности, от их качества и питательности. Под питательностью понимают свойство корма удовлетворять потребности организма животного. Питательность корма определяется тремя критериями: химическим составом корма; степенью переваримости; степенью усвоения питательных веществ. Усвояемость корма это доля вещества, использованная организмом от поступившего, зависит от переваримости корма и степени всасывания (Гречкина В.В. и др., 2021). Средние коэффициенты усвояемости питательных веществ собаками по литературным данным составляют: для белков 85,0 %, жиров – 94,0 %, легкоусвояемых углеводов – 96,0 % (Хохрин С.Н., 2001). Совершенно очевидно, что рабочие качества служебных собак и эффективность применения их в служебной деятельности зависят от состава потребляемого корма, который должен удовлетворять потребности её организма как качественно, так и количественно. При производстве кормов достаточно сложно обеспечить поддержание необходимого баланса между потреблением и расходом энергии у собак. Оценка энергозатрат предусматривает учет многих факторов (Садыкова Ю.Р. и Крылова И.О., 2022; Шевченко Е.А. и Баюров Л.И., 2020). Качество готового рациона исходит из его ингредиентного состава.

Расчеты показателей усвояемости энергии корма по ГОСТ Р 55453-2022, по данным производителя, показывают достаточный уровень переваримости и энергии корма Grand Prix, но экспериментальные данные по анализу переваримости, включающие объективное физикальное наблюдение, биохимические показатели животных, копрологию, аналитические работы по определению сырого протеина, сырого жира, легкоусвояемых углеводов и сырой клетчатки в пробах фекалий констатируют снижение усвояемости корма в среднем до 63,54 % у собак породы немецкая овчарка (усвояемость белка снижена до 39,09 %) и 68,41 % – у собак породы бельгийская овчарка (малинуа) (усвояемость белка – 48,44 %).

В ходе исследования при скармливании готового рациона наблюдалось отсутствие положительной росто-весовой динамики согласно возрасту, отмечались случаи возникновения аллергической реакции на компоненты. По данным ветеринарного специалиста, проявление аллергической реакции выявлено у 24,00 % голов служебного поголовья. У служебных собак породы бельгийская овчарка (малинуа) наблюдались алопеции в подмышечных и паховых

областях, покраснение кожи, расстройство функций желудочно-кишечного тракта. Перевод собак на гипоаллергенный корм ситуацию стабилизировал частично – 5 голов с аллергическими проявлениями переведены на натуральное кормление (суп-кашица). Функциональные системы собак породы немецкая овчарка оказались менее реактивными на компоненты готового рациона – у одной собаки констатирован серозный двухсторонний конъюнктивит, перевод на гипоаллергенный корм не улучшил состояние, переведена на натуральное кормление.

Практические рекомендации по выбору корма для служебных собак по степени усвояемости:

- в местах постоянной дислокации при стационарном вольерном содержании служебного поголовья в зимний период для умеренных природных зон с ярко выраженной сезонностью и низкими температурами и перепадами, со сложностями соблюдения водного режима в условиях отрицательных температур предпочесть натуральное кормление, исходя из роста-весовых и расчетных данных суточной потребности собаки в энергии при средней степени использования в работе – 96 ккал/кг живого веса;

- в местах временной дислокации, при транспортировке, в служебных командировках использовать полнорационный сухой корм – готовый рацион, подобранный с учетом роста-весовых характеристик для собак (щенков), со строгим соблюдением водного режима. Использовать полнорационный корм с выверенной и адаптированной усвояемостью в предварительной скрининг-группе для пробного скармливания;

- соблюдать расчет пропорций основных микронутриентов в готовых и натуральных рационах для непродуктивных плотоядных животных;

- при выборе готового рациона ориентироваться на породные особенности собак, поскольку потребление энергии зависит от толщины кожи и шерстного покрова, состава тела (соотношение мышечной и жировой массы), типа конституции или условий их содержания и использования;

- пересмотреть дозировку полнорационного сухого корма для щенков и взрослого животного по весу и в соответствии с породными особенностями собак: согласно Стандарту породы бельгийская овчарка вес у кобелей – 25-30 кг (Стандарт FCI N 015/EN от 19.04.2002), у сук – 20-25 кг. Для кобелей немецкой овчарки вес – 30-40 кг, для сук вес – 22-32 кг (Стандарт FCI № 166/23.12.2010/DE Немецкая овчарка).

Заключение.

Таким образом, показатели питательной и энергетической ценности готовых рационов являются значимыми индикаторами, влияющими на функциональное состояние организма служебной собаки. В настоящее время питательная ценность компонентов готовых рационов, получаемых, в том числе и из натуральных продуктов, снижается в связи с ухудшением экологической обстановки. В условиях искусственного содержания продуктивных животных и птицы, применения антибиотических средств и добавок ценность пищевого сырья варьирует, иногда снижена. Проблема усвоения питательных веществ из готовых рационов у служебных собак нарастает, опосредовано влияя на качество, скорость, использование природных возможностей анализаторов, выполнения поставленных служебно-боевых задач.

Список источников

1. Ветеринарно-санитарные нормы и требования к качеству кормов для непродуктивных животных: утв. указанием Департамента ветеринарии Минсельхозпрода РФ от 15.07.1997 г. № 13-7-2/1010. [Veterinarno-sanitarnye normy i trebovaniya k kachestvu kormov dlya neproduktivnyh zhivotnyh: utv. ukazaniem Departamenta veterinarii Minsel'hozproda RF ot 15.07.1997 g. № 13-7-2/1010. (*In Russ.*)].
2. ГОСТ Р 53434-2009. Принципы надлежащей лабораторной практики. Введ. 2010-03-01. М.: Стандартиформ, 2010. 11 с. [GOST P 53434-2009. Principles of good laboratory practice. Vved. 2010-03-01. Moscow: Standartinform; 2010:11 p. (*In Russ.*)].

3. ГОСТ 31675-2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. Введ. 01.07.2013. М.: Стандартинформ, 2020. 9 с. [GOST 31675-2012. Feeds. Methods for determination of crude fibre content with intermediate filtration. Vved. 01.07.2013. Moscow: Standartinform; 2020:9 p. (*In Russ.*)].
4. ГОСТ 13496.15-2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира. Введ. 01.01.2018. М.: Стандартинформ, 2020. 9 с. [GOST 13496.15-2016. Feeds, mixed feeds, feed raw material. Methods for determining the raw fat content. Vved. 01.01.2018. Moscow: Standartinform; 2020:9 p. (*In Russ.*)].
5. ГОСТ Р 58090-2018. Клиническое обследование непродуктивных животных. Общие требования. Введ. 01.10.2018. М.: Стандартинформ, 2018. 12 с. [GOST Р 58090-2018. Clinical examination of unproductive animals. General requirements. Vved. 01.10.2018. Moscow: Standartinform; 2018:12 p. (*In Russ.*)].
6. ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. Введ. 01.08.2020. М.: Стандартинформ, 2019. 15 с. [GOST 13496.4-2019. Fodder, mixed fodder and raw mixed fodder. Methods of nitrogen and crude protein determination. Vved. 01.08.2020. Moscow: Standartinform; 2019:15 p. (*In Russ.*)].
7. ГОСТ Р 55453-2022. Корма для непродуктивных животных. Общие технические условия. Введ. 01.07.2022. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 56 с. [GOST R 55453-2022. Feeding stuffs for nonproductive animals. General specifications. Vved. 01.07.2022. Moscow: Rossijskij institut standartizacii; 2022:56 p. (*In Russ.*)].
8. Макро- и микроэлементы в питании животных: многообразие веществ и форм (обзор) / А.П. Иванищева, Е.А. Сизова, А.М. Камирова, Л.Л. Мусабаева, М.В. Соловьёв // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 2. С. 85-111. [Ivanishcheva AP, Sizova EA, Kamirova AM, Musabaeva LL, Solovyov MV. Macro- and microelements in animal nutrition: variety of substances and forms (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):85-111. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-85
9. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник / под ред. проф. И.П. Кондрахина. М.: КолосС, 2004. 520 с. [Kondrakhin IP, ed. *Metody veterinarnoi klinicheskoi laboratornoi diagnostiki: spravochnik*. Moscow: KolosS; 2004:520 p. (*In Russ.*)].
10. Микроскопические исследования в диагностике заболеваний мелких домашних животных / С.В. Серeda и др. М.: Зоомедлит, 2009. 96 с. [Sereda SV, et al. *Mikroskopicheskie issledovaniya v diagnostike zabolevanij melkih domashnih zhivotnyh*. Moscow: Zoomedlit; 2009:96 p. (*In Russ.*)].
11. Об утверждении Порядка и Норм обеспечения кормами (продуктами) и подстилочными материалами штатных животных войск национальной гвардии Российской Федерации, а также Норм замены одних кормов (продуктов) другими и Нормы замены одних подстилочных материалов другими при обеспечении штатных животных войск национальной гвардии Российской Федерации: приказ Федеральной службы войск национальной гвардии РФ от 19 октября 2020 г. № 416. [Ob utverzhdenii Porjadka i Norm obespechenija kormami (produktami) i podstilochnymi materialami shtatnyh zhivotnyh vojsk nacional'noj gvardii Rossijskoj Federacii, a takzhe Norm zameny odnih kormov (produktov) drugimi i Normy zameny odnih podstilochnyh materialov drugimi pri obespechenii shtatnyh zhivotnyh vojsk nacional'noj gvardii Rossijskoj Federacii: prikaz Federal'noj sluzhby vojsk nacional'noj gvardii RF ot 19 oktjabrja 2020 g. № 416. (*In Russ.*)].
12. Переваримость питательных веществ и баланс азота у телят в зависимости от уровня аминокислотного питания / В.В. Гречкина, Е.В. Шейда, С.В. Лебедев, И.В. Маркова, Н.И. Рябов // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 3. С. 47-56. [Grechkina VV, Sheyda EV, Lebedev SV, Markova IV, Ryabov NI. Nutrient digestibility and nitrogen balance in calves depending on the level of amino acid nutrition. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(3):47-56. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-3-47
13. Плотников Д.В., Ситников В.А. Влияние полноценности рационов на переваримость питательных веществ собаками // Аграрный вестник Урала. 2020. № 2(193). С. 62-69. [Plotnikov DV,

Sitnikov VA. Vliyanie polnocennosti racionov na perevarimost pitatelnyh veshestv sobakami. Agrarnyj vestnik Urala. 2020;2(193):62-69. (*In Russ.*). doi: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-62-67

14. Переваримость питательных веществ готовых сухих кормов собаками / А.Н. Приходько, О.Л. Янкина, Н.А. Ким, Е.В. Комягин // Аграрный вестник Приморья. 2021. № 1(21). С. 32-36. [Prihodko AN, Yankina OL, Kim NA, Komyagin EV. Perevarimost pitatelnyh veshestv gotovyh suhih kormov sobakami. Agrarnyj vestnik Primorya. 2021;1(21):32-36. (*In Russ.*)].

15. Садыкова Ю.Р., Крылова И.О. Мировые тенденции в кормлении служебных собак: история, проблемы, перспективы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 6(98). С. 295-301. [Sadykova YuR, Krylova I.O. World trends in workings dogs feeding: history, challenges, perspectives. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;98(6): 295-301. (*In Russ.*). doi: 10.37670/2073-0853-2022-98-6-295-301

16. Стандарт FCI N 015/EN от 19.04.2002. Перевод РКФ от 02.03.2020. Бельгийская овчарка (Belgian Shepherd Dog) (Chien de Berger Belge). [Электронный ресурс]. URL: <https://rkf.org.ru/wp-content/uploads/2020/03/belgijskaja-ovcharka-15.pdf> (дата обращения: 21.06.2024). [Standart FCI N° 015/EN ot 19.04.2002. Perevod RKF ot 02.03.2020. Bel'gijskaja ovcharka (Chien de Berger Belge). [Elektronnyj resurs]. URL: <https://rkf.org.ru/wp-content/uploads/2020/03/belgijskaja-ovcharka-15.pdf> (data obrashcheniya: 21.06.2024). (*In Russ.*)].

17. Стандарт FCI № 166/23.12.2010/DE Немецкая овчарка. 8 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://rkf.org.ru/wp-content/uploads/2019/06/nemeckaja-ovcharka.pdf> (дата обращения 21.06.2024). [Standart FCI № 166 / 23.12.2010 / DE Nemeckaya ovcharka. 8 p. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://rkf.org.ru/wp-content/uploads/2019/06/nemeckaja-ovcharka.pdf> (data obrashcheniya 21.06.2024). (*In Russ.*)].

18. Хохрин С.Н. Кормление собак. СПб.: Изд-во «Лань», 2001. 192 с. [Hohrin SN. Kormlenie sobak. Saint Petersburg: Izdatel'stvo «Lan'»; 2001:192 p. (*In Russ.*)].

19. Шевченко Е.А., Баюров Л.И. Потребность собак в энергии // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2020. № 163(09). С. 23-39. [Shevchenko EA, Bayurov LI. Need of dogs for energy. Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2020;163 (09):23-39. (*In Russ.*)]. doi: 10.21515/1990-4665-163-002

20. Шляпников С.М., Голдырев А.А., Ситников В.А. Вопросы организации кормления служебных собак: монография. Пермь: ФКОУ ВПО Пермский институт ФСИН России: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. 93 с. [Shlyapnikov SM, Goldyrev AA, Sitnikov VA. Voprosy organizacii kormleniya sluzhebnih sobak: monografiya. Perm: FKOУ VPO Permskij institut FSIN Rossii: FGBOU VPO Permskaya GSXA; 2012:93 p. (*In Russ.*)].

21. Hewson-Hughes AK, Hewson-Hughes VL, Colyer A, et al. Geometric analysis of macronutrient selection in breeds of the domestic dog, *Canis lupus familiaris*. Behav Ecol. 2013;24(1):293-304. doi: 10.1093/beheco/ars168

References

1. Veterinary-sanitary norms and quality requirements for feed for non-productive animals: approved by the instruction of the Veterinary Department of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated 15.07.1997 No. 13-7-2/1010. No. 13-7-2/1010.
2. State Standard R 53434-2009. Principles of good laboratory practice. Implementation date 01.03.2010. Moscow: Standartinform, 2010:11 p.
3. State Standard 31675-2012. Feeds. Methods for determination of crude fibre content with intermediate filtration. Implementation date 01.07.2013. Moscow: Standartinform; 2020:9 p.
4. State Standard 13496.15-2016. Feeds, mixed feeds, feed raw material. Methods for determining the raw fat content. Implementation date. 01.01.2018. Moscow: Standartinform; 2020:9 p.
5. State Standard R 58090-2018. Clinical examination of unproductive animals. General requirements. Implementation date 01.10.2018. Moscow: Standartinform; 2018:12 p.

6. State Standard 13496.4-2019. Fodder, mixed fodder and raw mixed fodder. Methods of nitrogen and crude protein determination. Implementation date 01.08.2020. Moscow: Standartinform; 2019:15 p.
7. State Standard R 55453-2022. Feeding stuffs for nonproductive animals. General specifications. Implementation date 01.07.2022. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2022:56 p.
8. Ivanishcheva AP, Sizova EA, Kamirova AM, Musabaeva LL, Solovyov MV. Macro- and microelements in animal nutrition: variety of substances and forms (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):85-111. doi:10.33284/2658-3135-106-2-85
9. Methods of veterinary clinical laboratory diagnostics: a handbook. edited by prof. Kondrakhin IP. Moscow: KolosS; 2004:520 p.
10. Sereda SV et al. Microscopic studies in the diagnosis of diseases of small domestic animals. Moscow: Zoomedlit; 2009:96 p.
11. On approval of the Procedure and Standards for providing feed (products) and bedding materials to regular animals of the troops of the National Guard of the Russian Federation, as well as the Standards for replacing some feed (products) with others and the Standards for replacing some bedding materials with others when providing regular animals of the troops of the National Guard of the Russian Federation: order of the Federal Service of the National Guard Troops of the Russian Federation dated October 19, 2020 No. 416.
12. Grechkina VV, Sheyda EV, Lebedev SV, Markova IV, Ryabov NI. Nutrient digestibility and nitrogen balance in calves depending on the level of amino acid nutrition. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(3):47-56. doi: 10.33284/2658-3135-104-3-47
13. Plotnikov DV, Sitnikov VA. The influence of the completeness of diets on the digestibility of nutrients by dogs. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;2(193):62-69. doi: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-62-67.
14. Prikhodko AN, Yankina OL, Kim NA, Komyagin EV. Digestibility of nutrients in prepared dry food for dogs. *Agrarian Bulletin of Primorsky Krai*. 2021;1(21):32-36.
15. Sadykova YuR, Krylova I.O. World trends in workings dogs feeding: history, challenges, perspectives. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022;98(6):295-301. doi: 10.37670/2073-0853-2022-98-6-295-301
16. Standart FCI N° 015/EN from 19.04.2002. Translation of Russian Kynological Federation from 02.03.2020. (Belgian Shepherd Dog) (Chien de Berger Belge) [Internet]. Available from: <https://rkf.org.ru/wp-content/uploads/2020/03/belgijskaja-ovcharka-15.pdf> [cited 2024 June 21].
17. Standart FCI No. 166/23.12.2010/DE German shepherd. 8 p. [Internet]. URL: <https://rkf.org.ru/wp-content/uploads/2020/03/belgijskaja-ovcharka-15.pdf> [cited 2024 June 21].
18. Hohrin SN. Feeding dogs. Saint Petersburg: Publishing house «Lan'»; 2001:192 p.
19. Shevchenko EA, Bayurov LI. Need of dogs for energy. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2020;163 (09):23-39. doi: 10.21515/1990-4665-163-002
20. Shlyapnikov SM, Goldyrev AA, Sitnikov VA Issues of organizing the feeding of service dogs: monograph. Perm: FKOU VPO Perm Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia: FGBOU VPO Perm GSHA; 2012:93 p.
21. Hewson-Hughes AK, Hewson-Hughes VL, Colyer A, et al. Geometric analysis of macronutrient selection in breeds of the domestic dog, *Canis lupus familiaris*. *Behav Ecol*. 2013;24(1):293-304. doi: 10.1093/beheco/ars168

Информация об авторах:

Ирина Олеговна Крылова, кандидат биологических наук, доцент, профессор кафедры биологии, Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 614112, г. Пермь, ул. Гремячий Лог, 1, тел.: +7(342)270-39-01, доп. 4301.

Наталья Николаевна Трапезникова, кандидат химических наук, доцент кафедры биологии, Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 614112, г. Пермь, ул. Гремячий Лог, 1, тел.: +7(342)270-39-01, доп. 4301.

Виктор Павлович Мурыгин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории освоения агрозоотехнологий, доцент кафедры агробиотехнологий, Пермский государственный аграрно-технологический университет, 614025, г. Пермь, ул. Г. Хасана, 111, тел.: +7(342)217-99-86.

Information about the authors:

Irina O Krylova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Professor of the Department of Biology, Perm Military Institute of the National Guard of the Russian Federation, 1 Gremyachy Log str., Perm, 614112, tel.: +7(342)270-39-01 add. 4301.

Natalia N Trapeznikova, Cand. Sci. (Chemical), Associate Professor of the Department of Biology, Perm Military Institute of the National Guard of the Russian Federation, 1 Gremyachy Log str., Perm, 614112, tel.: +7(342)270-39-01 add. 4301.

Viktor P Murygin, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher at the Laboratory for the Development of Agrozotechnologies, Associate Professor of the Department of Agrobiotechnology, Perm State Agrarian Technological University, 614025, Perm, 111 G. Hassan str., tel.: +7(342)217-99-86.

Статья поступила в редакцию 17.10.2024; одобрена после рецензирования 20.01.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 17.10.2024; approved after reviewing 20.01.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 187-200.
Animal Husbandry and Fodder Production.2025.Vol. 108. No. 1. P. 187-200.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья
УДК 633.11:631.816.22:631.559 (470.55/.58)
doi:10.33284/2658-3135-108-1-187

**Влияние погодных условий и целлюлозолитической активности почвы на урожайность
твердой пшеницы в степной зоне Южного Урала**

Виталий Юрьевич Скороходов¹, Дмитрий Владимирович Митрофанов²

^{1,2}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹skorokhodov.vitali1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4179-7784>

²dvm.80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7172-6904>

Аннотация. Работа посвящена проблематике оценки зависимости продуктивности твердой пшеницы от ряда факторов, в нестабильных климатических условиях. Впервые изучено влияние температуры воздуха, атмосферных осадков, суховейных дней, целлюлозолитической активности и содержания нитратного азота в почве на продуктивность твердой пшеницы в системе шестипольных, двупольных севооборотов и монокультуре в засушливых условиях Южного Урала. Полевые опыты проводили на многолетнем экспериментальном участке по севооборотам и монокультурам. Посевы твердой пшеницы размещали в севооборотах и монокультуре возле с. Нежинка Оренбургской области (координаты: 51.775125°с.ш. и 55.306547° в.д.). В статье представлены и средние значения (2002-2022 гг.) температуры воздуха – 5,7-22,7 °С, осадков – 22-364 мм, числа суховейных дней – 68, целлюлозолитической активности почвы – 0,69-0,76 %, содержания нитратного азота – 0,32-0,75 мг/100 г почвы, урожайности культуры – 0,48-0,97 т/га. Выявлена корреляционная связь урожайности зерна с температурой воздуха мая, июня ($r=0,49-0,65$) и за период вегетации ($r=0,40-0,47$), с выпавшими осадками мая-июня ($r=0,33-0,67$) и за май-август ($r=0,44-0,60$), с числом суховейных дней ($r=0,30-0,41$), с гидротермическим коэффициентом мая-июня ($r=0,41-0,76$) и за вегетационный период ($r=0,50-0,66$). Наименьшая взаимосвязь погодных факторов с урожайностью отмечена в июле и августе. Слабая связь выявлена между целлюлозолитической активностью почвы и урожайностью ($r=0,17-0,31$). Отмечена слабая зависимость урожайности зерна с содержанием нитратного азота в почве после посева культуры ($r=0,13-0,34$) и разницей ($N-NO_3$) за вегетацию ($r=0,01-0,17$). В засушливых условиях Южного Урала отмечается замедление жизнедеятельности микрофлоры из-за недостатка почвенной влаги, что способствует снижению связи целлюлозолитической активности с урожайностью яровой твердой пшеницы. Таким образом, метеоусловия являются основополагающими в формировании урожайности яровой твердой пшеницы.

Ключевые слова: твердая пшеница, целлюлозолитическая активность почвы, нитратный азот, урожайность, севооборот, монокультура, предшественник, минеральные удобрения

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2024-2027 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2022-0014).

Для цитирования: Скороходов В.Ю., Митрофанов Д.В. Влияние погодных условий и целлюлозолитической активности почвы на урожайность твердой пшеницы в степной зоне Южного Урала // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 187-200. [Skorokhodov VYu, Mitrofanov DV. The influence of weather conditions and cellulolytic activity of the soil on the yield of durum wheat in the steppe zone the Southern Urals. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):187-200. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-187>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

The influence of weather conditions and cellulolytic activity of soil on the yield of durum wheat in the steppe zone of the Southern Urals

Vitaly Yu Skorokhodov¹, Dmitry V Mitrofanov²

^{1,2}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹skorokhodov.vitali1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4179-7784>

²dvm.80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7172-6904>

Abstract. The work is devoted to the problems of assessing the dependence of durum wheat productivity on a number of factors in unstable climatic conditions. In the presented work, the influence of air temperature, precipitation, dry wind days, cellulolytic activity and nitrate nitrogen content in the soil on the productivity of durum wheat in the system of six-field, two-field crop rotations and monoculture in the arid conditions of the Southern Urals was studied for the first time. Field experiments were carried out on a long-term experimental plot for crop rotations and monocultures. Durum wheat crops were placed in crop rotations and monoculture near the village of Nezhinka, Orenburg region (coordinates: 51.775125° N and 55.306547° E). Research (2002-2022) established average values of air temperature - 5.7-22.7 °C, precipitation - 22-364 mm, number of dry wind days - 68, cellulolytic activity of the soil - 0.69-0.76%, nitrate nitrogen content - 0.32-0.75 mg/100 g of soil, crop yield - 0.48-0.97 t/ha. A correlation was found between grain yield and air temperature in May, June ($r = 0.49-0.65$) and during the growing season ($r = 0.40-0.47$), with precipitation in May, June ($r = 0.33-0.67$) and during May-August ($r = 0.44-0.60$), with the number of dry wind days ($r = 0.30-0.41$), with the hydrothermal coefficient in May, June ($r = 0.41-0.76$) and during the growing season ($r = 0.50-0.66$). The lowest relationship between weather factors and yield was noted in July and August. A weak relationship was found between cellulolytic activity of the soil and yield ($r = 0.17-0.31$). A weak dependence of grain yield on the nitrate nitrogen content in the soil after sowing the crop ($r = 0.13-0.34$) and the difference ($N-NO_3$) during the growing season ($r = 0.01-0.17$) was noted. In the arid conditions of the Southern Urals, a slowdown in the vital activity of microflora is noted due to a lack of soil moisture, which contributes to a decrease in the relationship between cellulolytic activity and the yield of spring durum wheat. Thus, weather conditions are fundamental in the formation of the yield of spring durum wheat.

Keywords: durum wheat, cellulolytic activity of the soil, nitrate nitrogen, yield, crop rotation, monoculture, precursor, mineral fertilizers

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024-2027 FSBRI FRC BST RAS (No FNWZ-2022-0014).

For citation: Skorokhodov VYu, Mitrofanov DV. The influence of weather conditions and cellulolytic activity of the soil on the yield of durum wheat in the steppe zone the Southern Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):187-200. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-187>

Введение.

Недостатком современного земледелия является недооценка биологических факторов, приводящих к обострению экологических проблем, требующих значительных изменений в агротехнологиях. Новым этапом в развитии сельского хозяйства является биологизация земледелия, способствующая повышению плодородия почв и продуктивности полевых культур (Маркова И.Н., 2024). Биоактивность почвы становится важнейшим показателем уровня плодородия и продуктивности сельскохозяйственных культур. Почвенные микроорганизмы, разрушая клетчатку, влияют на процессы формирования урожайности сельскохозяйственных культур (Скорухов В.Ю. и др., 2023). При дефиците осадков вегетационного периода микробиологические процессы значительно подавлены. По полученным данным, для жизнедеятельности микроорганизмов сложились благоприятные условия по сумме выпавших осадков (май-июнь – 66,4-75,3 мм) и эффективных температур (1095-1089 °C), способствующие разложению льняного полотна на 44,2-49,6 % (Подсевалов М.И. и др., 2017).

В других исследованиях наблюдалась высокая активность почвенных микроорганизмов (17,0-30,6 %) в паровых полях и по непаровым предшественникам (Круглов Ю.В. и др., 2018). Использование минеральных удобрений усиливает почвенную целлюлозолитическую активность (Санникова Н.В., 2021). По данным ученых ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН наибольшая целлюлозолитическая активность почвы (12,6 %) отмечалась в посевах твердой пшеницы по сидеральному пару в слое 0-20 см (Скороходов В.Ю., 2023). Внесение в почву минеральных удобрений при благоприятных климатических условиях увеличивает численность и активность микроорганизмов. Количество органического вещества в почве регулируется подбором предшественников в севообороте с различным оставлением пожнивно-корневых остатков. В условиях интенсивного земледелия на первый план выходит экологическая роль органического вещества почвы. В среднем за 5 лет на черноземах южных Оренбургского Предуралья в почву поступило 11,87 т/га органического вещества, которое состоит из примерно 5-20 % углерода и 8-14 % целлюлозы (Скороходов В.Ю., 2021). Целлюлоза считается более неустойчивой и разлагается в растительных остатках быстрее, чем лигнин, из-за химического состава и структуры за счет биологических процессов (Сайдяшева Г.В. и Зайцева К.Г., 2022). Пожнивные остатки полевых культур содержат значительное количество органических связанных питательных веществ. По данным за 2024 год, меньшее разложение льняного полотна в зависимости от различных севооборотов и минерального питания было под яровыми культурами на неудобренном 15,4-18,9 % и удобренном фоне питания 16,4-20,7 % (Денисов К.Е. и др., 2022). Применение минеральных удобрений оказывает значительное влияние на питательный режим почвы. По данным Е.Н. Общей и А.И. Хрипунова целлюлозолитическая активность почвы значительно изменяется под влиянием минеральных удобрений. При их внесении целлюлозолитическая активность почвы увеличивается на 3-6 % (Общая Е.Н. и Хрипунов Е.А., 2019). Увеличение урожайности культуры по черному пару в шестипольном севообороте зависит от влияния целлюлозолитической активности и весенних запасов элементов питания (особенно – нитратного азота) почвы (Бесалиев И.Н. и Мироненко С.И., 2024). Различный уровень минерального питания оказывает значительное влияние на продуктивность яровой пшеницы в условиях лесостепи Южного Поволжья. Наибольшая прибавка урожая зерна яровой пшеницы отмечена на фоне внесения аммофоски (NPK по 16 %) в норме 150 кг/га и азотных удобрений в дозе N₆₀ кг/га (Кузнецов Д.А., 2020).

Применение минеральных удобрений (Аммофос) при глубокой вспашке способствует увеличению урожайности яровой твердой пшеницы на 0,17 т/га. При этом целлюлозолитическая активность почвы не повышается. Сильная степень разложения льняной ткани под посевом яровой твердой пшеницы отмечена при отвальной обработке почвы с внесением совместно удобрений (Аммофос+Азофит) – 56,7 % (Тютюма Н.В. и др., 2024). Внесение удобрений в норме N₁₆P₁₆K₁₆ д.в./га повышает урожайность яровой твердой пшеницы на 0,29 т/га и достигает 2,48-2,77 т/га. В благоприятных почвенно-климатических условиях Среднего Поволжья яровая твердая пшеница на фоне с удобрениями формирует урожайность до 2,76-3,03 т/га (Васин В.Г. и др., 2021).

В Сибирском НИИСХ при внесении регуляторов роста и микроудобрений урожайность пшеницы твердой яровой увеличивалась на 0,70 т с 1 га. По полученным данным внесение минеральных удобрений (в дозе N₆₀P₄₅K₄₅) способствует интенсивности разложения льняного полотна на 3,3 %, при этом урожайность увеличивается на 20,5 (0,7-21,2) т/га (Шоба В.Н. и др., 2017).

Азот является важным макроэлементом питания для роста и развития культур, и большинство наземных растений его поглощают через корни в виде нитратов и аммония. В сельскохозяйственных системах поступление нитратов из почвы напрямую влияет на рост и урожайность культурных растений (Patanita V et al., 2019).

Цель исследования.

Определить влияние метеоусловий, целлюлозолитической активности и содержания нитратного азота в почве на урожайность твердой пшеницы в условиях Южного Урала.

Материалы и методы исследования.

Объекты исследования. Посевы твердой пшеницы в шестипольных севооборотах, двуполье и монокультуре.

Характеристика территорий и природно-климатические условия. Экспериментальные данные были получены на опытном участке ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, расположенном вблизи с. Нежинка центральной зоны Оренбургской области (координаты: 51.775125° с.ш. и 55.306547° в.д.). Почва опытного участка: чернозем южный карбонатный среднесуглинистый малогумусный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса (по И.В. Тюрину) – среднее в пахотном слое почвы (0-30 см) – 3,2-4,0 %, общего азота низкое – 0,20-0,31 %, общего фосфора низкое – 0,14-0,22 %, подвижного фосфора низкое – 1,5-2,5 мг и обменного калия (по Б.П. Мачигину) высокое – 30-38 мг на 100 г почвы, рН (водной вытяжки) почвенного раствора – 7,0-8,1.

Схема эксперимента. Схема опыта выращивания яровой твердой пшеницы в системе севооборотов и монокультуре: 1. Пар черный кулисный – озимая рожь – яровая твердая пшеница – просо – яровая мягкая пшеница – ячмень; 2. Пар черный кулисный – яровая твердая пшеница – яровая мягкая пшеница – горох – яровая мягкая пшеница – ячмень; 3. Пар занятый (почвозащитный) – яровая твердая пшеница – яровая мягкая пшеница – просо – яровая мягкая пшеница – ячмень; 4. Пар занятый (сидеральный) – яровая твердая пшеница – яровая мягкая пшеница – кукуруза на силос – яровая мягкая пшеница – ячмень; 5. Яровая твердая пшеница – яровая мягкая пшеница; 6. Яровая твердая пшеница – кукуруза на силос; 7. Бессменный посев яровой твердой пшеницы.

Экспериментальный опыт закладывали на четырех повторениях по методике Б.А. Доспехова с систематическим размещением вариантов. Ширина делянок первого порядка составила 14,4 м, второго порядка – 7,2 м. По длине делянки составили 90 м, из них 30 м – удобренный фон, 60 м – неудобренный. На удобренном фоне вносили минеральные удобрения под основную обработку почвы (вспашка) предшественника яровой твердой пшеницы в дозе $N_{40}P_{80}K_{40}$ кг/га действующего вещества. Урожайность яровой твердой пшеницы учитывали с площади удобренного фона 60 м², неудобренного – 120 м². В опыте высевали сорта яровой твердой пшеницы Оренбургская 10 и Оренбургская 21 с нормой посева 4,0 млн всхожих семян на 1 га.

Среднемноголетние данные Оренбургского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды имеют справочный характер (<https://www.meteorf.gov.ru>).

Определение интенсивности разложения целлюлозы в почве проводили по методу Е.Н. Мишустина, И.С. Вострова и А.Н. Петровой (<https://www.chem21.info/info/1563168/>). Описание целлюлолитической активности почвы по вариантам опыта проводили согласно шкале Д.Г. Звягинцева.

Для определения нитратного азота в почве на опытном участке отбирали почвенные образцы в слое 0-30 см на несмежных повторениях (I и III) и на двух фонах почвенного питания. Период отбора почвенных образцов: весна (после посева) и осень (перед уборкой). Предварительно подсушенные почвенные образцы дробили на почвенной мельнице, затем каждую размолотую пробу весом 200 г сдавали в лабораторию для определения содержания нитратного азота в почве. Содержание нитратного азота в почве проводили по ГОСТу 26951-86 «Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом».

Оборудование и технические средства. Исследования проводились на приборной базе Центра коллективного пользования ФНЦ БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>). Сбор урожая проводился механизировано комбайном Сампо-500 (Финляндия). Влажность почвы определялась методом Воробьева С.А. по ГОСТ 28268-89. Ручной пробоотборник (ООО ПО «Компонент» г. Великий Новгород, Россия), шкаф сушильный электрический прямоугольный ШС-80 (ОАО «КЗМА», г. Казань, Россия), электронные весы «HIGH-LAND» («Adam Eguipmen Co. LTD», Великобритания).

Статистическая обработка. Полученные данные проанализированы с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 12.0» («Stat Soft Inc.», США). В работе с помощью дисперсионного и регрессионного анализа данных находили наименьшую существенную разность (HCp_{05}), рассчитывали средние (М), стандартные ошибки средних ($\pm SEM$) и коэффициент корреляции (r).

Результаты исследований.

Среднегодовая температура воздуха за 2002-2022 годы превышает среднемноголетние значения на 2,1 °С (табл. 1). Вегетационный период твердой пшеницы в среднем стал теплее на 1,2 °С в сравнении со среднемноголетними данными, по месяцам превышение температурного режима составило в мае на 1,2, июне – 0,9, июле – 0,8, августе – 2,0 °С. Вместе с тем, за годы исследований отмечается снижение количества выпавших осадков в целом за сельскохозяйственный год на 3 мм.

За календарный вегетационный период количество выпавших осадков составило 126 мм, что меньше среднемноголетнего значения на 29 мм. Количество дней с атмосферной влажностью 30 % и ниже в среднем за годы исследований превышает среднемноголетнее значение на 12 дней в вегетационном периоде.

Таблица 1. Показатели температуры воздуха, выпавших осадков и числа суховейных дней (2002-2022 годы)

Table 1. Indicators of air temperature, precipitation and the number of dry days (2002-2022)

Значение / <i>Value</i>	Температура воздуха, °C/ <i>Air temperature, °S</i>						Осадки, мм / <i>Precipitation, mm</i>						Дни с относительной влажностью воздуха 30 % и ниже / <i>Days with relative humidity of 30 % and below</i>
	за сельскохозяйственный год / <i>for the agricultural year</i>	за месяц / <i>per month</i>				средняя за период V–VIII / <i>amount for the period V–VIII</i>	за сельскохозяйственный год / <i>for the agricultural year</i>	за месяц / <i>per month</i>				сумма за период V–VIII / <i>sum for the period V–VIII</i>	
		V	VI	VII	VIII			V	VI	VII	VIII		
Среднее / <i>Average</i>	5,7	16,2	20,6	22,7	22,0	20,3	364	35	29	39	22	126	68
Среднемноголетнее / <i>Average annual</i>	3,6	15,0	19,7	21,9	20,0	19,1	367	38	44	41	32	155	56
Разница / <i>Difference</i>	+2.1	+1.2	+0.9	+0.8	+2.0	+1.3	-3	-3	-15	-2	-10	-29	+12

Примечание: *V – май; VI – июнь; VII – июль; VIII – август

Note: *V – May; VI – June; VII – July; VIII – August

Корреляционная зависимость между температурой воздуха и урожайностью зерна твердой пшеницы (2002-2022 гг.) выражается по-разному. Повышенная температура воздуха мая-июня имеет обратную связь с урожайностью ($r=0,49-0,65$), поскольку приводит к снижению продуктивности культуры. Слабой связью обладает урожайность культуры с температурой воздуха июля и августа. Расчеты показали, что чем выше температура воздуха вегетационного периода твердой пшеницы, тем меньше урожайность зерна и наоборот. Наибольшая связь температуры воздуха показывает снижение урожайности твердой пшеницы по черному пару в шестипольном севообороте на неудобренном фоне питания. Температура воздуха за эти периоды значительно влияет на рост и развитие культуры.

Урожайность зерна твердой пшеницы имеет положительную зависимость от количества выпавших осадков в мае и июне ($r=0,33-0,67$). Выявлена слабая связь количества осадков в июле и августе с урожайностью. Урожайность с выпавшими осадками вегетационного периода имеют положительную связь ($r=0,44-0,60$). Наблюдения показали, что чем больше количество выпавших осадков за вегетационный период, тем выше урожайность зерна твердой пшеницы и наоборот (прямая связь). Максимальная зависимость урожайности от осадков приводит к устойчивому формированию урожайности в двухпольном севообороте с мягкой пшеницей на удобренном фоне питания. Большое количество засушливых дней неблагоприятно влияет на урожайность твердой пшеницы, что выражается в отрицательной связи ($r=0,30-0,41$). Возделывание твердой пшеницы в монокультуре на неудобренном фоне питания имеет отрицательную связь урожайности с засушливостью вегетационного периода.

На рисунке 1 приведена средняя урожайность твердой пшеницы на удобренном фоне питания по вариантам опыта и гидротермический коэффициент вегетационного периода (май-август) за годы исследований. Графическое изображение рисунка подтверждает мнение о том, что выпавшие осадки и температура воздуха в вегетационном периоде (май-август) оказывают влияние на величину урожайности твердой пшеницы.

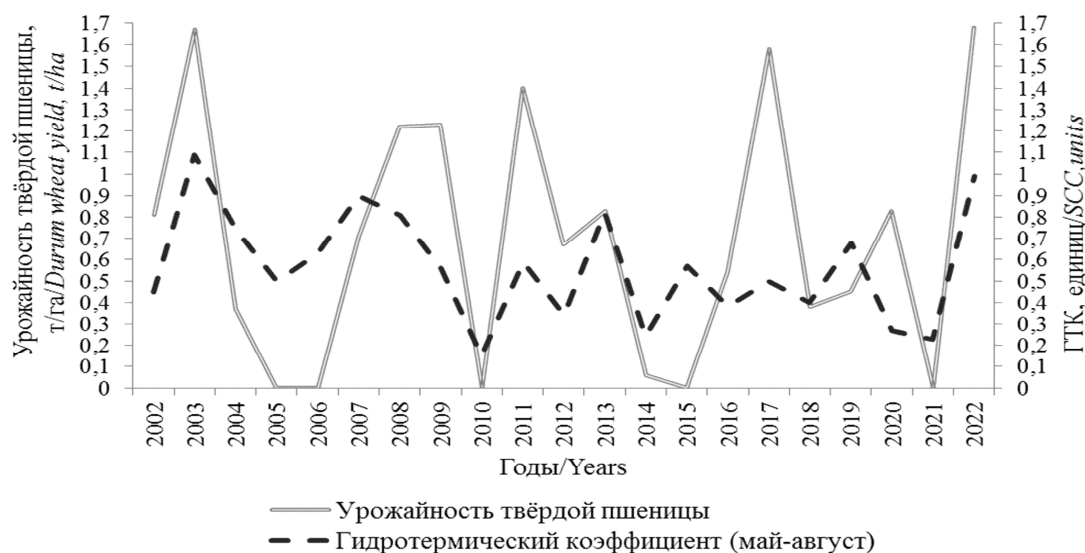


Рисунок 1. Урожайность яровой твердой пшеницы в сопряжении с гидротермическим коэффициентом вегетационного периода (2002-2022 годы)

Figure 1. Yield of spring durum wheat in conjunction with the hydrothermal coefficient of the growing season (2002-2022)

Чем ниже показатель гидротермического коэффициента, тем меньше урожайность твердой пшеницы и наоборот. Например, в засушливых 2010 и 2021 годах отмечается наименьшее значение гидротермического коэффициента (0,15 и 0,23) за май-август и отсутствие урожайности твердой пшеницы. Вместе с тем, во влажных 2003 и 2022 годах при возрастании ГТК до 1,09 и 0,99 за вегетационный период наблюдается повышение урожайности до 1,67 и 1,68 т/га.

При этом урожайность твердой пшеницы за 2021 год исследования на фоне минеральных удобрений составила 0,79 т/га, без их применения в зернопаровом севообороте – 0,69 т, в зернопропашном с кукурузой – 0,77 т/га (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность твердой пшеницы по различным предшественникам на двух фонах почвенного питания в сопряжении с целлюлозолитической активностью почвы (2002-2022 годы)

Table 2. The yield of durum wheat by various precursors on two backgrounds of soil nutrition in conjunction with the cellulolytic activity of the soil (2002-2022)

Севооборот, бесменныйпосев /Crop rotation, permanent sowing	Предшественник / The predecessor	Показатели /Indicators					
		урожайность, т/га / yield, t/ha			активность почвы, % / soil activity, %		
		M*/M*	±SEM** / ±SEM**	прибавка зерна / grain increase	M*/M*	±SEM** / ±SEM**	разница по фону /the difference in back- ground
Шестиполье / Six-field	Черный пар/ black steam	0,78/0,85	±0,66/0,65	0,07	9,7/10,3	±5,7/7,4	+0,6
	Почвозащитный пар/ soil protection steam	0,85/0,91	±0,62/0,58	0,06	10,9/9,8	±6,4/7,8	-1,1
	Сидеральный пар /sideral steam	0,91/0,97	±0,64/0,58	0,06	9,0/12,0	±5,7/7,4	+3,0
	Озимая рожь/ winter rye	0,82/0,87	±0,59/0,52	0,05	9,7/9,8	±7,3/6,8	+0,1
Двуполье /Two-field	Мягкая пшеница/ soft wheat	0,69/0,79	±0,43/0,53	0,10	10,0/9,6	±6,4/5,7	-0,4
	Кукуруза на силос/ corn for silage	0,77/0,79	±0,49/0,40	0,02	9,6/9,9	±6,6/4,0	+0,3
Твердая пшеница / Durum wheat		0,64/0,70	±0,40/0,36	0,06	9,1/9,8	±5,8/8,0	+0,7
НСР ₀₅ / NSR ₀₅	А и В / A and B	0,09/0,10			-	0,69/0,76	-
	А+В / A+B	0,14				0,79	

Примечание: *М – усредненные значения без учета лет отсутствующей урожайности; **±SEM – стандартная ошибка средней; *** перед чертой – неудобренный фон питания, после черты – удобренный

Note: *M – is the average values without taking into account the years of missing yield; **±SEM – is the standard error of the average; ***before the line – is an inconvenient nutrition background, after the line – is fertilized

Длительное возделывание твердой пшеницы в системе шестипольных севооборотов с озимой рожью без применения минеральных удобрений способствует урожайности 0,82 т/га. Наибольшее влияние на урожайность твердой пшеницы в севообороте с озимой рожью оказывает непосредственное действие предшественника, что в первую очередь связано с большим выносом питательных веществ, в том числе нитратного азота, мощно развивающимися растениями ржи озимой. На свой рост и развитие растения озимой ржи расходуют большое количество почвенной влаги, тем самым создавая менее благоприятные условия для последующей культуры в севообороте твердой пшеницы. На обычном, неудобренном фоне урожайность твердой пшеницы в севообороте с черным паром снижается за счет проведения летних агротехнических мероприятий в виде культивации паро-

вого поля, способствующей поступлению кислорода в почву и активизации микробиологических процессов с обильным потреблением нитратного азота активно развивающимися микроорганизмами. Тем самым последующая культура в севообороте твердая пшеница лишается макроэлементов в начальный-весенний период. В поле чистого пара отсутствует растительность, микроорганизмами потребляется большое количество органической массы прошлых лет. Самая высокая урожайность твердой пшеницы в среднем за годы исследования на обычном неудобренном фоне отмечается в севообороте с применением сидерации. В данном варианте происходят процессы кардинально противоположные севообороту с черным паром. В предшествующем поле с сидератами активно развиваются микроорганизмы, разлагающие зеленую их массу и детритную часть почвы, тем самым способствуют повышению питательных веществ и увеличению урожайности твердой пшеницы без применения минеральных удобрений в среднем на 0,91 т с 1 га.

Целлюлозолитическая активность почвы определяется процентом разложения льняной ткани. Наибольший показатель целлюлозолитической активности микроорганизмов наблюдается в посевах твердой пшеницы с использованием минеральных удобрений в пролонгации черного ($10,3 \pm 7,40$ %) и сидерального ($12,0 \pm 7,45$ %) пара в системе шестипольных севооборотов. По этим вариантам посева отмечается положительная корреляционная зависимость целлюлозоразлагающей активности почвы с урожайностью зерна. По всем вариантам опыта наблюдается слабая зависимость. При использовании минеральных удобрений в монокультуре твердой пшеницы целлюлозолитическая активность почвы составила $9,8 \pm 8,0$ % (без удобрения – $9,1 \pm 5,8$ %). Повышенная активность микроорганизмов в почве в посевах твердой пшеницы, возделываемой в шестипольных севооборотах, напрямую связана с применением парования за счет накопления и фиксации нитратного азота вариантами черного и занятого (сидеральной злаково-бобовой растительностью) паров.

Накопление нитратного азота в почве предшествующей культурой, звеном, севооборота и потреблением посевом твердой пшеницы различно по периоду определения и фону почвенного питания. Так, наибольшее содержание нитратного азота за вегетационный период отмечается в последствии сидерального пара на обычном (неудобренном) фоне питания 1,6 мг и на удобренном – 1,2 мг/100 г почвы (табл. 3).

Разница по фону питания в весенний период составила 0,4 мг и к осени возрастает на 0,8 мг в пользу удобренного. Данная разница содержания нитратного азота в первую очередь связана с повышенной микробиологической деятельностью в этом варианте. В результате проведенного анализа между содержанием нитратного азота и целлюлозолитической активностью почвы выявлена положительная зависимость в сидеральном севообороте на удобренном фоне ($r=0,36$) и неудобренном ($r=0,37$). При возделывании парозанимающей культуры суданской травы в почвозащитном севообороте выносятся большое количество элементов минерального питания, включающих нитратный азот.

Возделывание твердой пшеницы в данном варианте является исключением, сопровождающимся увеличением количества нитратного азота в почве в течение роста и развития культуры. Увеличение составило 0,5 мг на удобренном и 0,1 мг/100 г почвы – на неудобренном фоне питания. В осенний период при возделывании твердой пшеницы в почвозащитном пару отмечается (1,2 мг) превышение содержания нитратного азота на удобренном фоне питания по отношению к неудобренному. Отмечается положительная корреляционная связь целлюлозолитической активности почвы с разницей нитратного азота под посевом в последствии почвозащитного пара на фоне удобрения ($r=0,39$) и на неудобренном ($r=0,38$). Применение минеральных удобрений в посевах твердой пшеницы в двуполье длительное время приводит к увеличению содержания нитратного азота в почве. Так, при чередовании твердой пшеницы с кукурузой содержание нитратного азота в почве на удобренном фоне питания весной составило 8,6 мг и осенью – 8,2 мг/100 г. При этом разница по фону питания весной составило 2,0 мг и осенью – 2,3 мг на 100 г почвы. Количество нитратного азота под монокультурой твердой пшеницы соответствует накопленному в севооборотах в весенний период, но вместе с тем к осени имеет наименьшие показатели как по удобренному (5,5 мг), так и неудобренному (5,2 мг) фону питания. Данная разница содержания нитратного азота объясняется длительным возделыванием твердой пшеницы бессменно. По результатам данного регрессионного анализа урожайность зерна имеет отрицательную связь с количеством нитратного азота в почве под твердой пшеницей после посева ($r = 0,13-0,34$). Разница содержания нитратного азота обладает отрицательной связью с урожайностью.

Таблица 3. Содержание нитратного азота в почве под посевом яровой твердой пшеницы
 в среднем за 2002-2022 годы, мг/100 г почвы

Table 3. Nitrate nitrogen content in the soil under sowing of spring durum wheat on average for
 2002-2022, mg/100 g of soil

Севооборот, бесменныйпосев /Crop rotation, permanent sowing	Предшественник / Predecessor	Фон питания / Nutrition background						Разница содержания (N- NO ₃) в почве на фонах питания /The difference in the content of (N-NO ₃) in the soil on food back- grounds	
		удобренный / fertilized			неудобренный / not fertilized				
		после посева / after sowing	перед уборкой /before harvesting	±SEM*/±SEM*	после посева / after sowing	перед уборкой /before harvesting	±SEM*/±SEM*	после посева / after sowing	перед уборкой /before harvesting
Шестиполье / Six-field	Черный пар/ black steam	8,1	6,7	$\frac{\pm 5,21}{\pm 4,22}$	6,9	6,2	$\frac{\pm 4,30}{\pm 3,89}$	+1,2	+0,5
	Почвозащитный пар / soil protection steam	6,8	7,3	$\frac{\pm 3,69}{\pm 4,86}$	6,0	6,1	$\frac{\pm 2,94}{\pm 4,39}$	+0,8	+1,2
	Сидеральный пар/sideral steam	8,0	6,8	$\frac{\pm 4,63}{\pm 4,23}$	7,6	6,0	$\frac{\pm 4,82}{\pm 4,44}$	+0,4	+0,8
	Озимая рожь/ winter rye	7,6	6,5	$\frac{\pm 4,14}{\pm 4,21}$	6,3	5,6	$\frac{\pm 3,52}{\pm 4,02}$	+1,3	+0,9
Двуполье/ Two-field	Мягкая пшеница/ soft wheat	8,2	6,7	$\frac{\pm 5,24}{\pm 4,67}$	6,7	6,1	$\frac{\pm 4,13}{\pm 4,62}$	+1,5	+0,6
	Кукуруза на си- лос/ corn for silage	8,6	8,2	$\frac{\pm 4,71}{\pm 4,62}$	6,6	5,9	$\frac{\pm 4,34}{\pm 4,21}$	+2,0	+2,3
Твердая пшеница/ Durum wheat		7,5	5,5	$\frac{\pm 4,60}{\pm 4,89}$	6,8	5,2	$\frac{\pm 3,40}{\pm 3,77}$	+0,7	+0,3
НСР ₀₅ / NSR ₀₅	A и B/A and B	0,44	0,83	-	0,40	0,75	-	-	-
	A+B/A+B	0,88			0,81				

Примечание: * над чертой – стандартная ошибка средней после посева, под чертой – перед уборкой
 Note: * Above the line – the standard error of the average after sowing, below the line – before harvesting

Применение минеральных удобрений (NPK) в шестипольных севооборотах длительное время приводит к увеличению продуктивности твердой пшеницы. Так, прибавка зерна от применения минеральных удобрений (без учета лет отсутствующей урожайности) составила в севооборотах с озимой рожью 0,05 т, занятыми парами – 0,06 т, черным паром – 0,07 т/га. Прибавка зерна на удобренном фоне питания в двуполье при чередовании с мягкой пшеницей составила 0,10 т, по сравнению с кукурузой на силос – 0,02 т/га. Возделывание твердой пшеницы бессменно приводит к урожайности 0,64 т и при внесении минеральных удобрений незначительно повышается продуктивность зерна на 0,06 т/га.

Обсуждение полученных результатов.

Сильное летнее почвенное пересыхание и зимнее промерзание регулируют активизацию микробиологических процессов. Например, в засушливые годы процент разложения льняной ткани в варианте с чистым паром составил 15,8 % и во влажные – 30,7 % (Скороходов В.Ю. и Зоров А.А., 2021).

Разложение сложных органических соединений под воздействием микробного сообщества обеспечивает высвобождение азота в доступной для растений форме, что в конечном итоге раскрывает потенциал эффективного плодородия почвы (Phuke RM et al., 2022). При достаточной влажности почвы увеличивается целлюлозолитическая активность микроорганизмов, что приводит к росту урожайности зерна твердой пшеницы. Внесение минеральных удобрений способствует повышению содержания нитратного азота и целлюлозолитической активности почвы под удобряемыми культурами севооборота. Активность разложения клетчатки целлюлозоразлагающими микроорганизмами зависит от интенсивности почвенной биоты. Благоприятные метеоусловия июня приводят к активности почвенной микрофлоры, разложению клетчатки 54-71 % (Ayadi S et al., 2020). Внесение в достаточном количестве органического вещества с удобрениями способствует увеличению содержания в почве нитратного азота, целлюлозолитической активности и урожайности выращиваемых культур (Kenobi K et al., 2017). Например, в различных условиях южной лесостепи Тюменской области получена максимальная урожайность твердой пшеницы 3,49 и 3,52 т/га. В бинарных посевах происходит снижение урожайности зерна на 0,2 т/га (Сапега В.А. и Турсумбекова Г.Ш., 2020).

Урожайность твердой пшеницы в монокультуре уступает возделыванию в шестипольных севооборотах с разницей на 0,23 т/га по двум фонам почвенного питания. А в двуполье превышает полученную в монокультуре на 0,07 т/га по двум фонам питания. В связи с этим за годы исследований прослеживается тенденция увеличения продуктивности твердой пшеницы от монокультуры в направлении двуполья и шестипольных севооборотов с паровым полем. Данная тенденция увеличения отмечается на двух фонах почвенного питания. Фон минерального почвенного питания не оказывает значительного влияния на урожайность твердой пшеницы в севооборотах и монокультуре (при учёте всех лет исследований) и прибавка зерна составила 0,05 т/га.

Заключение.

Метеоусловия (температура воздуха, выпадающие осадки и суховейные дни) являются основополагающими при формировании урожайности твердой пшеницы. За годы эксперимента среднемноголетнее годовое значение температуры воздуха превышало норму на 2,1°C, число суховейных дней – на 12 и недобор осадков за вегетацию составил 29 мм. В результате исследования выявлено отрицательное влияние температуры воздуха, суховейных дней ($r=0,30-0,65$), осадков и их совокупность (гидротермический коэффициент) июня за вегетационный период ($r = 0,33-0,76$) на урожайность твердой пшеницы. Выпавшие осадки и совокупность погодных факторов (гидротермический коэффициент) мая-июня за вегетационный период благоприятно влияют на формирование урожайности в связи с полной влагообеспеченностью и оптимальной температурой воздуха. В июле и августе наблюдается слабая связь погодных факторов с урожайностью ($r = 0,19-0,22$) твердой пшеницы в результате высоких среднесуточных температур воздуха. Слабое влияние на урожайность твердой пшеницы оказывает целлюлозолитическая активность почвы ($r=0,17-0,31$) в виду повышенных температур воздуха июля и августа. По вариантам эксперимента твердой пшеницы по предшественнику сидеральный и почвозащитный пар установлена связь между разницей в содержании нитратного азота и целлюлозолитической активностью почвы на фоне применения удобрения ($r=0,36-0,39$) и на неудобренном ($r=0,37-0,38$). Положительная связь объясняется разложением микроорганизмами пожнивных корневых остатков овса, гороха и суданской травы, что приводит к накоплению нитратного азота в почве, стимулирующего их рост. В засушливый период отмечается отрицательная связь урожайности с содержанием нитратного азота в почве ($r=0,34$). Твердая пшеница, возделываемая в системе шестипольных севооборотов длительное время без удобрений, формирует урожайность 0,78-0,91 т/га.

Пролонгированное последствие минеральных удобрений обеспечивает прибавку зерна на 5,9-7,2 % при урожайности твердой пшеницы 0,85-0,97 т/га. Наибольшая прибавка зерна от минеральных удобрений отмечается в двупольном севообороте с мягкой пшеницей – 0,10 т/га. Выращивание твердой пшеницы в шестипольных севооборотах при применении минеральных удобрений сопровождается повышением целлюлозолитической активности почвы в последствии черного (10,3 %) и сидерального (12,0 %) пара, что связано с накоплением и фиксацией нитратного азота злаково-бобовой сидеральной смесью (овес и горох) и черного пара. Следовательно, наблюдается положительная связь целлюлозолитической активности почвы с урожайностью зерна. В связи с вышеизложенным, подтверждается устойчивость возделывания яровой твердой пшеницы в шестипольных севооборотах.

Список источников

1. Бесалиев И.Н., МIRONENKO С.И. Урожайность и качество зерна яровой твёрдой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 324-336. [Besaliev IN, Mironenko SI. Yield and grain quality of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):324-336. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-324
2. Васин В.Г., Бурунов А.Н., Стрижаков А.О. Формирование агрофитоценоза и продуктивность яровой твердой пшеницы при применении минеральных удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1(53). С. 25-32. [Vasin VG, Burunov AN, Strizhakov AO. Agrophytocenosis formation and productivity of spring durum wheat in case of application of mineral fertilizers. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;1(53):25-32. (In Russ.)]. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-25-32
3. Влияние минеральных и микробиологических удобрений на биологическую активность каштановой почвы и продуктивность яровой твердой пшеницы в условиях сухостепного Заволжья / К.Е. Денисов, И.С. Полетаев, А.А. Гераскина, В.А. Тонкошкур, К.С. Кондаков, Е.Б. Соловьева // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 27-30. [Denisov KE, Poletaev IS, Geraskina AA, Tonkoshkur VA, Kondakov KS, Solovieva EB. The influence of mineral and microbiological fertilizers on the biological activity of chestnut soil and the productivity of spring durum wheat in the conditions of the dry steppe of the Volga region. *Agrarian Scientific Journal*. 2022;12:27-30. (In Russ.)]. doi: 10.28983/asj.y2022i12pp27-30
4. Качество зерна яровой мягкой и твёрдой пшеницы в севооборотах Оренбургского Предуралья / В.Ю. Скороходов, Ю.В. Кафтан, А.А. Зоров, Е.Н. Скороходова, Н.А. Зенкова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 4. С. 260-272. [Skorokhodov VYu, Kaftan YuV, Zorov AA, Skorokhodova EN, Zenkova NA. Quality of spring soft and durum wheat grain in crop rotations of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):260-272. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260
5. Круглов Ю.В., Курдюков Ю.Ф., Шубитидзе Г.В. Микробиологическая активность чернозема южного в зависимости от агротехнических приёмов в засушливой степи Нижнего Поволжья // Аграрный научный журнал. 2018. № 1. С. 20-23. [Kruglov YuV, Kurdyukov YuF, Shubitidze GV. Microbiologic alactivity of southern chernozem dependent on agrotechnic measures in the dry steppe zone of the lower Volga region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2018;1:20-23. (In Russ.)].
6. Кузнецов Д.А. Влияние минеральных удобрений и норм высева на урожайность и качество зерна яровой пшеницы // Аграрный научный журнал. 2020. № 11. С. 25-29. [Kuznetsov DA. Influence of mineral fertilizers and seeding rates on the yield and quality of spring wheat grain. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;11:25-29. (In Russ.)]. doi: 10.28983/asj.y2020i11pp25-29
7. Маркова И.Н. Яровая твёрдая пшеница в Волгоградской области: сорта урожайность, перспективы возделывания // Научно-агрономический журнал. 2024. № 2(125). С. 58-63. [Markova IN. Spring durum wheat in the Volgograd region: varieties, yield, prospects of cultivation. *Scientific Agronomy Journal*. 2024;2(125):58-63. (In Russ.)]. doi: 10.34736/FNC.2024.125.2.008.58-63

8. Общия Е.Н., Хрипунов А.И. Целлюлозоразлагающая активность почвы в условиях склоновых земель ландшафтов как один из элементов её биологической активности // Сельскохозяйственный журнал. 2019. № 2(12). С. 25-28. [Obshhiya EN, Khripunov AI. Cellulose-decomposing soil activity in the conditions of the landscape slope lands as one of the elements of its biological activity. Agricultural Journal. 2019;2(12):25-28. (In Russ.)]. doi: 10.25930/004.2.12.2019
9. Подсевалов М.И., Тойгильдин А.Л., Аюпов Д.Э. Влияние агроприемов на биологическую активность почвы и урожайность озимой пшеницы в севооборотах лесостепи Заволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 1(37). С. 44-50. [Podsevalov MI, Toigildin AL, Ayupov DE. Influence of agro techniques on biological soil activity and winter wheat yield in crop rotation in the forest-steppe of Zavolzhie region. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2017;1(37):44-50. (In Russ.)]. doi: 10.18286/1816-4501-2017-1-44-50
10. Резервы повышения урожайности яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири / В.Н. Шоба, В.К. Каличкин, С.А. Ким, А.В. Каличкин // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 31-33. [Shoba VN, Kalichkin VK, Kim SA, Kalichkin AV. Reserves to increase yield of spring wheat in the forest-steppe of Western Siberia. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2017;31(6):31-33. (In Russ.)].
11. Сайдяшева Г.В., Зайцева К.Г. Влияние применения минеральных, биоминеральных удобрений и биопрепарата Бисолбифит на биологическую активность почвы и урожайность яровой пшеницы // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. № 1(72). С. 101-107. [Saidyasheva GV, Zaitseva KG. Effect of mineral and biomineral fertilizers and BisolbiFit biological preparation on the biological activity of soil and spring wheat yield. Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2022;1(72):101-107. (In Russ.)]. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_101-107
12. Санникова Н.В. Сегетальная флора в посевах яровой пшеницы лесостепной зоны Северного Зауралья // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 2(65). С. 37-40. [Sannikova N. Segetal flora in the crops of spring wheat in the forest-steppe zone of the Northern Trans-Urals. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2021;2(65):37-40. (In Russ.)].
13. Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21(2). С. 114-123. [Sapega VA, Tursumbekova GSh. Yield, ecological plasticity and stability of spring soft and durum wheat varieties in the southern forest steppe of Tyumen region. Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):114-123. (In Russ.)]. doi: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123
14. Скороходов В.Ю. Совершенствование технологии возделывания яровой твердой пшеницы в степной зоне Южного Урала // Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 49-53. [Skorokhodov VYu. Improvement of cultivation technology of spring did wheat in the steppe zone of the South-Ern Urals. The Agrarian Scientific Journal. 2021;7:49-53. (In Russ.)]. doi: 10.28983/asj.y2021i7pp49-53
15. Скороходов В.Ю. Урожайность яровой твердой пшеницы на фоне целлюлозолитической активности почвы // Аграрный научный журнал. 2023. № 12. С. 75-80. [Skorokhodov VYu. Yield of spring durum wheat against the background of cellulolytic activity of the soil. The Agrarian Scientific Journal. 2023;12:75-80. (In Russ.)]. doi: 10.28983/asj.y2023i12pp75-80
16. Скороходов В.Ю., Зоров А.А. Особенности влияния парового поля на формирование агроценоза и продуктивность яровой пшеницы в полевых севооборотах региона с неустойчивым увлажнением // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. №5. С. 3-8. [Skorokhodov VYu, Zorov AA. Features of the influence of the steam field on the formation of agrocenosis and the productivity of spring wheat in the field crop rotations of the region with unstable humidity. Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka. 2021;5:3-8. (In Russ.)]. doi: 10.31857/S250026272105001X
17. Тютюма Н.В., Зверева Г.Н., Кузнецова Е.А. Минеральное питание - залог урожайности твердой пшеницы на юге России // Естественные науки. 2024. № 3(16). С. 49-56. [Tyutyuma NV, Zvereva GN, Kuznetsova EA. Mineral nutrition is the key to the yield of durum wheat in the South of Russia. Natural Sciences. 2024;3(16):49-56. (In Russ.)]. doi: 10.54398/2500-2805.2024.16.3.005

18. Ayadi S, Jallouli S, Landi S, Capasso G, Chamekh Z, Cardi M, Paradisone V, Lentini M, Karmous C, Trifa Y, Esposito S. Nitrogen assimilation under different nitrate nutrition in Tunisian durum wheat landraces and improved genotypes. *Plant Biosystems*. 2020;154(6):924-934. doi: 10.1080/11263504.2020.1722274
19. Kenobi K, Atkinson JA, Wells DM, Gaju O, De Silva JG, Foulkes MJ, Dryden IL, Wood AT, Bennett MJ. Linear discriminant analysis reveals differences in root architecture in wheat seedlings related to nitrogen. *Journal of Experimental Botany*. 2017;68(17):4969-4981. doi: 10.1093/jxb/erx300
20. Patanita M, Tomaz A, Ramos T, Oliveira P, Boteta L, Dôres J. Water regime and nitrogen management to cope with wheat yield variability under the mediterranean conditions of Southern Portugal. *Plants*. 2019;8(10):429. doi: 10.3390/plants8100429
21. Phuke RM, Ambati D, Singh JB, Prakasha TL, Sai Prasad SV. Prospects of durum wheat in the realm of climate change. In: Kashyap PL, et al. *New horizons in wheat and barley research*. Singapore: Springer; 2022:485-506. doi: 10.1007/978-981-16-4449-8_19

References

1. Besaliev IN, Mironenko SI. Yield and grain quality of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):324-336. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-324
2. Vasin VG, Burunov AN, Strizhakov AO. Agrophytocenosis formation and productivity of spring durum wheat in case of application of mineral fertilizers. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;1(53):25-32. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-25-32
3. Denisov KE, Poletaev IS, Geraskina AA, Tonkoshkur VA, Kondakov KS, Solovieva EB. The influence of mineral and microbiological fertilizers on the biological activity of chestnut soil and the productivity of spring durum wheat in the conditions of the dry steppe of the Volga region. *Agrarian Scientific Journal*. 2022;12:27-30. doi: 10.28983/asj.y2022i12pp27-30
4. Skorokhodov VYu, Kaftan YuV, Zorov AA, Skorokhodova EN, Zenkova NA. Quality of spring soft and durum wheat grain in crop rotations of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):260-272. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260
5. Kruglov YuV, Kurdyukov YuF, Shubitidze GV. Microbiological activity of southern chernozem dependent on agrotechnic measures in the dry steppe zone of the lower Volga region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2018;1:20-23.
6. Kuznetsov DA. Influence of mineral fertilizers and seeding rates on the yield and quality of spring wheat grain. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;11:25-29. doi: 10.28983/asj.y2020i11pp25-29
7. Markova IN. Spring durum wheat in the Volgograd region: varieties, yield, prospects of cultivation. *Scientific Agronomy Journal*. 2024;2(125):58-63. doi: 10.34736/FNC.2024.125.2.008.58-63
8. Obshhiya EN, Khripunov AI. Cellulose-decomposing soil activity in the conditions of the landscape slope lands as one of the elements of its biological activity. *Agricultural Journal*. 2019;2(12):25-28. doi: 10.25930/004.2.12.2019
9. Podsevalov MI, Toigildin AL, Ayupov DE. Influence of agro techniques on biological soil activity and winter wheat yield in crop rotation in the forest-steppe of Zavolzhie region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2017;1(37):44-50. doi: 10.18286/1816-4501-2017-1-44-50
10. Shoba VN, Kalichkin VK, Kim SA, Kalichkin AV. Reserves to increase yield of spring wheat in the forest-steppe of Western Siberia. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2017;31(6):31-33.
11. Saidyasheva GV, Zaitseva KG. Effect of mineral and biomineral fertilizers and BisolbiFit biological preparation on the biological activity of soil and spring wheat yield. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;1(72):101-107. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_101-107
12. Sannikova N. Segetal flora in the crops of spring wheat in the forest-steppe zone of the Northern Trans-Urals. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2021;2(65):37-40.

13. Sapega VA, TursumbekovaGSh. Yield, ecological plasticity and stability of spring soft and durum wheat varieties in the southern forest steppe of Tyumen region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(2):114-123. doi: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123
14. Skorokhodov VYu. Improvement of cultivation technology of spring did wheat in the steppe zone of the South-Ern Urals. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;7:49-53. doi: 10.28983/asj.y2021i7pp49-53
15. Skorokhodov VYu. Yield of spring durum wheat against the background of cellulolytic activity of the soil. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023;12:75-80. doi: 10.28983/asj.y2023i12pp75-80
16. Skorokhodov VYu, Zorov AA. Features of the influence of the steam field on the formation of agrocenosis and the productivity of spring wheat in the field crop rotations of the region with unstable humidity. *Russian Agricultural Sciences*. 2021;5:3-8. doi: 10.31857/S250026272105001X
17. Tyutyuma NV, Zvereva GN, Kuznetsova EA. Mineral nutrition is the key to the yield of durum wheat in the South of Russia. *Natural Sciences*. 2024;3(16):49-56. doi: 10.54398/2500-2805.2024.16.3.005
18. Ayadi S, Jallouli S, Landi S, Capasso G, Chamekh Z, Cardi M, Paradisone V, Lentini M, Karmous C, Trifa Y, Esposito S. Nitrogen assimilation under different nitrate nutrition in Tunisian durum wheat landraces and improved genotypes. *Plant Biosystems*. 2020;154(6):924-934. doi: 10.1080/11263504.2020.1722274
19. Kenobi K, Atkinson JA, Wells DM, Gaju O, De Silva JG, Foulkes MJ, Dryden IL, Wood AT, Bennett MJ. Linear discriminant analysis reveals differences in root architecture in wheat seedlings related to nitrogen. *Journal of Experimental Botany*. 2017;68(17):4969-4981. doi: 10.1093/jxb/erx300
20. Patanita M, Tomaz A, Ramos T, Oliveira P, Boteta L, Dôres J. Water regime and nitrogen management to cope with wheat yield variability under the mediterranean conditions of Southern Portugal. *Plants*. 2019;8(10):429. doi: 10.3390/plants8100429
21. Phuke RM, Ambati D, Singh JB, Prakasha TL, Sai Prasad SV. Prospects of durum wheat in the realm of climate change. In: Kashyap PL, et al. *New horizons in wheat and barley research*. Singapore: Springer; 2022:485-506. doi: 10.1007/978-981-16-4449-8_19

Информация об авторах:

Виталий Юрьевич Скороходов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1, тел.: 89068458745.

Дмитрий Владимирович Митрофанов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1, тел.: 89878559895.

Information about the authors:

Vitaly Yu Skorokhodov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies. Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, Russia, 460051, tel.: 89068458745.

Dmitry V Mitrofanov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies. Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, Russia, 460051, tel.: 89878559895.

Статья поступила в редакцию 15.11.2024; одобрена после рецензирования 01.03.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 15.11.2024; approved after reviewing 01.03.2025; accepted for publication 17.03.2025.

Требования к статьям

В теоретическом и научно-практическом журнале «Животноводство и кормопроизводство» публикуются результаты научных исследований и их внедрения в сфере АПК.

Журнал входит в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, доктора наук» по отраслям наук и группам специальностей: 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки), 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные и биологические науки), 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные и биологические науки). **Отнесён к категории К 1.**

Журнал «Животноводство и кормопроизводство» включён в Russian Science Citation Index (RSCI).

Журнал «Животноводство и кормопроизводство» включён в систему Российского индекса цитирования.

Периодичность выхода журнала «Животноводство и кормопроизводство» – 4 раза в год.

Стоимость публикации одной статьи – 12000 рублей. Оплата подписки осуществляется через банки РФ. Для стран СНГ – 15000 руб., оплата – через любые банки РФ в валюте РФ.

Электронные полнотекстовые версии журнала размещаются на сайте журнала <http://gk.fncbst.ru/> и РУНЭБ <http://www.elibrary.ru>.

При подготовке статей в журнал рекомендуем руководствоваться следующими правилами:

- Статья должна содержать результаты научных исследований, теоретические, практические (инновационные) разработки и соответствовать основным научным направлениям журнала. **Оформление статьи – по ГОСТ 7.0.7-2021.** Оригинальность статьи должна составлять не менее 80 %.

- Авторы должны делать ссылки на ORCID, указывая адреса электронной почты для обратной связи.

- Материалы представляются в электронном виде в редакторе Word. Объём статьи – не менее 6 страниц, с полями 2 см, шрифт – Times New Roman, кегль – 14, интервал – одинарный.

- Статья должна быть структурирована: выделены полужирным шрифтом разделы «Введение», «Цель исследования», «Материалы и методы исследования», «Результаты исследования», «Обсуждение полученных результатов», «Заключение».

«Материалы и методы исследования» должны включать по абзацам:

Объект исследования.

Характеристика территорий, природно-климатические условия (как правило, для земледелия и растениеводства).

Схема эксперимента.

Оборудование и технические средства.

Статистическая обработка.

- **На русском и английском языках:** заглавие статьи – строчными жирными буквами; затем через интервал – имя, отчество и фамилия авторов полностью; название учреждения, где работают авторы; адреса электронной почты и ORCID каждого автора; через интервал перед текстом статьи размещаются: аннотация – не более 150-200 слов, ключевые слова – не более 10; через интервал – текст статьи на русском языке с таблицами и рисунками. Название и содержимое рисунков и таблиц приводятся полностью **на русском и английском языках.**

- К научной статье определяется её индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК).

- Графический материал (диаграммы, рисунки и т. д.) должен быть представлен в форме, обеспечивающей

ясность передачи всех деталей, контрастным, выполненным на компьютере и позволять дальнейшее редактирование в программах «Microsoft Word» или «Microsoft Excel». Графический материал публикуется только в чёрно-белом варианте, но авторами в электронном виде предоставляется в цветном. Название и содержимое рисунков приводятся полностью **на русском и английском языках.**

Литература размещается в конце статьи в виде общего списка, который должен содержать лишь те источники, на которые имеется ссылка в статье. Источники должны быть из изданий с высоким импакт-фактором, не старше 5-7 лет с момента публикации. Не использовать в качестве источников учебники, учебные и справочные пособия, диссертации и авторефераты диссертаций.

Список источников должен включать не менее 15 наименований. Самоцитирование не должно превышать 20 % от общего числа источников. В списке литературы 90 % должны быть статьи с DOI.

Ссылка на источник в тексте ставится в круглых скобках с указанием фамилии, инициалов автора и года публикации (Иванов И.И., 2011). При упоминании нескольких публикаций одного автора за один год используется буквенный маркер (Иванов И.И., 2011а; 2011б; 2011в). При цитировании ссылки, имеющей двух авторов, указываются оба автора (Иванов И.И. и Петров В.В., 2011). При цитировании ссылки, имеющей более двух авторов, указываются фамилия и инициалы первого автора и ставится пометка «и др.» (Иванов И.М. и др., 2011; английский вариант: Ivanov IM et al., 2011).

Описание русскоязычных источников должно быть оформлено в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 (см. раздел «Затекстовая библиографическая ссылка»). Согласно стилю Ванкувер, принятому в журнале, после каждого описания русского источника должна быть его транслитерация.

Описание англоязычных источников следует составлять в формате Vancouver Style.

Список начинается с русскоязычной литературы в алфавитном порядке, его продолжает список англоязычных авторов с соблюдением алфавитного порядка. Дополнительно этот же список источников приводится на английском языке в References, нумерация записей должна совпадать с нумерацией в русскоязычном списке источников.

В конце статьи **на русском и английских языках** должны быть указаны сведения об авторах: имя, отчество, фамилия полностью, учёная степень, учёное звание, занимаемая должность и место работы с адресными данными, контактными телефонами.

Пример оформления статьи:

<http://gk.fncbst.ru/archive.html>

Статья, поступившая в редакцию, проверяется через программу «Антиплагиат» и проходит через институт рецензирования в соответствии с Положением об институте рецензирования теоретического и научно-практического журнала «Животноводство и кормопроизводство». Отрицательная рецензия является основанием для отказа в публикации статьи.

Рукопись статьи, подготовленная к публикации, должна быть подписана лично автором. Автор несёт юридическую ответственность за содержание статьи, точность приводимых в рукописи цитат, статистических данных, фактов.

Статьи, оформление которых не соответствует изложенным выше требованиям, редколлегией не рассматриваются и возврату не подлежат.

Адрес редакции: 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29
ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, тел. 8(3532)30-81-76
e-mail: ntip_vniims@rambler.ru
сайт журнала: <http://gk.fncbst.ru/>