

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 107 | № 1 | 2024



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 107 № 1 2024

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. 107 No. 1 2024

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, профессор, 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 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);

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

М.П. Мордвинов, д-р с.-х. наук, профессор, Оренбургский государственный аграрный университет (г. Оренбург, 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);

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. Филина, 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 18.03.2024 г. Дата выхода в свет 29.03.2024 г. Усл. печ. л. 21,04. Тираж 500 экз. Заказ № 5

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: ntip_vniims@rambler.ru

Сайт журнала: <http://gk.fncbst.ru/>

© ФНЦ БСТ РАН, 2024

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), Professor, Institute of Animal Breeding 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);

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);

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);

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);

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

MP Mordvintsev, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Orenburg State Agrarian University (Orenburg, 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);

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 Dolgoplova Technical Editor – EG Khusainova Computer layout – EG Khusainova

Translator – YuR Filina, 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 presson 18.03.2024. Date of publication 29.03.2024. Conditional printed sheets 21.04. Circulation 500 samples. Order № 5

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

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ

- Шошин Д.Е., Сизова Е.А., Камирова А.М., Иванничева А.П.* Ультрадисперсные частицы Co_3O_4 и Mn_2O_3 как эффекторы рубцового пищеварения *in vitro* 8
- Гвоздикова А.М., Поливанова О.Б., Федорова Д.Г.* Особенности влияния биосинтезированных нанопорошков на каллусные культуры *in vitro* 22

БИОЭЛЕМЕНТОЛОГИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

- Шошина О.В.* Оценка элементного и биохимического состава сыворотки крови при включении в рацион бычков казахской белоголовой породы пиколината хрома 31

РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА

- Коновалова Е.Н., Романенкова О.С., Гладырь Е.А.* Анализ российских популяций крупного рогатого скота мясного направления продуктивности по полиморфизмам гена кальпаина 1 42
- Герасимов Н.П., Сангаков А.К.* Динамика весового роста у молодняка казахской белоголовой породы с различным уровнем экспрессии генов соматотропной оси 51
- Мукий Ю.В., Костюнина О.В.* Идентификация *LOF*-мутаций в популяции айрширского скота 62

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА, КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ И ЭКОНОМИКА
В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

- Горлов И.Ф., Сложеникина М.И., Мосолова Н.И., Кудряшова О.В., Ткаченко Н.А., Пузанкова В.А.* Влияние новой кормовой добавки КД-Биш на качество молочных продуктов 73
- Кувшинов В.Н., Дуборезов В.М., Цис Е.Ю.* Продуктивность и качество молока при скармливании суспензии хлореллы высокопродуктивным коровам 83
- Терещенко В.А.* Влияние комплексной минеральной добавки на качество яиц кур-несушек промышленного стада 93
- Баркова А.С., Зель Е.А., Верхотуров В.В., Шурманова Е.И.* Прогноз пантовой продуктивности европейского благородного оленя в условиях Калининградской области 107

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА КОРМЛЕНИЯ

- Мусабаева Л.Л., Сизова Е.А., Нечитайло К.С.* Сравнительная оценка влияния кормовой добавки Silaccess на основе льняного жмыха и цеолита на переваримость и морфологические показатели крови цыплят-бройлеров 118

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Мингазова М.С., Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е., Килякова Ю.В. **Общее понимание кворум сенсинга бактерий и применение ингибиторов кворума в аквакультуре (обзор)** 128

Иньшин О.В., Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е. **Биологическое действие активированного угля в качестве кормовой добавки на организм радужной форели** 147

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Скороходов В.Ю., Кафтан Ю.В., Максюттов Н.А., Зенкова Н.А., Скороходова Е.Н. **Урожайность зерновых культур в богарных условиях степной зоны Южного Урала** 161

Юбилейные даты 176

CONTENTS

NANOTECHNOLOGY IN ANIMAL HUSBANDRY AND FODDER PRODUCTION

- Shoshin DE, Sizova EA, Kamirova AM, Ivanishcheva AP. Ultrafine particles of Co_3O_4 and Mn_2O_3 as effectors of rumen digestion *in vitro** 8
- Gvozdikova AM, Polivanova OB, Fedorova DG. Features of the effect of biosynthesized nanopowders on callus cultures *in vitro** 22

BIOELEMENTOLOGY IN ANIMAL HUSBANDRY AND CROP PRODUCTION

- Shoshina OV. Assessment of the elemental and biochemical composition of blood serum after inclusion of chromium picolinate in Kazakh White-Headed bulls' diet* 31

BREEDING, SELECTION, GENETICS

- Konovalova EN, Romanenkova OS, Gladyr EA. The analysis of the Russian beef cattle population on polymorphism of CAPN1 gene* 42
- Gerasimov NP, Sangakov AK. Dynamics of weight growth in young Kazakh White-Headed breed with different levels of somatotropic axis gene expression* 51
- Mukiy JV, Kostyunina OV. Identification of LOF-mutations in a population of Ayrshire cattle* 62

PRODUCTION TECHNOLOGY, QUALITY AND ECONOMY IN ANIMAL HUSBANDRY

- Gorlov IF, Slozhenkina MI, Mosolova NI, Kudryashova OV, Tkachenkova NA, Puzankova VA. The influence of the new feed additive KD-Bish on the quality of dairy products* 73
- Kuvshinov VN, Duborezov VM, Tsis EYu. Productivity and milk quality after feeding high-yielding cows with chlorella suspension* 83
- Tereshchenko VA. The influence of a complex mineral additive on the quality of eggs of commercial laying hens* 93
- Barkova AS, Zel EA, Verkhoturov VV, Shurmanova EI. Forecast of antler productivity of European red deer in the conditions of Kaliningrad region* 107

THEORY AND PRACTICE OF FEEDING

- Musabaeva LL, Sizova EA, Nechitailo KS. Comparative assessment of the effect of the feed additive Silaccess based on flaxseed cake and zeolite on digestibility and morphological parameters of broiler chickens* 118

PHYSIOLOGY OF ANIMALS

- Mingazova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. General understanding of bacterial quorum sensing and use of quorum inhibitors in aquaculture (review)* 128

Inshin OV, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE. **Biological effect of activated carbon as a feed additive on the organism of rainbow trout** 147

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Skorokhodov YuV, Kaftan YuV, Maksyutov NA, Zenkova NA, Skorokhodova EN.
Grain crop yields under rain-fed conditions in the steppe zone of the Southern Urals 161

Anniversaries 176

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 636.085:577.17

doi:10.33284/2658-3135-107-1-8

Ультрадисперсные частицы Co_3O_4 и Mn_2O_3 как эффекторы рубцового пищеварения *in vitro*

Даниил Евгеньевич Шошин^{1,5}, Елена Анатольевна Сизова^{2,6}, Айна Маратовна Камирова³,
Анастасия Павловна Иванищева⁴

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

^{5,6}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

^{1,5}daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

^{2,6}sizova.178@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

³ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

⁴nessi255@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8264-4616>

Аннотация. Обозначены перспективы применения ультрадисперсных частиц (УДЧ) Co_3O_4 и Mn_2O_3 в кормлении сельскохозяйственных животных. Проведена оценка переваримости пшеничных отрубей *in vitro*, динамики летучих жирных кислот и азота рубцовой жидкости при введении различных дозировок исследуемых веществ. Установлено, что УДЧ Co_3O_4 и Mn_2O_3 в концентрации 0,6 и 38,6 мг/кг сухого вещества корма повышают коэффициент переваримости на 4,49 и 5,05 % ($P \leq 0,01$) соответственно, одновременно стимулируя образование уксусной, пропионовой и масляной кислот, а также повышая концентрацию общего и белкового азота, при увеличении численности простейших в 1 мл рубцового содержимого.

Ключевые слова: сельскохозяйственные животные, кормление, ультрадисперсные частицы, Co_3O_4 , Mn_2O_3 , переваримость, летучие жирные кислоты, инфузории, азот

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-26-00254.

Для цитирования: Ультрадисперсные частицы Co_3O_4 и Mn_2O_3 как эффекторы рубцового пищеварения *in vitro* / Д.Е. Шошин, Е.А. Сизова, А.М. Камирова, А.П. Иванищева // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 8-21. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-8>

NANOTECHNOLOGY IN ANIMAL HUSBANDRY AND FODDER PRODUCTION

Original article

Ultrafine particles of Co_3O_4 and Mn_2O_3 as effectors of rumen digestion *in vitro*

Daniil E Shoshin^{1,5}, Elena A Sizova^{2,6}, Ayna M Kamirova³, Anastasia P Ivanishcheva⁴

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

^{5,6}Orenburg State University, Orenburg, Russia

^{1,5}daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

^{2,6}sizova.178@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

³ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

⁴nessi255@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8264-4616>

Abstract. The prospects for the use of ultrafine particles (UFP) Co_3O_4 and Mn_2O_3 in feeding farm animals are outlined. The digestibility of wheat bran *in vitro* and the dynamics of volatile fatty acids and nitrogen in the rumen fluid with the introduction of various dosages of the studied substances was as-

sessed. It has been established that UFP Co_3O_4 and Mn_2O_3 at concentrations of 0.6 and 38.6 mg/kg of feed dry matter increase the digestibility coefficient by 4.49 and 5.05%, respectively ($P \leq 0.01$); simultaneously stimulate the formation of acetic, propionic and butyric acids, and increase the concentration of total and protein nitrogen, with an increase in the number of protozoa in 1 ml of ruminal contents.

Keywords: farm animals, feeding, ultrafine particles, Co_3O_4 , Mn_2O_3 , digestibility, volatile fatty acids, ciliates, nitrogen

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 22-26-00254.

For citation: Shoshin DE, Sizova EA, Kamirova AM, Ivanishcheva AP. Ultrafine particles of Co_3O_4 and Mn_2O_3 as effectors of rumen digestion *in vitro*. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):8-21. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-8>

Введение.

Современное животноводство, как оплот продовольственной безопасности, нуждается в постоянном повышении эффективности производства при минимальных затратах труда и средств, что может быть достигнуто, в частности, за счёт наиболее полной реализации генетического потенциала поголовья. Последнее же обеспечивается путём совершенствования рационов и создания кормовых добавок, максимально конвергентных физиологическим способностям организма, иными словами, в той степени способствующих усвояемости питательных веществ, насколько это практически возможно (Улитко В.Е., 2014). В представленном отношении особое внимание привлекают ультрадисперсные частицы (УДЧ) металлической природы – многопрофильные композиции с гетероморфным функционалом в отношении животного организма. Они позволяют не только эффективно покрыть недостаток в минеральных элементах, но также способствуют укреплению иммунитета, поддерживают антиоксидантный статус, улучшают пищеварение, в частности стимулируют деструкцию клетчатки, благотворно воздействуют на микроархитектуру кишечника, модулируют микробиом и окислительно-восстановительный гомеостаз, вкуче повышая производительность скота и птицы, а также качество получаемой от них продукции (Magappan G et al., 2017; Michalak I et al., 2022). Иными словами, они выступают одновременно не только как дополнительный источник макро- и микроэлементов, но и как аналог антибиотических стимуляторов роста (Michalak I et al., 2022).

В частности, известно, что кобальт используется микроорганизмами рубца жвачных для синтеза корринового ядра витамина B_{12} . Последний же является коферментом для метилмалонил-КоА-мутаза и метионинсинтетазы, и необходим, соответственно, для метаболизма пропионата в сукцинат и превращения аминокислоты гомоцистеина в метионин с одновременной регенерацией тетрагидрофолата – предшественника пурина и пиримидина. Однако мобилизация кобальта микробиомом из пищевых субстратов и неорганических солей малоэффективна и составляет при благоприятных условиях около 13 % (González-Montaña JR et al., 2020). При этом Со-содержащие УДЧ, связываясь с белками внутренней физиологической среды, обретают своеобразную биоидентичность и эффективно сорбируются эпителиальной выстилкой желудочно-кишечного тракта (Carrillo-Carrion C et al., 2017). Кроме того, они обладают выраженной бактерицидной активностью в отношении модельных штаммов *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* (Moradpoor H et al., 2019), сравнимой с действием гентамицина или окситетрациклина (Gupta V et al., 2020).

Аналогично марганец функционирует как кофактор для аргиназы, глутаминсинтетазы, пироваткарбоксилазы, Мп-супероксиддисмутаза и участвует, соответственно, в гидролизе аргинина до орнитина и мочевины, АТФ-зависимом превращении глутамата в глутамин, синтезе оксалацетата из пирувата и обезвреживании супероксидных анион-радикалов (Avila DS et al., 2013). Однако, как и в случае с кобальтом, сорбция марганца в организме жвачных крайне мала и составляет не более 1 % (Spears JW, 2019). В то же время внесение Мп-депонированных УДЧ с эксплицитными антибиотическими свойствами как против грамотрицательных и грамположительных микроорганизмов, так и в отношении грибов, например, *Trichophyton simii*, *Curvularia lunata*, *Aspergillus niger*

и *Candida albicans* (Hoseinpour V and Ghaemi N, 2018) в рацион птицы позволило значительно повысить всасываемость данного микроэлемента в подвздошной кишке (Matuszewski A et al., 2020).

Соответственно, марганец и кобальт как компоненты металлоферментов критически важны для широкого спектра обменных процессов, включая метаболизм белков, жиров, углеводов и нуклеиновых кислот, процессы роста и развития, пищеварения и детоксикации, выработки энергии и регуляции активности нейронов (González-Montaña JR et al., 2020; Avila DS et al., 2013), причём наиболее перспективной формой введения их в рацион животных выступают УДЧ, позволяющие снизить необходимые дозировки в сравнении с объёмистыми минералами и экскрецию элементов с неперевааренными остатками корма на фоне повышения биодоступности. Как следствие, сокращаются нагрузка на окружающую среду и экономические расходы (Michalak I et al., 2022).

Однако при тех же условиях, в силу своих малых размеров и вытекающей из этого высокой реакционной способности УДЧ могут быть крайне токсичны (Kumar V et al., 2017), что побуждает к детальной оценке их свойств, включая влияние на микробиом-опосредованные процессы в пищеварении, до начала физиологических опытов, то есть *in vitro*.

Цель исследования.

Определить потенциал УДЧ Co_3O_4 и Mn_2O_3 как стимуляторов пищеварительных процессов на модели искусственного рубца.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Рубцовая жидкость бычков казахской белоголовой породы средней массой $266 \pm 1,53$ кг и возрастом 11-12 месяцев.

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.), 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.

Схема эксперимента. Исследования выполнены в ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф> согласно таблице 1.

Таблица 1. Схема экспериментальных работ

Table 1. Experimental scheme

Опыты / Experiments	Дозировки исследуемых УДЧ (мг/кг СВ) и содержание в них элементов-металлов / <i>Dosages of the studied UFPs (mg/kg DM) and the content of elements-metals in them</i>			
	Mn_2O_3	чистый Mn / <i>Pure Mn</i>	Co_3O_4	чистый Co / <i>Pure Co</i>
Контроль/ <i>Control</i>	-	-	-	-
I	19,3	13,4	0,3	0,2
II	38,6	26,8	0,6	0,4
III	77,2	53,7	1,2	0,9

Переваримость сухого вещества базового субстрата (пшеничные отруби) при внесении исследуемых УДЧ определяли с помощью установки инкубатора и буферного раствора по специализированной методике. Для чего у животных ($n=3$), 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) через хроническую фистулу ($d=80$ мм, ANKOM Technology Corporation, США) отбирали пробы рубцового содержимого. Транспортировку осуществляли в течение 30 минут, поддерживая температурный режим $+38,5...+39,5$ °С. Перед использованием рубцовую жидкость тщательно встряхивали и процеживали через 4 слоя марли. Заранее мешочки из полиамидной ткани ($n=10$) взвешивали и нумеровали, в них помещали по 500 мг пшеничных отрубей и запаивали. Рубцовую жидкость, разведённую буфером в соотношении 1:4, насыщали углекислым газом и по 2 л размещали в ёмкостях искусственного рубца (ANKOM Daisy II, США), задавая программу: 48 ч при $+39,5$ °С. По окончании инкубации образцы промывались и высушивались при температуре $+60$ °С до константного веса. Коэффициент переваримости определяли по формуле:

$$K = \frac{(m_1 - m_2)}{500} \times 100 \%$$

где m_1 – масса высушенного мешочка с кормом, после переваривания;

m_2 – масса мешочка без корма.

Численность простейших в рубцовой жидкости устанавливали с помощью камеры Горяева. 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 225 больших квадратах, после чего определяли число простейших в 1 мл рубцового содержимого по формуле:

$$N = \frac{1000 \times n \times b}{S \times h} = \frac{1000 \times n \times 5}{225 \times 0,04 \times 0,1} = \frac{1}{9} n \times 50000,$$

где n – количество клеток, подсчитанных в определенном секторе;

b – кратность разведения пробы;

S – площадь исследуемого сектора;

h – глубина счётной камеры.

Общую микробиальную массу определяли путём центрифугирования и трёх- пятикратной отмывки при 10000 g в течение 15 мин (центрифуга «Mini», GYROZEN Co., Ltd., Южная Корея).

Уровень летучих жирных кислот (ЛЖК) в содержимом рубца устанавливали методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием на хроматографе газовом «Кристаллюкс-4000М (СКБ Хроматек, Россия), формы азота – по ГОСТ 26180-84, ГОСТ 13496.4-2019.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены в ЦКП БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>). Установка-инкубатор «ANKOM Daisy II» (Ankom Technology, США), стерилизатор воздушный ГП-80 СПУ (ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия), хроматограф газовый «Кристаллюкс-4000М (СКБ Хроматек, Россия), центрифуга «Mini» (GYROZEN Co., Ltd., Южная Корея), камера Горяева (ООО «МиниМед», Россия).

Статистическая обработка. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением «Excel 2016» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 12» («Stat Soft Inc.», США). Рассчитывали среднее (M), среднеквадратичное отклонение ($\pm\sigma$), стандартную ошибку ($\pm SE$). Для сравнения вариантов использовали непараметрический метод анализа. Различия считали статистически значимыми при * – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$.

Результаты исследований.

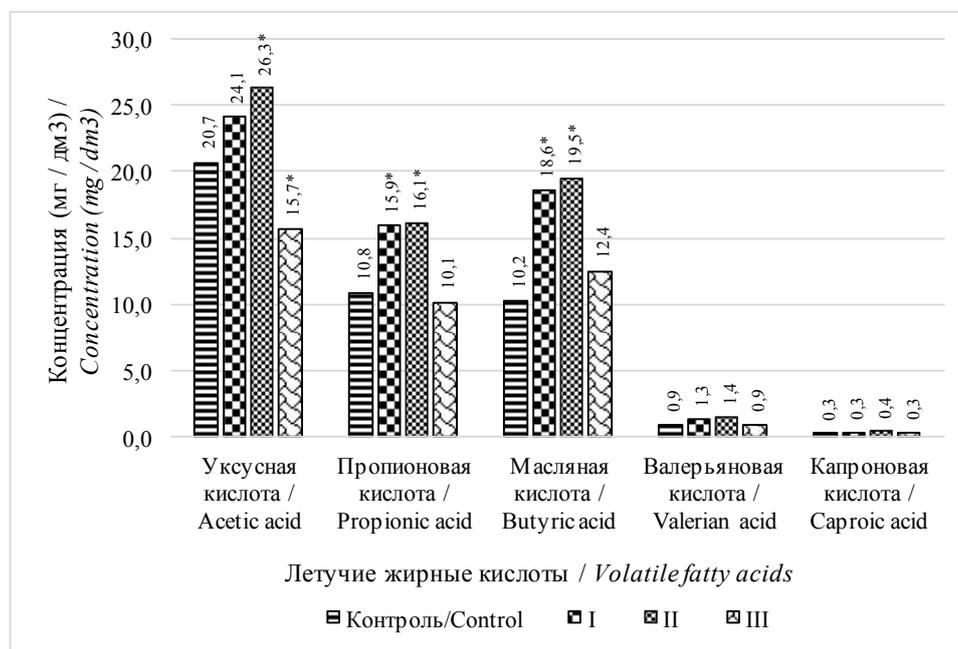
УДЧ Co_3O_4 и Mn_2O_3 в зависимости от концентраций оказали различное влияние на переваримость базового субстрата (табл. 2). Так, минимальные дозировки способствовали незначительному повышению коэффициента переваримости сухого вещества корма *in vitro*, в то время как промежуточные достоверно увеличивали его на 4,49 и 5,05 % ($P \leq 0,01$) соответственно. Одновременно заметно возрастало количество инфузорий, однако общая микробиальная масса менялась в малом диапазоне, хотя и имела тенденцию к росту. Напротив, повышенные дозы УДЧ угнетали пищеварительные процессы и микробиом.

Таблица 2. Коэффициент переваримости, количество инфузорий и микробная масса
Table 2. Digestibility coefficient, number of infusoria and microbial mass

Группа / Group	Концентрация, мг/кг СВ / Concentration, mg/kg DM	Коэффициент переваримости / Digestibility coefficient	Количество инфузорий в 1 мл рубцовой жидкости (тыс. шт.) / The number of infusoria in 1 ml of ruminal fluid (thousand pcs.)	Микробная масса, (мг/мл) / Microbial mass, (mg/ml)
Контроль / Control		63,77±0,92	666,7±44,4	70,8±3,5
УДЧ Mn ₂ O ₃ / Mn ₂ O ₃ UFP	19,3	64,12±0,92	788,9±33,3	72,1±5,8
	38,6	68,26±0,84**	1022,2±44,4*	74,4±5,1
	77,2	59,83±0,96*	402,8±11,1*	67,1±4
УДЧ Co ₃ O ₄ / Co ₃ O ₄ UFP	0,3	65,21±0,97	708,3±19,4	68,2±5,5
	0,6	68,82±0,95**	894,4±38,9*	66,4±4,6
	1,2	61,3±1,11	405,6±22,2*	69,3±4,2

Примечание: * – P≤0,05; ** – P≤0,01 при сравнении с контролем
Note: * – P≤0.05; ** – P≤0.01 when compared with the control

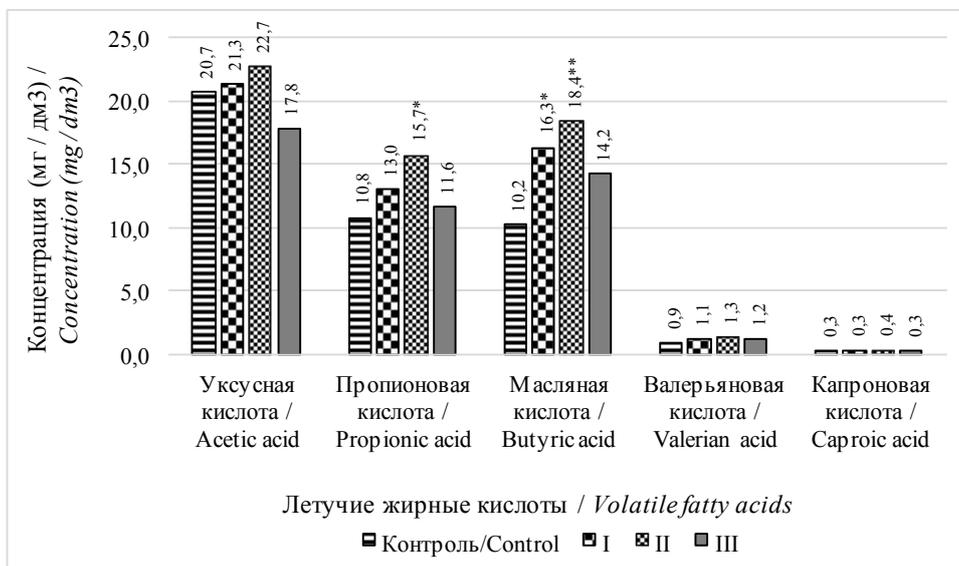
В свою очередь концентрация уксусной кислоты достоверно увеличивалась (P≤0,05) на 5,6 % во II опыте с УДЧ Mn₂O₃ (рис. 1), но фактически не менялась в аналогичном случае с УДЧ Co₃O₄ (рис. 2).



Примечание: * – P≤0,05; ** – P≤0,01 при сравнении с контролем
Note: * – P≤0.05; ** – P≤0.01 when compared with the control

Рисунок 1. Концентрация летучих жирных кислот рубцовой жидкости после инкубирования с УДЧ Mn₂O₃, мг/%

Figure 1. Concentration of volatile fatty acids in rumen fluid after incubation with UFP Mn₂O₃, mg/%

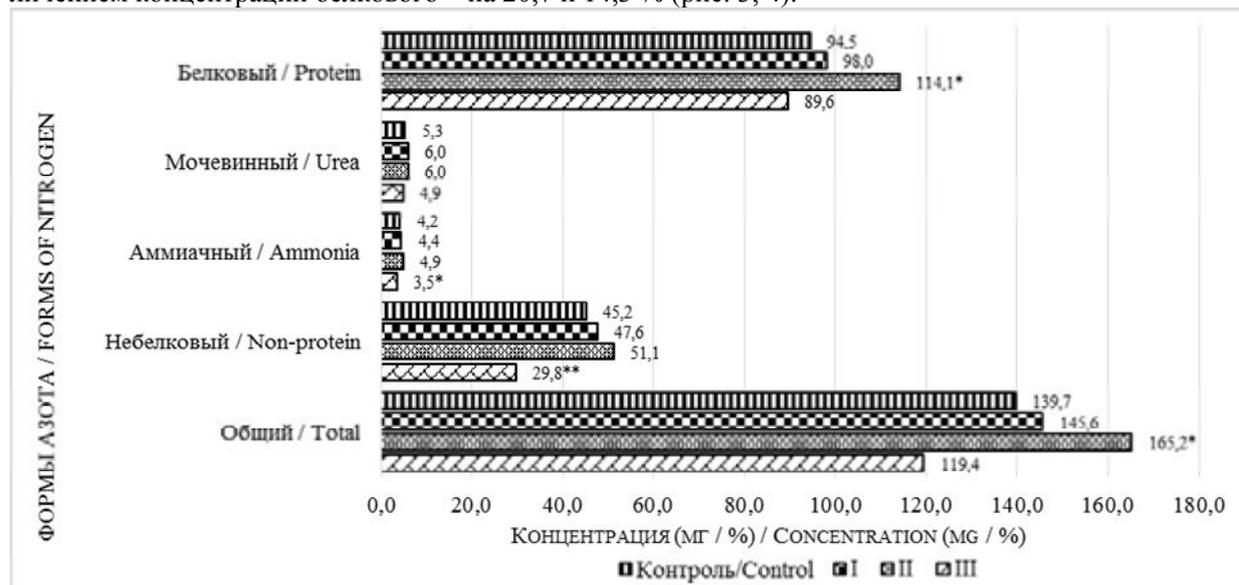


Примечание: * – P<0,05; ** – P<0,01 при сравнении с контролем
Note: * – P<0.05; ** – P<0.01 when compared with the control

Рисунок 2. Концентрация летучих жирных кислот рубцовой жидкости после инкубирования с УДЧ Co₃O₄, мг/%
Figure 2. Concentration of volatile fatty acids in rumen fluid after incubation with UFP Co₃O₄, mg/%

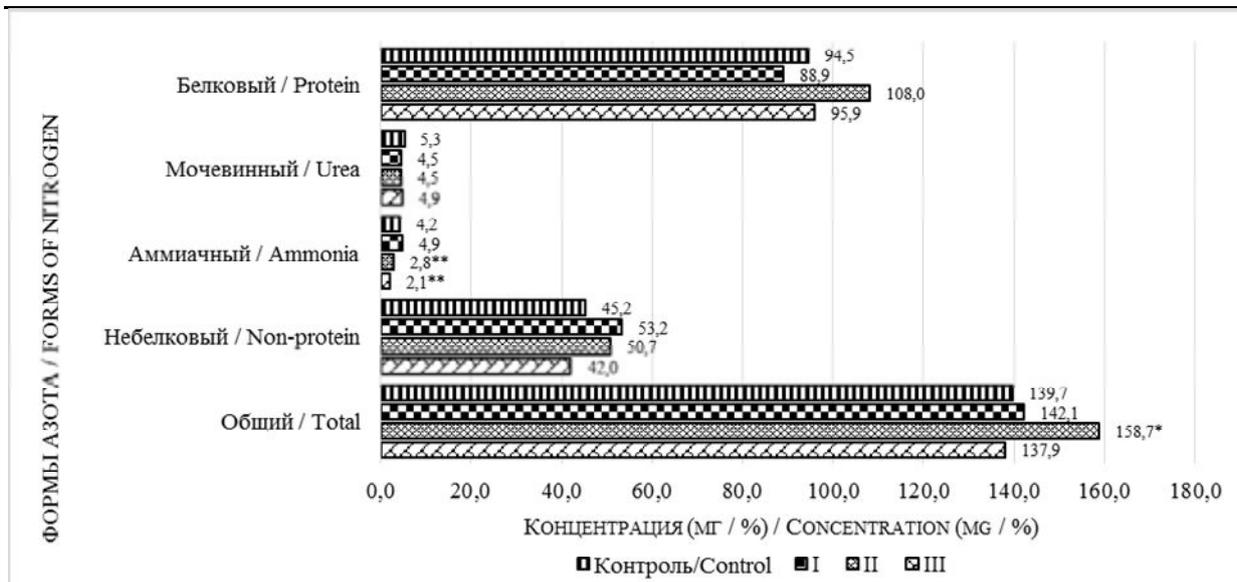
Тем не менее, количество пропионовой и масляной кислот существенно увеличивалось в обоих экспериментах. Аналогично с коэффициентом переваримости уровень ацетата и пропионата снижался при высоких дозах УДЧ. В противоположность этому количество бутирата несколько повышалось. В то же время в опытных группах по сравнению с контролем снижалось соотношение ацетат-пропионат в диапазоне 14,5-24,6 %. При этом УДЧ не оказали существенного влияния на величину водородного показателя, уровень рН в контроле и опытных образцах был в пределах нормы и составлял 6,4-6,8.

Аналогично, как в случае с УДЧ Mn₂O₃, так и с УДЧ Co₃O₄ в опыте II в рубцовой жидкости повышалось содержание общего азота на 18,3 и 13,6 % (P<0,05) соответственно параллельно с увеличением концентрации белкового – на 20,7 и 14,3 % (рис. 3, 4).



Примечание: * – P<0,05; ** – P<0,01 при сравнении с контролем
Note: * – P<0.05; ** – P<0.01 when compared with the control

Рисунок 3. Концентрация азота рубцовой жидкости после инкубирования с УДЧ Mn₂O₃, мг/%
Figure 3. Nitrogen concentration in rumen fluid after incubation with UFP Mn₂O₃, mg/%



Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ при сравнении с контролем

Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$ when compared with the control

Рисунок 4. Концентрация азота рубцовой жидкости после инкубирования с УДЧ Co_3O_4 , мг/%
Figure 4. Nitrogen concentration in ruminal fluid after incubation with UFP Co_3O_4 , mg/%

При этом количество небелкового азота, включая аммиачный и мочевиный, в I и II опытах достоверно не менялось, но снижалось при высоких дозах (III опыт).

Таким образом, установлено позитивное влияние УДЧ Mn_2O_3 и Co_3O_4 в дозах 38,6 и 0,6 мг/кг СВ корма на коэффициент переваримости, микробальную биомассу и ферментативные процессы в рубце, выражающиеся в увеличении уровня ЛЖК, а также концентрации общего и белкового азота.

Обсуждение полученных результатов.

Изменение динамики пищеварительных процессов в рубце *in vitro* при добавлении макро- и микроэлементов в различных формах, включая УДЧ, может быть обусловлено двумя взаимодополняющими механизмами, уже упоминаемыми ранее, а именно инкорпорацией в физиологические процессы ионов металлов и их антибиотическим действием в отношении ряда условно патогенных и некоторых иных комменсальных форм (Moradpoor H et al., 2019; Gupta V et al., 2020; Hoseinpour V and Ghaemi N, 2018).

Последнее же, учитывая сложность и многообразие внутрисистемных взаимодействий микробиоты, среди которых интеграция между:

- 1) фибролитическими и протеолитическими бактериями (отвечает за устранение продуктов распада белка – жирных кислот с разветвлённой цепью и аммиака);
- 2) сукцинатпродуцирующими и утилизирующими прокариотами (определяет превращение уксусной кислоты в пропионовую);
- 3) лактатвырабатывающими и расщепляющими его микроорганизмами (*Megasphaera elsdenii* и *Selenomonas ruminantium* превращают молочную кислоту в ацетат, пропионат и бутират);
- 4) межвидовой перенос водорода (повышение концентрации ацетата и АТФ при одновременном снижении количества восстановленных продуктов ферментации, таких как лактат, этанол, сукцинат и пропионат).

Вкупе всё вышеперечисленное непосредственно сказывается на общетаксономическом профиле и суммарном метаболическом эффекте (Nagaraja TG, 2016).

Так, в частности, при скармливании бычкам казахской белоголовой породы CoCl_2 в количестве 39 мг/гол. в рубцовом содержимом наблюдалось смещение в сторону грамотрицательных бактерий при уменьшении доли грамположительных, соответственно, увеличилось число представителей типов *Verrucomicrobia* и *Bacteroidetes* (Ryazanov V et al., 2023). В то же время общее число видов уменьшилось относительно контрольной группы на 2,4 %, индекс Симпсона был ниже на 50 %, что свидетельствует о более равномерном распределении прокариот в сообществе. Всё это, в сущности, позволяет говорить о возможностях модуляции целлюлозолитической, амилолитической, сахаролитической, липолитической, протеолитической и фибролитической активности рубцового содержимого (Nagaaja TG, 2016; Мирошникова М.С., 2020; Колоскова Е.М. и др., 2020).

В то же время установлено, что повышение концентрации кобальта в среде пропионово-кислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii* стимулирует синтез и накопление корриноидов (Каменская Ю.В., 2019). Они же интенсифицируют размножение инфузорий (Bonhomme A et al., 1982), в частности растительоядных представителей родов *Entodinium* и *Diplodinium* (*Entodinium nanellum*, *Entodinium ovinum*, *Diplodinium bubalidis ssp. bubalidis*), обладающих целлюлозолитической активностью, а также отдельных видов, расщепляющих крахмал с образованием уксусной, пропионовой и масляной кислот – *Entodinium ecaudatum*, *Isotricha intestinalis*, *Dasytricha ruminantium*, *Entodinium simulans – dubardi*, *Ophryoscolex caudatus*, что соответствует описанной ранее динамике концентрации ЛЖК, общего и белкового азота. Более того, большая часть эндобионтных реснитчатых, и в особенности некоторые хищные особи (*Entodinium bursa*), активно поедают бактерии, сдерживая тем самым их массовое размножение (Черная Л.В., 2016).

Что же касательно марганца, то он особенно необходим представителям родов *Lactiplantibacillus* и *Lacticaseibacillus*, а также, в меньшей степени, *Bacillus subtilis* и другим *Bacillota* (*Firmicutes*) для нейтрализации АФК, регуляции процессов роста и развития (Bosma EF et al., 2021). В свою очередь молочнокислые бактерии и сенная палочка, вырабатывающие антимикробные пептиды – бактериоцины, обладают выраженными пробиотическими характеристиками: модулируют микробиом, способствуют переваримости клетчатки, снижают выбросы метана, риск ацидоза и аллергических реакций, выделение *Escherichia coli* с калом, повышают концентрацию ЛЖК и продуктивность жвачных животных (Bidarkar VK et al., 2014; Chang M et al., 2021; Doyle N et al., 2019). Путём конкурентного исключения в процессе симбиоза они формируют пищевой иммунитет хозяина, так как марганец также связан с вирулентностью некоторых прокариот (Bosma EF et al., 2021). При этом добавки сульфата и хелата марганца с базальным содержанием микроэлемента 150 мг/кг сухого вещества корма в рационе ягнят способствовали переваримости питательных веществ и увеличивали биомассу протозойной и бактериальной фракции рубцового содержимого (Gresakova L et al., 2018). Аналогично Mn -метионин, MnSO_4 и MnCl_2 повышали концентрацию ЛЖК, в частности ацетата и пропионата, аммиачного азота, усвояемость сухого вещества, активность амилазы, трипсина, целлюлазы и липазы, а также содержание микробного белка у яков (Lu H et al., 2023).

При этом, однако, полученные ранее результаты по применению неорганических солей марганца и кобальта требуют, как правило, больших дозировок либо же демонстрируют меньшую эффективность. Так, например, CoCl_2 в дозе 1,5 мг/кг сухого вещества способствовал повышению коэффициента переваримости на 1,5 % (против полученных в представленной работе 4,49 %), а MnSO_4 уступал по данному показателю *in situ* химически чистому марганцу в наноформе (разница составила 4,2 %) (Шейда Е.В. и др., 2022; Дускаев Г.К. и др., 2016).

Эффективность модели «искусственного рубца» доказана в исследованиях, посвящённых изучению биологических свойств УДЧ железа, оксидов хрома и кремния (Лебедев С.В. и др., 2023; Шейда Е.В. и Лебедев С.В., 2023; Камирова А.М. и Сизова Е.А., 2023).

Иными словами, УДЧ эссенциальных элементов обладают большим потенциалом в животноводстве как эффекторы рубцового пищеварения, нежели неорганические соли. Однако следует отметить, что суммарный эффект от их внедрения определяется не только дозировками и физико-химическими характеристиками, но и комплексными взаимодействиями с другими компонентами

премиксов и кормовым субстратом (Ильичев Е. и др., 2011; Нуржанов Б.С., 2020), что обуславливает актуальность дальнейших исследований механизмов метаболических инклюзий УДЧ.

Заключение.

УДЧ Mn_2O_3 , и Co_3O_4 в дозировках 38,6 и 0,6 мг/кг сухого вещества корма способствуют переваримости пшеничных отрубей *in vitro*, одновременно увеличивая концентрацию летучих жирных кислот (уксусной, пропионовой и масляной), общего и белкового азота в рубцовом содержимом, на фоне увеличения численности простейших и общей микробиальной массы.

Список источников

1. Влияние *Cucurbita esemenisoleum* обогащенной высокодисперсными частицами марганца на переваримость сухого вещества и микробиологические процессы в рубце животных / Б.С. Нуржанов, Ю.И. Левахин, Г.К. Дускаев, С.С. Жаймышева // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 4(36). С. 34-37. [Nurzhanov BS, Levakhin YuI, Duskaev GK, Zhaimysheva SS. *Cucurbita esemenisoleum* enriched effect with highly dispersion particles of manganese on the digestibility of dry substance and microbiological processes in animal rumen. Vestnik Kurganskoj GSHA. 2020;4(36):34-37. (In Russ.)].
2. 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. Introduced 01.08.2020. Moscow: Standartinform; 2019:15 p. (In Russ.)].
3. ГОСТ 26180-84. Методы определения аммиачного азота и активной кислотности (рН). Введ. 01.07.1985. М.: Государственный комитет по стандартам, 1984. 6 с. [GOST 26180-84 Fodder. Determination of ammonia nitrogen content and actual acidity. Introduced 01.07.1985. Moscow: Gosudarstvennyi komitet po standartam; 1984:6 p. (In Russ.)].
4. Исследование микробиома рубца у овец с использованием молекулярно-генетических методов (обзор) / Е.М. Колоскова и др. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2020. № 4. С. 5-26. [Koloskova EM et al. Studies of the sheep rumen microbiome using molecular genetic methods: a review. Problems of Productive Animal Biology. 2020;4:5-26. (In Russ.)]. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.4.5-26
5. Каменская Ю.В. Влияние солей кобальта на биосинтез витамина В12 пропионовокислыми бактериями // Наука, техника и образование. 2019. № 6(59). С. 13-15. [Kamenskaya YuV. Effect of cobalt salts on vitamin B12 biosynthesis by propionic acid bacteria. Science, Technology and Education. 2019;6(59):13-15. (In Russ.)].
6. Камирова А.М., Сизова Е.А. Комплексная оценка влияния минеральных веществ в ультрадисперсной форме на рубцовое пищеварение // Пермский аграрный вестник. 2023. № 1(41). С. 88-98. [Kamirova AM, Sizova EA. Comprehensive assessment of the influence of minerals in the ultradispersed form on rumen digestion. Perm Agrarian Journal. 2023;1(41):88-98. (In Russ.)]. doi: 10.47737/2307-2873_2023_41_88
7. Мирошникова М.С. Основные представители микробиома рубца (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 4. С. 174-185. [Miroshnikova MS. The main representatives of the rumen microbiome (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(4):174-185. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-174
8. Переваримость рациона и баланс питательных веществ при скармливании телятам нанопорошков кобальта и меди / Е. Ильичев, А. Назарова, С. Полищук, В. Иноземцев // Молочное и мясное скотоводство. 2011. № 5. С. 27-29. [Il'ichev E, Nazarova A, Polishchuk S, Inozemtsev V. Diet digestibility and nutrient balance with the addition of cobalt and copper nanopowders to the calves' rations. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2011;5:27-29. (In Russ.)].
9. Результаты исследований по переваримости *in vitro* и *in situ* создаваемых кормовых добавок / Г.К. Дускаев и др. // Вестник мясного скотоводства. 2016. № 4(96). С. 126-131.

[Duskaev GK et al. Results of researches on digestibility *in vitro* and *in situ* of developed feed additives. Herald of Beef Cattle Breeding. 2016; 4(96):126-131. (In Russ.).]

10. Способ кормления молодняка крупного рогатого скота для повышения ферментативных процессов в его рубце: пат. 2784969 С1 Рос. Федерация / Е.В. Шейда, В.А. Рязанов, Ш.Г. Рахматуллин, Г.К. Дускаев, С.В. Лебедев. Заявл. 14.03.2022; опубл. 01.12.2022, Бюл. № 34. [Sheida EV, Riazanov V, Rakhmatullin ShG, Duskaev GK, Lebedev SV. Method for feeding young cattle to increase enzymatic processes in its rumen: pat. 2784969 C1 Ros. Federatsiya. Zayavl. 14.03.2022; opubl. 01.12.2022, Byul. № 34. (In Russ.).]

11. Сравнительный анализ влияния различных форм железа на течение метаболических процессов в рубце методом «*in vitro*» / С.В. Лебедев, Е.В. Шейда, О.В. Шошина, В.И. Корнейченко // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 1. С. 192-202. [Lebedev SV, Sheida EV, Shoshina OV, Korneichenko VI. Comparative analysis of the effect of various forms of iron on the course of metabolic processes in rumen using “*in vitro*” method. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(1):192-202. (In Russ.). doi: 10.33284/2658-3135-106-1-192

12. Улитко В.Е. Инновационные подходы в решении проблемных вопросов в кормлении сельскохозяйственных животных // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4(28). С. 136-147. [Ulitzko VE. Innovative aspects and issues of feeding farm animals. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2014;4(28):136-147. (In Russ.).]

13. Черная Л.В. Особенности жизнедеятельности эндобионтных инфузорий в желудке овец // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 3-3. С. 402-404. [Chernaya LV. Features of vital activity of endobiontnyh ciliates in the stomach sheep. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2016;3(3):402-404. (In Russ.).]

14. Шейда Е.В., Лебедев С.В. Влияние УДЧ Cr₂O₃ на процессы ферментации в рубце жвачных животных в опытах *in vitro* // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 3. С. 8-20. [Sheida EV, Lebedev SV. Influence of Cr₂O₃ UFP on fermentation processes in rumen of ruminants in *in vitro* experiments. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(3):8-20. (In Russ.). doi: 10.33284/2658-3135-106-3-8

15. Avila DS, Puntel RL, Aschner M. Manganese in health and disease. In: Sigel A, Sigel H, Sigel R, editors. Interrelations between essential metal ions and human diseases. Dordrecht: Springer. 2013;13:199-227. doi: 10.1007/978-94-007-7500-8_7

16. Bidarkar VK, Swain PS, Ray S, Dominic G. Probiotics: Potential alternative to antibiotics in ruminant feeding. Trends in Veterinary and Animal Sciences. 2014;1(1):1-4.

17. Bonhomme A, Durand M, Quintana C, Halpern S. Influence du cobalt et de la vitamine B12 sur la croissance et la survie des ciliés du rumen *in vitro*, en fonction de la population bactérienne. Reproduction Nutrition Développement. 1982;22(1A): 107-122.

18. Bosma EF, Rau MH, van Gijtenbeek LA, Siedler S. Regulation and distinct physiological roles of manganese in bacteria. FEMS Microbiology Reviews. 2021;45(6):fuab028. doi: 10.1093/femsre/fuab028

19. Carrillo-Carrion C, Carril M, Parak WJ. Techniques for the experimental investigation of the protein corona. Current Opinion in Biotechnology. 2017;46:106-113. doi: 10.1016/j.copbio.2017.02.009

20. Chang M, Ma F, Wei J, Liu J, Nan X, Sun P. Live Bacillus subtilis natto promotes rumen fermentation by modulating rumen microbiota *in vitro*. Animals. 2021;11(6):1519. doi: 10.3390/ani11061519

21. Doyle N, Mbandlwa P, Kelly WJ, Attwood G, Li Y, Ross RP, Leahy S. Use of lactic acid bacteria to reduce methane production in ruminants, a critical review. Frontiers in Microbiology. 2019;10:2207. doi: 10.3389/fmicb.2019.02207

22. González-Montaña JR, Escalera-Valente F, Alonso AJ, Lomillos JM, Robles R, Alonso ME. Relationship between vitamin B12 and cobalt metabolism in domestic ruminant: an update. Animals. 2020;10(10):1855. doi: 10.3390/ani10101855

23. Gresakova L, Venglovska K, Cobanova K. Nutrient digestibility in lambs supplemented with different dietary manganese sources. *Livestock Science*. 2018;214:282-287. doi: 10.1016/j.livsci.2018.07.001
24. Gupta V, Kant V, Sharma AK, Sharma M. Comparative assessment of antibacterial efficacy for cobalt nanoparticles, bulk cobalt and standard antibiotics: a concentration dependant study. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2020;11(1):78-85. doi: 10.17586/2220-8054-2020-11-1-78-85
25. Hoseinpour V, Ghaemi N. Green synthesis of manganese nanoparticles: Applications and future perspective – A review. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2018;189:234-243. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2018.10.022
26. Kumar V, Sharma N, Maitra SS. *In vitro* and *in vivo* toxicity assessment of nanoparticles. *International Nano Letters*. 2017;7(4):243-256. doi: 10.1007/s40089-017-0221-3
27. Lu H, Liu P, Liu S, Zhao X, Bai B, Cheng J, Xue Y, et al. Effects of sources and levels of dietary supplementary manganese on growing yak's *in vitro* rumen fermentation. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023;10:1175894. doi: 10.3389/fvets.2023.1175894
28. Marappan G, Beulah P, Kumar RD, Muthuvel S, Govindasamy P. Role of nanoparticles in animal and poultry nutrition: modes of action and applications in formulating feed additives and food processing. *International Journal of Pharmacology*. 2017;13(7):724-731. doi: 10.3923/ijp.2017.724.731
29. Matuszewski A, Łukasiewicz M, Łozicki A, Niemiec J, Zielińska-Górska M, Scott A, Sawosz E. The effect of manganese oxide nanoparticles on chicken growth and manganese content in excreta. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;268:114597. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114597
30. Michalak I, Dziergowska K, Alagawany M, Farag MR, El-Shall NA, Tuli HS, Dhama K, et al. The effect of metal-containing nanoparticles on the health, performance and production of livestock animals and poultry. *Veterinary Quarterly*. 2022;42(1):68-94. doi: 10.1080/01652176.2022.2073399
31. Moradpoor H, Safaei M, Rezaei F, Golshah A, Jamshidy L, Hatam R, Abdullah RS. Optimisation of cobalt oxide nanoparticles synthesis as bactericidal agents. *Open access Macedonian Journal of Medical Sciences*. 2019; 7(17):2757-2762. doi: 10.3889/oamjms.2019.747
32. Nagaraja TG. Microbiology of the rumen. In: Millen D, De Beni Arrigoni M, Lauritano Pacheco R, editos. *Rumenology*. Cham: Springer; 2016:39-61. doi: 10.1007/978-3-319-30533-2_2
33. Ryazanov V, Tarasova E, Duskaev G, Kolpakov V, Miroshnikov I. Changes in the concentration of amino acids and bacterial community in the rumen when feeding *Artemisia absinthium* and cobalt chloride. *Fermentation*. 2023;9(8):751. doi: 10.3390/fermentation9080751
34. Spears JW. Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production. *Biological Trace Element Research*. 2019;188(1):35-44. doi: 10.1007/s12011-018-1529-1

References

1. Nurzhanov BS, Levakhin YuI, Duskaev GK, Zhaimysheva SS. *Cucurbita esemenisoleum* enriched effect with highly dispersion particles of manganese on the digestibility of dry substance and microbiological processes in animal rumen. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2020;4(36):34-37.
2. State Standard 13496.4-2019. Fodder, mixed fodder and raw mixed fodder. Methods of nitrogen and crude protein determination. Introduced 01.08.2020. Moscow: Standartinform; 2019:15 p.
3. State Standard 26180-84. Determination of ammonia nitrogen content and actual acidity. Introduced 01.07.1985. Moscow: State Committee of Standards; 1984:6 p.
4. Koloskova EM et al. Studies of the sheep rumen microbiome using molecular genetic methods: a review. *Problems of Productive Animal Biology*. 2020;4:5-26. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.4.5-26
5. Kamenskaya YuV. Effect of cobalt salts on vitamin B12 biosynthesis by propionic acid bacteria. *Science, Technology and Education*. 2019;6(59):13-15.

6. Kamirova AM, Sizova EA. Comprehensive assessment of the influence of minerals in the ultradispersed form on rumen digestion. Perm Agrarian Journal. 2023;1(41):88-98. doi: 10.47737/2307-2873_2023_41_88
7. Miroshnikova MS. The main representatives of the rumen microbiome (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(4):174-185. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-174
8. Il'ichev E, Nazarova A, Polishchuk S, Inozemtsev V. Diet digestibility and nutrient balance with the addition of cobalt and copper nanopowders to the calves' rations. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2011;5:27-29.
9. Duskaev GK et al. Results of researches on digestibility *in vitro* and *in situ* of developed feed additives. Herald of beef cattle breeding. 2016;4(96):126-131.
10. Sheida EV, Riazanov V, Rakhmatullin ShG, Duskaev GK, Lebedev SV. Method for feeding young cattle to increase enzymatic processes in its rumen: pat. 2784969 C1 Russian Federation. Application 14.03.2022; Date of publication. 01.12.2022, Byul. № 34.
11. Lebedev SV, Sheida EV, Shoshina OV, Korneichenko VI. Comparative analysis of the effect of various forms of iron on the course of metabolic processes in rumen using "*in vitro*" method. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(1):192-202. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-192
12. Ulitko VE. Innovative aspects and issues of feeding farm animals. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2014;4(28):136-147
13. Chernaya LV. Features of the life activity of endobiont ciliates in the stomach of sheep. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016;3(3):402-404.
14. Sheida EV, Lebedev SV. Influence of Cr₂O₃ UFP on fermentation processes in rumen of ruminants in *in vitro* experiments. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(3):8-20. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-8
15. Avila DS, Puntel RL, Aschner M. Manganese in health and disease. In: Sigel A, Sigel H, Sigel R, editors. Interrelations between essential metal ions and human diseases. Dordrecht: Springer. 2013;13:199-227. doi: 10.1007/978-94-007-7500-8_7
16. Bidarkar VK, Swain PS, Ray S, Dominic G. Probiotics: Potential alternative to antibiotics in ruminant feeding. Trends in Veterinary and Animal Sciences. 2014;1(1):1-4.
17. Bonhomme A, Durand M, Quintana C, Halpern S. Influence du cobalt et de la vitamine B12 sur la croissance et la survie des ciliés du rumen *in vitro*, en fonction de la population bactérienne. Reproduction Nutrition Développement. 1982;22(1A): 107-122.
18. Bosma EF, Rau MH, van Gijtenbeek LA, Siedler S. Regulation and distinct physiological roles of manganese in bacteria. FEMS Microbiology Reviews. 2021;45(6):fuab028. doi: 10.1093/femsre/fuab028
19. Carrillo-Carrion C, Carril M, Parak WJ. Techniques for the experimental investigation of the protein corona. Current Opinion in Biotechnology. 2017; 46:106-113. doi: 10.1016/j.copbio.2017.02.009
20. Chang M, Ma F, Wei J, Liu J, Nan X, Sun P. Live *Bacillus subtilis* natto promotes rumen fermentation by modulating rumen microbiota *in vitro*. Animals. 2021;11(6):1519. doi: 10.3390/ani11061519
21. Doyle N, Mbandlwa P, Kelly WJ, Attwood G, Li Y, Ross RP, Leahy S. Use of lactic acid bacteria to reduce methane production in ruminants, a critical review. Frontiers in Microbiology. 2019;10:2207. doi: 10.3389/fmicb.2019.02207
22. González-Montaña JR, Escalera-Valente F, Alonso AJ, Lomillos JM, Robles R, Alonso ME. Relationship between vitamin B12 and cobalt metabolism in domestic ruminant: an update. Animals. 2020;10(10):1855. doi: 10.3390/ani10101855
23. Gresakova L, Venglovska K, Cobanova K. Nutrient digestibility in lambs supplemented with different dietary manganese sources. Livestock Science. 2018;214:282-287. doi: 10.1016/j.livsci.2018.07.001

24. Gupta V, Kant V, Sharma AK, Sharma M. Comparative assessment of antibacterial efficacy for cobalt nanoparticles, bulk cobalt and standard antibiotics: a concentration dependant study. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2020;11(1):78-85. doi: 10.17586/2220-8054-2020-11-1-78-85
25. Hoseinpour V, Ghaemi N. Green synthesis of manganese nanoparticles: Applications and future perspective – A review. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2018;189:234-243. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2018.10.022
26. Kumar V, Sharma N, Maitra SS. *In vitro* and *in vivo* toxicity assessment of nanoparticles. *International Nano Letters*. 2017;7(4):243-256. doi: 10.1007/s40089-017-0221-3
27. Lu H, Liu P, Liu S, Zhao X, Bai B, Cheng J, Xue Y, et al. Effects of sources and levels of dietary supplementary manganese on growing yak's *in vitro* rumen fermentation. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023;10:1175894. doi: 10.3389/fvets.2023.1175894
28. Marappan G, Beulah P, Kumar RD, Muthuvel S, Govindasamy P. Role of nanoparticles in animal and poultry nutrition: modes of action and applications in formulating feed additives and food processing. *International Journal of Pharmacology*. 2017;13(7):724-731. doi: 10.3923/ijp.2017.724.731
29. Matuszewski A, Łukasiewicz M, Łozicki A, Niemiec J, Zielińska-Górska M, Scott A, Sawosz E. The effect of manganese oxide nanoparticles on chicken growth and manganese content in excreta. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;268:114597. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114597
30. Michalak I, Dziergowska K, Alagawany M, Farag MR, El-Shall NA, Tuli HS, Dhama K, et al. The effect of metal-containing nanoparticles on the health, performance and production of livestock animals and poultry. *Veterinary Quarterly*. 2022;42(1):68-94. doi: 10.1080/01652176.2022.2073399
31. Moradpoor H, Safaei M, Rezaei F, Golshah A, Jamshidy L, Hatam R, Abdullah RS. Optimisation of cobalt oxide nanoparticles synthesis as bactericidal agents. *Open access Macedonian Journal of Medical Sciences*. 2019; 7(17):2757-2762. doi: 10.3889/oamjms.2019.747
32. Nagaraja TG. Microbiology of the rumen. In: Millen D, De Beni Arrigoni M, Lauritano Pacheco R, editos. *Rumenology*. Cham: Springer; 2016:39-61. doi: 10.1007/978-3-319-30533-2_2
33. Ryazanov V, Tarasova E, Duskaev G, Kolpakov V, Miroschnikov I. Changes in the concentration of amino acids and bacterial community in the rumen when feeding *Artemisia absinthium* and cobalt chloride. *Fermentation*. 2023;9(8):751. doi: 10.3390/fermentation9080751
34. Spears JW. Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production. *Biological Trace Element Research*. 2019;188(1):35-44. doi: 10.1007/s12011-018-1529-1

Информация об авторах:

Даниил Евгеньевич Шошин, аспирант, лаборант-исследователь центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; ассистент научно-образовательного центра «Биологические системы и нанотехнологии», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: 8-965-932-53-67.

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологических наук, руководитель центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; профессор научно-образовательного центра «Биологические системы и нанотехнологии», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: 8-912-344-99-07.

Айна Маратовна Камирова, кандидат биологических наук, научный сотрудник центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-922-548-44-89.

Анастасия Павловна Иванищева, младший научный сотрудник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-987-843-58-22.

Information about the authors:

Danil E Shoshin, Postgraduate student, Laboratory Researcher of the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvaryaya St., Orenburg, 460000; Assistant at the Scientific and Educational Center «Biological Systems and Nanotechnologies», Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, tel.: 8-965-932-53-67.

Elena A Sizova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvaryaya St., Orenburg, 460000; Professor of the Scientific and Educational Center «Biological Systems and Nanotechnologies», Orenburg State University, 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, tel.: 8-912-344-99-07.

Ayna M Kamirova, Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvaryaya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-922-548-44-89.

Anastasia P Ivanishcheva, Junior Researcher at the Testing Center of the Common Use Center, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvaryaya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-987-843-58-22.

Статья поступила в редакцию 21.11.2023; одобрена после рецензирования 10.01.2023; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 21.11.2023; approved after reviewing 10.01.2023; accepted for publication 18.03.2024.

Научная статья

УДК 579:546.56:581.1:633.1

doi: 10.33284/2658-3135-107-1-22

Особенности влияния биосинтезированных нанопорошков на каллусные культуры *in vitro*

Анастасия Михайловна Гвоздикова^{1,4}, Оксана Борисовна Поливанова², Дарья Геннадьевна Федорова³

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

²Российский государственный аграрный университет-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

^{3,4}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

^{1,4}anastasiaporv@mail.ru, <https://orcid.org/orcid.org/0000-0002-7981-7245>

²polivanovaoks@gmail.com, <https://orcid.org/orcid.org/0000-0002-3992-5452>

³daryaorlova24@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-4965>

Аннотация. Исследование посвящено биосинтезированным наночастицам (НЧ) феррита цинка ($ZnFe_2O_4$) в аспекте влияния на индукцию каллуса и регенерацию побегов культур базилика (*Ocimum basilicum* L.) *in vitro*. Полученные растительные культуры *in vitro* вызывают всё больший интерес во всем мире из-за их потенциала как элиситоров вторичных метаболитов с антиоксидантными свойствами. В настоящем исследовании различные концентрации НЧ $ZnFe_2O_4$ и регуляторов роста растений (цитокинов и ауксинов) были добавлены к культурам *in vitro* для устойчивого производства биомассы каллусных культур базилика *O. basilicum*. Наибольшее накопление свежей биомассы ($1,50 \pm 0,06$ г) и индекс роста (3,55) каллуса наблюдалось у культур, выращенных *in vitro* на среде MS (Мурасиге-Скуга) с ауксином – 2 мг/л 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты) и 25 мкг/л НЧ $ZnFe_2O_4$. При этом феррит цинка в концентрации 25 мкг/л значительно влиял на пролиферацию каллусной ткани, которая была более однородна по сравнению с другими вариантами сред, более антоциан-окрашена, самая крупная и по своему виду очень схожа с контролем (MS+2 мг/л 2,4-Д).

Ключевые слова: каллус, базилик, антиоксиданты, ауксины, цитокинин, нанопорошки

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-76-10060.

Для цитирования: Гвоздикова А.М., Поливанова О.Б., Федорова Д.Г. Особенности влияния биосинтезированных нанопорошков на каллусные культуры *in vitro* // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 22-30. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-22>

Original article

Features of the effect of biosynthesized nanopowders on callus cultures *in vitro*

Anastasia M Gvozdikova^{1,4}, Oksana B Polivanova², Daria G Fedorova³

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

²Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

^{3,4}Orenburg State University, Orenburg, Russia

^{1,4}anastasiaporv@mail.ru, <https://orcid.org/orcid.org/0000-0002-7981-7245>

²polivanovaoks@gmail.com, <https://orcid.org/orcid.org/0000-0002-3992-5452>

³daryaorlova24@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-4965>

Abstract. The study is devoted to biosynthesized nanoparticles (NPs) of zinc ferrite ($ZnFe_2O_4$) in terms of their effect on callus induction and shoot regeneration of basil crops (*Ocimum basilicum* L.) *in vitro*. *In vitro* derived plant cultures are attracting increasing interest worldwide due to their potential as

elicitors of secondary metabolites with antioxidant properties. In the present study, different concentrations of $ZnFe_2O_4$ NPs and plant growth regulators (cytokines and auxins) were added to cultures *in vitro* for sustainable biomass production of basil callus cultures *O. basilicum*. The greatest accumulation of fresh biomass (1.50 ± 0.06 g) and growth index (3.55) of callus were observed in cultures grown *in vitro* on MS medium (Murashige-Skoog) with auxin - 2 mg/l 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) and $ZnFe_2O_4$ NPs of 25 μ g/l. At the same time, zinc ferrite at a concentration of 25 μ g/l significantly affected the proliferation of callus tissue, which was more homogeneous compared to other media options, more anthocyanin-colored, the largest and very similar in appearance to the control (MS+2 mg/l 2,4-D).

Keywords: callus, basil, antioxidants, auxins, cytokinin, nanopowders

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 23-76-10060.

For citation: Gvozdikova AM, Polivanova OB, Fedorova DG. Features of the effect of biosynthesized nanopowders on callus cultures *in vitro*. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):22-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-22>

Введение.

Каллус – гетерогенная интегрированная структура, образующаяся в результате пролиферации клеток на поверхности отдельных структур растительного организма из исходно разных генеративных или вегетативных органов. Способность к каллусогенезу как *in vivo*, так и *in vitro* обнаружена у представителей всех порядков и классов растений. Среди различных подходов культивирования растительных клеток *in vitro* получение каллусной культуры является подходящим методом для получения здорового растительного материала и биоактивных фитохимических веществ (George EF et al., 2008). Метод культивирования растительных тканей используется для скрининга проростков и даёт возможность изучить различные аспекты роста и развития растений. Кроме того, этот метод стал жизненно важным для селекции устойчивости растений к ряду абиотических и биотических стрессов (Alharby H et al., 2016).

Самым большим преимуществом микроразмножения лекарственных растений *in vitro* является получение большего количества растений за очень короткое время в контролируемых условиях окружающей среды. В этом аспекте нанотехнологии являются новой областью, которая имеет применение в сельском хозяйстве и биотехнологии растений. Наночастицы (НЧ) могут быть синтезированы из различных органических и неорганических материалов. Тем не менее, «зелёный» синтез металлических НЧ привлёк большое внимание в связи с их широким применением в различных областях науки и техники, включая электронику и строительство, от сельского хозяйства до медицины (Sharma JK et al., 2015). Опосредованный растительным экстрактом синтез наноматериалов имеет преимущество перед химическим синтезом из-за низкой стоимости, безопасности и простоты крупномасштабного синтеза. Синтезированные «зелёные» наночастицы обладают малым размером (менее 100 нм), большой площадью поверхности и экологичностью (Santo Pereira AE et al., 2019). Зелёные синтезированные наноматериалы ускоряют прорастание и способность растений к регенерации, а также развивают устойчивость культур к различным биотическим и абиотическим стрессам (Pacheco I et al., 2018).

Малочисленны исследования, посвящённые влиянию наночастиц феррита цинка $ZnFe_2O_4$, синтезированных «зелёным» методом, на культуры тканей базилика душистого *Ocimum basilicum* как одного из ярких представителей лекарственных видов растений. В данной работе мы представляем технологию «зелёного» синтеза наночастиц феррита цинка $ZnFe_2O_4$ в щелочной среде с использованием водного экстракта петрушки *Petroselinum crispum*, оцениваем последние на предмет стимуляции каллусогенеза и формирование большей биомассы каллуса.

Цель исследования.

Оценить влияние биосинтезированных нанопорошков феррита цинка на каллусогенез, структуру и рост каллусов сортов вида базилик душистый *O. basilicum*.

Материалы и методы исследования.

Объект исследований. Каллус, полученный из листовых и стеблевых эксплантов растений базилика душистого (*O. basilicum*).

Схема эксперимента. В исследовании использовали каллус, полученный из листовых и стеблевых эксплантов растений базилика душистого (*O. basilicum*), представленных ниже сортов («Гавриш», Россия).

Русский гигант зелёный. Ранний (от всходов до технической спелости 50...60 дней) сорт крупнолистного базилика с зелёными, сладкими листьями впечатляющего размера. Приятный гвоздичный вкус и пряный аромат. Растение – прямостоячее, высотой 50...60 см.

Русский гигант фиолетовый. Среднеспелый (65...70 дней от всходов) сорт с очень крупными широкими тёмно-фиолетовыми листьями. Растение высотой 50...60 см. Благодаря высокому содержанию ЭМ растение имеет густой, насыщенный аромат и вкус с лёгкими нотками гвоздики.

Василиск. Скороспелый (60...70 дней от всходов до цветения) сорт. Куст – компактный, высотой 20...25 см, с большим количеством мелких листьев. Листья и стебель – зелёные с перечно-гвоздичным запахом.

Ереванский санфир. Скороспелый сорт. Крупное растение (высотой до 65 см) с широкими листьями фиолетового цвета. Обладает густым гвоздичным ароматом. Очень неприхотлив, в короткие сроки формирует розетку массой до 300 г.

Каллус был получен на средах с различными концентрациями и соотношением ауксинов – 2,4-дихлорфеноксиуксусной (2,4-Д) и β-индолилуксусной кислот (ИУК), и цитокининов (БАП): 1 мг/л 2,4-Д; 2 мг/л 2,4-Д; 3 мг/л 2,4-Д; 3 мг/л БАП+0,3 мг/л ИУК (Гвоздиков А.М. и др., 2023).

Образцом для дальнейших исследований был выбран каллус, полученный из растений сорта Русский гигант фиолетовый на среде MS+2 мг/л 2,4-Д (первичный эксплант – стебли). Данный вариант был выбран в связи с самой высокой жизнеспособностью и типичностью каллуса для данного сорта.

Каллус, полученный из растительных эксплантов, выращивался на среде с добавлением различных концентраций НЧ феррата цинка $ZnFe_2O_4$, которые использовали в концентрациях 12,5, 25 и 50 мкг/л. Нанопорошки из наночастиц феррита цинка $ZnFe_2O_4$ получали биологическим способом (методом «зелёного» синтеза) в щелочной среде из водного экстракта петрушки *P. crispum* (Korotkova AM et al., 2019; Korotkova AM et al., 2021). Наночастицы имели мелкодисперсную структуру пластинчатой формы диаметром менее ~50 нм.

При введении в питательную среду НЧ $ZnFe_2O_4$ предварительно проводилась их обработка ультразвуком в течение 4 ч. После автоклавирования и перед использованием среды также проводилась обработка ультразвуком в течение 2 ч. Контролем служила среда без добавления НЧ $ZnFe_2O_4$. Эксперимент проводился в 3-кратной повторности.

Фиксация наблюдений проводилась в течение 1 пассажа (30 дней). Проводилось микроскопирование клеток каллуса. Определяли сухую и сырую биомассу, жизнеспособность (окрашивание клеток синькой Эванса в камере Горяева и подсчёт мёртвых и жизнеспособных клеток), индекс роста рассчитывали по следующей формуле:

$$I = \frac{W_t - W_0}{W_0},$$

где W_0 – начальная масса каллуса, г;

W_t – масса каллуса в конце цикла выращивания, г.

Оборудование и технические средства. Все исследования на этапе культивирования растений и каллусов базилика проводились на базе лаборатории биотехнологии РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева. Биологическая активность нанопорошков определялась в лаборатории биологических испытаний и экспертиз ЦКП БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>).

Статистическая обработка. Математическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью статистических функций приложения «Microsoft Office Excel 2013» («Microsoft», США). Результаты представлены в виде среднего (M) и стандартной ошибки среднего (m). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента.

Результаты исследования.

Исходя из данных таблицы 1, можно сказать, что концентрация 25 мкг/л НЧ ZnFe₂O₄ существенно увеличивает накопление сырой биомассы каллусной культуры по сравнению со всеми опытными вариантами и контролем. Явных различий между контролем и средой с добавлением 12,5 мкг/л НЧ ZnFe₂O₄ не наблюдалось. Существенных различий в накоплении сухой биомассы между всеми вариантами и контролем не установлено. Наибольший индекс роста наблюдается в 3 варианте среды (MS+2 мг/л 2,4-Д+25 мкг/л НЧ), наименьший – в 4 (MS+2 мг/л 2,4-Д+50 мкг/л НЧ). Самая высокая жизнеспособность наблюдалась в контрольном варианте. В свою очередь при добавлении НЧ ZnFe₂O₄ во всех вариантах жизнеспособность клеток каллуса снижалась.

Таблица 1. Показатели каллусной культуры при культивировании на среде MS+2 мг/л 2,4-Д с различными концентрациями НЧ ZnFe₂O₄
Table 1. Indicators of callus culture when cultivated on MS+2 mg/l 2,4-D medium with various concentrations of NPs ZnFe₂O₄

Гормональный состав питательной среды и содержание НЧ ZnFe ₂ O ₄ / Hormonal composition of the nutrient medium and content of NP ZnFe ₂ O ₄	Сырая биомасса, г / Raw biomass, g	Сухая биомасса, г / Dry biomass, g	Индекс роста / Growth index	Жизнеспособность клеток, % / Cell viability, %
Контроль / Control	1,27±0,02	0,08±0,02	2,85	83,16...96,85
MS+2 мг/л 2,4-Д+12,5 мкг/л НЧ / MS+2 mg/l 2,4-D+12,5 µg/l NP	1,30±0,03	0,07±0,04	2,94	54,00±9,00
MS+2 мг/л 2,4-Д+ 25 мкг/л НЧ / MS+2 mg/l 2,4-D+ 25 µg/l NP	1,50±0,06	0,08±0,02	3,55	62,00±5,00
MS+2 мг/л 2,4-Д+ 50 мкг/л НЧ / MS+2 mg/l 2,4-D+ 50 µg/l NP	1,02±0,09	0,05±0,03	2,09	75,00±7,00

На рисунке 1 видно, что каллус на среде MS+2 мг/л 2,4-Д+25 мкг/л НЧ ZnFe₂O₄ является более однородным по сравнению с другими вариантами сред, более антоциан-окрашенным, самым крупным и по своему виду очень схож с контролем. Каллус, полученный на среде с добавлением 50 мкг/л НЧ ZnFe₂O₄, получился рыхлым, а на среде с добавлением 12,5 мкг/л НЧ ZnFe₂O₄, наоборот – плотным.

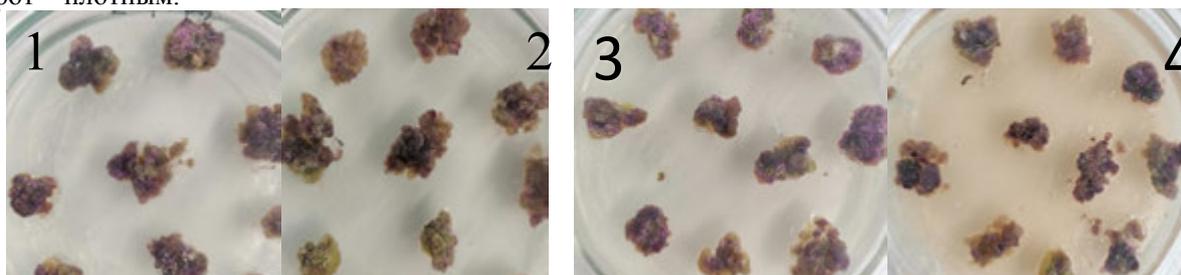


Рисунок 1. Каллус *O. basilicum*, полученный при культивировании на среде MS+2 мг/л с добавлением различных концентраций НЧ ZnFe₂O₄: 1 – контроль; 2 – MS+2 мг/л 2,4-Д+12,5 мкг/л НЧ; 3 – MS+2 мг/л 2,4-Д+25 мкг/л НЧ; 4 – MS+2 мг/л 2,4-Д+50 мкг/л НЧ

Figure 1. Callus of *O. basilicum* obtained by cultivation on MS+2 mg/l medium with the addition of various concentrations of NPs ZnFe₂O₄: 1 – control; 2 – MS+2 mg/l 2,4-D+12.5 µg/l NPs; 3 – MS+2 mg/l 2,4-D+25 µg/l NPs; 4 – MS+2 mg/l 2,4-D+50 µg/l NPs

Обсуждение полученных результатов.

Внесение средней концентрации 2,4-Д (2 мг/л) в среду приводило к увеличению биомассы первичных каллусов, что благоприятнее сказывается на интенсивности каллусогенеза по сравне-

нию с другими ауксинами (ИУК) и цитокинином БАП. Известно, что используемые нами ауксины (2,4-Д и ИУК) не являются взаимозаменяемыми. Так, в зависимости от концентрации 2,4-Д либо увеличивает рост клеток растяжением, либо стимулирует клеточные деления. При этом ИУК влияет не только на деление и растяжение клеток, но и на скорости синтеза вторичных метаболитов (Palni LM, 1988).

Известно, что цитокинины (в нашем случае – БАП) увеличивают чувствительность клеток к ауксинам и изменяют эндогенный метаболизм ауксина, уменьшая активность оксидаз (Palni LM, 1988). Однако внесение в среду БАП при постоянном количестве ауксина (ИУК) в питательной среде не приводит к заметному увеличению показателей биомассы.

В некоторых случаях для того, чтобы получить морфогенный отклик, достаточно использовать только ауксин или цитокинин. Кроме того, их эффекты могут быть прямо противоположными. Так, нами показано, что культивирование каллусной культуры на среде с ауксином способствовало увеличению биомассы каллуса, в то время как добавление цитокинина данный показатель ингибировало.

Следует отметить, что в стимуляции морфогенеза, инициирования и поддержания каллусных культур участвуют и другие метаболиты, в частности, минеральные компоненты. Выбор солевой среды может влиять как на ход морфогенеза *in vitro*, так и на сохранение морфогенетического потенциала каллусных культур. Нами было установлено, что «сильные» растворы MS способствуют лучшему росту эмбриоидов.

Представленные результаты показывают, что в то время как каллусы продолжают интенсивный рост на среде с гормонами (контрольный вариант), каллусы на фоне наноматериалов последовательно снижают прирост сырой биомассы и останавливаются в росте. Увеличение концентрации $ZnFe_2O_4$ приводило к отрицательному ответу ионов, что может быть связано с повреждением клеточной стенки (Kokina I et al., 2017). Хорошо известно, что более высокие концентрации НЧ проявляют токсичность как в тканях животных, так и в тканях растений (Nguyen NHA et al., 2018). Вероятно, НЧ посредством прикрепления к каллусу могут вызывать морфологические и физиологические изменения механическим путём (Tombuloglu H et al., 2019). Возможный механизм действия НЧ на растительную клетку заключается в том, что НЧ чрезвычайно реакционноспособны, поэтому могут легко прикрепляться к поверхности растительной клетки и высвобождаемые ионы Fe^{+3} на поверхности клеток легко впитываются в клетки благодаря меньшему размеру частиц, что приводит к изменению роста и развития растений (Al-Amri N et al., 2020). Причём ионы в высоких концентрациях могут ограничивать цепь переноса электронов хлоропластов и митохондрий, что может привести к окислительному взрыву с высокой концентрацией АФК, вызывая гибель клеток (Khan MN et al., 2017), что, в свою очередь, снижает частоту индукции каллуса.

Известно, что наночастицы сильно влияют на физиологию каллуса и вторичный метаболизм, вызывая ситуацию окислительного стресса в каллусной ткани. В конечном итоге это активирует метаболические реакции растений – смягчение последствий окислительной вспышки за счёт производства различных фитохимических веществ (Choi O, Hu Z, 2008).

Можно предположить, что наноматериалы, имеющие чрезвычайно малые размеры, входят в экспланты и впоследствии могут влиять на генетическое перепрограммирование (Martinez-Fernandez D et al., 2016). Аналогичным образом, влияние НЧ на растения также зависит от концентрации частиц, вида растений и времени экспозиции (Zuverza-Mena N et al., 2017).

Аналогичные результаты получены Shankamma K с коллегами (2016) на растениях томата, которые показали снижение частоты регенерации при высокой концентрации наночастиц оксида железа. Напротив, другие авторы показали существенное влияние железосодержащих наноматериалов на индукцию каллусогенеза (Li J et al., 2016; Abbasi BA et al., 2019).

Заключение.

O. basilicum является важным лекарственным растением и нуждается в устойчивых средствах для увеличения производства биомассы и лекарственных метаболитов. В настоящем исследовании

довании был стандартизирован возможный протокол формирования каллуса. В результате проведённых исследований установлено, что для каллусогенеза лучшими первичными эксплантами являются стебли растений сорта Русский гигант фиолетовый, полученные на среде MS+2 мг/л 2,4-Д. Добавление $ZnFe_2O_4$ *in vitro* в сочетании с MS и 2 мг/л 2,4-Д приводило к пролиферации каллуса. Было обнаружено, что применение $ZnFe_2O_4$ в дозе 25 мкг/л индуцирует максимальный прирост сырой биомассы и наибольший индекс роста каллусов. При этом, для получения жизнеспособных каллусных линий необходимо присутствие в MS-среде ауксина (2,4-Д) (контроль).

Список источников

1. Исследование каллусных культур *O. basilicum* / А.М. Гвоздикова, С.В. Лебедев, М.Ю. Чередниченко, О.Б. Поливанова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 1. С. 239-247. [Gvozdikova AM, Lebedev SV, Cherednichenko MYu, Polivanova OB. Study of callus cultures of *O. basilicum*. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(1):239-247. (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-1-239>
2. Abbasi BA, Iqbal J, Zahra SA, Shahbaz A, Kanwal S, Rabbani A, et al. Bioinspired synthesis and activity characterization of iron oxide nanoparticles made using Rhamnus Triquetra leaf extract. Mater Res Express 2019;6(12):1250e7. doi: 10.1088/2053-1591/ab664d
3. Al-Amri N, Tombuloglu H, Slimani Y, Akhtar S, Barghouthi M, Almessiere M, et al. Size effect of iron (III) oxide nanomaterials on the growth, and their uptake and translocation in common wheat (*Triticum aestivum* L.). Ecotoxicol Environ Safe. 2020;194:110377. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110377
4. Alharby H, Metwali E, Fuller M, Aldhebiani A. Impact of application of zinc oxide nanoparticles on callus induction, plant regeneration, element content and antioxidant enzyme activity in tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) under salt stress. Archives of Biological Sciences. 2016;68(4):723-735. doi: 10.2298/ABS151105017A
5. Choi O, Hu Z. Size dependent and reactive oxygen species related nanosilver toxicity to nitrifying bacteria. Environ Sci Technol. 2008;42(12):4583-4588.
6. Khan MN, Mobin M, Abbas ZK, AlMutairi KA, Siddiqui ZH. Role of nanomaterials in plants under challenging environments. Plant Physiol Biochem. 2017;110:194-209. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.05.038
7. Kokina I, Mickeviča I, Jahundoviča I, Ogurcovs A, Krasovska M, Jermalonoka M, et al. Plant explants grown on medium supplemented with Fe_3O_4 nanoparticles have a significant increase in embryogenesis. J Nanomaterials. 2017;2017:4587147. doi: 10.1155/2017/4587147
8. Korotkova AM, Polivanova OB, Gavriš IA, Baranova EN, Lebedev SV. Green synthesis of zinc based nanoparticles zinc ferrite by *Petroselinum crispum*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019;341:012175. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012175
9. Korotkova AM, Polivanova OB, Lebedev SV, Vershinina IA. Biological testing of powders based on Fe and Zn obtained in parsley extract. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;624:012009. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012009
10. Li J, Hu J, Ma C, Wang Y, Wu C, Huang J, et al. Uptake, translocation and physiological effects of magnetic iron oxide (γ - Fe_2O_3) nanoparticles in corn (*Zea mays* L.). Chemosphere. 2016;159:326-334. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.05.083
11. Martı́nez-Fernańdez D, Barroso D, Komańrek M. Root water transport of *Helianthus annuus* L. under iron oxide nanoparticle exposure. Environ Sci Pollut Res Int. 2016;23:1732-1741. doi: 10.1007/s11356-015-5423-5
12. Nguyen NHA, Padil VVT, Slaveykova VI, Āernı́k M, Ševců A. Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles and their effect on the unicellular alga *Chlamydomonas reinhardtii*. Nanoscale Res Lett. 2018;13:159. doi: 10.1186/s11671-018-2575-5

13. Pacheco I, Buzea C. Nanoparticle uptake by plants: beneficial or detrimental? In: Faisal M, Saquib Q, Alatar AA, Al-Khedhairi AA, editors. Phytotoxicity of nanoparticles. Cham: Springer International Publishing; 2018:1-61. doi: 10.1007/978-3-319-76708-6_1
14. Palni LM, Burch L, Horgan R. The effect of auxin concentrations on cytokinin stability and metabolism. *Planta*. 1988;174(2):213-234.
15. Plant Propagation by Tissue Culture 3rd edition. Volume 1. The Background. In: George EF, Hall MA, De Klerk GJ, editors. Springer, 2008:501 p. doi: 10.1007/978-1-4020-5005-3_8
16. Santo Pereira AE, Oliveira HC, Fraceto LF. Polymeric nanoparticles as an alternative for application of gibberellic acid in sustainable agriculture: a field study. *Sci Rep*. 2019;9:7135. doi: 10.1038/s41598-019-43494-y
17. Shankamma K, Yallappa S, Shivanna MB, Manjanna J. Fe₂O₃ magnetic nanoparticles to enhance *S. lycopersicum* (tomato) plant growth and their biomineralization. *Appl Nanosci*. 2016;6:983-990. doi: 10.1007/s13204-015-0510-y
18. Sharma JK, Srivastava P, Akhtar MS, Singh G, Ameen S. α -Fe₂O₃ hexagonal cones synthesized from the leaf extract of *Azadirachta indica* and its thermal catalytic activity. *New J Chem*. 2015;39(9):7105-7111. doi: 10.1039/C5NJ01344E
19. Tombuloglu H, Slimani Y, Alshammari T, Kekec G, Almessiere M, Baykal A, et al. Magnetic behavior and nutrient content analyses of barley (*Hordeum vulgare* L.) tissues upon CoNd_{0.2}Fe_{1.8}O₄ magnetic nanoparticle treatment. *J Soil Sci Plant Nutri*. 2019;20:357-366. doi: 10.1007/s42729-019-00115-x
20. Zuverza-Mena N, Marti'nez-Ferna'ndez D, Du W, Hernandez-Viezcas JA, Bonilla-Bird N, Lo'pez-Moreno ML, et al. Exposure of engineered nanomaterials to plants: Insights into the physiological and biochemical responses-A review. *Plant Physiol Biochem*. 2017;110:236-264. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.05.037

References

1. Gvozdikova AM, Lebedev SV, Cherednichenko MYu, Polivanova OB. Study of callus cultures of *O. basilicum*. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(1):239-247. doi: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-1-239>
2. Abbasi BA, Iqbal J, Zahra SA, Shahbaz A, Kanwal S, Rabbani A, et al. Bioinspired synthesis and activity characterization of iron oxide nanoparticles made using *Rhamnus Triquetra* leaf extract. *Mater Res Express* 2019;6(12):1250e7. doi: 10.1088/2053-1591/ab664d
3. Al-Amri N, Tombuloglu H, Slimani Y, Akhtar S, Barghouthi M, Almessiere M, et al. Size effect of iron (III) oxide nanomaterials on the growth, and their uptake and translocation in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ecotoxicol Environ Safe*. 2020;194:110377. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110377
4. Alharby H, Metwali E, Fuller M, Aldhebani A. Impact of application of zinc oxide nanoparticles on callus induction, plant regeneration, element content and antioxidant enzyme activity in tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) under salt stress. *Archives of Biological Sciences*. 2016;68(4):723-735. doi: 10.2298/ABS151105017A
5. Choi O, Hu Z. Size dependent and reactive oxygen species related nanosilver toxicity to nitrifying bacteria. *Environ Sci Technol*. 2008;42(12):4583-4588.
6. Khan MN, Mobin M, Abbas ZK, AlMutairi KA, Siddiqui ZH. Role of nanomaterials in plants under challenging environments. *Plant Physiol Biochem*. 2017;110:194-209. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.05.038
7. Kokina I, Mickeviča I, Jahundoviča I, Ogurcovs A, Krasovska M, Jermal'onoka M, et al. Plant explants grown on medium supplemented with Fe₃O₄ nanoparticles have a significant increase in embryogenesis. *J Nanomaterials*. 2017;2017:4587147. doi: 10.1155/2017/4587147

8. Korotkova AM, Polivanova OB, Gavrish IA, Baranova EN, Lebedev SV. Green synthesis of zinc based nanoparticles zinc ferrite by *Petroselinum crispum*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019;341:012175. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012175
9. Korotkova AM, Polivanova OB, Lebedev SV, Vershinina IA. Biological testing of powders based on Fe and Zn obtained in parsley extract. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;624:012009. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012009
10. Li J, Hu J, Ma C, Wang Y, Wu C, Huang J, et al. Uptake, translocation and physiological effects of magnetic iron oxide (γ -Fe₂O₃) nanoparticles in corn (*Zea mays* L.). *Chemosphere*. 2016;159:326-334. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.05.083
11. Marti'nez-Ferna'ndez D, Barroso D, Koma'rek M. Root water transport of *Helianthus annuus* L. under iron oxide nanoparticle exposure. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2016;23:1732-1741. doi: 10.1007/s11356-015-5423-5
12. Nguyen NHA, Padil VVT, Slaveykova VI, Černí'k M, Š'evců A. Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles and their effect on the unicellular alga *Chlamydomonas reinhardtii*. *Nanoscale Res Lett*. 2018;13:159. doi: 10.1186/s11671-018-2575-5
13. Pacheco I, Buzea C. Nanoparticle uptake by plants: beneficial or detrimental? In: Faisal M, Saquib Q, Alatar AA, Al-Khedhairi AA, editors. *Phytotoxicity of nanoparticles*. Cham: Springer International Publishing; 2018:1-61. doi: 10.1007/978-3-319-76708-6_1
14. Palni LM, Burch L, Horgan R. The effect of auxin concentrations on cytokinin stability and metabolism. *Planta*. 1988;174(2):213-234.
15. *Plant Propagation by Tissue Culture* 3rd edition. Volume 1. The Background. In: George EF, Hall MA, De Klerk GJ, editors. Springer, 2008:501 p. doi: 10.1007/978-1-4020-5005-3_8
16. Santo Pereira AE, Oliveira HC, Fraceto LF. Polymeric nanoparticles as an alternative for application of gibberellic acid in sustainable agriculture: a field study. *Sci Rep*. 2019;9:7135. doi: 10.1038/s41598-019-43494-y
17. Shankamma K, Yallappa S, Shivanna MB, Manjanna J. Fe₂O₃ magnetic nanoparticles to enhance *S. lycopersicum* (tomato) plant growth and their biomineralization. *Appl Nanosci*. 2016;6:983-990. doi: 10.1007/s13204-015-0510-y
18. Sharma JK, Srivastava P, Akhtar MS, Singh G, Ameen S. α -Fe₂O₃ hexagonal cones synthesized from the leaf extract of *Azadirachta indica* and its thermal catalytic activity. *New J Chem*. 2015;39(9):7105-7111. doi: 10.1039/C5NJ01344E
19. Tombuloglu H, Slimani Y, Alshammari T, Kekec G, Almessiere M, Baykal A, et al. Magnetic behavior and nutrient content analyses of barley (*Hordeum vulgare* L.) tissues upon CoNd_{0.2}Fe_{1.8}O₄ magnetic nanoparticle treatment. *J Soil Sci Plant Nutri*. 2019;20:357-366. doi: 10.1007/s42729-019-00115-x
20. Zuverza-Mena N, Marti'nez-Ferna'ndez D, Du W, Hernandez-Viezcas JA, Bonilla-Bird N, Lo'pez-Moreno ML, et al. Exposure of engineered nanomaterials to plants: Insights into the physiological and biochemical responses-A review. *Plant Physiol Biochem*. 2017;110:236-264. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.05.037

Информация об авторах:

Анастасия Михайловна Гвоздикова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; старший научный сотрудник НОЦ «Биологические системы и нанотехнологии», Оренбургский государственный университет, 460018, Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: 89822084220.

Оксана Борисовна Поливанова, кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии, Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, тел.: 89689874703.

Дарья Геннадьевна Федорова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры биологии и почвоведения, руководитель научной группы ботанического сада, Оренбургский государственный университет, 460018, Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: 89878918303.

Information about the authors:

Anastasia M Gvozdikova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of Laboratory of Biological Testing and Expertise, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvaryaya St., Orenburg, 460000; Senior Researcher at the Research Center Biological Systems and Nanotechnologies, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, tel.: 89822084220.

Oksana B Polivanova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 127434, Timiryazevskaya st., 49, Moscow, 127434, tel.: 89689874703.

Daria G Fedorova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Associate Professor of the Department of Biology and Soil Science, Head of the Scientific Group of the Botanical Garden, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, tel.: 89878918303.

Статья поступила в редакцию 10.11.2023; одобрена после рецензирования 22.01.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 10.11.2023; approved after reviewing 22.01.2024; accepted for publication 18.03.2024.

БИОЭЛЕМЕНТОЛОГИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 636.22/28:591.11:546.76

doi:10.33284/2658-3135-107-1-31

**Оценка элементного и биохимического состава сыворотки крови
при включении в рацион бычков казахской белоголовой породы пиколината хрома**

Оксана Вячеславовна Шошина¹

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

¹oksana.shoshina.98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>

Аннотация. Для увеличения биодоступности химических элементов из рационов используют органические формы и, в частности, пиколинат хрома в виду его эффективного влияния на продуктивность сельскохозяйственных животных и низкого уровня токсичности. Метаболизм хрома в организме до конца не изучен, и вопрос влияния его на механизмы трансформации и обмена элементов остаётся открытым. Цель работы – оценить влияние пиколината хрома в составе рациона на концентрацию химических элементов и биохимические показатели сыворотки крови бычков казахской белоголовой породы в возрасте 12-13 месяцев, средней массой 324 кг. В эксперименте группа контрольных бычков (n=3) получала основной рацион, бычкам I группы (n=3) в рацион включали пиколинат хрома в дозе 7,2 мг/кг сухого вещества (СВ) рациона, животным II группы (n=3) – в дозе 8 мг/кг СВ рациона. По результатам экспериментального исследования была определена оптимальная доза введения в рацион пиколината хрома – 8 мг/кг СВ рациона, что сопровождалось стимуляцией белкового и липидного обмена, а также увеличением биодоступности основных макро- и микроэлементов. В частности, увеличением общего белка на 6,0 %, мочевины – на 154,5 % (P≤0,001) и креатинина – на 2,2 %, а также холестерина – на 28,7 % (P≤0,05), при снижении триглицеридов на 73 % (P≤0,01) и 40 % (P≤0,001) в сыворотке крови, увеличению концентрации As – на 158,1 % (P≤0,001), Cu – на 6,2 % (P≤0,01), Se – на 9,1 % (P≤0,01), Zn – на 6,3 % (P≤0,05), Na – на 3,4 % (P≤0,05).

Ключевые слова: крупный рогатый скот, кормление, рацион, пиколинат хрома, химические элементы, биохимия крови, билирубиновый индекс

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2024-2026 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2024-0002).

Для цитирования: 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. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-31>

BIOELEMENTOLOGY IN ANIMAL HUSBANDRY AND CROP PRODUCTION

Original article

**Assessment of the elemental and biochemical composition of blood serum after inclusion
of chromium picolinate in Kazakh White-Headed bulls' diet**

Oksana V Shoshina¹

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹oksana.shoshina.98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>

Abstract. Organic forms and, in particular, chromium picolinate are used to increase the bioavailability of chemical elements from diets due to its effective impact on the productivity of farm animals and

low toxicity. The metabolism of chromium in the body has not been fully studied, and the question of its effect on the mechanisms of transformation and metabolism of elements remains open. The aim of the work was to evaluate the effect of chromium picolinate in the diet on the concentration of chemical elements and biochemical parameters of blood serum of Kazakh White-Headed bulls aged 12-13 months, with an average weight of 324 kg. In the experiment, a group of control bulls (n=3) received the main diet, chromium picolinate was included in the diet for I group (n=3) of bulls at a dose of 7.2 mg / kg of dry matter (DM), and for II group (n=3) of animals at a dose of 8 mg / kg of DM. According to the results of an experimental study, the optimal dose of chromium picolinate in the diet was determined – 8 mg / kg of DM, which was accompanied by stimulation of protein and lipid metabolism, as well as an increase in the bioavailability of the main macro- and microelements. In particular, an increase in total protein by 6.0 %, urea – by 154.5% ($P \leq 0.001$) and creatinine – by 2.2%, as well as cholesterol – by 28.7% ($P \leq 0.05$), with a decrease in triglycerides by 73% ($P \leq 0.01$) and 40% ($P \leq 0.001$) in blood serum, an increase in the concentration of As – by 158.1% ($P \leq 0.001$), Cu – by 6.2% ($P \leq 0.01$), Se – by 9.1 % ($P \leq 0.01$), Zn – by 6.3% ($P \leq 0.05$), Na – by 3.4% ($P \leq 0.05$).

Keywords: cattle, feeding, diet, chromium picolinate, chemical elements, blood biochemistry, bilirubin index

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024-2026 FSBSI FRC BST RAS (FNWZ-2024-0002).

For citation: 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 Feed Production*. 2024;107(1):31-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-31>

Введение.

Спектр использования химических элементов в питании животных зависит от особенности пищеварения, физиологического состояния организма, направления продуктивности и т. д. Одним из возможных элементов-катализаторов функциональной активности организма жвачных является хром, который участвует в метаболизме протеинов, липидов и сахаров, энзимов и в механизмах формирования новых клеток крови (Шейда Е.В. и др., 2019; Spears JW, 2019). Приемлемый уровень хрома в рационах полигастричных животных мотивирует образование в крови эритроцитов, гемоглобина, общего белка и его составляющих – альбуминов и глобулинов, общего кальция и фосфора. Именно по этим маркерам можно судить о характере обменных процессов и физиологическом состоянии животного (Кокорев В.А. и др., 2017; Smock TM et al., 2020). В ходе гемопоэза хром вместе с кристаллическим трипсином запускает в работу фермент – трипсин, который отвечает за расщепление пептидов и белков (Кислякова Е.М. и Ломаева А.А., 2017).

В отличие от неорганической формы пиколинат хрома обладает лучшей эффективностью, низкой токсичностью (Han M et al., 2021). Он представляет собой трёхвалентную форму в соединении с пиколиновой кислотой, а также могут быть получен из дрожжей (Kargar S et al., 2019; El Senosi YA et al., 2018; Shan Q et al., 2020).

Информации о метаболизме хрома в организме, воздействии его на продуктивность животных, течение обменных процессов в организме, в том числе на усвоение химических элементов и особенности их трансформации (Фабер В. и др., 2020; Soffa DR et al., 2023) недостаточно. Соответственно, актуальным направлением для проведения исследований в настоящее время является рассмотрение вопроса об оптимальной концентрации хрома в рационе жвачных и его роли в метаболических процессах организма.

Цель исследования.

Оценить влияние пиколината хрома на элементный и биохимический состав крови бычков.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Бычки казахской белоголовой породы в возрасте 12-13 месяцев со средней массой 324 кг.

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.), 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.

Схема эксперимента. Физиологические исследования были проведены на базе лаборатории биологических испытаний и экспертиз и ЦКП БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>).

Эксперимент проводили на бычках (n=9), которые методом групп-аналогов были разделены на три группы: контрольная и две опытные. Рационы были сформированы с учётом рекомендаций (Калашников А.П. и др., 2003) (табл. 1). В рацион I опытной группы включали пиколинат хрома (органическая форма Биопромис хром пиколинат, Sichuan Sinyiml Biotechnology Co., Ltd., Китай) в дозе 7,2 мг/кг СВ рациона, во II группе – в дозе 8 мг/кг СВ. Представленные дозировки пиколината хрома были определены на основе содержания хрома в кормах, которое составляло 6,2 мг на 1 кг корма. При коррекции далее эти дозы были увеличены на 10 % и 20 % в пересчёте на чистый хром на основании определения оптимальной формы в искусственном рубце «*in vitro*» (Шейда Е.В. и др., 2019) и анализа литературных данных (Bin L et al., 2016). Продолжительность экспериментального исследования составила 28 дней.

Таблица 1. Состав и питательность рациона
Table 1. Composition and nutritional value of the diet

Показатели / Indicators	Возраст 12-13 месяцев/ Age 12-13 months
Сено злаковое, кг / Grain hay, kg	1
Сено бобовое, кг / Legume hay, kg	2
Силос кукурузный, кг / Corn silo, kg	11
Дроблёная зерносмесь, кг / Crushed grain mixture, kg	2
Подсолнечный жмых, кг / Sunflower meal, kg	0,2
Патока кормовая, кг / Feed molasses, kg	0,6
Соль лизунец, г / Salt lick, g	40
Диаммоний фосфат, г / Diammonium Phosphate, g	60,4
Премикс ПК-60, г / Premix PK-60, g	20
Питательность рациона / Nutritional value of the diet	
Сушого вещества, кг / Dry matter, kg	7,7
ОЭ, МДж / ME, MJ	74,8
Сырая клетчатка, г / Crude fiber, g	1575,9
Сырой жир, г / Crude fat, g	210,1
Сырой протеин, г / Crude protein, g	974,6

Забор крови у животных для гематологических исследований и элементного состава осуществлялся утром, натощак, из яремной вены в вакуумные пробирки с активатором свёртывания (тромбин).

Для оценки влияния хрома на метаболические процессы в организме телят были просчитаны: коэффициент Де Ритиса (отношение АСТ/АЛТ), билирубиновый индекс Мейленграхта: отношение прямого / непрямого билирубина в сыворотке крови.

Оборудование и технические средства. Исследования были проведены на базе лаборатории биологических испытаний и экспертиз и ЦКП БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>) с применением автоматического гематологического анализатора URIT-2900 VetPlus («URIT Medical Electronic Group Co., Ltd», Китай); автоматического анализатора CS-T240 («DIRUI Industrial Co., Ltd», Китай). Элементный анализ осуществляли на одноквадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7900 ICP-MS (Agilent, США). Анализ V, Cr, Fe, Zn, Se и As проводили в гелиевом режиме с использованием столкновительной ячейки.

Стандартные растворы получали из мультиэлементной смеси («Merck», Германия), с добавлением вручную приготовленного стандарта макроэлементов (K, Na, Mg, Ca).

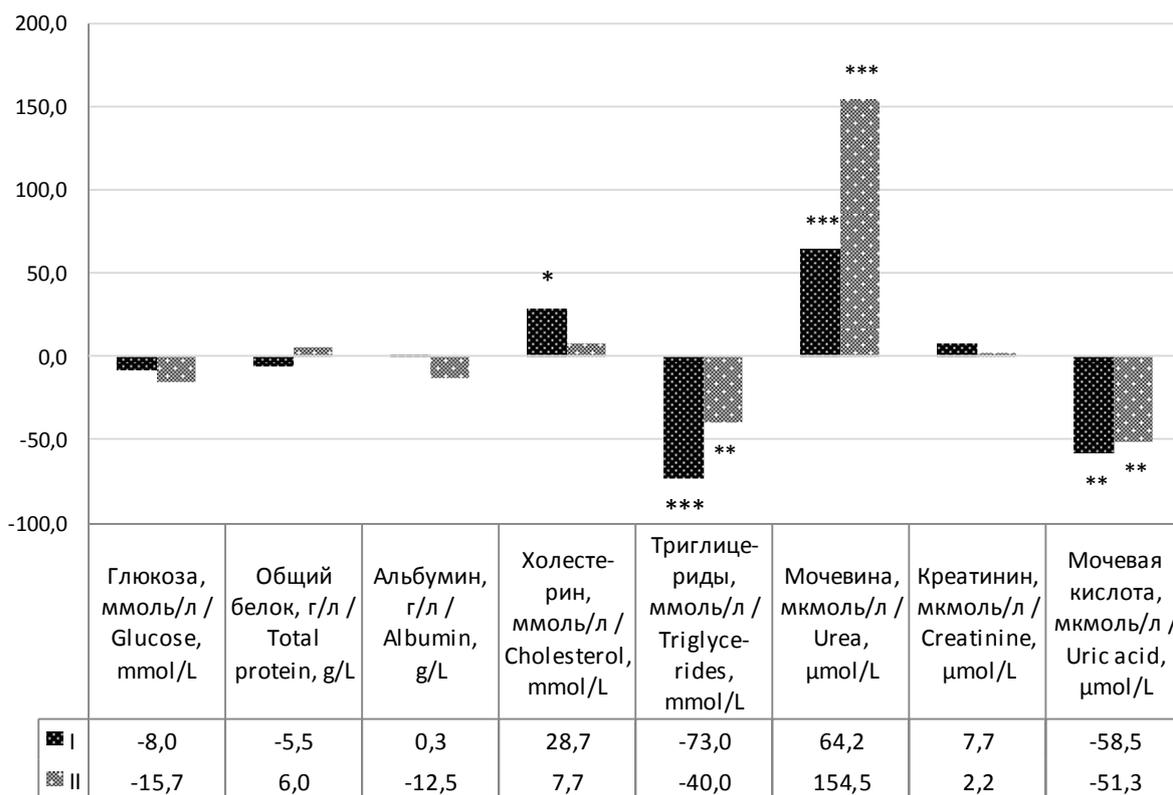
Статистическая обработка. Статистический анализ выполняли с использованием методик ANOVA с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США) Статистическая обработка включала расчёт среднего значения (M) и стандартные ошибки среднего (\pm SEM). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Включение пиколината хрома в рацион способствовало снижению уровня глюкозы относительно контрольной группы на 8,0 % в I и 15,7 % во – II группах, увеличения мочевины – на 64,2 % ($P \leq 0,001$) и 154,5 % ($P \leq 0,001$) по сравнению с контролем. Деструкция белков и мочевой кислоты приводила к образованию креатинина, уровень которого возрастал в I группе на 7,7 %, а во II группе – на 2,2 %. Финальный продукт обмена пуриновых нуклеозидов – мочевая кислота значительно снижалась в I группе на 58,5 % ($P \leq 0,01$), а во II – на 51,3 % ($P \leq 0,01$).

Что касается общего белка, то его концентрация снижалась в I группе на 5,5 % с повышением альбуминов на 0,3 %, а во II группе увеличивалась концентрация общего белка на 6,0 %, со снижением альбуминов на 12,5 %.

Пиколинат хрома активизировал метаболизм жиров, в частности увеличился уровень холестерина на 28,7 % ($P \leq 0,05$) и на 7,7 %, при снижении триглицеридов на 73 % ($P \leq 0,01$) и 40 % ($P \leq 0,001$) соответственно в I и II группах относительно контрольных значений (рис. 1).



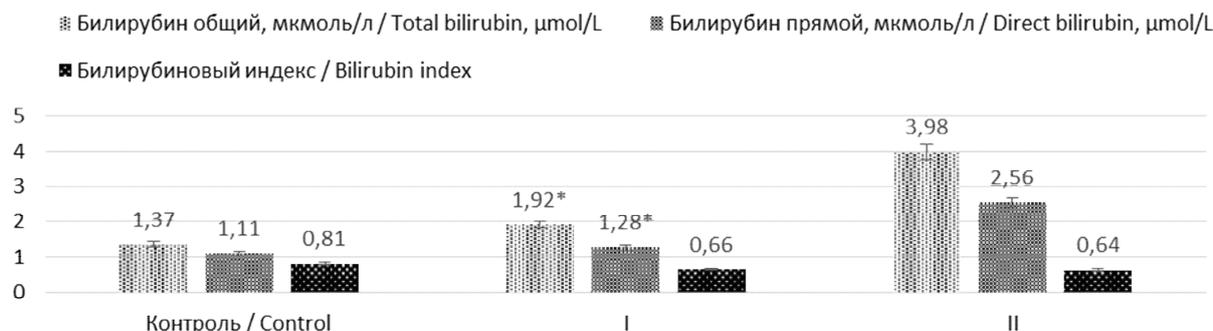
Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$ при сравнении с контролем

Note: * – $P \leq 0.05$, ** – $P \leq 0.01$, *** – $P \leq 0.001$ when compared with the control group

Рисунок 1. Параметры биохимии крови бычков с дополнением рациона пиколилатом хрома относительно контрольных значений, % (n=9, M \pm m)

Figure 1. Parameters of the blood biochemistry of bulls with the addition of chromium picolinate to the diet relative to the control values, % (n=9, M \pm m)

При оценке билирубинового индекса (БИ) установлено, что уровень общего билирубина повышался в I группе на 40,1 %, а во II группе – на 190,5 %. Значения прямого билирубина увеличивались на 15,3 % и на 130,6 % в опытных группах соответственно. В итоге, БИ снижался в I группе на 18,5 %, а во II группе – на 20,9 % (рис. 2).

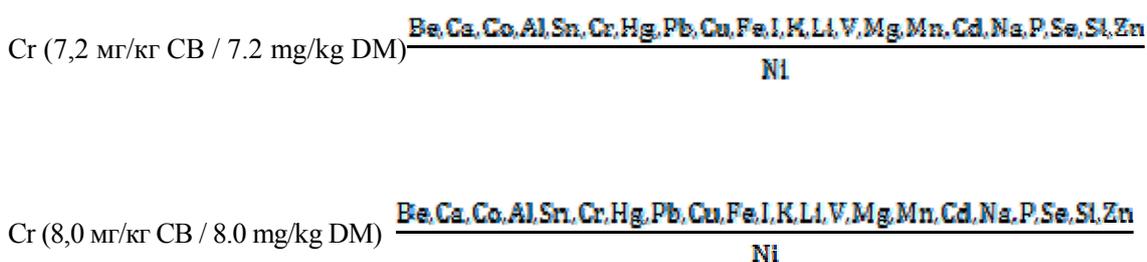


Примечание: * – $P \leq 0,05$, при сравнении контрольной группой
 Note: * – $P \leq 0,05$, when compared with the control group

Рисунок 2. Индекс билирубина сыворотки крови бычков, %
 Figure 2. Bilirubin index of blood serum in bulls, %

Дополнительное включение пиколината хрома в рацион жвачных, во всех изучаемых дозировках, сопровождалось достоверным увеличением концентрации в крови мышьяка на 78,6 % ($P \leq 0,001$) и 158,1 % ($P \leq 0,001$), меди – на 4,5 % ($P \leq 0,01$) и 6,2 % ($P \leq 0,01$), селена – на 6,6 % ($P \leq 0,01$) и 9,1 % ($P \leq 0,01$), цинка – на 4,5 % ($P \leq 0,05$) и 6,3 % ($P \leq 0,05$), натрия – на 2,3 % ($P \leq 0,05$) и 3,4 % ($P \leq 0,05$) в I и II группах соответственно.

В результате, с увеличением дозировки пиколината хрома концентрация химических элементов в крови изменялась разнонаправленно, на основании чего был составлен следующий элементный профиль:



На основании определения элементного состава корма и кала была рассчитана биодоступность антагонистов и синергистов хрома, которая представлена в таблице 2. В результате, с включением в рацион пиколината хрома в дозировке 7,2 мг/кг СВ повышалось усвоение Cd, Cr, Mn, Si, I, K, Mg, Na, P, снижалось – Co, Cu, Pb, Se, Zn, V, Fe, Ca. Дозировка пиколината хрома 8 мг/кг СВ рациона повышала усвоение в организме Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn, V, I, Fe, Ca, K, Mg, Na, P и снижала Se, Si.

Таблица 2. Биодоступность химических элементов в организме бычков
казахской белоголовой породы, %

Table 2. Bioavailability of chemical elements in the body of Kazakh White-Headed bulls, %

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	I опытная / I experimental	II опытная / II experimental
Кадмий / Cadmium	3,59	8,70
Кобальт / Cobalt	-8,64	21,25
Хром / Chrome	36,63	19,64
Медь / Copper	-3,56	4,28
Марганец / Manganese	7,17	11,13
Свинец / Lead	-4,84	21,15
Селен / Selenium	-50,29	-37,54
Кремний / Silicon	1,12	-1,95
Цинк / Zinc	-30,51	7,29
Ванадий / Vanadium	-17,89	20,12
Йод / Iodine	1,80	2,02
Железо / Iron	-22,35	27,97
Кальций / Calcium	-5,32	1,74
Калий / Potassium	2,64	6,35
Магний / Magnesium	0,46	1,93
Натрий / Sodium	24,24	134,60
Фосфор / Phosphorus	0,31	1,42

Обсуждение полученных результатов.

Научные труды многих учёных свидетельствуют о том, что хром занимает одну из важных позиций в биосистеме: почва – растение – животное – человек (Edwards KC et al., 2020; Алексеева Л.В. и др., 2021). Уровень этого элемента в почве и кормах колеблется с учётом географического положения, агротехнологических условий выращивания и хранения растительных культур, однако концентрация его в готовых кормовых продуктах незначительна, при этом метаболизм данного элемента в организме животных характеризуется высоким уровнем.

Отличительная особенность хрома в том, что он меняет в лучшую сторону показатели продуктивности, реакции иммунной системы, нивелирует обменные процессы глюкозы и жирных кислот, а также антиоксидантный статус жвачных. В некоторых исследованиях добавки хрома улучшали потребление сухого вещества, молочную продуктивность и состав молока дойных коров, продуктивность растущего молодняка, иммунный ответ и некоторые параметры крови (Chauhan DK et al., 2023; Lashkari S et al., 2018).

В организме животных основными индикаторами физиологического состояния являются показатели уровня общего белка, мочевины и глюкозы. (Lalhriatpuii M et al., 2023; Zhao C et al., 2023). Нами установлено, что метаболизм белков усиливался в организме животных на основании эскалации уровня мочевины в опытных группах на 64,2 % ($P \leq 0,001$) и 154,5 % ($P \leq 0,001$) соответственно по сравнению с контролем. Глюкоза снижалась в отношении контроля в группах I и II на 8,0 % и 15,7 %. Так, под действием хрома общий белок повышается, за счёт снижения уровня кортизола в крови или от повышения чувствительности тканей к инсулину (Stepniowska A et al., 2020). Хром стимулирует гомеостаз глюкозы путём активации рецепторов инсулина через олигопептид хромодулин, тем самым увеличивая передачу сигнала инсулина и чувствительность к нему (Zhao F et al., 2022).

Креатинин, образующийся в результате распада белка в организме, идёт на обновление тканей печени через мышечную систему, в которой он фосфорилируется до креатинфосфата, и в

дальнейшем происходит окисление и образование самого креатинина (Assis JR, 2021). В нашем эксперименте уровень креатинина возрастал в обеих группах на 7,7 % и 2,2 %.

Алексеева Л.В. с коллегами (2021) выявили, что в результате добавления в рацион бычкам чёрно-пёстрой породы гемовита (53 мл) в сочетании с хелатированной формой хрома (5,2 мг) общий белок составил 92 г/л при стабильном значении глюкозы 3,2-4,2 ммоль/л. Аналогичная динамика подтверждена в проведённом нами эксперименте, где содержание общего белка в сыворотке крови составило 85,3-90,8 г/л, глюкозы – 3,3-3,7 ммоль/л, что входит в пределы физиологической нормы.

В работах Bin-Jumah M с соавторами (2020) показано, что при включении в рацион лактирующих коров хрома в количестве 4 мг/сут не наблюдали выраженного эффекта на показатели мочевины и глюкозы в сыворотке крови, при снижении концентрации общего белка.

Нами установлено, что пиколинат хрома активизировал метаболизм жиров – увеличился уровень холестерина на 28,7 % ($P \leq 0,05$) и на 7,7 %, при снижении триглицеридов на 73 % ($P \leq 0,01$) и 40 % ($P \leq 0,001$) в двух группах, что свидетельствует о влиянии хрома на липидный обмен, вызывая расщепление избыточного жира в организме (Лебедев С.В. и др., 2018).

Исследования по изучению дополнительного включения хрома в ультрадисперсной форме в рационы жвачных показали неоднозначную картину изменения билирубинового индекса. При использовании в составе рациона подсолнечного жмыха билирубиновый индекс повышался на 52,6-63,1 % относительно контроля, а при использовании соевого шрота, напротив, снижался на 33 % (Шейда Е.В. и др., 2020). В проведённом эксперименте установлено, что уровень общего билирубина повышался в группе I на 40,1 %, а в группе II – на 190,5 %. Значения прямого билирубина увеличивались в группах I и II на 15,3 % и 130,6 %. В итоге, билирубиновый индекс снижался в группе I на 18,5 %, а в группе II – на 20,9 % по сравнению с контрольной группой.

Заключение.

Установлено, что дополнение рациона органической формой хрома позитивно воздействует на метаболизм веществ в организме. Наиболее конкурентной является дозировка пиколината хрома 8 мг/кг СВ, в результате чего отмечено увеличение концентрации большинства элементов в сыворотке крови, в частности As – на 158,1 % ($P \leq 0,001$), Cu – на 6,2 % ($P \leq 0,01$), Se – на 9,1 % ($P \leq 0,01$), Zn – на 6,3 % ($P \leq 0,05$), Na – на 3,4 % ($P \leq 0,01$), а также подъёма общего белка на 6,0 %, мочевины – на 154,5 % ($P \leq 0,001$) и креатинина – на 2,2 %.

Список источников

1. Алексеева Л.В., Васильева Л.Ю., Миловидова Е.Д. Взаимосвязь гомеостатических процессов с продуктивностью бычков при введении в рацион различных форм и доз хрома // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2021. № 2(62). С. 177-189. [Alekseyeva LV, Vasilyeva LYu, Milovidova ED. The relationship of homeostatic processes with productivity of bull-calves at introduction in a diet of various forms and doses of chromium. Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology. 2021;2(62):177-189. (In Russ.)]. doi: 10.26456/vtbio206
2. Влияние наночастиц хрома на активность пищеварительных ферментов и морфологические 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. 2018. 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. 2018;104(4):136-142. (In Russ.)].
3. Влияние различных форм хрома на обмен химических элементов в организме крыс линии Wistar / Е.В. Шейда, С.В. Лебедев, И.З. Губайдуллина, В.А. Рязанов, И.А. Гавриш // Изве-

стия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 2(76). С. 167-171. [Sheida EV, Lebedev SV, Gubaidullina IZ, Ryazanov VA, Gavrish IA. Impact of different forms of chrome on the chemical elements metabolism in the organism of rats of the Wistar line. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019;2(76):167-171. (In Russ.)].

4. Кислякова Е.М., Ломаева А.А. Влияние добавок органического хрома на продуктивные и репродуктивные показатели коров черно-пестрой породы // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2017. Т. 232. № 4. С. 76-80. [Kislyakova EM, Lomaeva AA. Influence of organic chrome additives on productive and reproductive indicators of black and pestered breeds. Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2017;232(4):76-80. (In Russ.)].

5. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие / под ред. А.П. Калашников, В.И. Фисинин, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. 3-е изд., доп. и перераб. М., 2003. С. 110-123. [Kalashnikov AP, Fisinin VI, Shheglova VV, Klejmenova NI. Normy i raciony kormlenija sel'skohozejajstvennyh zhivotnyh: spravochnoe posobie. 3-e izd., dop. i pererab. Moscow; 2003:110-123. (In Russ.)].

6. Оценка влияния ультрадисперсных частиц Cr₂O₃ 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 Cr₂O₃ 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

7. Продуктивность полновозрастных коров при разных уровнях хрома в их рационах / В.А. Кокорев, Е.В. Болотин, Н.И. Гибалкина и др., // Животноводство и ветеринарная медицина. 2017. № 2(25). С. 20-30. [Kokorev VA, Bolotin EV, Gibalkina NI et al. Productivity of mature cows at different levels of chromium in their diets. Animal Agriculture and Veterinary Medicine. 2017;2(25):20-30. (In Russ.)]

8. Фабер В., Акмалиев Т.А., Гусева О.А. Хром для крупного рогатого скота // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 42-45. [Faber V, Akmaliev TA, Guseva OA. Chromium for ruminants. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2020;4:42-45. (In Russ.)].

9. Assis JR. Chromium in performance and metabolism of dairy cows. Scientific Electronic Archives. 2021;14(1):100. doi: 10.36560/14120211280

10. Bin L, Liu Y, Chai J, Hu X, Wu D, Yang B. Chemical properties and biotoxicity of several chromium picolinate derivatives. Journal of Inorganic Biochemistry. 2016;164:110-118. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2016.09.006

11. Bin-Jumah M, El-Hack M, Abdelnour S, Hendy Y, Ghanem H, Alsafy S, Khafaga A, Noreldin A, Shaheen H, Samak D, Momenah M, Allam A, Alkahtane A, Alkahtani S, Abdel D, Mohamed A, Lotfi A. Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. Science of the Total Environment. 2020;707:135996. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135996

12. Chauhan DK, Kavita V, Yadav S, Tomar R, Tiwari S, Singh D. Amelioration effect of selenium, chromium and zinc supplementation on pancreas of hyperglycemic albino rat. Biochem Cell Arch. 2023;23(1):419-425. doi: 10.51470/bca.2023.23.1.419

13. Edwards KC, Kim H, Vincent JB. Release of trivalent chromium from serum transferrin is sufficiently rapid to be physiologically relevant. Journal of Inorganic Biochemistry. 2020;202:110901. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2019.110901

14. El Senosi YA, Abou Zaid ARO, Elmaged ADA, Ali MAM. Biochemical study on the regenerative effect of chromium picolinate on experimentally induced diabetes. World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 2018;7(10):325-343. doi: 10.20959/wjpps201810-12444

15. Han M, Chen Y, Li J, Dong Y, Miao Z, Li J, Zhang L. Effects of organic chromium sources on growth performance, lipid metabolism, antioxidant status, breast amino acid and fatty acid profiles in broilers. J Sci Food Agric. 2021;101(9):3917-3926. doi: 10.1002/jsfa.11053

16. Kargar S, Habibi Z, Karimi-Dehkordi S. Grain source and chromium supplementation: effects on feed intake, meal and rumination patterns, and growth performance in Holstein dairy calves. *Animal*. 2019;13(6):1173-1179. doi: 10.1017/S1751731118002793
17. Lashkari S, Habibian M, Jensen SK. A review on the role of chromium supplementation in ruminant nutrition - effects on productive performance, blood metabolites, antioxidant status, and immunocompetence. *Biological Trace Element* 2018;186(2):305-321. doi: 10.1007/s12011-018-1310-5
18. Lalhriatpuii M, Chatterjee A, Dutta TK, Mohammad A, Patra AK. The effects of dietary inorganic and organic chromium supplementation on blood metabolites, hormones, and mineral composition of blood and internal organs in black bengal goats. *Biol Trace Elem Res*. 2023. doi: 10.1007/s12011-023-03856-0
19. Stepniowska A, Tutaj K, Drazbo A, Kozłowski K, Ognik K, Jankowski J. Estimated intestinal absorption of phosphorus and its deposition in chosen tissues, bones and feathers of chickens receiving chromium picolinate or chromium nanoparticles in diet. *PLoS One*. 2020;15(11):e0242820. doi: 10.1371/journal.pone.0242820
20. Spears JW. Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production. *Biological Trace Element Research*. 2019;188(1):35-44. doi: 10.1007/s12011-018-1529-1
21. Smock TM, Samuelson KL, Wells JE, Hales KE, Hergenreder JE, Rounds PW, Richeson JT. Effects of *Bacillus subtilis* PB6 and/or chromium propionate supplementation on serum chemistry, complete blood count, and fecal *Salmonella* spp. count in high-risk cattle during the feedlot receiving and finishing periods. *Transl Anim Sci*. 2020;4(3):txaa164. doi: 10.1093/tas/txaa164
22. Shan Q, Ma FT, Jin YH, Gao D, Li HY, Sun P. Chromium yeast alleviates heat stress by improving antioxidant and immune function in Holstein mid-lactation dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;269:114635. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114635
23. Soffa DR, Stewart JW, Arneson AG, Dias NW, Mercadante VRG, Rhoads RP, Rhoads ML. Reproductive and lactational responses of multiparous dairy cattle to short-term postpartum chromium supplementation during the summer months. *JDS Commun*. 2023;4(2):161-165. doi: 10.3168/jdsc.2022-0287
24. Zhao C, Shen B, Huang Y, Kong Y, Tan P, Zhou Y, Yang J, Xu C, Wang J. Effects of chromium propionate and calcium propionate on lactation performance and rumen microbiota in postpartum heat-stressed holstein dairy cows. *Microorganisms*. 2023;11(7):1625. doi: 10.3390/microorganisms11071625
25. Zhao F, Pan D, Wang N, Xia H, Zhang H, Wang S, Sun G. Effect of chromium supplementation on blood glucose and lipid levels in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(2):516-525. doi: 10.1007/s12011-021-02693-3

References

1. Alekseyeva LV, Vasilyeva LYu, Milovidova ED. The relationship of homeostatic processes with productivity of bull-calves at introduction in a diet of various forms and doses of chromium. *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2021;2(62):177-189. doi: 10.26456/vtbio206
2. 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*. 2018;104(4):136-142.
3. Sheida EV, Lebedev SV, Gubaidullina IZ, Ryazanov VA, Gavrish IA. Impact of different forms of chrome on the chemical elements metabolism in the organism of rats of the Wistar line. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;2(76):167-171.
4. Kislyakova EM, Lomaeva AA. Influence of organic chrome additives on productive and reproductive indicators of black and pestered breeds. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2017;232(4):76-80.

5. Kalashnikov AP, Fisinin VI, Shcheglova VV, Kleymenov NI. Norms and diets for feeding farm animals: Ref. book. 3rd ed., add. and reworked. Moscow; 2003:110-123.
6. Sheyda EV, Lebedev SV, Miroschnikov 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
7. Kokorev VA, Bolotin EV, Gibalkina NI et al. Productivity of mature cows at different levels of chromium in their diets. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2017;2(25):20-30.
8. Faber V, Akmaliev TA, Guseva OA. Chromium for ruminants. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2020;4:42-45.
9. Assis JR. Chromium in performance and metabolism of dairy cows. *Scientific Electronic Archives*. 2021;14(1):100. doi: 10.36560/14120211280
10. Bin L, Liu Y, Chai J, Hu X, Wu D, Yang B. Chemical properties and biotoxicity of several chromium picolinate derivatives. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2016;164:110-118. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2016.09.006
11. Bin-Jumah M, El-Hack M, Abdelnour S, Hendy Y, Ghanem H, Alsafy S, Khafaga A, Noreldin A, Shaheen H, Samak D, Momenah M, Allam A, Alkahtane A, Alkahtani S, Abdel D, Mohamed A, Lotfi A. Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. *Science of the Total Environment*. 2020;707:135996. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135996
12. Chauhan DK, Kavita V, Yadav S, Tomar R, Tiwari S, Singh D. Amelioration effect of selenium, chromium and zinc supplementation on pancreas of hyperglycemic albino rat. *Biochem Cell Arch*. 2023;23(1):419-425. doi: 10.51470/bca.2023.23.1.419
13. Edwards KC, Kim H, Vincent JB. Release of trivalent chromium from serum transferrin is sufficiently rapid to be physiologically relevant. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2020;202:110901. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2019.110901
14. El Senosi YA, Abou Zaid ARO, Elmaged ADA, Ali MAM. Biochemical study on the regenerative effect of chromium picolinate on experimentally induced diabetes. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2018;7(10):325-343. doi: 10.20959/wjpps201810-12444
15. Han M, Chen Y, Li J, Dong Y, Miao Z, Li J, Zhang L. Effects of organic chromium sources on growth performance, lipid metabolism, antioxidant status, breast amino acid and fatty acid profiles in broilers. *J Sci Food Agric*. 2021;101(9):3917-3926. doi: 10.1002/jsfa.11053
16. Kargar S, Habibi Z, Karimi-Dehkordi S. Grain source and chromium supplementation: effects on feed intake, meal and rumination patterns, and growth performance in Holstein dairy calves. *Animal*. 2019;13(6):1173-1179. doi: 10.1017/S1751731118002793
17. Lashkari S, Habibian M, Jensen SK. A review on the role of chromium supplementation in ruminant nutrition - effects on productive performance, blood metabolites, antioxidant status, and immunocompetence. *Biological Trace Element* 2018;186(2):305-321. doi: 10.1007/s12011-018-1310-5
18. Lalhriatpuii M, Chatterjee A, Dutta TK, Mohammad A, Patra AK. The effects of dietary inorganic and organic chromium supplementation on blood metabolites, hormones, and mineral composition of blood and internal organs in black bengal goats. *Biol Trace Elem Res*. 2023. doi: 10.1007/s12011-023-03856-0
19. Stepniowska A, Tutaj K, Drazbo A, Kozłowski K, Ognik K, Jankowski J. Estimated intestinal absorption of phosphorus and its deposition in chosen tissues, bones and feathers of chickens receiving chromium picolinate or chromium nanoparticles in diet. *PLoS One*. 2020;15(11):e0242820. doi: 10.1371/journal.pone.0242820
20. Spears JW. Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production. *Biological Trace Element Research*. 2019;188(1):35-44. doi: 10.1007/s12011-018-1529-1
21. Smock TM, Samuelson KL, Wells JE, Hales KE, Hergenreder JE, Rounds PW, Richeson JT. Effects of *Bacillus subtilis* PB6 and/or chromium propionate supplementation on serum chemistry, complete blood count, and fecal *Salmonella* spp. count in high-risk cattle during the feedlot receiving and finishing periods. *Transl Anim Sci*. 2020;4(3):txaa164. doi: 10.1093/tas/txaa164

22. Shan Q, Ma FT, Jin YH, Gao D, Li HY, Sun P. Chromium yeast alleviates heat stress by improving antioxidant and immune function in Holstein mid-lactation dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;269:114635. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114635
23. Soffa DR, Stewart JW, Arneson AG, Dias NW, Mercadante VRG, Rhoads RP, Rhoads ML. Reproductive and lactational responses of multiparous dairy cattle to short-term postpartum chromium supplementation during the summer months. *JDS Commun*. 2023;4(2):161-165. doi: 10.3168/jdsc.2022-0287
24. Zhao C, Shen B, Huang Y, Kong Y, Tan P, Zhou Y, Yang J, Xu C, Wang J. Effects of chromium propionate and calcium propionate on lactation performance and rumen microbiota in postpartum heat-stressed holstein dairy cows. *Microorganisms*. 2023;11(7):1625. doi: 10.3390/microorganisms11071625
25. Zhao F, Pan D, Wang N, Xia H, Zhang H, Wang S, Sun G. Effect of chromium supplementation on blood glucose and lipid levels in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(2):516-525. doi: 10.1007/s12011-021-02693-3

Информация об авторах:

Оксана Вячеславовна Шошина, младший научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С. Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул.9 Января, 29, тел.: 8-987-891-96-55.

Information about the authors:

Oksana V Shoshina, Junior Researcher, Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after Leushin SG, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-987-891-96-55.

Статья поступила в редакцию 20.02.2024; одобрена после рецензирования 05.03.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 20.02.2024; approved after reviewing 05.03.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 42-50.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 1. P. 42-50.

РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА

Научная статья
УДК 636.088.31
doi:10.33284/2658-3135-107-1-42

Анализ российских популяций крупного рогатого скота мясного направления продуктивности по полиморфизмам гена кальпаина 1

Елена Николаевна Коновалова¹, Ольга Сергеевна Романенкова², Елена Александровна Гладырь³
^{1,2,3}Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, Дубровицы, Россия
¹konoval-elena@vandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2170-5259>
²ksilosa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2682-6164>
³elenagladyr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5210-8932>

Аннотация. Проведённые исследования были направлены на выявление генетических маркеров, влияющих на нежность говядины, как наиболее важной определяющей вкус характеристики. В ходе работы были созданы тест-системы, основанные на методах ПЦР-ПДРФ и РВ-ПЦР, для идентификации аллельных вариантов полиморфизмов гена кальпаина 1 – CAPN1_530 и CAPN1_4751. Генотипирование популяций крупного рогатого скота абердин-ангусской (n поп № 1=140, n поп № 2=20) и галловейской (n=100) пород по изучаемым полиморфизмам показало наличие в генотипах поп № 1 крупного рогатого скота абердин-ангусской породы предпочтительного аллеля C-CAPN1_4751 в частоте 0,44. Примечательно, что в данной популяции при достаточно высокой доле гетерозигот (122 животных из 140, что составило 87,1 %) гомозиготных по аллелю C-CAPN1_4751 животных не оказалось. В популяции породы галловей животных-носителей аллеля C-CAPN1_4751 обнаружено не было. Желательного в отношении нежности мяса аллеля G-CAPN1_530 не было выявлено ни в одной из изучаемых популяций. Ввиду наличия большого влияния гена кальпаина 1 на нежность мяса, а также выявления генетической изменчивости по CAPN1_4751 среди российских популяций крупного рогатого скота мясных пород, считаем целесообразным проведение дальнейших исследований на большем поголовье животных. Это будет способствовать поиску дополнительных генетических маркеров мясной продуктивности с перспективой их внедрения в системы геномной селекции для повышения точности геномного прогноза в мясном скотоводстве.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, мясные породы, маркеры продуктивности, нежность мяса, генные полиморфизмы, кальпаин 1, CAPN1_530, CAPN1_4751

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-26-00176, <https://rscf.ru/project/23-26-00176>

Для цитирования. Коновалова Е.Н., Романенкова О.С., Гладырь Е.А. Анализ российских популяций крупного рогатого скота мясного направления продуктивности по полиморфизмам гена кальпаина 1 // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 42-50. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-42>

BREEDING, SELECTION, GENETICS

Original article

The analysis of the Russian beef cattle population on polymorphism of CAPN1 gene

Elena N Konovalova¹, Olga S Romanenkova², Elena A Gladyr³
^{1,2,3}Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Dubrovitsy, Russia
¹konoval-elena@vandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2170-5259>
²ksilosa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2682-6164>
³elenagladyr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5210-8932>

Abstract. The conducted studies were aimed at identification of genetic markers that affect the tenderness of beef as the most important characteristic that determines taste. In the course of works, the

test systems for the identification of the allele variants of polymorphism of CAPN1 genes – CAPN1_530 and CAPN1_4751, based on PCR-RFLP and RT-PCR methods were created. Genotyping of Aberdeen-Angus cattle populations (n pop No. 1=140, n pop No. 2=20) and Galloway (n=100) breeds according to the studied polymorphisms showed the presence of pop No. 1 in Aberdeen cattle genotypes of the preferred allele C-CAPN1_4751 at a frequency of 0.44. It is noteworthy that in this population, there were no animals homozygous for the C-CAPN1_4751 allele with a sufficiently high proportion of heterozygotes (122 animals out of 140, which was 87.1%). No animals carrying the C-CAPN1_4751 allele were found in the Galloway breed population. The G-CAPN1_530 allele, which is desirable for meat tenderness, was not identified in any of the studied populations. Due to the large influence of the CAPN1 gene on the tenderness of meat, as well as the revealing of the genetic variability for CAPN1_4751 among the Russian populations of beef cattle, we consider it advisable to conduct further research on a larger number of animals. This will contribute to the search for additional genetic markers of meat productivity with the prospect of their introduction into genomic selection systems to increase the accuracy of genomic forecasting in beef cattle breeding.

Keywords: cattle, beef breeds, productivity markers, meat tenderness, gene polymorphisms, CAPN1, CAPN1_530, CAPN1_4751

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No 23-26-00176, <https://rscf.ru/project/23-26-00176>

For citation: Konovalova EN, Romanenkova OS, Gladyr EA. The analysis of the Russian beef cattle population on polymorphism of CAPN1 gene. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):42-50. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-42>

Введение.

Обеспечение продовольственной безопасности России является одной из основных задач агропромышленного комплекса нашей страны. Одной из мер достижения необходимого уровня собственного продовольствия и импортозамещения является увеличение объёмов продовольствия и улучшение качества потребляемых продуктов (Дунин И.М. и др., 2020). В частности, одной из проблем является обнаруживаемый в России на протяжении нескольких лет дефицит производства говядины, что подтверждается данными ВНИИ племенного дела – в 2022 году объём производства данного вида мяса составил 1,32 млн т, а потребления – 1,53 млн т (Шичкин Г.И. и др., 2023). Данный факт представляет собой угрозу продовольственной безопасности населения нашей страны, что нельзя оставлять без внимания ввиду высокой биологической ценности мяса крупного рогатого скота вследствие уникального аминокислотного состава и хорошей усвояемости организмом человека (Pighin D et al., 2016).

Помимо высокой стоимости одним из факторов, влияющих на потребительский спрос говядины, являются вкусовые качества, уступающие свинине и мясу птицы. В связи с этим, наряду со стремлением увеличения объёма производства, стоит задача улучшения органолептических характеристик говядины.

Одним из ключевых свойств, определяющих вкусовые качества говядины, считается показатель нежности, важным этапом формирования которого является созревание (старение) мяса. Большую роль в данном процессе играет мышечная протеолитическая система, наиболее значимый компонент которой белок кальпаин участвует в посмертном протеолизе мышечных волокон (Geesink GH, 2006). Система кальпаина состоит из трёх белков (μ-кальпаин, m-кальпаин и кальпаастатин) и её активность зависит от концентрации ионов Ca²⁺. μ-кальпаин и m-кальпаин состоят из идентичной 28-кДа субъединицы и 80-кДа субъединицы, имеющей только 55-60 % аминокислотной гомологии между двумя протеазами, которые кодируется двумя отдельными генами – кальпаин 1 (CAPN1) и кальпаин 2 (CAPN2) (Mengistie D et al., 2021).

Ранее проведённые исследования выявили достоверное влияние вариантов гена μ-кальпаина (CAPN1) и гена кальпаастатина (CAST) на нежность говядины (P<0,05) (Casas E et al., 2006; White SN et al., 2005; Leal-Gutiérrez JD et al., 2018). В частности, были определены три предположительно наиболее значимых полиморфизма гена кальпаина 1, локализованного на ВТА29, образуемых в результате отдельных нуклеотидных замен (SNP): CAPN1_316 (генетическая локали-

зация: 29:g.44069063C>G, с.947G>C, p.Gly316Ala, rs17872000), *CAPNI_530* (29:g.44085642G>A, с.1588G>A, p.Val530Ile, rs17871051) и *CAPNI_4751* (29:g.44087629C>T, с.1800+169C>T, rs17872050). Предпочтительными с точки зрения более нежного мяса были определены аллели *C-CAPNI_316*, *G-CAPNI_530* и *C-CAPNI_4751* (McClure M and McClure J, 2016; Casas E and Kehri Jr ME, 2016).

Цель исследования.

Разработка ДНК-тестов для определения аллельных вариантов полиморфизмов в позициях 530 и 4751 гена кальпаина 1 и анализ российских популяций крупного рогатого скота мясного направления продуктивности по данным олигонуклеотидным заменам.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Крупный рогатый скот абердин-ангусской породы двух популяций, разводимых в хозяйствах Калужской (молодняк, n=140) и Смоленской (быки, n=20) областей, а также галловейской породы (коровы, n=100) популяции Смоленской области.

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 в лаборатории молекулярной генетики ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста в 2022-2023 гг. От животных в соответствии с этическими нормами, принятыми в Российской Федерации, отбирался биоматериал (ушные выщипы, кровь), из которого были получены препараты ДНК при помощи стандартно применяемых в лаборатории методик, в частности, посредством использования наборов для выделения нуклеиновых кислот Синтол 1 и 2 (ЗАО «Синтол», Россия) в соответствии с инструкциями производителя.

Разработка тест-систем для выявления аллельных вариантов полиморфизмов гена кальпаина 1 осуществлялась при помощи использования метода на основе полимеразной цепной реакции (ПЦР), в частности ПЦР с последующим анализом длин рестрикционных фрагментов (ПЦР-ПДРФ) и дальнейшего совершенствования разработанных тест-систем методом ПЦР в режиме реального времени (ПЦР-РВ).

Анализ продуктов ПЦР-ПДРФ проводили при помощи электрофореза в 3 %-ном агарозном геле при 120 В посредством системы для электрофореза и гель-документации FireReader V10. Проведение ПЦР-РВ осуществлялось на амплификаторе QuantStudio 5.

Оборудование и технические средства. Исследования проводились в лаборатории молекулярной генетики ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, пробы ДНК были депонированы в банке ДНК Центра коллективного пользования ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Для проведения ПЦР использовался термоциклер Gene Explorer (Bioer, Китай), для проведения ПДРФ – термостат BioShake iQ (Analytik Jena, Германия). Анализ продуктов ПЦР-ПДРФ посредством системы для электрофореза и гель-документации FireReader V10 (UVITEC Co., Великобритания). Проведение ПЦР-РВ – на амплификаторе QuantStudio 5 (Applied Biosystems, Сингапур). Полученные данные оценивались при помощи предлагающегося к прибору программного обеспечения.

Статистическая обработка полученных данных. Подсчёт и статистическую обработку результатов осуществляли с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» (США) с применением программы «Excel» («Microsoft», США).

Результаты исследования.

Для анализа изучаемых SNP при помощи программы Primer3Plus (<https://www.primer3plus.com/>) были подобраны олигонуклеотидные праймеры, позволяющие проводить ПЦР-амплификацию и получать соответствующие ДНК-фрагменты. Анализ последовательностей ДНК области мутаций выявил сайты узнавания для эндонуклеаз рестрикции *Th1H1* (*CAPNI_530*) и *BstDEI* (*CAPNI_4751*). Подбор эндонуклеаз рестрикции осуществлялся при помо-

щи программного продукта лаборатории New England Biolab NebCutter V.3.0. (<https://nc3.neb.com/NEBcutter/>).

В результате исследования были разработаны тест-системы на основе метода ПЦР-ПДРФ, позволяющие дифференцировать аллельные варианты, образованные в ходе полиморфизмов *CAPN1_530* и *CAPN1_4751*.

Данные тест-системы были модернизированы при помощи метода РВ-ПЦР. Примеры получаемых результатов представлены на рис. 1 и 2.

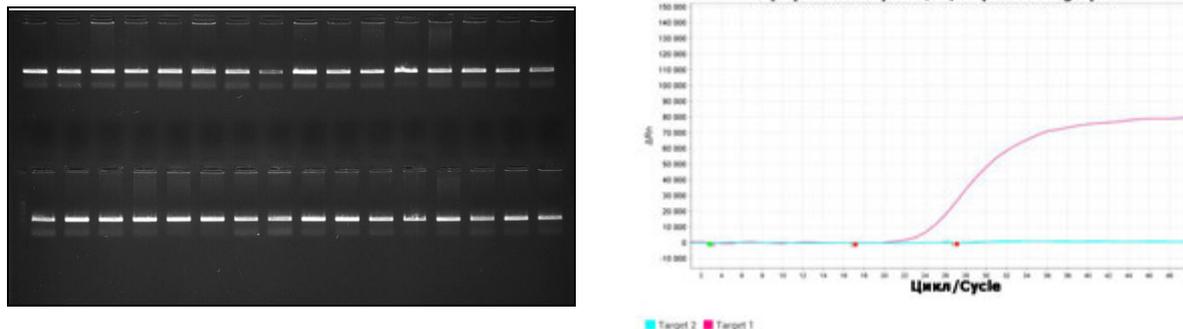


Рисунок 1. Результаты ДНК-диагностики полиморфизма *CAPN1_530* при помощи методов ПЦР-ПДРФ (левая часть рисунка) и ПЦР-РВ (правая часть рисунка). Все представленные пробы имеют генотип АА

Figure 1. The results of DNA diagnostics of *CAPN1_530* polymorphism by PCR-RFLP (the left part of the figure) and RT-PCR (the right part of the figure) methods. All present probes have AA-genotype

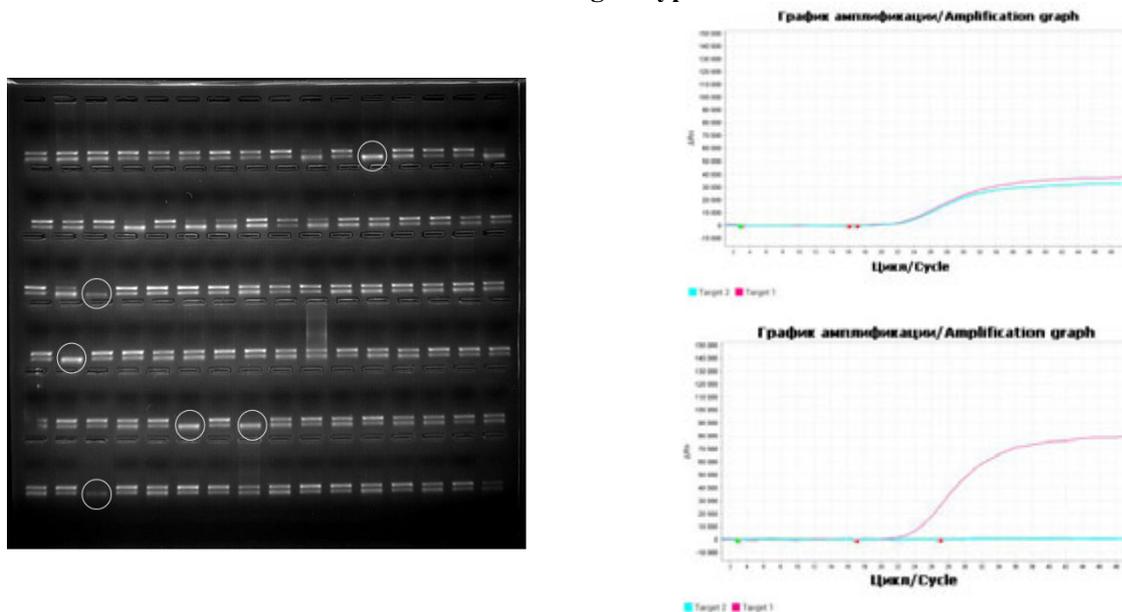


Рисунок 2. Результаты анализа полиморфизма *CAPN1_4751*. В левой части рисунка – электрофорезграмма ПЦР-ПДРФ. Обведены животные с генотипом ТТ. Остальные пробы на фото имеют генотип СТ. В правой части рисунка – результаты РВ-ПЦР: верхний график – животное с генотипом СТ, нижний – генотип ТТ

Figure 2. The results of *CAPN1_4751* polymorphism analysis. PCR-RFLP gel electrophoresis is in the left part of the figure. In the circles are the animals with TT genotype. The rest probes on the photo have CT genotype. The RT-PCT results are in the right part of the figure: the upper figure is the animal with CT genotype, the lower – TT genotype

В ходе ПЦР-амплификации области мутации полиморфизма *CAPN1_530* образуется ДНК-фрагмент длиной 370 п.о., соответствующий аллелю дикого типа А. При наличии в генотипе мутантного аллеля G, ассоциированному с более нежным мясом, в ходе ПДРФ на электрофореграмме визуализировалось бы два фрагмента ДНК размером 162 и 142 п.о.

Однако ни в одной из исследуемых популяций не было обнаружено животного с наличием в генотипе желательного G-аллеля полиморфизма *CAPN1_530*.

Дизайн системы ПЦР-ПДРФ для выявления аллелей полиморфизма *CAPN1_4751* предполагает амплификацию ДНК фрагмента области мутации размером 218 п.о. Сайт рестрикции, характерный для эндонуклеазы *BstDEI*, присутствует в аллеле дикого типа, который вследствие ПДРФ расщепляется на два фрагмента 146 и 72 п.о. При наличии мутации, приводящей к образованию желательного аллеля С, ферментного расщепления не происходит и, таким образом, мутантный аллель представлен одним нерестрицированным фрагментом длиной 218 п.о. Обнаруженные в ходе исследования генотипы по полиморфизму *CAPN1_4751* представлены на рисунке 2.

Проведённое при помощи разработанных тест-систем генотипирование российских популяций абердин-ангусской и галловейской пород не выявило сильной изменчивости по изучаемым полиморфизмам гена кальпаина 1 (табл. 1).

Таблица 1. Результаты генотипирования крупного рогатого скота российских популяций абердин-ангусской и галловейской пород по полиморфизмам гена кальпаина 1

Table 1. The genotyping results of Russian cattle populations of Angus and Galloway breeds on *CAPN1* polymorphisms

Популяция / Population	n	<i>CAPN1_530</i>			<i>CAPN1_4751</i>		
		AA	GA	GG	TT	CT	CC
Абердин-ангус № 1 / <i>Aberdeen-Angus No. 1</i>	140	140	0	0	18	122	0
Абердин-ангус № 2 / <i>Aberdeen-Angus No. 2</i>	20	20	0	0	20	0	0
Галловей / <i>Galloway</i>	100	100	0	0	100	0	0

Как видно из результатов таблицы 1, всё исследуемое поголовье абердин-ангусской и галловейской пород было гомозиготным по аллелю А полиморфизма *CAPN1_530*.

Полиморфизм *CAPN1_4751* оказался более вариабельным. И если в популяциях абердин-ангусской породы № 2 и галловейской породы все животные были 100 % носителями генотипа ТТ, то в популяции № 1 абердин-ангусов были выявлены особи, гомозиготные по аллелю дикого типа Т и большая часть – гетерозиготные животные. Примечательно, что животных с генотипом СС, предположительно лучшим в отношении нежности мяса, выявлено не было. Подсчёт частот аллелей С и Т *CAPN1_4751* в популяции абердин-ангусов № 1 показал, что частота аллеля Т составила 0,56, а аллеля С – 0,44.

Обсуждение полученных результатов.

В ходе работы были созданы ДНК-тесты, позволяющие проводить генотипирование крупного рогатого скота независимо от пола, возраста и физиологического состояния по полиморфизмам гена кальпаина 1, предположительно оказывающим влияние на процессы посмертного протеолиза в мышцах и, как следствие, на степень нежности мяса. Данные разработки дают возможность альтернативного определения статуса животных по полиморфизмам гена кальпаина 1 *CAPN1_530* и *CAPN1_4751* либо доступным в любой молекулярно-генетической лаборатории методом ПЦР-ПДРФ-анализа (Габидулин В.М. и Алимova С.А., 2016), либо при помощи ПЦР в режиме реального времени, что наиболее подходит для анализа большого количества образцов (Seifi M et al., 2012; Ребриков Д.В. и др., 2020).

Ранее нами при помощи собственного ДНК-теста было проведено изучение полиморфизма гена кальпаина 1 в позиции 316 (*CAPN1_316*) в российских популяциях абердин-ангусской и галловейской пород (Коновалова Е.Н. и др., 2023а, 2023б). Анализ по данному маркеру выявил наличие аллелей дикого типа и мутантного и трёх возможных генотипов (GG, GC и CC). Причём частота желательного с точки зрения нежности мяса аллеля С составила в популяции ангусов 0,20-0,28 в зависимости от пола животных, а в популяции галловеев – 0,38.

Полученные в настоящем исследовании результаты продемонстрировали наличие в одной из популяций абердин-ангусской породы предпочтительного по продуктивности аллеля *C-CAPN1_4751* в относительно высокой частоте (0,44).

Всё это позволяет предположить наличие достаточно высокого генетического потенциала мясных стад, разводимых на территории России, в частности, абердин-ангусской и галловейской пород. В связи с этим представляет интерес дальнейший анализ имеющихся и поиск новых генетических маркеров, связанных со свойствами, определяющими вкусовые качества мяса.

Заключение.

В ходе работы были созданы ДНК-тесты для определения аллельных вариантов полиморфизмов в позициях 530 и 4751 гена кальпаина 1, которые дают возможность альтернативного определения аллельных вариантов данных мутаций при помощи двух модификаций метода ПЦР – с помощью анализа длин рестрикционных фрагментов или в режиме реального времени. Данные разработки позволяют проводить генотипирование крупного рогатого скота по полиморфизмам *CAPN1_530* и *CAPN1_4751* молекулярно-генетическим лабораториям разного уровня оснащённости и получать данные о наличии конкретных аллелей вышеуказанных мутаций в генотипах животных независимо от возраста, пола и физиологического статуса.

Анализ трёх российских популяций крупного рогатого скота абердин-ангусской и галловейской пород показал их генетическую однородность по полиморфизму *CAPN1_530* – все животные были гомозиготными по аллелю дикого типа А, а связанного с более нежным мясом аллеля G в генотипах исследуемого поголовья выявлено не было. Определённая генетическая вариабельность была обнаружена по полиморфизму *CAPN1_4751* – в одной из популяций абердин-ангусской породы большинство животных имели гетерозиготный генотип СТ (87,1 %). Интересен тот факт, что гомозиготных по аллелю *C-CAPN1_4751* животных в данном поголовье не оказалось. Вместе с тем, частота благоприятного в отношении нежности мяса аллеля С составила 44 % (0,44), что даёт возможность селекции наиболее продуктивных животных по данному SNP.

Полученные результаты показывают целесообразность дальнейших исследований генетических маркеров мясных продуктивных свойств крупного рогатого скота, увеличивая как количество изучаемых полиморфизмов, так и численность исследуемого поголовья. Данные исследования представляются весьма перспективными. Во-первых, появится возможность определения генетического статуса животных по генам продуктивности, что позволит осуществлять планомерный отбор наиболее ценных особей и разработку программ селекции для получения потомства с наиболее высокими продуктивными показателями. Во-вторых, генетические маркеры с наиболее значительным влиянием могут быть в дальнейшем включены в программы геномной селекции, что повысит точность геномного прогноза и ускорит генетический прогресс стад.

Список источников

1. Габидулин В.М., Алимова С.А. Метод прогнозирования продуктивности абердин-ангусского скота с учётом результатов полиморфизма генов // Вестник мясного скотоводства. 2016. № 4(96). С. 30-35. [Gabidulin VM, Alimova SA. The method of predicting the productivity of Aberdeen Angus cattle taking into account the results of gene polymorphism. Herald of Beef Cattle Breeding. 2016;4(96):30-35. (In Russ.)].

2. Генетическая оценка крупного рогатого скота породы галловей / Е.Н. Коновалова, О.С. Романенкова, Е.А. Гладырь, А.А. Сермягин // Достижения науки и техники АПК. 2023а. Т. 37. № 10. С. 72-76. [Konovalova EN, Romanenkova OS, Gladyr EA, Sermyagin AA. Genetic evaluation of Galloway cattle. Achievements of Science and Technology of AIC. 2023a;37(10):72-76. (*In Russ.*.)] doi: 10.53859/02352451_2023_37_10_72
3. ДНК-анализ полиморфизма генов миостатина, лептина и кальпаина 1 у российской популяции крупного рогатого скота абердин-ангусской породы / Е.Н. Коновалова, М.И. Селионова, Е.А. Гладырь, О.С. Романенкова, Л.В. Евстафьева // Сельскохозяйственная биология. 2023б. Т. 58. № 4. С. 622-637. [Konovalova EN, Selionova MI, Gladyr EA, Romanenkova OS, Evstafeva LV. DNA analysis of myostatin, leptin and calpain 1 gene polymorphism in Russian cattle population of Aberdeen Angus breed. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2023b;58(4):622-637. (*in Russ.*.)] doi: 10.15389/agrobiology.2023.4.622rus doi: 10.15389/agrobiology.2023.4.622eng
4. ПЦР в реальном времени / Д.В. Ребриков, Г.А. Саматов, Д.Ю. Трофимов, П.А. Семёнов, А.М. Савилова, И.А. Кофиади, Д.Д. Абрамов; под ред. д.б.н. Д.В. Ребрикова. 8-е изд., электрон. М.: Лаборатория знаний, 2020. 226 с. [Rebrikov DV, Samatov GA, Trofimov DYU, Semenov PA, Savilova AM, Kofiadi IA, Abramov DD. *PTsR v real'nom vremeni. pod red. d.b.n. Rebrikova DV. 8-e izd., elektron. Moscow: Laboratoriya znaniy; 2020:226 p. (in Russ.)*].
5. Состояние мясного скотоводства в Российской Федерации / Г.И. Шичкин, Е.Е. Тяпугин, И.М. Дунин, С.Е. Тяпугин, М.С. Мышкина, Е.В. Герасимова, Н.А. Козлова, Н.В. Семенова // Ежегодник по племенной работе в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2022 год) / сост.: Г.И. Шичкин, Д.В. Бутусов, Г.Ф. Сафина, В.В. Чернов, И.М. Дунин и др.; под ред. Т.А. Мороз. М.: Изд-во ФГБНУ ВНИИплем, 2023. С. 3-16. [Shichkin GI, Tyapugin EE, Dunin IM, Tyapugin SE, Myshkina MS, Gerasimova EV, Kozlova NA, Semenova NV. *Sostoyanie myasnogo skotovodstva v Rossiiskoi Federatsii. Ezhegodnik po plemennoi rabote v myasnom skotovodстве v khozyaistvakh Rossiiskoi Federatsii (2022 god). Sostaviteli: Shichkin GI, Butusov DV, Safina GF, Chernov VV, Dunin IM et al.; pod. red. T.A. Moroz. Moscow: Izdatel'stvo FGBNU VNIIPlem; 2023:3-16. (in Russ.)*].
6. Состояние мясного скотоводства в Российской Федерации: реалии и перспективы / И.М. Дунин, С.Е. Тяпугин, Р.К. Мещеров, В.П. Ходыков, В.К. Аджибеков, Е.Е. Тяпугин, А.В. Дюльдина // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 2. С. 2-7. [Dunin IM, Tyapugin SE, MeshcheroV RK, Nodykov VP, Adzhibekov VK, Tyapugin EE, Dyuldina AV. *Condition of meat cattle breeding in the Russian Federation: realities and prospects. Dairy and Beef Cattle Farming. 2020;2:2-7. (in Russ.)*] doi: 10.33943/MMS.2020.40.30.001
7. Casas E, KehrlI Jr ME. A review of selected genes with known effects on performance and health of cattle. *Frontiers Veterinary Science*. 2016;3:113. doi: 10.3389/fvets.2016.00113
8. Casas E, White SN, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, Riley DG, Chase Jr CC, Johnson DD, Smith TPL. Effects of *calpastatin* and μ -*calpain* markers in beef cattle on tenderness traits. *Journal of Animal Science*. 2006;84(3):520-525. doi: 10.2527/2006.843520x
9. Geesink GH, Kuchay S, Chishti AH, Koohmaraie MJ. μ -Calpain is essential for post-mortem proteolysis of muscle proteins. *Journal of Animal Sciences*. 2006;84(10): 2834-2840. doi: 10.2527/jas.2006-122
10. Leal-Gutiérrez JD, Elzo MA, Johnson DD, Scheffler TL, Scheffler JM, Mateescu RG. Association of μ -calpain and calpastatin polymorphisms with meat tenderness in a Brahman-Angus population. *Frontiers in Genetics*. 2018;9:56. doi: 10.3389/fgene.2018.00056
11. McClure M, McClure J. Understanding genetics and complete genetic disease and trait definition (expanded edition). *Genetic disease and trait information for IDB genotyped animals in Ireland*. ICBF, Highfield House, Shinagh, Bandon, Co. Cork; 2016:88 p.
12. Mengistie D, Tessema TS, Kim KS, Dadi H, Zewdie G. The influence of *CAPN1* and *DGAT1* genes polymorphism and meat quality. *Journal of Animal Sciences and Livestock Production*. 2021;5(6):002.

13. Mrode R, Ojango JMK, Okeyo AM, Mwacharo JM. Genomic selection and use of molecular tools in breeding programs for indigenous and crossbred cattle in developing countries: current status and future prospects (review article). *Frontiers Genetics*. 2019; 9:694. doi: 10.3389/fgene.2018.00694
14. Pighin D, Pazos A, Chamorro V, Paschetta F, Cunzolo S, Godoy F, Messina V, Pordomingo A, Grigioni G. A contribution of beef to human health: a review of the role of the animal production systems. *The Scientific World Journal*. 2016;2016:8681491. doi: 10.1155/2016/8681491
15. Seifi M, Ghasemi A, Heidarzadeh S, Khosravi M, Namipashaki A, Soofiany VM, Khosroshahi AA, Danaei N. Overview of real-time PCR Principles. In: Hernández-Rodríguez P, Ramires Gomes AP, editors. *Polymerase Chain Reaction*. 2012. InTech. p. 405-442. doi: 10.5772/39220
16. White SN, Casas E, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, Riley DG, Chase Jr CC, Johnson DD, Keele JW, Smith TPL. A new single nucleotide polymorphism in *CAPNI* extends the current tenderness marker test to include cattle of *Bos indicus*, *Bos taurus*, and crossbred descent. *Journal of Animal Science*. 2005;83(9):2001-2008. doi: 10.2527/2005.8392001x

References

1. Gabidulin VM, Alimova SA. The method of predicting the productivity of Aberdeen Angus cattle taking into account the results of gene polymorphism. *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2016;4(96):30-35.
2. Konovalova EN, Romanenkova OS, Gladyr EA, Sermyagin AA. Genetic evaluation of Galloway cattle. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2023a;37(10):72-76. doi: 10.53859/02352451_2023_37_10_72
3. Konovalova EN, Selionova MI, Gladyr EA, Romanenkova OS, Evstafeva LV. DNA analysis of myostatin, leptin and calpain 1 gene polymorphism in Russian cattle population of Aberdeen Angus breed. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2023b;58(4):622-637. doi: 10.15389/agrobiology.2023.4.622eng
4. Rebrikov DV, Samatov GA, Trofimov DYU, Semenov PA, Savilova AM, Kofiady IA, Abramov DD; Real-time PCR. edited by Doctor of Biological Sciences Rebrikova DV. 8th ed., electronic. Moscow: Laboratory of Knowledge; 2020:226 p.
5. Shichkin GI, Tyapugin EE, Dunin IM, Tyapugin SE, Myshkina MS, Gerasimova EV, Kozlova NA, Semenova NV. The state of beef cattle breeding in the Russian Federation. *Yearbook on breeding work in beef cattle breeding on farms of the Russian Federation (2022)*. compiled by: Shichkin GI, Butusov DV, Safina GF, Chernov VV, Dunin IM et al.; under. ed. Moroz TA. Moscow: Publishing house of Moscow: Publishing house of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Animal Breeding"; 2023:3-16.
6. Dunin IM, Tyapugin SE, Meshcherov RK, Hodykov VP, Adzhibekov VK, Tyapugin EE, Dyuldina AV. Condition of meat cattle breeding in the Russian Federation: realities and prospects. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2020;2:2-7. doi: 10.33943/MMS.2020.40.30.001
7. Casas E, Kehrl Jr ME. A review of selected genes with known effects on performance and health of cattle. *Frontiers Veterinary Science*. 2016;3:113. doi: 10.3389/fvets.2016.00113
8. Casas E, White SN, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, Riley DG, Chase Jr CC, Johnson DD, Smith TPL. Effects of *calpastatin* and μ -*calpain* markers in beef cattle on tenderness traits. *Journal of Animal Science*. 2006;84(3):520-525. doi: 10.2527/2006.843520x
9. Geesink GH, Kuchay S, Chishti AH, Koohmaraie MJ. μ -Calpain is essential for post-mortem proteolysis of muscle proteins. *Journal of Animal Sciences*. 2006;84(10): 2834-2840. doi: 10.2527/jas.2006-122
10. Leal-Gutiérrez JD, Elzo MA, Johnson DD, Scheffler TL, Scheffler JM, Mateescu RG. Association of μ -calpain and calpastatin polymorphisms with meat tenderness in a Brahman-Angus population. *Frontiers in Genetics*. 2018;9:56. doi: 10.3389/fgene.2018.00056

11. McClure M, McClure J. Understanding genetics and complete genetic disease and trait definition (expanded edition). Genetic disease and trait information for IDB genotyped animals in Ireland. ICBF, Highfield House, Shinagh, Bandon, Co. Cork; 2016:88 p.
12. Mengistie D, Tessema TS, Kim KS, Dadi H, Zewdie G. The influence of *CAPNI* and *DGATI* genes polymorphism and meat quality. Journal of Animal Sciences and Livestock Production. 2021;5(6):002.
13. Mrode R, Ojango JMK, Okeyo AM, Mwacharo JM. Genomic selection and use of molecular tools in breeding programs for indigenous and crossbred cattle in developing countries: current status and future prospects (review article). Frontiers Genetics. 2019; 9:694. doi: 10.3389/fgene.2018.00694
14. Pighin D, Pazos A, Chamorro V, Paschetta F, Cunzolo S, Godoy F, Messina V, Pordomingo A, Grigioni G. A contribution of beef to human health: a review of the role of the animal production systems. The Scientific World Journal. 2016;2016:8681491. doi: 10.1155/2016/8681491
15. Seifi M, Ghasemi A, Heidarzadeh S, Khosravi M, Namipashaki A, Soofiany VM, Khosroshahi AA, Danaei N. Overview of real-time PCR Principles. In: Hernández-Rodríguez P, Ramires Gomes AP, editors. Polymerase Chain Reaction. 2012. InTech. p. 405-442. doi: 10.5772/39220
16. White SN, Casas E, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, Riley DG, Chase Jr CC, Johnson DD, Keele JW, Smith TPL. A new single nucleotide polymorphism in *CAPNI* extends the current tenderness marker test to include cattle of *Bos indicus*, *Bos taurus*, and crossbred descent. Journal of Animal Science. 2005;83(9):2001-2008. doi: 10.2527/2005.8392001x

Информация об авторах:

Елена Николаевна Коновалова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132 Московская обл., г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +79057256390.

Ольга Сергеевна Романенкова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская обл., г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +7(4967)651104.

Елена Александровна Гладырь, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская обл., г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +74967651104.

Information about the authors:

Elena N Konovalova, Cand. Sci. (Biology), senior researcher, Laboratory of Molecular Genetics of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk district, Moscow region, 142132, cell: +79057256390.

Olga S Romanenkova, Cand. Sci. (Biology), researcher, Laboratory of Molecular Genetics of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk district, Moscow region, 142132, cell: +7(4967)651102.

Elena A Gladyr, Cand. Sci. (Biology), leading researcher, chef of the Laboratory of Molecular Genetics of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk district, Moscow region, 142132, cell: +7(4967)651102.

Статья поступила в редакцию 17.11.2023; одобрена после рецензирования 15.01.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 17.11.2023; approved after reviewing 15.01.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 51-61.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 1. P. 51-61.

Научная статья
УДК 636.082
doi:10.33284/2658-3135-107-1-51

Динамика весового роста у молодняка казахской белоголовой породы с различным уровнем экспрессии генов соматотропной оси

Николай Павлович Герасимов¹, Альбек Комарович Сангаков²

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

¹nick.gerasimov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2295-5150>

²sangakovak@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9843-4572>

Аннотация. Актуальным вопросом внедрения MAS-селекции в мясное скотоводство является выбор наиболее значимых генов с гарантированным фенотипическим эффектом на рост и развитие мясного скота. Цель исследования состояла в оценке выраженности показателей живой массы и среднесуточного прироста у молодняка казахской белоголовой породы с различным уровнем экспрессии генов соматотропной оси. Бычков (n=28) и тёлочек (n=22) генотипировали по полиморфизмам IGF-1 C422T гена инсулиноподобного фактора роста, GH L127V гена гормона роста и GHR F279Y гена рецептора гормона роста. Получены данные по ассоциации генов соматотропной оси с интенсивностью весового роста у молодняка казахской белоголовой породы. Среди изученных маркеров наибольшее влияние на изменчивость живой массы оказали полиморфизмы IGF-1 C472T и GH L127V. В частности, А-аллель гена IGF-1 в гомозиготном состоянии у тёлочек ассоциировалась с максимальной продуктивностью до годовалого возраста, а в гетерозиготном – у бычков в 15 месяцев. В свою очередь, VV-генотип гена гормона роста связан с повышенной массивностью тела бычков при отъёме и в 12 месяцев, а тёлочек – в 15-месячном возрасте.

Ключевые слова: казахская белоголовая порода, бычки, тёлочки, живая масса, среднесуточный прирост, гены соматотропной оси

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2023-2025 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2021-0001).

Для цитирования: Герасимов Н.П., Сангаков А.К. Динамика весового роста у молодняка казахской белоголовой породы с различным уровнем экспрессии генов соматотропной оси // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 51-61. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-51>

Original article

Dynamics of weight growth in young Kazakh White-Headed breed with different levels of somatotropic axis gene expression

Nikolay P Gerasimov¹, Al'bek K Sangakov²

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

¹nick.gerasimov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2295-5150>

²sangakovak@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9843-4572>

Abstract. The actual problem of MAS selection in beef cattle breeding is the selection of the most significant genes with guaranteed phenotypic effect on growth performance of beef cattle. The aim of the

study was to evaluate the formation of live weight and average daily gain in young Kazakh White-Headed breed with different levels of somatotrophic axis gene expression. Bulls (n=28) and heifers (n=22) were genotyped for IGF-1 C422T polymorphisms of the insulin-like growth factor gene, GH L127V of the growth hormone gene, and GHR F279Y of the growth hormone receptor gene. The data on the association of somatotrophic axis genes with the growth rate in young animals of the Kazakh White-Headed breed were obtained. IGF-1 C422T and GH L127V polymorphisms had the greatest effect on live weight variability among the markers studied. In particular, the A-allele of the IGF-1 gene in the homozygous state was associated with maximum productivity in heifers up to one year of age, and in the heterozygous state - in bulls at 15 months of age. In turn, the VV genotype of the growth hormone gene is associated with increased body mass in bulls at weaning and at 12 months of age and in heifers at 15 months of age.

Keywords: Kazakh White-Headed breed, bulls, heifers, live weight, average daily gain, somatotrophic axis gene

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2023-2025 FSBSI FRC BST RAS (FNWZ-2021-0001).

For citation: Gerasimov NP, Sangakov AK. Dynamics of weight growth in young Kazakh White-Headed breed with different levels of somatotrophic axis gene expression. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):51-61. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-51>

Введение.

Рациональная организация отрасли мясного скотоводства во многом связана с интенсивным использованием животных с высоким генетическим потенциалом продуктивности и своевременной выбраковкой неперспективных особей из стада ради экономии ресурсов (Джуламанов К.М. и др., 2022). В этой связи крайне востребованным направлением повышения конкурентоспособности производства говядины является внедрение инновационных технологий оценки, отбора и прогнозирования хозяйственной ценности мясного скота (Ruchay A et al., 2022). Важным критерием применимости новых методов в племенном деле выступает возможность проведения селекционных мероприятий с наивысшей точностью на более ранних стадиях развития молодняка. Значительное ускорение темпов генетического совершенствования сельскохозяйственных животных способно обеспечить использование молекулярно-биологических маркеров (Амерханов Х.А. и др., 2023). Так, селекционно-племенная работа на основе данных о геноме и фенотипа позволяет повысить эффективность улучшения скота на 15-30 % по сравнению с отбором исключительно по продуктивным качествам (Столповский Ю.А. и др., 2020).

Для мясного скотоводства важным интегральным показателем продуктивности является живая масса. Её изменчивость в процессе роста и развития детерминируется как наследственными, так и паратипическими факторами (Насамбаев Е.Г. и др., 2023). Причём наследование живой массы, как и других количественных признаков, происходит под действием множества генов. Так, по данным Белой Е.В. и др. (2022), отъёмная масса молодняка казахской белоголовой породы обусловлена влиянием 16 SNP высокой значимости, а среднесуточного прироста – 36 SNP. Кроме того, часть полиморфизмов оказывают положительный эффект на выраженность признака, другая часть – отрицательный. Большой массив данных, определяющих генетический потенциал мясной продуктивности крупного рогатого скота, существенно ограничивает внедрение понятной селекционной стратегии с помощью маркеров в практику племенной работы. В связи с этим необходим выбор наиболее значимых генов с гарантированным эффектом на рост и развитие мясного скота. Высоким потенциалом для прикладного использования в скотоводстве отличаются гены соматотропной оси, так как они ассоциированы с важнейшими обменными процессами организма животных (Седых Т.А. и др., 2020; Miroshnikov SA et al., 2021).

Цель исследования.

Оценить выраженность показателей живой массы и среднесуточного прироста у молодняка казахской белоголовой породы с различным уровнем экспрессии генов соматотропной оси.

Материал и методы исследования.

Объект исследования. Бычки (n=28) и телки (n=22) казахской белоголовой породы скота из СПК племзавод «Красный Октябрь» Волгоградской области.

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.), 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.

Схема эксперимента. Динамику живой массы и среднесуточного прироста молодняка казахской белоголовой породы определяли по результатам ежемесячного взвешивания от рождения до 15-месячного возраста. Содержание поголовья было организовано согласно технологии, принятой в мясном скотоводстве: летом – на пастбище, зимой – в помещениях лёгкого типа с кормлением на выгульной площадке и свободным доступом к воде.

Молодняк генотипировали по полиморфизмам IGF-1 C422T – гена инсулиноподобного фактора роста, *GH L127V* – гена гормона роста и *GHR F279Y* – гена рецептора гормона роста. Для генотипирования у животных проводили забор цельной крови, из которой изолировали ДНК, используя набор «DIAtom™DNAPrep» (IsoGeneLab). Для проведения ПЦП применяли наборы «GenePakPCRCore» (IsoGeneLab). Генотипирование проводили методом ПЦП-ПДРФ на программируемом термоциклере «Терцик» (ДНК-технология) с использованием праймеров, разработанных в НПФ «Литех»: IGF-1 C422T – F: 5'-attacaagctgcctgcccc-3' и R: 5'-accttaccggtatgaaaggaatatacgt-3'; *GH L127V* – F: 5'- gctgctcctgagcctcg -3' и R: 5'- gcggcggcacttcacgacct -3', *GHR F279Y* – F: 5'- atatgtagcagtgacaatat -3' и R: 5'- acgttctactgggtgatga -3'.

ПЦП-программа: 1) для полиморфизма IGF-1 C422T: «горячий старт» – 3 мин при +95 °С; 35 циклов: денатурация – 30 с при +95 °С; отжиг – 30 с при +64 °С; синтез – 30 с при +72 °С; достройка – 10 мин при +72 °С;

2) для полиморфизма *GH L127V*: «горячий старт» – 5 мин при +95 °С; 35 циклов: денатурация – 45 с при +94 °С, отжиг – 45 с при +65 °С, синтез – 45 с при +72 °С; достройка – 7 мин при +72 °С;

3) для полиморфизма *GHR F279Y*: «горячий старт» – 5 мин при +95 °С; 35 циклов: денатурация – 30 с при +95 °С, отжиг – 60 с при +60 °С, синтез – 30 с при +72 °С; достройка – 10 мин при +72 °С.

Для рестрикции амплифицированных участков генов использовали рестриктаза: для IGF-1 C422T – *SnaBI*, для *GH L127V* – *AluI*, для *GHR F279Y* – *SspI*.

Расщепление продуктов проводили при +37 °С. Идентификация продуктов для гена инсулиноподобного фактора роста: IGF-1^{CC} – 249 п.н.; IGF-1^{TT} – 223, 26 п.н.; IGF-1^{CT} – 249, 223, 26 п.н.; для гена гормона роста: *GH^{VV}* – 223 п.н.; *GH^{LV}* – 223, 171, 52 п.н.; *GH^{LL}* – 171, 52 п.н.; для гена рецептора гормона роста: *GHR^{YY}* – 182 п.н.; *GHR^{FF}* – 158, 24 п.н.; *GHR^{FY}* – 182, 158, 24 п.н. Полученные продукты разделяли методом горизонтального электрофореза в 1х трис-боратного буфера при напряжении 80 В в 2,5 %-ном агарозном геле с окрашиванием бромистого этидия. После чего гель анализировали в ультрафиолетовом свете на трансиллюминаторе «UVT-1», фотографирование с помощью системы «VITran v.1.0». Определение длины фрагментов проводили с помощью маркера молекулярных масс «GenePakR DNA Ladder M 50» (IsoGene Lab).

Оборудование и технические средства. Взвешивание молодняка производили на платформенных весах «ВСП4-Ж» (Россия). Исследования крови выполнялись на оборудовании лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий ВНИИОК-филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (свидетельство ПЖ-77 № 008326 от 18.04.2018 г) и в ЦКП БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>). Для генотипирования использовали пробирки с 600 мкл этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА), набор для выделения ДНК «DIAtom™DNAPrep» («IsoGeneLab»,

Москва, Россия), наборы для проведения ПЦР «GenePakPCRCore» («IsoGeneLab», Москва, Россия), термоциклер «Терцик» («ДНК-технология», Россия), праймеры (НПФ «Литех», Россия), рестриктазы *SnaBI*, *AluI* и *SspI*, трансиллюминатор «UVT-1», систему «VITran v.1.0», маркер молекулярных масс «GenePakR DNA Ladder M 50» («IsoGene Lab», Москва, Россия).

Статистическая обработка. Анализ данных проводили с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США) по алгоритмам описательной статистики. Определение значимости различий между групповыми средними проводили по Критерию Фишера (F-критерий), при этом критический уровень значимости в данном исследовании принимался $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Генотипирование молодняка по трём генам соматотропной оси дало возможность определить влияние генотипа на весовой рост как по каждому полиморфизму в отдельности, так и сравнить уровень экспрессии генов на фенотип в возрастном аспекте (табл. 1, 2). Максимальная живая масса при рождении (29,1 кг) отмечалась у бычков с генотипом GHR^{YY}, что превышало минимальный показатель гетерозиготных по гену гормона роста сверстников на 1,3 кг (4,68 %). К 8-месячному возрасту дистанция между крайними вариантами увеличилась до 8,5 кг (3,70 %), при наибольшей массивности особей с генотипом GH^{VV} и наименьшей – у гетерозигот по гену рецептора гормона роста. Таким образом, на величину фенотипической изменчивости весового роста бычков казахской белоголовой породы в подсосный период существенное влияние оказали полиморфизмы GH L127V и GHR F279Y.

Таблица 1. Динамика живой массы бычков в зависимости от полиморфизма IGF-1 C422T, GH L127V и GHR F279Y

Table 1. Dynamics of live weight of bulls depending on IGF-1 C422T, GH L127V and GHR F279Y polymorphisms

Возраст, мес. / Age, months	Живая масса, кг / Live weight, kg		
	IGF-1 C422T		
	AA	AB	BB
При рождении / At birth	29,0±0,63	28,8±0,21	27,9±0,55
8	233,0±8,07	236,1±5,98	233,9±5,76
12	347,7±4,16	353,8±6,30	342,7±6,95
15	433,0±10,77	439,4±5,71 ^a	413,2±9,59 ^a
	GH L127V		
	LL	LV	VV
При рождении / At birth	29,0±0,32 ^a	27,8±0,46 ^a	29,0±0,41
8	235,1±5,01	232,7±6,95	238,5±5,63
12	347,6±5,64	346,1±5,97	358,2±11,01
15	425,8±7,44	429,2±9,60	436,7±8,28
	GHR F279Y		
	FF	FY	YY
При рождении / At birth	28,2±0,46	28,6±0,29	29,1±0,55
8	236,7±5,62	230,0±6,04	237,0±7,90
12	345,7±6,43	348,8±6,78	353,1±6,51
15	421,9±8,58	432,6±8,78	435,3±9,39

Примечание: значения с одинаковыми индексами в строке различаются ^a – $P \leq 0,05$

Note: values with the same indices in the row differ ^a – $P \leq 0.05$

В дальнейшем вариабельность живой массы бычков поддерживалась с участием полиморфизма IGF-1 C422T. Так, минимальная выраженность фенотипа в 12 месяцев регистрировалась у носителей генотипа IGF-1^{BB}, которые уступали на 15,5 кг (4,33 %) сверстникам с генотипом GH^{VV}. В 15-месячном возрасте наибольшая разница (26,2 кг или 6,34 %) по живой массе установлена у гетерозиготных и гомозиготных носителей В-аллеля при полиморфизме IGF-1 C422T.

Анализ данных весового роста тёлочек подтвердил вклад изучаемых полиморфизмов в фенотипическую изменчивость массивности тела (табл. 2). Однако роль гена IGF-1 в вариабельности живой массы была более заметна. Так, в период выращивания до отъёма максимальной и минимальной выраженностью массы тела характеризовались гомозиготные и гетерозиготные носители А-аллеля при полиморфизме IGF-1 C422T соответственно. В 12-месячном возрасте наибольшая разница регистрировалась между генотипами IGF-1^{AA} и GHR^{FF}, которая достигала 16,8 кг (5,69 %) в пользу первых. Но уже к 15 месяцам уровень экспрессии полиморфизма IGF-1 C422T имел промежуточное значение на формирование весового роста телочек казахской белоголовой породы. На этом этапе выращивания максимальной живой массой отличались носители генотипа GH^{VV} и наименьшей – у GHR^{FF} при разнице 19,7 кг (5,84 %).

Таблица 2. Динамика живой массы тёлочек в зависимости от полиморфизма IGF-1 C422T, GH L127V и GHR F279Y

Table 2. Dynamics of live weight of heifers depending on IGF-1 C422T, GH L127V and GHR F279Y polymorphisms

Возраст, мес. / Age, months	Живая масса, кг / Live weight, kg		
	IGF-1 C422T		
	AA	AB	BB
При рождении / At birth	27,0±0,32 ^a	25,7±0,26 ^a	26,1±0,40
8	224,4±1,96 ^{a, b}	209,9±4,19 ^a	209,9±4,15 ^b
12	311,8±3,12	298,3±4,23	296,3±5,51
15	350,4±5,78	350,9±4,07	344,6±8,92
	GH L127V		
	LL	LV	VV
При рождении / At birth	26,3±0,33	26,1±0,35	25,7±0,33
8	214,5±3,89	210,6±4,81	216,7±2,96
12	300,2±4,33	299,3±5,13	306,7±5,49
15	342,8±5,32	352,7±5,10	357,0±9,64
	GHR F279Y		
	FF	FY	YY
При рождении / At birth	25,8±0,31	26,3±0,33	26,2±0,48
8	210,7±6,00	212,8±3,38	216,3±5,73
12	295,0±5,56	301,6±4,31	305,0±5,73
15	337,3±6,94	352,8±5,42	353,5±4,11

Примечание: значения с одинаковыми индексами в строке различаются ^{a, b} – P≤0,05

Note: values with the same indices in the row differ ^{a, b} – P≤0.05

Таким образом, полиморфизм в гене инсулиноподобного фактора роста играет существенную роль в вариабельности живой массы тёлочек на ранних стадиях онтогенеза, а у бычков – в более поздних возрастных периодах.

Влияние генетического фактора на интенсивность роста молодняка казахской белоголовой породы в отдельные периоды было различным (табл. 3, 4). При этом на заключительном этапе выращивания оно усиливалось, что свидетельствует о значительном вкладе паратипических факторов в фенотипическую изменчивость среднесуточного прироста на более ранних стадиях развития ор-

ганизма. Так, в подсосный период различия между крайними вариантами выраженности признака у бычков были минимальными и составляли 33,0 г (3,98 %) между генотипами GH^{VV} и GHR^{FY}. За весь послеотъёмный этап выращивания (8-15 мес.) эта разница достигала 113,0 г (13,43 %) среди гетерозиготных и гомозиготных носителей В-аллеля при полиморфизме IGF-1 C422T. Причём, если в начале послеотъёмного периода (8-12 мес.) дистанция между максимальным значением среднесуточного прироста у генотипа GH^{VV} и минимальным у IGF-1^{BB} составляла 89,6 г (10,05 %), то к концу этого технологического этапа (12-15 мес.) она увеличилась до 165,9 г (21,42 %) среди гетерозиготных и гомозиготных носителей В-аллеля при полиморфизме IGF-1 C422T.

Таблица 3. Динамика среднесуточного прироста бычков в зависимости от полиморфизма IGF-1 C422T, GH L127V и GHR F279Y

Table 3. Dynamics of average daily gain of bulls depending on IGF-1 C422T, GH L127V and GHR F279Y polymorphisms

Возраст, мес. / Age, months	Среднесуточный прирост, г / Average daily gain, g		
	IGF-1 C422T		
	AA	AB	BB
0-8	839,5±34,65	852,9±24,26	847,8±23,29
8-12	940,0±69,61	965,2±42,84	891,9±59,48
12-15	937,7±130,70	940,4±61,31	774,5±43,49
8-15	939,2±80,69	954,7±36,98	841,7±44,88
0-15	886,0±23,35	900,5±12,60 ^a	844,9±21,28 ^a
	GH L127V		
	LL	LV	VV
0-8	848,1±20,88	843,4±28,18	862,0±23,99
8-12	922,5±52,12	929,4±46,77	981,5±70,94
12-15	858,7±70,90	913,0±68,83	862,5±49,50
8-15	895,4±47,30	922,3±48,51	930,7±39,62
0-15	870,2±16,29	880,3±20,86	864,0±18,94
	GHR F279Y		
	FF	FY	YY
0-8	858,4±22,45	829,0±25,04	855,4±33,33
8-12	892,9±47,52	973,6±58,86	952,1±60,07
12-15	837,7±44,17	920,6±82,70	902,6±115,90
8-15	869,2±38,81	951,0±52,42	931,1±68,66

Примечание: значения с одинаковыми индексами в строке различаются ^a – P≤0,05

Note: values with the same indices in the row differ ^a – P≤0.05

Особенности детерминации среднесуточного прироста у молодняка казахской белоголовой породы подтвердились на поголовье тёлочек (табл. 4). В подсосный период различия между альтернативными гомозиготными генотипами при полиморфизме IGF-1 C422T составляли 56,3 г (7,45 %), а в послеотъёмный гетерозиготные особи по гену гормона роста превосходили носителей генотипа IGF-1^{AA} на 75,7 г (12,8 %).

Аналогично бычкам более сильное воздействие генетического фактора на динамику среднесуточного прироста тёлочек наблюдалось во второй части послеотъёмного периода (12-15 мес.), что выражалось в существенной разнице величины признака у носителей GH^{VV}-генотипа и сверстниц с IGF-1^{AA} вариантом, которая составляла 161,6 г (38,1 %). В начале этого технологического этапа (8-12 мес.) максимальная разница между отдельными генотипами молодняка достигала лишь 46,7 г (6,76 %), зафиксированная между GH^{VV} и GHR^{FF} особями.

Таблица 4. Динамика среднесуточного прироста тёлочек в зависимости от полиморфизма IGF-1 C422T, GH L127V и GHR F279Y
 Table 4. Dynamics of average daily gain of heifers depending on IGF-1 C422T, GH L127V and GHR F279Y polymorphisms

Возраст, мес. / Age, months	Среднесуточный прирост, г / Average daily gain, g		
	IGF-1 C422T		
	AA	AB	BB
0-8	812,3±7,87 ^{a, b}	758,0±16,70 ^a	756,0±16,01 ^b
8-12	716,6±13,27	724,8±9,66	708,6±20,04
12-15	424,4±36,11	578,0±55,46	530,6±64,69
8-15	591,6±22,81	662,1±27,65	632,4±37,95
0-15	709,2±12,85	713,0±9,11	698,1±19,08
	GH L127V		
	LL	LV	VV
0-8	774,5±14,91	759,0±19,03	786,0±10,89
8-12	702,7±12,32	727,8±11,17	738,0±21,73
12-15	468,3±50,85	586,0±58,10	553,0±47,89
8-15	602,4±27,28	667,3±29,20	658,7±32,84
0-15	694,0±11,69	716,0±10,94	726,3±20,54
	GHR F279Y		
	FF	FY	YY
0-8	760,6±24,08	767,5±13,19	782,6±21,81
8-12	691,3±17,15	728,1±11,80	727,0±9,57
12-15	465,5±96,53	562,5±35,87	533,0±64,94
8-15	594,7±49,63	657,4±20,52	644,0±31,35
0-15	683,0±15,47	715,8±11,75	717,8±9,05

Примечание: значения с одинаковыми индексами в строке различаются^{a, b} – P≤0,05
 Note: values with the same indices in the row differ^{a, b} – P≤0,05

Обсуждение полученных результатов.

Эффективность ДНК-маркерной селекции ограничивается полигенным наследованием количественных признаков. Так, Белая Е.В. с коллегами (2023) при полногеномном исследовании бычков казахской белоголовой породы выявили 81 однонуклеотидный полиморфизм, детерминирующие величину среднесуточного прироста. Оценку и отбор молодняка с высоким генетическим потенциалом на основании данных такого количества переменных не представляется возможным в практической племенной работе в мясном скотоводстве. Поэтому поиск наиболее значимых ассоциаций участков генома с продуктивностью имеет высокое прикладное значение. В наших исследованиях изучалась связь весового роста казахского белоголового скота с полиморфизмами генов соматотропной оси, выполняющих ключевую роль в координации белкового и энергетического обменов в постнатальном онтогенезе (Ulyanov VA et al., 2021).

Полиморфизм IGF-1 C422T у крупного рогатого скота связан с фенотипической изменчивостью весового роста и мясной продуктивности, что объясняет его широкое использование в MAS-селекции с мясными породами (Ardicli S et al., 2019). Бейшова И.С. (2018) представила данные о влиянии гена IGF-1 на живую массу коров и тёлочек казахской белоголовой породы, согласно которым носители ВВ-генотипа уступали сверстницам по величине массы тела во все возрастные периоды (12, 18 и 24 месяца). Эти результаты согласуются с нашими исследованиями, подтверждающими ухудшающий эффект гомоготизации В-аллеля на весовой рост бычков и тёлочек казахской белоголовой породы. Причём бычки с генотипом IGF-1^{BB} характеризовались минимальными

показателями живой массы на заключительных этапах выращивания среди всех изученных генотипов. В то время как у тёлочек AA-генотип ассоциировался с максимальной выраженностью признака при рождении, в 8 и 12 месяцев.

Влияние полиморфизма GH L127V на динамику живой массы бычков казахской белоголовой породы отмечали в своей работе Селионова М.И. и Плахтюкова В.Р. (2020). Носители VV-генотипа значительно превосходили по массивности сверстников в 8- и 12-месячном возрасте, что также подтверждено нашими исследованиями на тёлочках и бычках. Кроме того, гомозиготные бычки с V-аллелью проявляли наивысшую продуктивность в 8 и 12 месяцев среди всех вариантов из трёх анализируемых полиморфизмов генов соматотропной оси, у тёлочек данное достижение регистрировалось в 15-месячном возрасте. По данным ассоциативного анализа, проведённым Горловым И.Ф. с коллегами (2023), V-аллель гена гормона роста является предпочтительной для русской комолы, казахской белоголовой и калмыцкой пород.

Использование полиморфизма GHR F279Y для отбора мясного скота с высоким генетическим потенциалом продуктивности обусловлено заметными различиями по величине живой массы у носителей разных генотипов. Об этом свидетельствует работа Nametov AM с коллегами (2022), проведённая на бычках казахской белоголовой породы. Результаты показали убедительное превосходство YY-генотипа по живой массе в 18 и 24 месяца на 7,12-7,37 % относительно FF-сверстников, что позволило выделить Y-аллель в качестве желательной для породы. Однако контрольное выращивание абердин-ангусских бычков под наблюдением Dushayeva LZ с соавторами (2021) не выявило значительных различий по весовому росту между носителями гомозиготных генотипов, которые варьировали в пределах 1,4-1,7 %. Тем не менее наши результаты изучения роста и развития бычков и тёлочек казахской белоголовой породы согласованы с данными предыдущих исследований. Однако полиморфизм GHR F279Y у опытного поголовья не был связан с крайними вариантами выраженности признаков живой массы и среднесуточного прироста среди всех изучаемых генов соматотропной оси.

Заключение.

Получены данные по ассоциации генов соматотропной оси с интенсивностью весового роста у молодняка казахской белоголовой породы. Среди изученных маркеров наибольшее влияние на изменчивость живой массы оказали полиморфизмы IGF-1 C472T и GH L127V. В частности, A-аллель гена IGF-1 в гомозиготном состоянии у тёлочек ассоциировалась с максимальной продуктивностью до годовалого возраста, а в гетерозиготном – у бычков в 15 месяцев. В свою очередь VV-генотип гена гормона роста связан с повышенной массивностью тела бычков при отъёме и в 12 месяцев, а тёлочек – в 15-месячном возрасте.

Список источников

1. Бейшова И.С. Фенотипические эффекты генов соматотропного каскада, ассоциированных с мясной продуктивностью у коров казахской белоголовой породы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 48-53. [Bejshova IS. Phenotypic effects of somatotronogo cascade genes associated with beef productivity of kazakh white-headed breed cows. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2018;1:48-53. (In Russ.)]. doi: 10.12737/20417
2. Ген HERC3 как генетический маркер среднесуточного прироста у казахского белоголового скота / Е.В. Беляя, И.С. Бейшова, М.И. Селионова, В.С. Бирг, К.И. Снагощенко // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2023. Т. 59. № 3. С. 43-48. [Belaya EV, Beyshova IS, Selionova MI, Birg VS, Snagoschenko KI. HERC3 gene as a genetic marker of average daily gain in Kazakh White-Headed cattle. Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of "the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine. 2023;59(3):43-48. (In Russ.)]. doi: 10.52368/2078-0109-2023-59-3-43-48

3. Оценка генотипа герефордского скота по племенным и продуктивным качествам / К.М. Джуламанов, А.А. Сафронова, С.А. Платонов, М.А. Кизаев // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2022. № 4(69). С. 63-69. [Dzhulamanov KM, Safronova AA, Platonov SA, Kizaev MA. Assessment of the genotype of Hereford cattle by breeding and productive qualities. Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after VR Philippov. 2022;4(69):63-69 (*In Russ.*)]. doi: 10.34655/bgsha.2022.69.4.008
4. Полиморфизм гена соматотропного гормона в связи с качеством туш мясного скота / Т.А. Седых, Р.С. Гизатуллин, И.Ю. Долматова, И.В. Гусев, Л.А. Калашникова // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 2. С. 53-57. [Sedykh TA, Gizatullin RS, Dolmatova IYu, Gusev IV, Kalashnikova LA. Growth hormone gene polymorphism in relation to beef cattle carcass quality. Russian Agricultural Sciences. 2020;46(3):289-294. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S2500-2627-2020-2-53-57 doi: 10.3103/S1068367420030167
5. Полиморфизм генов GH, MC4R и CAPN1 у южных популяций крупного рогатого скота мясных пород и влияние на живую массу / И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, Е.Ю. Анисимова, Е.В. Карпенко, К.Е. Бадмаева, В.С. Убушиева // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 3. С. 21-34. [Gorlov IF, Slozhenkina MI, Anisimova EYu, Karpenko EV, Badmaeva KYe, Ubushieva VS. Polymorphism of the GH, MC4R and CAPN1 genes in southern beef cattle populations and their impact on live weight. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(3):21-34. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-21
6. Полиморфизм генов SCD и FABP4 у мясного скота калмыцкой породы / Х.А. Амерханов, А.И. Клименко, А.Ф. Шевхужев, М.П. Дубовскова, А.А. Каниболоцкая // Молочное и мясное скотоводство. 2023. № 4. С. 9-13. [Amerkhanov KhA, Klimenko AI, Shevkhuzhev AF, Dubovskova MP, Kanibolotskaya AA. Polymorphism of the SCD and FABP4 genes in beef cattle of the Kalmyk breed. Dairy and Beef Cattle Farming. 2023;4:9-13 (*In Russ.*)] . doi: 10.33943/MMS.2023.69.77.002
7. Полногеномный поиск QLT-ассоциированных SNP для прогнозирования наследственного потенциала продуктивности у казахского белоголового скота / Е.В. Белая, И.С. Бейшова, М.И. Селионова, Р.С. Шулинский, Т.В. Ульянова // Вестник АПК Ставрополя. 2022. № 3(47). С. 18-25. [Belaya EV, Beishova IS, Selionova MI, Shulinski RS, Ulyanova TV. Genome-wide search for QLT-associated SNPs to predict the hereditary potential of productivity in Kazakh White-Headed Cattle. Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2022;3(47):18-25. (*In Russ.*)]. doi: 10.31279/2222-9345-2022-11-47-18-25
8. Рост и развитие молодняка аулиекольской породы / Е.Г. Насамбаев, А.Б. Ахметалиева, А.Е. Нугманова, Е.А. Батыргалиев, Р.М. Кулбаев, Р.Ф. Третьякова, Х.А. Амерханов, И.М. Дунин // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 80-90. [Nasambayev EG, Akhmetalieva AB, Nugmanova AE, Batyrgaliev EA, Kulbayev RM, Tretiyakova RF, Amerkhanov HA, Dunin IM. Growth and development of young animals of Auliekol breed. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):80-90. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-80
9. Селионова М.И., Плахтокова В.Р. Мясная продуктивность бычков казахской белоголовой породы разных генотипов по генам CAPN1 и GH // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 9-12. [Selionova MI, Plakhtyukova VR. Meat productivity of Kazakh White-Headed steers of different genotypes by genes CAPN1 and GH. Dairy and Beef Cattle Farming. 2020;4:9-12. (*In Russ.*)]. doi: 10.33943/MMS.2020.96.35.003
10. 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. [Stolpovsky YA, Piskunov AK, Svishcheva GR. Genomic selection. I: Latest trends and possible ways of development. Russian Journal of Genetics. 2020;56(9):1006-1017. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S0016675820090143
11. Ardicli S, Samli H, Vatansever B, Soyudal B, Dincel D, Balci F. Comprehensive assessment of candidate genes associated with fattening performance in Holstein-Friesian bulls. Arch Anim Breed. 2019;62(1):9-32. doi: 10.5194/aab-62-9-2019
12. Dushayeva LZ, Nametov AM, Beishova IS, Kovalchuk AM, Belaya AV, Ulyanova TV, Tagirov KK, Yuldashbayev YA. Marking of meat productivity features in pairs of bGH, bGHR and bIGF-

1 polymorphic genes in Aberdeen-Angus cattle. *OnLine Journal of Biological Sciences*. 2021;21(2):334-345. doi: 10.3844/ojbsci.2021.334.345

13. Miroshnikov SA, Kharlamov AV, Frolov AN, Zavyalov OA. Influence of growth hormone gene polymorphism on the productive qualities and the level of toxic elements in the hair of Kalmyk breed calves. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;624:012024. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012024

14. Nametov AM, Beishova IS, Belaya AV, Ulyanova TV, Kovalchuk AM, Nas-sambayev Ye, Abylgazinova AT, Batyrgaliev YeA, Murzabayev KE, Dushayeva LZh, Ginayatov NS. Determination of diplotypes associated with meat productivity in cattle breeds common in the territory of the Republic of Kazakhstan. *OnLine Journal of Biological Sciences*. 2022;22(3):287-298. doi: 10.3844/ojbsci.2022.287.298

15. Ruchay A, Kober V, Dorofeev K, Kolpakov V, Dzhulamanov K, Kalschikov V, Guo H. Comparative analysis of machine learning algorithms for predicting live weight of Hereford cows. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022;195:106837. doi: 10.1016/j.compag.2022.106837

16. Ulyanov VA, Kubekova BZ, Beishova IS, Belaya AV, Papusha NV. Preferred and undesirable genotypes of bGH and bIGF-1 genes for the milk yield and quality of black-and-white breed. *Veterinary World*. 2021;14(5):1202-1209. doi: 10.14202/vetworld.2021.1202-1209

References

1. Bejshova IS. Phenotypic effects of somatotroponogo cascade genes associated with beef productivity of kazakh white-headed breed cows. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2018;1:48-53. doi: 10.12737/20417

2. Belaya EV, Beyshova IS, Selionova MI, Birg VS, Snagoschenko KI. HERC3 gene as a genetic marker of average daily gain in Kazakh White-Headed cattle. *Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of "the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine*. 2023;59(3):43-48. doi: 10.52368/2078-0109-2023-59-3-43-48

3. Dzhulamanov KM, Safronova AA, Platonov SA, Kizaev MA. Assessment of the genotype of Hereford cattle by breeding and productive qualities. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2022;4(69):63-69. doi: 10.34655/bgsha.2022.69.4.008

4. Sedykh TA, Gizatullin RS, Dolmatova IYu, Gusev IV, Kalashnikova LA. Growth hormone gene polymorphism in relation to beef cattle carcass quality. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;46(3):289-294. doi: 10.31857/S2500-2627-2020-2-53-57 doi: 10.3103/S1068367420030167

5. Gorlov IF, Slozhenkina MI, Anisimova EYu, Karpenko EV, Badmaeva KYe, Ubushieva VS. Polymorphism of the GH, MC4R and CAPN1 genes in southern beef cattle populations and their impact on live weight. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):21-34. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-21

6. Amerkhanov KhA, Klimenko AI, Shevkhezhev AF, Dubovskova MP, Kanibolotskaya AA. Polymorphism of the SCD and FABP4 genes in beef cattle of the Kalmyk breed. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2023;4:9-13. doi: 10.33943/MMS.2023.69.77.002

7. Belaya EV, Beishova IS, Selionova MI, Shulinski RS, Ulyanova TV. Genome-wide search for QLT-associated SNPs to predict the hereditary potential of productivity in Kazakh White-Headed Cattle. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2022;3(47):18-25. doi: 10.31279/2222-9345-2022-11-47-18-25

8. Nasambayev EG, Akhmetalieva AB, Nugmanova AE, Batyrgaliev EA, Kulbayev RM, Tretiyakova RF, Amerkhanov HA, Dunin IM. Growth and development of young animals of Auliekol breed. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):80-90. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-80

9. Selionova MI, Plakhtyukova VR. Meat productivity of Kazakh White-Headed steers of different genotypes by genes CAPN1 and GH. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2020;4:9-12. doi: 10.33943/MMS.2020.96.35.003

10. Stolpovsky YA, Piskunov AK, Svishcheva GR. Genomic selection. I: Latest trends and possible ways of development. Russian Journal of Genetics. 2020;56(9):1006-1017. doi: 10.31857/S0016675820090143
11. Ardicli S, Samli H, Vatansever B, Soyudal B, Dincel D, Balci F. Comprehensive assessment of candidate genes associated with fattening performance in Holstein-Friesian bulls. Arch Anim Breed. 2019;62(1):9-32. doi: 10.5194/aab-62-9-2019
12. Dushayeva LZ, Nametov AM, Beishova IS, Kovalchuk AM, Belaya AV, Ulyanova TV, Tagirov KK, Yuldashbayev YA. Marking of meat productivity features in pairs of bGH, bGHR and bIGF-1 polymorphic genes in Aberdeen-Angus cattle. OnLine Journal of Biological Sciences. 2021;21(2):334-345. doi: 10.3844/ojbsci.2021.334.345
13. Miroschnikov SA, Kharlamov AV, Frolov AN, Zavyalov OA. Influence of growth hormone gene polymorphism on the productive qualities and the level of toxic elements in the hair of Kalmyk breed calves. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;624:012024. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012024
14. Nametov AM, Beishova IS, Belaya AV, Ulyanova TV, Kovalchuk AM, Nas-sambayev Ye, Abylgazinova AT, Batyrgaliev YeA, Murzabayev KE, Dushayeva LZ, Ginayatotov NS. Determination of diplotypes associated with meat productivity in cattle breeds common in the territory of the Republic of Kazakhstan. OnLine Journal of Biological Sciences. 2022;22(3):287-298. doi: 10.3844/ojbsci.2022.287.298
15. Ruchay A, Kober V, Dorofeev K, Kolpakov V, Dzhulamanov K, Kalschikov V, Guo H. Comparative analysis of machine learning algorithms for predicting live weight of Hereford cows. Computers and Electronics in Agriculture. 2022;195:106837. doi: 10.1016/j.compag.2022.106837
16. Ulyanov VA, Kubekova BZ, Beishova IS, Belaya AV, Papusha NV. Preferred and undesirable genotypes of bGH and bIGF-1 genes for the milk yield and quality of black-and-white breed. Veterinary World. 2021;14(5):1202-1209. doi: 10.14202/vetworld.2021.1202-1209

Информация об авторах:

Николай Павлович Герасимов, доктор биологических наук, старший научный сотрудник селекционно-генетического центра по мясным породам скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел: 8-912-358-96-17.

Альбек Комарович Сангаков, аспирант селекционно-генетического центра по мясным породам скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29.

Information about the authors:

Nikolay P Gerasimov, Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher, Breeding and Genetic Center for Beef Cattle Breeds, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-912-358-96-17.

Al'bek K Sangakov, postgraduate student of Breeding and Genetic Center for Beef Cattle Breeds, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Статья поступила в редакцию 20.02.2024; одобрена после рецензирования 06.03.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 20.02.2024; approved after reviewing 06.03.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 62-72.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 1. P. 62-72.

Научная статья
УДК 636.082
doi:10.33284/2658-3135-107-1-62

Идентификация *LOF*-мутаций в популяции айрширского скота

Юлия Викторовна Мукий¹, Ольга Васильевна Костюнина²

¹Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия

²Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Дубровицы, Россия

¹jul.ma2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3371-298X>

²kostolan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8206-3221>

Аннотация. В связи с интенсификацией молочного животноводства появилась проблема накопления вредных *LOF*-мутаций у скота, снижающих качество продукции, фертильность животных, а также приводящих к различным аномалиям. В данном исследовании была поставлена цель: установить частоту накопления мутантных аллелей в трёх генах *UBE3B*, *CHRN1*, *FMO3*, ассоциированных с фертильностью (*PIRM*-синдром), множественным артрогрипозом (АМ – *Arthrogyposis multiplex*) и появлением рыбного запаха в молоке коров айрширской породы соответственно. Проведено генотипирование племенного поголовья в количестве 135 голов коров айрширской породы Ленинградской области, в результате которого установлено наличие нежелательных гаплотипов: *АН1* – в гене *UBE3B* с частотой 17,0 %, *АНС* – в *CHRN1* с частотой 2,2 %, в гене *FMO3* с частотой гомозиготного генотипа по мутации 1,5 % и гетерозиготного – 3,0 %. Таким образом, учитывая встречаемость носителей *LOF*-мутаций в популяции коров айрширской породы, которая составила 23,7 %, для элиминации вредных мутаций требуется селекционная работа, направленная на дальнейшее выявление носителей мутации, в первую очередь быков-производителей, а также коров, их выбраковка и коррекция подбора родительских пар.

Ключевые слова: молочный скот, айрширская порода, *LOF*-мутации, гаплотип фертильности, гены *UBE3B*, *CHRN1*, *FMO3*

Для цитирования: Мукий Ю.В., Костюнина О.В. Идентификация *LOF*-мутаций в популяции айрширского скота // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 62-72. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-62>

Original article

Identification of *LOF*- mutations in a population of Ayrshire cattle

Julia V Mukiy¹, Olga V Kostyunina²

¹Sankt-Petersburg State University of Veterinary Medicine, Sankt-Peterbug, Russia

²Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Dubrovitsy, Russia

¹jul.ma2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3371-298X>

²kostolan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8206-3221>

Abstract. Due to the intensification of dairy cattle breeding, the problem of accumulation of harmful *LOF*-mutations in cattle appeared, which reduced the quality of production, fertility of animals, as well as led to various anomalies. This study aimed to establish the frequency of mutant alleles accumulation in

three genes *UBE3B*, *CHRNBI*, *FMO3*, associated with fertility (*PIRM* syndrome), multiple arthrogryposis (AM - *Arthrogryposis Multiplex*), and the appearance of a fishy odor in cow's milk, respectively. Genotyping of 135 heads of Ayrshire cattle was conducted in Leningrad region, which revealed the presence of undesirable haplotypes: *AH1* in the *UBE3B* gene with a frequency of 17.0%, *AHC* in *CHRNBI* with a frequency of 2.2%, in the *FMO3* gene with a frequency of the homozygous genotype by mutation 1.5% and heterozygous – 3.0%. Thus, the occurrence of *LOF* mutations carriers in the population of Ayrshire cows was 23.7%. To eliminate harmful mutations, breeding work is required aimed at further identifying mutation carriers, primarily sires and cows, their culling and correction of the parental pairs selection.

Keywords: dairy cattle, Ayrshire breed; *LOF*-mutation, fertility haplotype, genes *UBE3B*, *CHRNBI*, *FMO3*

For citation: Mukiy JV, Kostyunina OV. Identification of *LOF*- mutations in a population of Ayrshire cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):62-72. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-62>

Введение.

В современном животноводстве, имеющем интенсивный характер, одной из важнейших задач является раскрытие и эффективное использование биологического потенциала животных, а также выявление и устранение причин, препятствующих реализации этого процесса (Романенкова О.С. и Костюнина О.В., 2023). Одной из проблем в скотоводстве является преждевременная выбраковка животных, в частности у молочного скота. Cole JB с коллегами (2016) приводят данные об экономических потерях от *LOF*-мутаций в США, составляющих около 10,74 млн долларов, которые вызваны известными рецессивными летальными мутациями основных четырёх молочных пород скота: голштинской, джерсейской, бурой швицкой и айрширской.

В нашем исследовании мы изучали айрширскую породу, отличающуюся высоким уровнем продуктивности и сбалансированным составом молока, а также продуктивным долголетием. Это – одна из распространённых пород молочного направления в мире. По состоянию на 1 января 2023 г. в Российской Федерации комплексно оценено 2 млн 629,7 тыс. голов крупного рогатого скота, где доля айрширской породы составляет 2,65 % или 69, 687 тыс. голов, в том числе 1 млн 606 тыс. голов коров, из которых 2,84 % или 45,613 тыс. голов – айрширская (Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации, 2023). В России порода образует вторую после Финляндии по размерам мировую популяцию айрширского скота и насчитывает 77,67 тыс. голов, в том числе 50,82 тыс. голов коров, что составляет 3,05 % от всех коров молочных и молочно-мясных пород страны (Абрамова Н.И. и др., 2018).

Многие авторы отмечают, что выбраковка крупного рогатого скота часто проводится по неустановленным причинам. Горелик О.В. и соавторы (2021) указывают факторы выбраковки чёрно-пёстрого голштинизированного скота в хозяйстве Московской области: травмы и хирургические заболевания – 33,7 %; патология молочной железы – 21,7 %, патология репродуктивной системы и яловость – 16,3 %. По данным Петровой А.В. (2018), основными причинами выбытия коров айрширской породы являются: травмы – 5,52 %, заболевания вымени – 15,24 %, конечностей – 17,80 %, яловость – 21,58 % и другие причины – 39,16 %. А у первотёлок больший процент занимают яловость – 25,93 % и другие причины – 39,5 %. Такая высокая доля яловости и «других причин» у молодых животных даёт возможность предположить большую роль генотипа среди других факторов, обуславливающих эти причины.

Появление геномной информации привело к возможности оценки геномного инбридинга как альтернативы инбридингу, рассчитанному по родословной. С помощью геномных показателей было выявлено влияние геномного инбридинга на продуктивность и плодовитость животных. Многие авторы изучали «прогоны гомозиготности» – *RON* (*runs of homozygosity*), которые обогащены вредными рецессивными аллелями и связаны с инбредной депрессией, определяемой как снижение фенотипических показателей животных. Авторы стремились выявить *RON*, неблагоприятно влияющие на фертильность и молочную продуктивность в финской популяции айрширских

коров (Martikainen K et al., 2020) и канадских голштинов (Makanjuola BO et al., 2021). В литературе отмечается, что маркеры, ассоциированные с летальными генетическими дефектами, могут быть связаны со снижением частоты оплодотворения и удлинением интервалов между отёлами у взрослых коров (Jenko J et al., 2019).

В настоящее время изучаются гаплотипы, ассоциированные с постнатальной смертностью и репродуктивными характеристиками у разных пород скота (Upperman LR et al., 2019). Так, для голштинской породы установлены варианты, связанные с фертильностью коров: *HH13* в *KIR2DS1*: нонсенс-вариант p.Gln159, *HH21* в *NOTCH3*: делеция p.Cys44del, делеция в *RIOX1*: p.Ala133_Glu142del, а также миссенс-вариант в гене *PCDH15*: p.Leu (Häfliger IM et al., 2022). Отмечается важность изучения мутаций для выявления фертильности как самок, так и самцов (Hiltpold M et al., 2021).

По литературным данным известно, что в 2014 г. для айрширской породы крупного рогатого скота был установлен гаплотип *AH1*, ассоциированный с нарушением фертильности и эмбриональной смертностью плодов (Cooper TA et al., 2014). Мутация обнаружена на 17 хромосоме в гене *UBE3B*, в диапазоне 65,9-66,2 М п.о. (сборка генома UMD 3.1 assembly), где в экзоне 23 произошла синонимичная замена последнего нуклеотида G>A (rs475678587) в положении E692E. Это приводит к нарушению сплайсинга, пропуску экзона, обусловленных потерей 40 аминокислот в белке, и к синтезу изменённого белка. В результате мутации убиквитинлигаза E3B теряет НЕСТ-домен, определяющий каталитическую активность фермента, а следовательно, приводит к нарушению функции синтезируемого белка, регулирующего гомеостаз, клеточный цикл и репарацию ДНК (Гладырь Е.А. и др., 2018). Мутация *UBE3B* является аутосомным рецессивным признаком, называемым: «*PIRM*-синдром айрширского скота», который проявляется нарушением развития, генетическими дефектами, эмбриональными потерями или ранней смертностью молодняка. В породе наблюдается тенденция к снижению фертильности коров и выхода телят (Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации, 2023). Известно, что *AH1* является самым распространённым рецессивным гаплотипом в мире, а частота встречаемости носителей остаётся стабильно высокой с середины 70-х годов XX века и составляет примерно 26,1 % (Васильева Е.Н., 2021).

Ещё одной *LOF*-мутацией у крупного рогатого скота является множественный артрогрипоз (АМ – *Arthrogryposis multiplex*), который впервые зарегистрирован в 2016 г. у животных красной датской породы. Мутация проявляется как делеция одной пары нуклеотидов (с.55delG) в первом экзоне гена холинергического рецептора никотиновой субъединицы бета 1 *CHRNA1* (OMIA 002022-9913) на ВТА 19. Это приводит к образованию преждевременного стоп-кодона (p.Ala19Profs47) во втором экзоне гена и нарушению синтеза 96,0 % белка. Наблюдается внутриутробное нарушение подвижности плода из-за повреждения функции ацетилхолиновых рецепторов (AChRs) и дегенерации двигательных нейронов, а также сосудистых нарушений, аномального развития скелета или соединительной ткани и других причин. Врождённый множественный артрогрипоз – это синдром, включающий группу врождённых заболеваний, которые характеризуются суставными контрактурами, аномальным изгибом позвоночного столба (сколиозом и кифозом), мышечной гипоплазией. Эти дефекты могут сочетаться с расщелиной нёба и гидроцефалией. Телята рождаются мёртвыми или погибают вскоре после рождения. АМ встречается как сопутствующее нарушение сложных врождённых синдромов: арахномелии крупного рогатого скота (OMIA 000059-9913, OMIA 001541-9913) и рефлекса шистосомы. Аномалия наследуется как аутосомный рецессивный признак у разных пород скота (Коновалова Е.Н. и Костюнина О.В., 2019).

Нонсенс-мутация *R238X* (g.39523051C>T) в гене флавинодерживающей монооксигеназы 3 – *FMO3* (*flavin-containing monooxygenase 3*) на ВТА 16 также относится к *LOF*-мутациям (OMIA). Замена *R238X* вызывает преждевременное прерывание трансляции гена *FMO3*, что приводит к отсутствию более 50 % аминокислотной последовательности гена *FMO3* в гетерозиготном состоянии и полному отсутствию у гомозигот. Генетическая недостаточность фермента *FMO3*, вызывающая первичную триметиламинурию («синдром запаха рыбы»), была обнаружена в Швеции. Это – моногенное заболевание, проявляющееся в нарушении органолептических качеств молока и других

продуктов (яиц): появление рыбного запаха и послевкусия. Данная мутация встречается довольно часто ($q=0,155$) у скота айрширской породы (Lundén A et al., 2002). Следовательно, изучение наследственных факторов и мутаций, вызывающих нарушения эмбрионального и постэмбрионального развития, а также снижения качества продукции, является актуальной проблемой современного животноводства.

Цель исследования.

Выявить носителей трёх *LOF*-мутаций в генах *UBE3B*, *CHRN1* и *FMO3* в популяции коров айрширской породы и установить частоты встречаемости разных гаплотипов по данным генам.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. 135 голов племенных коров айрширской породы Ленинградской области.

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. У коров в 2023 году была отобрана кровь из хвостовой вены в вакуумные пробирки с ЭДТА.

Генотипирование проводилось методом ПЦР с детекцией результатов в режиме реального времени. В состав реакционной смеси на 15 мкл входили: 1хПЦР буфер (16.6 мМ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 67.7 мМ Трис-НСl, рН=8.8, 0.1 % (v/v) Tween 20, 1.5 мМ MgCl_2), 0,2 мМ дНТФ, 10 пмоль каждого из праймеров и 5 пмоль каждого из зондов, 2 мМ MgCl_2 , 1 Ед Таq-полимеразы и 1 мкл ДНК при следующем температурно-временном режиме: 1 цикл: +95 °С – 5 мин, 40 циклов последовательно: +94 °С – 45 с, +60 °С – 45 с, +72 °С – 15 с.

Оборудование и технические средства. Для проведения ПЦР использовали прибор Quant Studio 5 («Thermo Fisher Scientific», США).

Статистическая обработка. Статистический анализ выполняли с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США).

Результаты исследования.

На рисунках 1 и 2 показаны кривые флуоресценции, идентифицирующие гетерозиготный и гомозиготный генотипы соответственно по гаплотипу *AH1*.

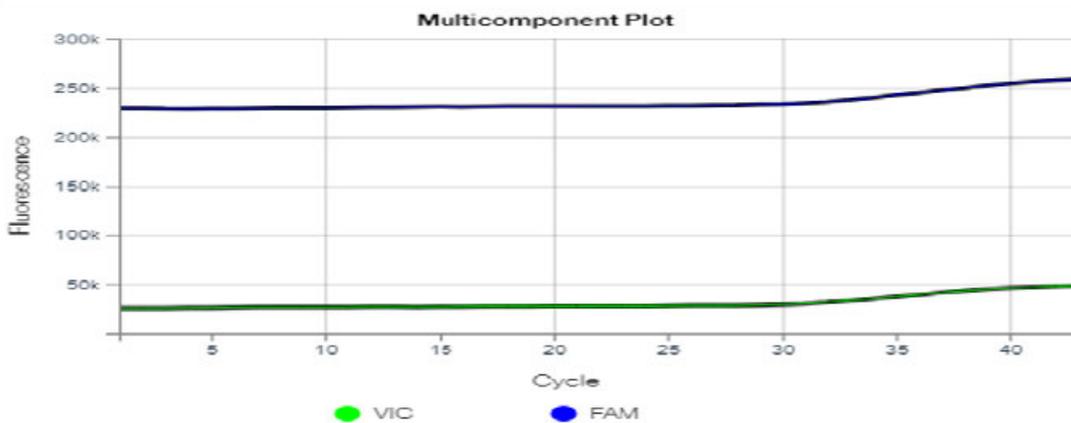


Рисунок 1. Кривые флуоресценции, идентифицирующие гетерозиготный генотип GA (носитель, *AH1C*) – мутантный *UBE3B*
Figure 1. Fluorescence curves identifying heterozygous GA-genotype (carrier, *AH1C*) – mutant *UBE3B* gene

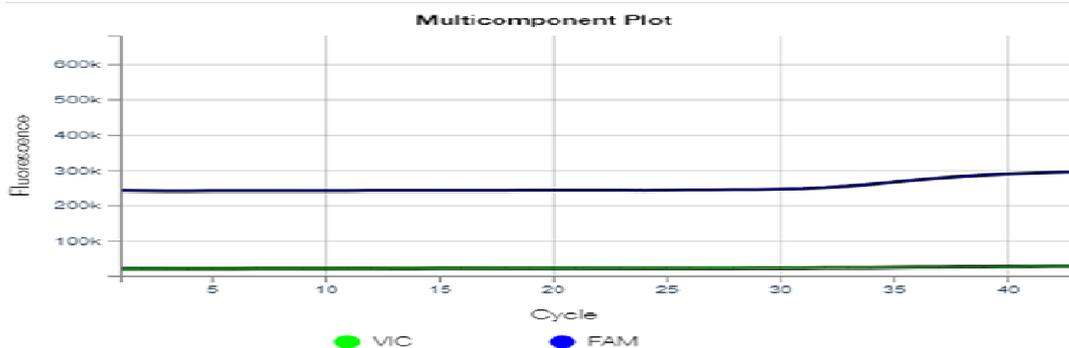


Рисунок 2. Кривые флуоресценции, идентифицирующие гомозиготный генотип GG (не носитель, *AH1F*) – *UBE3B* (дикий тип)

Figure 2. Fluorescence curves identifying homozygous GG-genotype (non-carrier, *AH1F*) – *UBE3B* (wild type)

На рисунках 3 и 4 показаны кривые флуоресценции, идентифицирующие гетерозиготный (мутантный) и гомозиготный (дикий) генотипы соответственно гена *CHRNB1*.

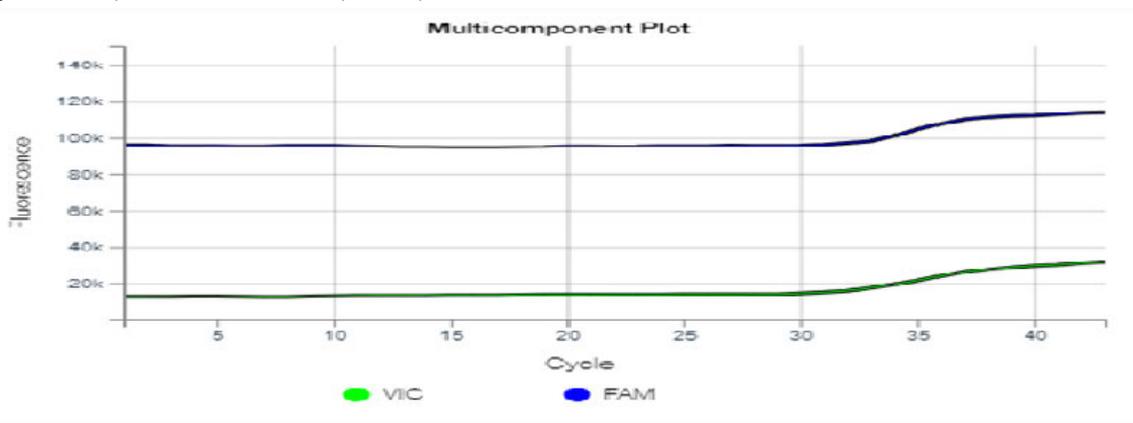


Рисунок 3. Кривые флуоресценции, идентифицирующие гетерозиготный генотип – мутантный гаплотип *AHC* в *CHRNB1*

Figure 3. Fluorescence curves identifying heterozygous genotype – mutant haplotype *AHC* in *CHRNB1* gene

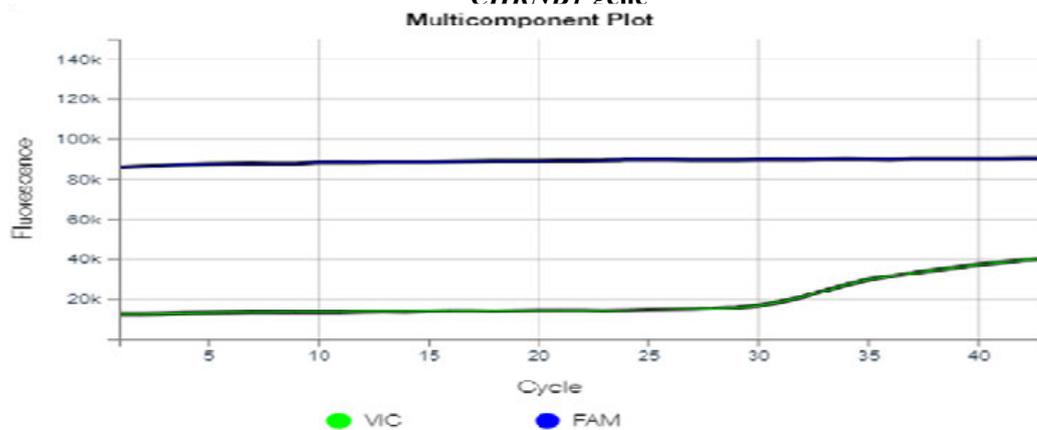


Рисунок 4. Кривые флуоресценции, идентифицирующие гомозиготный (дикий) генотип *CHRNB1*

Figure 4. Fluorescence curves identifying homozygous (wild) genotype *CHRNB1*

При генотипировании исследуемой группы животных установлен полиморфизм гена *FMO3*, представленный тремя вариантами генотипов: гомозиготным по мутантной аллели (*XX*), гетерозиготным по мутации (*RX*) и гомозиготным (*RR*) по дикой аллели. Кривые флуоресценции, показывающие разные варианты генотипов представлены на рисунках 5-7.

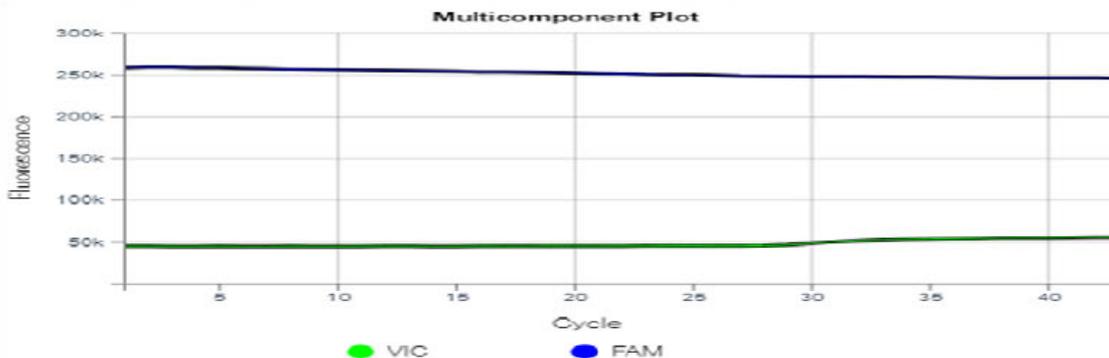


Рисунок 5. Кривые флуоресценции, идентифицирующие гомозиготный генотип по мутантной аллели гена *FMO3* (*XX*)

Figure 5. Fluorescence curves identifying homozygous genotype for the mutant allele of the *FMO3* (*XX*) gene

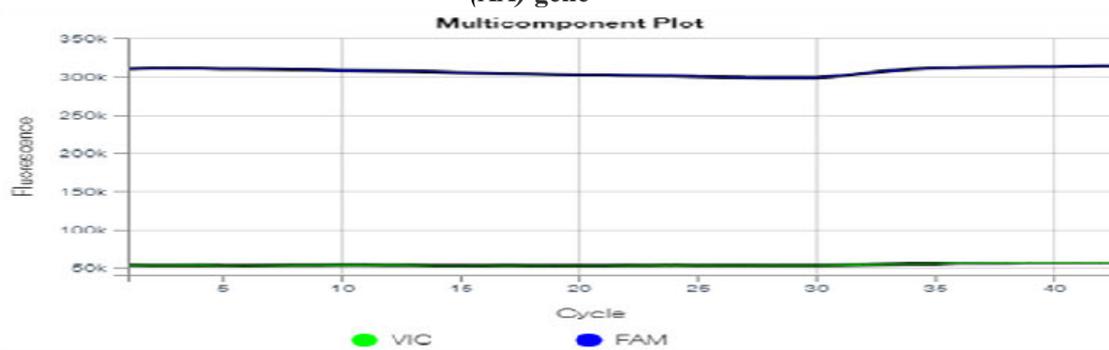


Рисунок 6. Кривые флуоресценции, идентифицирующие гетерозиготный генотип по мутантной аллели гена *FMO3* (*RX*)

Figure 6. Fluorescence curves identifying heterozygous genotype for the mutant allele of the *FMO3* (*RX*) gene

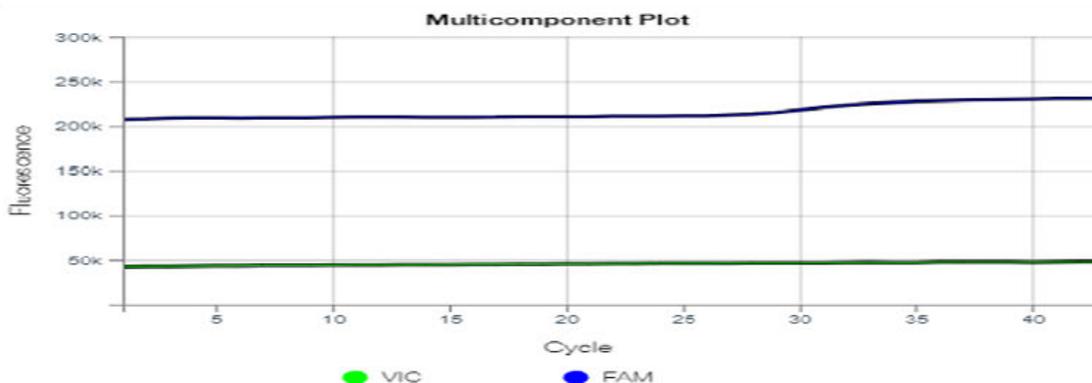


Рисунок 7. Кривые флуоресценции, идентифицирующие гомозиготный (дикий) генотип гена *FMO3* (*RR*)

Figure 7. Fluorescence curves identifying homozygous (wild) genotype *FMO3* (*RR*) gene

Частоты генотипов по разным мутациям представлены в таблице 1.

Таблица 1. Количество носителей и частоты распределения генотипов полиморфизма генов *PIRM/UBE3B (AH1)*, *CHRNBI(AHC)*, *FMO3* (n=135)

Table 1. The number of carriers and distribution frequencies of genotypes of polymorphism of the *PIRM/UBE3B (AH1)*, *CHRNBI (AHC)*, *FMO3* genes (n=135)

Гаплотип/ <i>Haplotype</i>	Частота распределения генотипов / <i>frequency of genotype distribution</i>			Частота распределения аллелей / <i>frequency of allele distribution</i>	
	AA	AN	NN	A	N
AH1 (гол.) / <i>AH1 (heads)</i>	0	23	112	0,085	0,915
%	0	17,0	83,0	8,5	91,5
AHC (гол.) / <i>AHC (heads)</i>	0	3	132	0,011	0,989
%	0	2,2	97,8	1,1	98,9
FMO3 (гол.) / <i>FMO3 (heads)</i>	2	4	129	0,03	0,97
%	1,5	3,0	95,5	3,0	97,0

Примечание: AA – мутантный гомозиготный генотип, AN сгетерозиготный генотип,

NN – гомозиготный дикий генотип; A – мутантный аллель, N – дикий аллель

Note: AA – mutant homozygous genotype, AN – heterozygous genotype,

NN – homozygous wild genotype; A – mutant allele, N – wild allele

По итогам генотипирования частота мутантного аллеля по гаплотипу *AH1* составила 0,085; по гаплотипу *AHC* – 0,011; по *FMO3* – 0,03 (табл. 1). Таким образом, в исследуемой популяции присутствуют аллели сразу трёх вредных мутаций, вызывающих снижение фертильности скота, врождённый множественный артрогриппоз и нежелательный признак – рыбный запах в молоке. Наиболее высокая частота мутантных аллелей установлена для гаплотипа фертильности айрширского скота *AH1* и составила 17,0 % скрытых носителей. Количество животных, имеющих мутации, было 32 головы, что составило 23,7 % от исследуемого поголовья. Коров, имеющих по 2 и более мутантных аллели одновременно, не выявлено.

Обсуждение полученных результатов.

Сходные с нашими исследованиями данные получены при изучении скота айрширской породы в четырёх областях Центрального и Северо-Западного регионов России, у которых была установлена средняя частота данного гаплотипа по породе – 16,4 % (Гладырь Е.А., 2019). Частота встречаемости гаплотипа *AHC* изучена у абердин-ангусской породы скота отечественных популяций и составляла 0-0,99 % среди коров и 0-1,06 % – среди быков (Коновалова Е.Н. и Костюнина О.В., 2019), что меньше, чем в нашем исследовании – 2,2 %. По литературным данным известно, что мутация *FMO3* встречалась довольно часто ($q=0,155$) у животных айрширской породы крупного рогатого скота уже с начала 2000-х годов (Lundén A et al., 2002). В популяции шведского красного скота частота встречаемости мутантного аллеля гена *FMO3* достигает 14,0 % (Гладырь Е.А., 2019), что значительно больше, чем в нашем исследовании – 3,0 %.

Заключение.

По результатам исследования можно сделать вывод о накоплении генетического груза в изучаемой популяции айрширского скота по трём мутантным генам с частотой 23,7 %. Гаплотип *AH1* в *UBE3B* установлен с частотой встречаемости 17,0 % (23 животных из 135); гаплотип *AHC* в

CHRNBI – с частотой 2,2 % (3 гол. из 135). Частота гомозиготных генотипов по мутации в *FMO3* составила 1,5 % (2 гол. из 135), а гетерозиготных 3,0 % (4 гол. из 135). Данные результаты показывают, что для элиминации вредных мутаций требуется селекционная работа, направленная на дальнейшее выявление носителей мутации, в первую очередь быков-производителей, а также коров, их выбраковка и коррекция подбора родительских пар.

Список источников

1. Васильева Е.Н. Вероятность проявления гаплотипа фертильности AN1 у тестированных быков айрширской породы // Генетика и разведение животных. 2021. № 3. С. 5-14. [Vasileva EN. Probability of manifestation of fertility haplotype AN1 in tested Ayrshire bulls. Genetics and breeding of animals. 2021;3:5-14. (In Russ.)]. doi: 10.31043/2410-2733-2021-3-5-14
2. Гладырь Е.А., Терновская О.А., Костюнина О.В. Скрининг гаплотипа фертильности AN1 айрширской породы крупного рогатого скота Центрального и Северо-западного регионов России // АгроЗооТехника. 2018. Т. 1. № 4. С. 1. [Gladyr EA, Ternovskaya OA, Kostyunina OV. Screening of the AN1 fertility haplotype of the Ayrshire breed of cattle in the Central and Northwestern regions of Russia. Agricultural and Livestock Technology. 2018;1(4):1. (In Russ.)]. doi: 10.15838/alt.2018.1.4.1
3. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2022 год) / Г.И. Шичкин и др. М.: Изд-во ФГБНУ ВНИИплем. 2023. 255 с. [Shichkin GI et al. Ezhegodnik po plemennoj rabote v molochnom skotovodstve v hozjajstvah Rossijskoj Federacii (2022 god). Moscow: Izd-vo FGBNU VNIIPlem; 2023:255 p. (In Russ.)].
4. История формирования айрширской породы и современное ее состояние в России и Вологодской области / Н. И. Абрамова и др. // Аграрная наука на современном этапе: состояние, проблемы, перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., (Вологда – Молочное, 28 февраля-1 марта 2018 г.). Вологда: Вологодский научный центр РАН, 2018. С. 49-57. [Abramova NI et al. The history of the formation of the Ayrshire breed, and its modern state in Russia and in the Vologda oblast. (Conference proceedings) Agrarnaja nauka na sovremennom jetape: sostojanie, problemy, perspektivy: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (Vologda – Molochnoe, 28 fevralya-1 marta 2018 g.). Vologda: Vologodskij nauchnyj centr RAN; 2018:49-57. (In Russ.)].
5. Коновалова Е.Н., Костюнина О.В. Распространение генетических дефектов множественного артрогрипоза (AM) и дупликации развития (DD) среди российских популяций крупного рогатого скота абердин-ангусской породы // Генетика и разведение животных. 2019. № 1. С. 16-21. [Konovalova EN, Kostyunina OV. Spread of the arthrogryposis multiplex (AM) and developmental duplication (DD) genetic defects among the russian populations of aberdeen angus cattle. Genetics and Breeding of Animals. 2019;1:16-21. (In Russ.)].
6. Молекулярная диагностика генетического дефекта *fmo* в айрширской породе крупного рогатого скота / Е.А. Гладырь, Е.Н. Коновалова, О.В. Костюнина // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 80. С. 215-221. [Gladyr EA, Konovalova EN, Kostyunina OV, Koshchaeva AG. Molecular diagnostics of *fmo* genetic defect in Ayrshire cattle breed. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2019;80:215-221. (In Russ.)]. doi: 10.21515/1999-1703-80-215-221
7. Петрова А.В. Анализ племенных и продуктивных качеств ленинградской популяции айрширского скота // Молочное и мясное скотоводство. 2018. № 7. С. 22-27. [Petrova AV. Analysis of breeding and productive qualities of Ayrshire cattle population Leningrad region. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2018;7:22-27. (In Russ.)]. doi: 10.25632/MMS.2018.7.21451
8. Причины выбытия коров в зависимости от происхождения / О.В. Горелик, А.А. Лавров, Ю.Е. Лаврова, А.А. Белоокова // Аграрный вестник Урала. 2021. № 01(204). [Gorelik OV, Lavrov AA, Lavrova YuE, Belookov AA. Reasons for the disposal of cows, depending on the origin. Agrarian Bulletin of the Urals. 2021;01(204):36-45. (In Russ.)]. doi: 10.32417/1997-4868-2021-204-01-36-45
9. Романенкова О.С., Костюнина О.В. Диагностика мутации в гене *PNKGI*, детерминирующей PSE-синдром у свиней // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4.

- C. 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.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-68
10. Cole JB, Null DJ, VanRaden PM. Phenotypic and genetic effects of recessive haplotypes on yield, longevity, and fertility. *J Dairy Sci*. 2016;99(9):7274-7288. doi: 10.3168/jds.2015-10777
 11. Cooper TA, Wiggans GR, Null DJ, Hutchison JL, Cole JB. Genomic evaluation, breed identification, and discovery of a haplotype affecting fertility for Ayrshire dairy cattle. *J Dairy Sci*. 2014;97(6):3878-3882. doi: 10.3168/jds.2013-7427
 12. Häfliger IM, Spengeler M, Seefried FR, et al. Four novel candidate causal variants for deficient homozygous haplotypes in Holstein cattle. *Sci Rep*. 2022;12:5435. doi: 10.1038/s41598-022-09403-6
 13. Hiltbold M, Kadri NK, Janett F, Witschi U, Schmitz-Hsu F, Pausch H. Autosomal recessive loci contribute significantly to quantitative variation of male fertility in a dairy cattle population. *BMC Genomics*. 2021;22(1):225. doi: 10.1186/s12864-021-07523-3
 14. Jenko J, McClure MC, Matthews D, et al. Analysis of a large dataset reveals haplotypes carrying putatively recessive lethal and semi-lethal alleles with pleiotropic effects on economically important traits in beef cattle. *Genet Sel Evol*. 2019;51(1):9. doi:10.1186/s12711-019-0452-z
 15. Lundén A et al. High trimethylamine concentration in milk from cows on standard diets is expressed as fishy off-flavour. *The Journal of Dairy Research*. 2002;69(3):383-390. doi: 10.1017/s002202990200568x
 16. Makanjuola BO, Maltecca C, Miglior F, et al. Identification of unique ROH regions with unfavorable effects on production and fertility traits in Canadian Holsteins. *Genet Sel Evol*. 2021;53(1):68. doi: 10.1186/s12711-021-00660-z
 17. Martikainen K, Koivula M, Uimari P. Identification of runs of homozygosity affecting female fertility and milk production traits in Finnish Ayrshire cattle. *Sci Rep*. 2020;10(1):3804. doi: 10.1038/s41598-020-60830-9
 18. Upperman LR, Kinghorn BP, MacNeil MD, Van Eenennaam AL. Management of lethal recessive alleles in beef cattle through the use of mate selection software. *Genet Sel Evol*. 2019;51(1):36. doi: 10.1186/s12711-019-0477-3

References

1. Vasileva EN. Probability of manifestation of fertility haplotype AN1 in tested Ayrshire bulls. *Genetics and breeding of animals*. 2021;3:5-14. doi: 10.31043/2410-2733-2021-3-5-14
2. Gladyr EA, Ternovskaya OA, Kostyunina OV. Screening of the AN1 fertility haplotype of the Ayrshire breed of cattle in the Central and Northwestern regions of Russia. *Agricultural and Livestock Technology*. 2018;1(4):1. doi: 10.15838/alt.2018.1.4.1
3. Shichkin GI et al. Yearbook on breeding work in dairy cattle breeding in farms of the Russian Federation (2022). Moscow: Publishing house of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Animal Breeding"; 2023:255 p.
4. Abramova NI et al. The history of the formation of the Ayrshire breed, and its modern state in Russia and in the Vologda oblast. (Conference proceedings) *Agrarian science at the present stage: state, problems, prospects: materials of the international scientific and practical conference, (Vologda – Molochnoe, 28 February – 1 March 2018)*. Vologda: Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; 2018:49-57.
5. Konovalova EN, Kostyunina OV. Spread of the arthrogyposis multiplex (AM) and developmental duplication (DD) genetic defects among the russian populations of aberdeen angus cattle. *Genetics and Breeding of Animals*. 2019;1:16-21.

6. Gladyr EA, Konovalova EN, Kostyunina OV, Koshchaeva AG. Molecular diagnostics of fmo genetic defect in Ayrshire cattle breed. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2019;80:215-221. doi: 10.21515/1999-1703-80-215-221
7. Petrova AV. Analysis of breeding and productive qualities of Ayrshire cattle population Leningrad region. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2018;7:22-27. doi: 10.25632/MMS.2018.7.21451
8. Gorelik OV, Lavrov AA, Lavrova YuE, Belookov AA. Reasons for the disposal of cows, depending on the origin. Agrarian Bulletin of the Urals. 2021;01(204):36-45. doi: 10.32417/1997-4868-2021-204-01-36-45
9. 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. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-68
10. Cole JB, Null DJ, VanRaden PM. Phenotypic and genetic effects of recessive haplotypes on yield, longevity, and fertility. J Dairy Sci. 2016;99(9):7274-7288. doi: 10.3168/jds.2015-10777
11. Cooper TA, Wiggans GR, Null DJ, Hutchison JL, Cole JB. Genomic evaluation, breed identification, and discovery of a haplotype affecting fertility for Ayrshire dairy cattle. J Dairy Sci. 2014;97(6):3878-3882. doi: 10.3168/jds.2013-7427
12. Häfliger IM, Spengeler M, Seefried FR, et al. Four novel candidate causal variants for deficient homozygous haplotypes in Holstein cattle. Sci Rep. 2022;12:5435. doi: 10.1038/s41598-022-09403-6
13. Hiltbold M, Kadri NK, Janett F, Witschi U, Schmitz-Hsu F, Pausch H. Autosomal recessive loci contribute significantly to quantitative variation of male fertility in a dairy cattle population. BMC Genomics. 2021;22(1):225. doi: 10.1186/s12864-021-07523-3
14. Jenko J, McClure MC, Matthews D, et al. Analysis of a large dataset reveals haplotypes carrying putatively recessive lethal and semi-lethal alleles with pleiotropic effects on economically important traits in beef cattle. Genet Sel Evol. 2019;51(1):9. doi:10.1186/s12711-019-0452-z
15. Lundén A et al. High trimethylamine concentration in milk from cows on standard diets is expressed as fishy off-flavour. The Journal of Dairy Research. 2002;69(3):383-390. doi: 10.1017/s002202990200568x
16. Mankanjuola BO, Maltecca C, Miglior F, et al. Identification of unique ROH regions with unfavorable effects on production and fertility traits in Canadian Holsteins. Genet Sel Evol. 2021;53(1):68. doi: 10.1186/s12711-021-00660-z
17. Martikainen K, Koivula M, Uimari P. Identification of runs of homozygosity affecting female fertility and milk production traits in Finnish Ayrshire cattle. Sci Rep. 2020;10(1):3804. doi: 10.1038/s41598-020-60830-9
18. Upperman LR, Kinghorn BP, MacNeil MD, Van Eenennaam AL. Management of lethal recessive alleles in beef cattle through the use of mate selection software. Genet Sel Evol. 2019;51(1):36. doi: 10.1186/s12711-019-0477-3

Информация об авторах:

Юлия Викторовна Мукий, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры кормления и разведения животных, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 196084, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5, тел. +7(921)4312412.

Ольга Васильевна Костюнина, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, 60, тел.: +7 (4967) 651102.

Information about the authors:

Julia V Mukiy, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Animal Feeding and Breeding, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya St., St. Petersburg, 196084, tel.: +7(921)4312412.

Olga V Kostyunina, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Laboratory of Molecular Genetics of Farm Animals, Laboratory of Molecular Genetics of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk district, Moscow region, 142132, tel.: + 7(4967)651102.

Статья поступила в редакцию 25.01.2024; одобрена после рецензирования 12.02.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 25.01.2024; approved after reviewing 12.02.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 73-82.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 1. P. 73-82.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА, КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ И ЭКОНОМИКА В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 637.128:577.17

doi:10.33284/2658-3135-107-1-73

Влияние новой кормовой добавки для высокопродуктивных коров КД-Биш на качество молочных продуктов

**Иван Фёдорович Горлов^{1,7}, Марина Ивановна Сложенкина^{2,8}, Наталья Ивановна Мосолова³,
Ольга Владимировна Кудряшова⁴, Наталия Андреевна Ткаченко⁵, Вера Александровна Пузанкова⁶**
^{1,2,3,4,5,6}Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной
продукции, Волгоград, Россия

^{7,8}Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

^{1,7}niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>

^{2,8}niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

³niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6559-6595>

⁴niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-6634-3685>

⁵niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-2324-4222>

⁶niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0004-1387-1099>

Аннотация. Качество молочных продуктов питания напрямую зависит от качества сырьевой базы. Для улучшения качественных показателей сырья широкое использование приобретают кормовые добавки. Целью работы послужило исследование влияния новой кормовой добавки КД-Биш на качество сырья-молока коров голштинской породы, а также изготовленных сыров. Объектом исследования послужило молоко, полученное от коров двух исследуемых групп, одну из которых кормили обогащённым добавкой рационом. Также исследовали качество сыров, выработанных из этого молока. Полученное молоко изучено по всем критериям качества. Определена сыропригодность молока двух групп. В дальнейшем сырьё применялось для выработки образцов сыра. Лабораторный анализ показал, что кормовая добавка оказала положительное воздействие на качественный состав молока и сыров.

Ключевые слова: коровы, кормление, кормовая добавка КД-Биш, молоко коровье, молочные продукты, сыры, молочный белок, молочный жир, аминокислоты

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2023-2024 гг. ГНУ НИИММП (№ 1021051101432-7).

Для цитирования: Влияние новой кормовой добавки КД-Биш на качество молочных продуктов / И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, Н.И. Мосолова, О.В. Кудряшова, Н.А. Ткаченко, В.А. Пузанкова // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 73-82. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-73>

PRODUCTION TECHNOLOGY, QUALITY AND ECONOMY IN ANIMAL HUSBANDRY
Original article

Influence of the new feed additive KD-Bish on the quality of dairy products

**Ivan F Gorlov^{1,7}, Marina I Slozhenkina^{2,8}, Natalya I Mosolova³, Olga V Kudryashova⁴,
Natalia A Tkachenkova⁵, Vera A Puzankova⁶**

^{1,2,3,4,5,6}Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russia

^{7,8}Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

^{1,7}niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>

^{2,8}niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

³niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6559-6595>

⁴niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-6634-3685>

⁵niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-2324-4222>

⁶niimmp@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0004-1387-1099>

Abstract. The quality of dairy food products directly depends on the quality of the raw material base. Feed additives are becoming widely used to improve the quality of raw materials. The purpose of the

work was to study the influence of the new feed additive KD-Bish on the quality of raw milk from Holstein cows and the cheese produced. The object of the study was milk obtained from cows of two studied groups, one of which was fed a diet enriched with the additive. The quality of cheeses made from this milk was also studied. The resulting milk was studied according to all quality criteria. The cheese suitability of milk from two groups was determined. The raw materials were used to produce cheese samples. Laboratory analysis showed that the feed additive had a positive effect on the quality composition of milk and cheeses.

Keywords: cows, feeding, feed additive KD-Bish, cow's milk, dairy products, cheeses, milk protein, milk fat, amino acids

Acknowledgments: the work was completed in accordance to the plan of research works for 2023-2024 НИИММР (No. 1021051101432-7).

For citation: Gorlov IF, Slozhenkina MI, Mosolova NI, Kudryashova OV, Tkachenkova NA, Puzankova VA. The influence of the new feed additive KD-Bish on the quality of dairy products. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):73-82. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-73>

Введение.

При получении качественного сырья для выработки продуктов из молока важным фактором является кормление животных (Попова Г.М. и др., 2023; Ширнина Н.М. и др., 2023). Научно доказано, что правильный и сбалансированный рацион, дополнительно обогащённый кормовыми добавками, более чем на 40 % влияет на продуктивность животных, а также на качество получаемого сырья (Косилов В.И. и др., 2022; Тагиров Х.Х. и др., 2023). Качество сырья напрямую влияет на качество вырабатываемых продуктов (Кулиева К.А., 2023; Alibekov RS et al., 2021).

Молочные продукты питания занимают лидирующие позиции в числе ежедневно потребляемых продуктов (Чемыртан М.О. и Землякова Е.С., 2023). Такие продукты рекомендуются употреблять всем возрастным группам населения, так как они имеют сбалансированный состав, высокий уровень белка и кальция, богатое содержание аминокислот (Нигаматова А.М., 2023; Барыкина Е.С. и Неверова О.П., 2023а).

Самыми распространёнными продуктами такой категории считаются сыры. Ассортимент сыров очень разнообразен (Кашина Е.Д., 2023; Керимова А. и Алтыева А., 2023). В зависимости от технологии производства можно получить сыры любого вида – твёрдые, полутвёрдые, мягкие, творожные, плавленые. Современные производители создают новые виды сыров за счёт введения в рецептуру дополнительно обогащающих компонентов (Khrantsov A et al., 2022; Барыкина Е.С. и Неверова О.П., 2023б).

В настоящее время создаются более инновационные кормовые добавки с различным составом (Максимова Р.А. и Ермолова Е.М., 2023; Ширнина Н.М. и др., 2022). Одной из таких добавок, созданной с участием Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции, является добавка КД-Биш (ТУ 10.91.10-271-10514645-2022, ГНУ НИИММР), которая разрабатывалась в целях профилактики и лечения кетоза без использования антибиотиков.

КД-Биш представляет собой смесь сахара и сухого бишофита, залежи которого в Волгоградской области составляют 180 млрд тонн. При первичном исследовании анализ данных показал, что введение добавки повышает сбалансированность рационов благодаря необходимым важным веществам, таким как магний, кальций и калий, вследствие чего увеличивались надои молока с более качественными показателями по жиру, белку, соматическим клеткам и наличию кетоновых тел, сохраняя здоровье продуктивного скота (Горлов И.Ф. и др., 2023). Бишофит является природным минералом, который имеет в своём составе высокое содержание магния (10 г/100 г) и кальция (0,2 г/100 г), что может благоприятно повлиять на образование сгустка во время выработки сыра.

Цель исследования

Изучить влияние новой кормовой добавки КД-Биш на качество молока и изготовленных на его основе полутвёрдых сыров.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Молоко, полученное от высокопродуктивных коров, рацион которых в период позднего сухостоя был обогащён кормовой добавкой КД-Биш, а также выработанные из этого молока образцы полутвёрдого сыра.

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. Эксперимент по изучению воздействия добавки на продуктивность коров голштинской породы и качество молока проводился в течение 90 дней лактации на молочном комплексе ООО СП «Донское»-Волгоградской области. Были отобраны две группы коров при переходе на вторую фазу сухостойного периода по 30 голов в каждой. Контрольную группу кормили стандартным рационом, а рацион опытной группы дополнительно обогащали добавкой КД-Биш в количестве 80 г бишофита и 300 г сахара на голову в сутки.

Отбор проб проводили согласно методике ГОСТ 26809.1-2014. Полученное сырьё-молоко проходило лабораторный контроль на сыропригодность и комплексную оценку качества.

К образцам молока для определения сыропригодности применяли метод сычужной пробы. Данный метод заключался в том, что к каждой пробе в количестве 10 мл добавляли 1 мл 0,02 % раствора сычужного фермента, перемешивали и помещали в тепловую камеру при температуре +35 °С. Оценка результата проводилась по образованию сгустка за период определённого времени. При воздействии сычужного фермента можно определить, к какой группе по способности к свёртываемости относится молоко: I – быстрая свёртываемость менее чем за 15 минут; II – нормальная свёртываемость в течение 15-40 минут; III – плохая свёртываемость (свыше 40 минут или её отсутствие).

Кислотность каждой пробы молока определяли титриметрическим способом с добавлением индикатора фенолфталеина с последующим титрованием гидроксидом натрия 0,1 н до бледно-розового окрашивания, сохраняющегося в течение 1 минуты.

Для дальнейшего проведения опыта были выработаны два образца полутвёрдого сыра. Контрольный образец изготавливали из молока коров со стандартным рационом, а опытный – из молока коров, рацион которых дополнительно обогащали добавкой КД-Биш. Выработка сыров производилась в лаборатории с соблюдением основных правил технологии и строгим режимом температурного режима.

Заквашивали молоко специальной мезофильной закваской для выработки сыров в количестве 0,2 г/100 л, также вводили микробиальный ренин в расчёте 1 г на 100 л молока, а для повышения уровня кальция и увеличения свёртываемости молока после пастеризации вводили хлористый кальций 15 г/100 л. Посол головок сыра производили в рассоле с концентрацией 20 %.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены на базе лабораторий ГНУ НИИММП и ВолгГТУ на сертифицированном оборудовании. В полученных образцах изучали показатели жира (ГОСТ 5867-90), содержание белка по методу Кьельдаля (ГОСТ 34454-2018). Содержание сухого вещества определяли путём высушивания навесок до постоянного веса (ГОСТ 3626-73). Заключительным этапом в работе являлся анализ аминокислотного состава.

Оценивали содержания жира, белка, лактозы, СОМО и плотности в молоке с помощью прибора «Лактан 600 Ультра» (Сибагроприбор, Россия). Контроль нарастания кислотности в сырах на всех стадиях проводили с помощью цифрового рН-метра Testo-206 (ООО «Тэсто Рус», Россия).

Содержание белка в сырах определяли на аналитическом комплексе «Кельтран» («Сибагроприбор», Россия). Жир в сырах определяли с использованием стеклянных жирометров. Аминокислотный состав изучали на приборах Капель-105М («Люмекс», Россия) и на аминокислотном анализаторе «Agacus» (PMA GmbH, Германия).

Статистическая обработка. Полученные данные обрабатывали с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США).

Результаты исследования.

Изучение пригодности молока к сквашиванию. На первом этапе суть эксперимента заключалась в отборе молока от двух исследуемых групп для проведения лабораторного анализа. Молоко отбиралось на 90 день лактации. Результаты полученных данных представлены на рисунке 1.

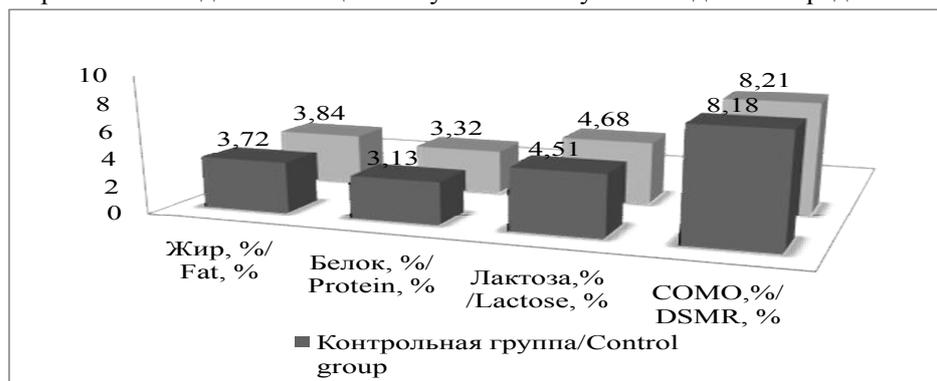


Рисунок 1. Качественный состав молока исследуемых групп коров, %
Figure 1. Qualitative composition of milk of the studied groups of cows, %

Как видно из показателей, приведённых на рисунке 1, обогащённый рацион коров опытной группы положительно повлиял на качественный состав молока. Содержание жира в опытной группе увеличилось на 0,12 %, белок – на 0,19 %.

При определении способности к сквашиванию для молока двух групп проводили сычужную пробу. При проведении опыта определили, что образец контрольной группы свернулся за 20 минут с образованием плотного сгустка с умеренным отделением сыворотки, а молоко опытной группы образовало плотный сгусток за 25 минут. Молоко двух групп можно отнести ко второй группе по способности к сквашиванию, то есть считать пригодным для выработки сыра.

Важным моментом при определении качества молока является его кислотность. В результате лабораторного исследования выявили, что кислотность молока контрольной и опытной проб не превышала 17 °Т. Молоко с таким показателем считается подходящим для переработки в сыроделии.

Сравнительная оценка показателей качества сыров. Для достижения поставленных целей следующим этапом работы была оценка качества выработанных сыров. Органолептическая оценка показала, что каждый образец имел ярко-выраженный сырный вкус, светло-жёлтый цвет, на разрезе – рисунок глазков угловатой формы. Консистенция каждого образца – эластичная, однородная, однако в контрольном образце отмечается лёгкое уплотнение. Это можно объяснить тем, что молоко контрольной группы по сычужной пробе образовало сгусток на 5 минут раньше, чем в опытном молоке, спровоцировав избыточное отделение сыворотки. Однако данный результат не является браком, так как по требованиям нормативного документа (ГОСТ 32260-2013) к сырам типа Российского допускается слегка уплотнённая консистенция.

Дальнейшее проведение опыта заключалось в определении содержания жира и белка в образцах сыра. Полученные результаты отображены на рисунке 2.

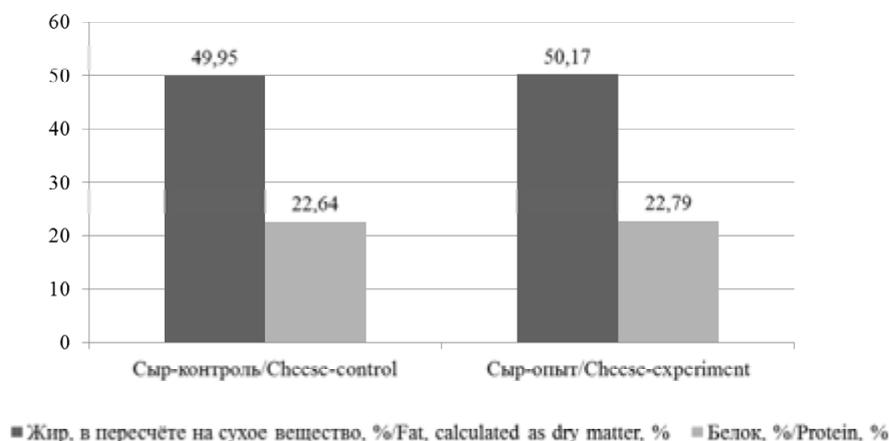


Рисунок 2. Содержание жира и белка в сырах, %

Figure 2. Fat and protein content in cheeses, %

На рисунке 2 наглядно изображено различие показателей белка и жира в сырах. Установлено, что содержание жира в образце сыра, полученного из молока коров опытной группы, было на 0,22 % больше, чем в контроле, а белка – на 0,15 %.

Для более детального изучения состава белка в образцах сыра заключительным этапом была оценка его по аминокислотному составу (рис. 3).

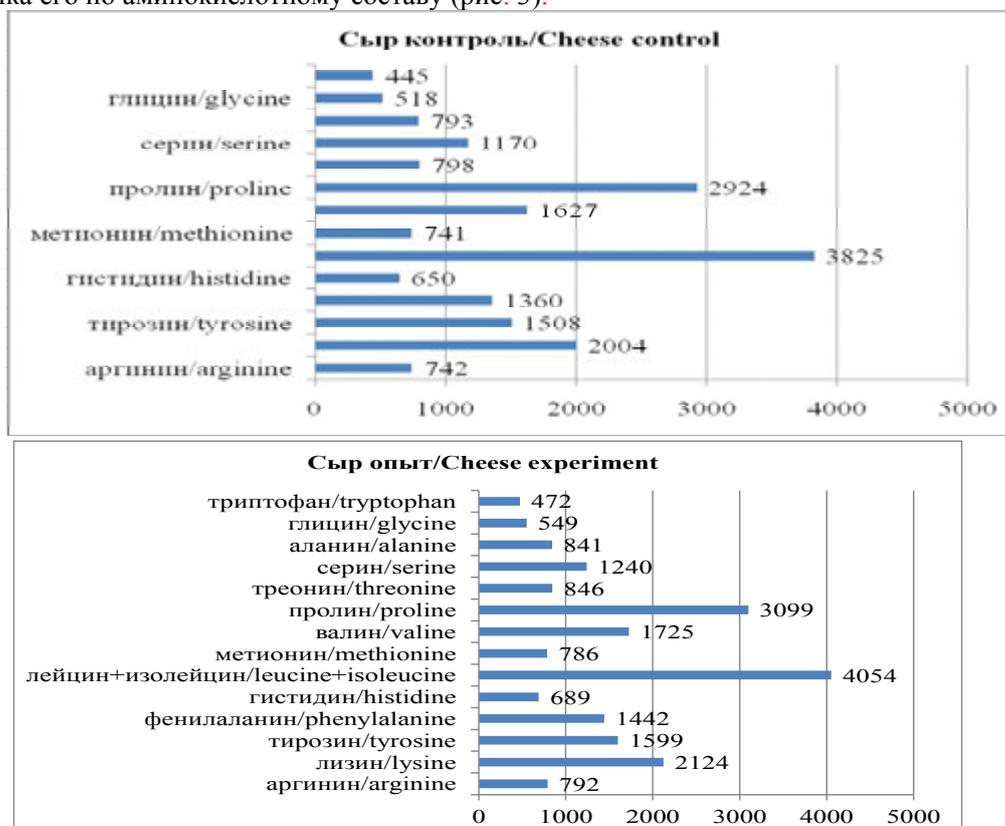


Рисунок 3. Аминокислотный состав сыров, мг%

Figure 3. Amino acid composition of cheeses, mg%

Из данных рисунка 3 видно, что аминокислотный состав сыра опытной группы имеет более высокие показатели, чем в сыре контрольной группы, что говорит о повышенной биологической ценности продукта. Например, такие важные незаменимые аминокислоты как лейцин+изолейцин и валин в опыте превышают контроль на 5,99 % и 6,02 %.

Обсуждение полученных результатов.

Использование дополнительно кормовых добавок в рационах высокопродуктивных коров в Российской Федерации в настоящее время приобретает всё большее развитие. Использование в кормлении минеральных веществ положительным образом влияет на обменные процессы сельскохозяйственных животных (Варакин А.Т. и др., 2021). Натуральные экологически безопасные и биологически активные добавки вызывают большой интерес. Значительные залежи бишофита в Волгоградской области позволяют использовать данный ресурс в достаточном количестве. Более углублённое изучение влияния кормовых добавок позволит разработать эффективные методы их оценки и использования в дальнейшей работе по созданию новых основ кормления.

Полученные нами результаты исследований показывают, что дефицит минеральных веществ в рационах животных необходимо восполнять за счёт введения кормовых добавок (Симонов Г.А. и др., 2022). Отмечается, что обогащение кормов благоприятным образом влияет как на качество сырья, так и на продукты питания, изготовленные на его основе.

Заключение.

Проведённый опыт позволил оценить влияние кормовой добавки КД-Биш на качество получаемого сырья и выработанных образцов сыра. Показатели качества отобранного молока исследуемых групп находились в пределах нормы, оценка сыропригодности дала положительные результаты, что позволило выработать сыры с правильными органолептическими характеристиками без внесения корректировок в температурные режимы.

При проведении лабораторного анализа молока и сыров было определено повышенное содержание жира и белка в опытном образце по сравнению с контрольным, что говорит о положительном влиянии обогащённых кормов как на сырьё, так и на продукты.

Оценка аминокислотного состава позволила более точно сравнить показатели контрольного и опытного образцов, при котором выявлено превосходство по большей сбалансированности в сыре опытной группы.

Список источников

1. Барыкина Е.С., Неверова О.П. Особенности технологии производства твердых сычужных сыров // Молодежь и наука. 2023а. № 3. С. 36. [Barykina ES, Neverova OP. Features of the production technology of hard renest cheese. Youth and Science. 2023a;3:36. (In Russ.)].
2. Барыкина Е.С., Неверова О.П. Производство сычужного сыра с добавлением пажитника // Молодежь и наука. 2023б. № 4. С. 45. [Barykina ES, Neverova OP. Production of rennet cheese with fenugreek. Youth and Science. 2023b;4:45. (In Russ.)].
3. Влияние минеральной добавки на уровень общего белка и его фракций в сыворотке крови коров / Симонов Г.А. и др. // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 73-79. [Simonov GA et al. Effect of mineral supplement on blood serum total protein and its fractions of a cattle. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2022;1:73-79. (In Russ.)]. doi: 10.55471/19973225-2022-7-1-73
4. Влияние новой кормовой добавки на продуктивность и физиологические показатели молочных коров / А.Т. Варакин и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1(61). С. 222-231. [Varakin AT et al. Influence of a new feed additive on productivity and physiological indicators of dairy cows. Proceedings

of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2021;1(61):222-231. (*In Russ.*). doi: 10.32786/2071-9485-2021-01-22

5. ГОСТ 26809.1-2014. Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молочносодержащие продукты. Введ. 01.01.2016. М.: Стандартинформ, 2019. 9 с. [GOST 26809.1-2014. Moloko i molochnaya produktsiya. Pravila priemki, metody otbora i podgotovka prob k analizu. Chast' 1. Moloko, molochnye, molochnye sostavnye i molokosoderzhashchie produkty. Vved. 01.01.2016. Moscow: Standartinform; 2019:9 p. (*In Russ.*)].

6. ГОСТ 5867-90. Молоко и молочные продукты. Методы определения жира. Введ. 01.07.1991. М.: Стандартинформ, 2009. 12 с. [GOST 5867-90. Moloko i molochnye produkty. Metody opredeleniya zhira. Vved. 01.07.1991. Moscow: Standartinform; 2009:12 p. (*In Russ.*)].

7. ГОСТ 34454-2018. Продукция молочная. Определение массовой доли белка методом Кьельдаля. Введ. 01.07.1991. М.: Стандартинформ, 2018. 11 с. [GOST 34454-2018. Produktsiya molochnaya. Opredelenie massovoi doli belka metodom K'el'dalya. Vved. 01.07.1991. Moscow: Standartinform; 2018:11 p. (*In Russ.*)].

8. ГОСТ 3626-73. Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества. Введ. 01.07.1974. М.: Стандартинформ, 2009. 14 с. [GOST 3626-73. Moloko i molochnye produkty. Metody opredeleniya vlagi i sukhogo veshchestva. Vved. 01.07.1974. Moscow: Standartinform, 2009. 14 s. (*In Russ.*)].

9. ГОСТ 32260-2013. Сыры полутвердые. Технические условия. Введ. 01.07.2015. М.: Стандартинформ, 2014. 17 с. [GOST 32260-2013. Syry polutverdye. Tekhnicheskie usloviya. Vved. 01.07.2015. Moscow: Standartinform; 2014:17 p. (*In Russ.*)].

10. Кашина Е.Д. Закваски для сыров. Французские сыры // Переработка молока. 2023. № 9(287). С. 44-47. [Kashina ED. Zakvaski dlja syrov. Francuzskie syry. Pererabotka moloka. 2023;9(287):44-47. (*In Russ.*)].

11. Керимова А., Алтыева А. Молочные продукты // Интернаука. 2023. № 1-3(271). С. 28-29. [Kerimova A, Altyeva A. Molochnye produkty. Internauka. 2023;1-3(271):28-29. (*In Russ.*)].

12. Косилов В.И., Юлдашбаев Ю.А., Кадралиева Б.Т. Аминокислотный состав белка молока коров-первотелок // Вестник КрасГАУ. 2022. № 11(188). С. 151-157. [Kosilov VI, Yuldashbaev YUA, Kadralieva BT. Amino acid composition of first-calf cow's milk protein. Bulletin of KSAU. 2022;11(188):151-157. (*In Russ.*)]. doi: 10.36718/1819-4036-2022-11-151-157

13. Кулиева К.А. Кормление коров по физиологическим группам // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9. №7. С. 179-183. [Guliyeva KA. Feeding of cows for different physiological groups. Bulletin of Science and Practice. 2023;9(7):179-183. (*In Russ.*)]. doi:10.33619/2414-2948/92/25

14. Максимова Р.А., Ермолова Е.М. Влияние пробиотических кормовых добавок на показатели крови лактирующих коров // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2023. №6(215). С. 3-11. [Maksimova RA, Ermolova EM. Influence of probiotic feed additives on the blood parameters of the lactating cows. Kormlenie sel'skhozjajstvennyh zhivotnyh i kormoproduktstvo. 2023;6(215):3-11. (*In Russ.*)]. doi: 10.33920/sel-05-2306-01

15. Нигаматова А.М. Потребление творога и творожных продуктов в России // Молодежь и наука. 2023. № 8. С. 48. [Nigmatova AM. Consumption of cottage cheese and cottage cheese products in Russia. Youth and Science. 2023;8:48. (*In Russ.*)].

16. Попова Г.М., Нуржанов Б.С., Дускаев Г.К. О возможностях использования фитобиотических добавок в рационах сельскохозяйственных животных // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 2. С. 152-175. [Popova GM, Nurzhanov BS, Duskaev GK. About the possibilities of using phytobiotic additives in the diets of farm animals (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(2):152-175. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-152

17. Тагиров Х.Х., Латыпова Э.Х., Вагапов И.Ф. Динамика питательных веществ в молоке коров "башкирского" типа чёрно-пёстрой породы под действием скармливания кормовых премиксов на примере премикса Мегамикс-Оптилак // Животноводство и кормопроизводство.

2023. Т. 106. № 4. С. 102-111. [Tagirov KhKh, Latypova EKh, Vagapov IF. Dynamics of nutrients in the milk of cows of the “Bashkir” type of Black Spotted breed under the influence of feed premixes using the example of the Megamix-Optilak premix. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):102-111. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-102

18. Увеличение эффективности производства молока коров при использовании в составе рационов кавитационно обработанных концентратов / Н.М. Ширнина, Б.С. Нуржанов, И.А. Рахимжанова, В.В. Кононец // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105. № 2. С. 49-59. [Shirnina NM, Nurzhanov BS, Rakhimzhanova IA, Kononets VV. Increasing the efficiency of cow milk production when using cavitation-treated concentrates as part of diets. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(2):49-59. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-2-49

19. Чемыртан М.О., Землякова Е.С. Технология производства функциональных творожных сыров пониженной жирности с растительными добавками // *Вестник молодежной науки*. 2023. № 4(41). С. 5. [Chemyrtnan MO, Zemlyakova ES. Technology of production of functional cream cheese of reduced fat content with vegetable additives. *Vestnik molodezhnoj nauki*. 2023;4(41):5. (*In Russ.*)]. doi: 10.46845/2541-8254-2023-4(41)-7-7

20. Экономическое обоснование использования кавитированных концентратов в рационе молочных коров / Н.М. Ширнина, Б.С. Нуржанов, И.А. Рахимжанова, В.В. Кононец // *Животноводство и кормопроизводство*. 2023. Т. 106. № 1. С. 110-121. [Shirnina NM, Nurzhanov BS, Rakhimzhanova IA, Kononets VV. Economic justification for the use of cavitated concentrates in the rations of dairy cows. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(1):110-121. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-110

21. Эффективность использования новой кормовой добавки в поздний сухостойный период коров / И.Ф. Горлов и др. // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2023. №1(69). С. 322-332. [Gorlov IF et al. Effectiveness of a new feed additive in late drying period of cows. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2023;1(69):322-332. (*In Russ.*)]. doi: 10.30975/2073-4999-2022-24-4

22. Alibekov RS, Utebaeva AA, Nurseitova ZT, Konarbayeva ZK, Khamitova BM. Cottage cheese fortified by natural additives. *Food Research*. 2021;5(S1):152-159. doi: 10.26656/fr.2017.5(S1).013

23. Khrantsov AG, Dinyakov VA, Lodygin AD. Current methods of cheese enrichment with calcium salts. *Modern Science and Innovations*. 2022;1(37):68-79. doi: 10.54596/2309-6977-2022-3-127-139

References

1. Barykina ES, Neverova OP. Features of the production technology of hard renest cheese. *Youth and Science*. 2023a;3:36.

2. Barykina ES, Neverova OP. Production of rennet cheese with fenugreek. *Youth and Science*. 2023b;4:45.

3. Simonov GA et al. Effect of mineral supplement on blood serum total protein and its fractions of a cattle. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2022;1:73-79. doi: 10.55471/19973225-2022-7-1-73

4. Varakin AT et al. Influence of a new feed additive on productivity and physiological indicators of dairy cows. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2021;1(61):222-231. doi: 10.32786/2071-9485-2021-01-22

5. State Standard 26809.1-2014. Milk and milk products. Acceptance regulations, methods of sampling and sample preparation for testing. Part 1. Milk, dairy, milk compound and milk-contained products. Introduced 01/01/2016. Moscow: Standartinform; 2019:9 p.

6. State Standard 5867-90. Milk and dairy products. Methods for determining fat. Introduced 07/01/1991. Moscow: Standartinform; 2009:12 p.

7. State Standard 34454-2018. Dairy products. Determination of the mass fraction of protein by the Kjeldahl method. Introduced 07/01/1991. Moscow: Standartinform; 2018:11 p.
8. State Standard 3626-73. Milk and dairy products. Methods for determining moisture and dry matter. Introduced 07/01/1974. Moscow: Standartinform; 2009:14 p.
9. State Standard 32260-2013. Semi-hard cheeses. Technical conditions. Introduced 07/01/2015. Moscow: Standartinform; 2014:17 p.
10. Kashina ED. Cheese ferments. French cheeses. Milk Processing. 2023;9(287):44-47.
11. Kerimova A, Altyeva A. Dairy products. Internauka. 2023;1-3(271):28-29.
12. Kosilov VI, Yuldashbaev YUA, Kadralieva BT. Amino acid composition of first-calf cow's milk protein. Bulletin of KSAU. 2022;11(188):151-157. doi: 10.36718/1819-4036-2022-11-151-157
13. Guliyeva KA. Feeding of cows for different physiological groups. Bulletin of Science and Practice. 2023;9(7):179-183. doi: 10.33619/2414-2948/92/25
14. Maksimova RA, Ermolova EM. Influence of probiotic feed additives on the blood parameters of the lactating cows. Feeding of Agricultural Animals and Feed Production. 2023;6(215):3-11. doi: 10.33920/sel-05-2306-01
15. Nigmatova AM. Consumption of cottage cheese and cottage cheese products in Russia. Youth and Science. 2023;8:48.
16. Popova GM, Nurzhanov BS, Duskaev GK. About the possibilities of using phytobiotic additives in the diets of farm animals (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(2):152-175. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-152
17. Tagirov KhKh, Latypova EKh, Vagapov IF. Dynamics of nutrients in the milk of cows of the "Bashkir" type of Black Spotted breed under the influence of feed premixes using the example of the Megamix-Optilak premix. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):102-111. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-102
18. Shirnina NM, Nurzhanov BS, Rakhimzhanova IA, Kononets VV. Increasing the efficiency of cow milk production when using cavitation-treated concentrates as part of diets. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(2):49-59. doi: 10.33284/2658-3135-105-2-49
19. Chemyrtnan MO, Zemlyakova ES. Technology of production of functional cream cheese of reduced fat content with vegetable additives. Bulletin of Youth Science. 2023;4(41):5. doi: 10.46845/2541-8254-2023-4(41)-7-7
20. Shirnina NM, Nurzhanov BS, Rakhimzhanova IA, Kononets VV. Economic justification for the use of cavitated concentrates in the rations of dairy cows. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(1):110-121. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-110
21. Gorlov IF et al. Effectiveness of a new feed additive in late drying period of cows. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2023;1(69):322-332. doi: 10.30975/2073-4999-2022-24-4
22. Alibekov RS, Utebaeva AA, Nurseitova ZT, Konarbayeva ZK, Khamitova BM. Cottage cheese fortified by natural additives. Food Research. 2021;5(S1):152-159. doi: 10.26656/fr.2017.5(S1).013
23. Khramtsov AG, Dinyakov VA, Lodygin AD. Current methods of cheese enrichment with calcium salts. Modern Science and Innovations. 2022;1(37):68-79. doi: 10.54596/2309-6977-2022-3-127-139

Информация об авторах:

Иван Фёдорович Горлов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Россия, Волгоградская обл., Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 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 обл., г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 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.

Наталья Ивановна Мосолова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 6, тел.: 8(844)239-10-48.

Ольга Владимировна Кудряшова, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 6, тел.: 8(844)239-10-48.

Наталья Андреевна Ткаченкова, научный сотрудник, аспирант, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 6, тел.: 8(844)239-10-48.

Вера Александровна Пузанкова, соискатель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 6, тел.: 8(844)239-10-48.

Information about the authors:

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 street named after Marshal Rokossovsky, 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. (Agriculture), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, 6 street named after Marshal Rokossovsky, 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.

Natalya I Mosolova, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, 6 street named after Marshal Rokossovsky, Volgograd region, Volgograd, 400066, tel.: 8(844)239-10-48.

Olga V Kudryashova, Cand. Sci. (Biology), Junior Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, 6 street named after Marshal Rokossovsky, Volgograd region, Volgograd, 400066, tel.: 8(844)239-10-48.

Natalia A Tkachenkova, researcher, graduate student, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, 6 street named after Marshal Rokossovsky, Volgograd region, Volgograd, 400066, tel.: 8(844)239-10-48.

Vera A Puzankova, Applicant of Academic Degree, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, 6 street named after Marshal Rokossovsky, Volgograd region, Volgograd, 400066, tel.: 8(844)239-10-48.

Статья поступила в редакцию 06.02.2024; одобрена после рецензирования 15.02.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 06.02.2024; approved after reviewing 15.02.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 83-92.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 1. P. 83-92.

Научная статья
УДК 637.128:577.17
doi:10.33284/2658-3135-107-1-83

Продуктивность и качество молока при скармливании суспензии хлореллы высокопродуктивным коровам

Валерий Николаевич Кувшинов¹, Василий Мартынович Дуборезов², Елена Юрьевна Цис³

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

¹vnkuvshinov@yandex.ru

²korma10@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3228-6739>

³tsis-elen@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1988-1189>

Аннотация. В работе приведены результаты эксперимента, проведённого в Московской области на высокопродуктивных коровах чёрно-пёстрой голштинизированной породы, по скармливанию пребиотической кормовой добавки Суспензии хлореллы. Животные, сформированные по принципу групп-аналогов по 12 голов в каждой, находились на втором-третьем месяце после отёла при привязном способе содержания. В дополнение к основному рациону, состоящему из силоса, сенажа, сена, пивной дробины и концентратов, коровам опытной группы дополнительно скармливали добавку на основе микроскопических водорослей в количестве одного литра на голову в сутки в течение 120 дней. В результате эксперимента установлено, что у коров контрольной группы, не получавших добавку, среднесуточный удой за период опыта снизился с 35,71 кг до 26,58 кг или на 25,6 %, а у коров опытной группы – с 36,54 кг до 30,75 кг или на 15,8 %. Разница по среднесуточному удою за весь период исследований составила 3,85 кг молока. В опытной группе также отмечены более высокие показатели по жирномолочной и белковомолочной продуктивности. От каждой коровы за период опыта в среднем получено 148,19 кг молочного жира и 131,02 кг белка, что больше на 13,94 кг и 10,64 кг, чем в контрольной группе соответственно.

Ключевые слова: коровы, пребиотическая кормовая добавка, суспензия хлореллы, среднесуточный удой, жирномолочная продуктивность, белковомолочная продуктивность

Благодарности: работа выполнена при помощи и поддержке руководства и специалистов АО ПЗ «Наро-Осановский». Выражаем благодарность генеральному директору Александру Николаевичу Рыхлику, специалистам зоотехнической службы Олегу Михайловичу Цурцилину и Ирине Михайловне Ситниковой.

Для цитирования: Кувшинов В.Н., Дуборезов В.М., Цис Е.Ю. Продуктивность и качество молока при скармливании суспензии хлореллы высокопродуктивным коровам // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 83-92. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-83>

Original article

Productivity and milk quality after feeding high-yielding cows with chlorella suspension

Valery N Kuvshinov¹, Vasily M Duborezov², Elena Y Tsis³

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

¹vnkuvshinov@yandex.ru

²korma10@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3228-6739>

³tsis-elen@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1988-1189>

Abstract. The paper presents the results of the experiment conducted in Moscow region on high-yielding cows of Black Spotted Holstein breed on feeding prebiotic feed additive "Chlorella Suspension". The animals, formed according to the principle of pair analogues with 12 heads in each, were kept in tie stalls in the second-third month after calving. In addition to the main diet consisting of silage, haylage,

hay, beer pellets and concentrates, the cows of the experimental group were additionally fed with a supplement based on microscopic algae in the amount of one liter per head per day for 120 days. As a result of the experiment it was found that cows of the control group, which did not receive the supplement, the average daily milk yield for the period of the experiment decreased from 35.71 kg to 26.58 kg or by 25.6%, and in cows of the experimental group - from 36.54 kg to 30.75 kg or by 15.8%. The difference in average daily milk yield for the whole period of research amounted to 3.85 kg of milk. The experimental group also showed higher indicators of fat-milk and protein-milk productivity. From each cow during the period of experiment, an average of 148.19 kg of milk fat and 131.02 kg of protein were obtained from each cow, which is 13.94 kg and 10.64 kg more than in the control group, respectively.

Keywords: cows, prebiotic feed additive, chlorella suspension, average daily milk yield, fat-milk productivity, protein-milk productivity

Acknowledgments: the work was carried out with the help and support of the management and specialists of PZ "Naro-Osanovsky". We express our gratitude to the general director Alexander Nikolaevich Rychlik, specialists of zootechnical service Oleg Mikhailovich Tsurtsilin and Irina Mikhailovna Sitnikova.

For citation: Kuvshinov VN, Duborezov VM, Tsis EYu. Productivity and milk quality after feeding high-yielding cows with chlorella suspension. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):83-92. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-83>

Введение.

Реализация генетического потенциала животных обеспечивается, прежде всего, применением современных научно-обоснованных подходов к их кормлению (Кирнос И.О. и др., 2011; Дуборезов В.М., 2020; Головин А.В. и Рыков Р.А., 2021). В молочном скотоводстве пристальное внимание должно уделяться кормлению высокопродуктивных коров, особенно в первую фазу лактации, когда потенциал потребления корма отстаёт от темпов роста производства молока, т. к. новотельные коровы в силу своих физиологических особенностей не могут потребить большое количество объёмистых кормов. Это может привести к снижению массы тела и продуктивности, сопровождаться нарушением обмена веществ и создать проблемы со здоровьем животных (Kharitonov EL, 2022). Для обеспечения животных энергией и питательными веществами важно не только валовое их содержание в рационе и их концентрация в сухом веществе (Дуборезов В.М. и др., 2023; Цис Е.Ю. и др. 2023; Рязанцев М.В. и Дуборезов В.М., 2020), но также следует учитывать, что эффективность использования рациона зависит от переваримости и усвояемости питательных веществ, что связано с микробным сообществом рубца. Симбиотные взаимоотношения микроорганизмов рубца и хозяина-животного в первую очередь отвечают за превращение в энергию растительных кормов (Лаптев Г.Ю. и др., 2021; Henderson G et al., 2015). Учитывая, что основная часть рациона скота состоит из растительных кормов, в последние годы ведётся поиск способов нормализации бактериального фона желудочно-кишечного тракта, подавления колонизации патогенов и формирования желательной микрофлоры рубца и кишечника, которые привели бы к повышению переваримости и усвояемости питательных веществ рациона. Один из таких способов – скармливание различных кормовых добавок, обладающих пробиотическим и пребиотическим действиями (Шацких Е.В. и Шевкунов О.А., 2019; Дускаев Г.К. и др., 2019; Некрасов Р.В. и др., 2021). В исследованиях, проведённых рядом авторов на различных видах животных, установлено, что пребиотическим действием обладают микроскопические водоросли, и их использование в рационах даёт положительный эффект (Мунгин В.В. и др., 2023; Стребкова К.А. и др., 2020; Овчинников А.А. и др., 2019). Наиболее широкое использование в животноводстве получили добавки на основе одноклеточной водоросли – хлореллы, которая является не только источником белка (с полным набором аминокислот), углеводов, минеральных солей, витаминов, но и обладает антиоксидантными свойствами и способностью стимулировать деятельность иммунной системы, что в итоге приводит к увеличению продуктивности (Попов В.С. и др., 2020; Фролова М. и др., 2021). В то же время исследований по влиянию скармливания микроскопических водорослей высокопродуктивным коровам на продуктивность и качество молока проведено недостаточно.

Цель исследования.

Изучение влияния скармливания высокопродуктивным коровам пребиотической кормовой добавки суспензии хлореллы на молочную продуктивность и качественные характеристики молока.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Взрослые (2-3 отёл) коровы чёрно-пёстрой голштинизированной 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.). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследования проведены в АО ПЗ «Наро-Осановский» Московской области в 2022-2023 гг. По принципу групп-аналогов животных, находящихся на втором-третьем месяце лактации, сформировали в две подопытные группы по 12 голов в каждой при привязном способе содержания. На момент постановки на опыт животные находились на 2-3 месяце после отёла и имели близкую продуктивность: $35,71 \pm 1,30$ кг – в контроле и $36,54 \pm 1,71$ кг – в опытной группе. Кормление коров осуществляли согласно детализированным нормам кормления (Некрасов Р.В., 2018). Рацион животных обеих групп состоял из кормосмеси, включающей кукурузный силос, сенаж многолетних трав, злаковое сено, пивную дробину и концентраты. При постановке на опыт рацион был сбалансирован на удой в 35 кг молока. Далее ежемесячно он корректировался с учётом фактического удоя в контрольной группе путём снижения количества концентратов. Коровам опытной группы на протяжении всего эксперимента дополнительно скармливали кормовую добавку Суспензия хлореллы, произведённую на основе микроскопических водорослей, выращенных по инновационной, разработанной и запатентованной технологии ООО «Амфор» (Россия) с использованием вторичного сырья перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса. Добавка содержит до 2 % сухой биомассы хлореллы, включающей широкий спектр биологически активных веществ, в том числе целлюлозолитические и ЛЖК-синтезирующие бактерии. Добавку скармливали в соответствии с рекомендациями производителя однократно путём ввода в кормосмесь из расчёта один литр на голову в сутки. Продолжительность эксперимента составила 120 дней. В течение всего эксперимента два раза в месяц проводили учёт молочной продуктивности методом регистрации индивидуального суточного удоя молока.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (<https://www.vij.ru>). Образцы молока отбирали в специальные пластиковые пробирки с бронеполом в качестве консерванта. Качественные показатели молока: содержание жира и белка определяли на приборе «Фосс Электрик» (Дания) с автоматической подачей проб молока «CombiFoss FT+».

Статистическая обработка. Статистический анализ проводился с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением «Microsoft Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «SPSS Statistics v.23» (IBM, США). Данные выражаются в виде средних значений \pm стандартной ошибки среднего значения ($M \pm m$). Значимость групповых различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. Достоверными считали значения при $P \leq 0,05$.

Результаты исследования.

Различия по продуктивности животных подопытных групп отмечены уже в первый месяц эксперимента. По сравнению с удоём в предварительный период у коров контрольной группы среднесуточный удой снизился через 30 дней на 2,75 кг и составил 32,96 кг. В опытной группе снижение удоя оказалось в три с половиной раза меньше по сравнению с показателем в контроле и составило 0,79 кг (табл. 1).

Таблица 1. Молочная продуктивность коров, кг/гол./сут
Table 1. Milk productivity of cows, kg/head/day

Показатель / Indicator	Период опыта, дней / Experience period, days				В среднем за опыт / Average per experience
	0-30	31-60	61-90	91-120	
Контрольная группа / Control group (n=12)					
Валовой удой / Gross milk yield	988,8	911,4	825,0	797,4	3522,6
Среднесуточный удой / Average daily milk yield	32,96±1,19	30,38±1,31	27,50±1,77	26,58±1,70	29,35±1,49
Опытная группа / Experimental group (n=12)					
Валовой удой / Gross milk yield	1072,5	1027,5*	961,2*	922,5*	3983,7*
Среднесуточный удой / Average daily milk yield	35,75±1,93	34,25±1,90*	32,04±2,06*	30,75±1,77*	33,20±1,92*

Примечание: * – P≤0,05

Note: * – P≤0.05

В целом, в сравнении с показателем среднесуточного удоя при постановке на опыт, за период проведения исследований в контрольной группе удой снизился на 9,13 кг, а в опытной группе – на 5,79 кг. В среднем за период эксперимента среднесуточный удой в опытной группе оказался равным 33,20 кг, что 3,85 кг выше по сравнению с коровами контрольной группы. В итоге – валовое производство молока в опытной группе за период опыта составило 3983,7 кг, что на 461,1 кг больше, чем в контроле.

Средний показатель содержания жира в молоке за период опыта в контроле составил 3,83 %, что на 0,1 % выше, чем в опытной группе. Однако в итоге (т. е. – по удою и содержанию в молоке жира) в опытной группе за период опыта в среднем от каждой коровы получено 148,19 кг жира, против 134,25 кг – в контрольной группе (табл. 2).

Таблица 2. Жирномолочная продуктивность коров
Table 2. Fat and milk productivity of cows

Показатель / Indicator	Период опыта, дней / Experimental period, days				В среднем за опыт / Average per experiment
	0-30	31-60	61-90	91-120	
Контрольная группа / Control group (n=12)					
Содержание жира в молоке, % / Milk fat content, %	3,47±0,06	3,83±0,08	3,93±0,07	4,09±0,15	3,83±0,09
Сумма молочного жира, кг/гол. / Amount of milk fat, kg/head	34,31	34,91	32,42	32,61	134,25±5,45
Опытная группа / Experimental group (n=12)					
Содержание жира в молоке, % / Milk fat content, %	3,48±0,12	3,71±0,05	3,96±0,10	3,76±0,03*	3,73±0,08
Сумма молочного жира, кг/гол. / Amount of milk fat, kg/head	37,32	38,12	38,06	34,69	148,19±7,12

Примечание: * – P≤0,05

Note: * – P≤0.05

Содержание белка в молоке подопытных животных в начале эксперимента было близким и составляло: 3,13 % – в контрольной группе и 3,05 % – в опытной (табл. 3).

Таблица 3. Белковомолочная продуктивность коров
Table 3. Protein and milk productivity of cows

Показатель / Indicator	Период опыта, дней/ <i>Experimental period, days</i>				В среднем за опыт / <i>Average per experiment</i>
	0-30	31-60	61-90	91-120	
Контрольная группа / Control group (n=12)					
Содержание белка в молоке, % / <i>Protein content in milk, %</i>	3,13±0,06	3,37±0,07	3,57±0,09	3,67±0,12	3,43±0,09
Сумма молочного белка, кг/гол / <i>The amount of milk protein, kg/head</i>	30,95	30,71	29,45	29,26	120,38±6,46
Опытная группа / Experimental group (n=12)					
Содержание белка в молоке, % / <i>Protein content in milk, %</i>	3,05±0,06	3,27±0,07	3,44±0,08	3,43±0,07**	3,30±0,07*
Сумма молочного белка, кг/гол / <i>The amount of milk protein, kg/head</i>	32,71	33,60	33,07	31,64	131,02±7,05

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$

Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$

К концу эксперимента содержание белка в контроле повысилось до 3,67 %, в то время как в опытной – до 3,43 %, что увеличило разницу в показателях от 0,08 % до 0,24 % в пользу контрольной группы. В результате – средний показатель содержания белка в молоке коров контрольной группы за весь период составил 3,43 %, в то время как в опытной – 3,30 %.

Сумма молочного белка на всех периодах опыта в опытной группе превышала показатели контроля. В целом за время опыта от каждой коровы получено 131,02 кг белка, в то время как выход белка у животных контрольной группы составил 120,38 кг.

Обсуждение полученных результатов.

Известно, что у коров после отёла удой молока в течение первых месяцев повышается, достигает максимального значения и начинает снижаться (Некрасов Р.В., 2018). Анализ проведённых контрольных доек до начала и в течение нашего эксперимента, показал, что животные обеих групп при постановке на опыт находились на пике лактации. По мере её течения продуктивность коров снижалась. Однако в контрольной группе за 120 дней опыта среднесуточный удой снизился на 19,4 %, а в опытной группе – на 14,0 %. По нашему мнению это объясняется тем, что микроскопические водоросли обладают пребиотическим действием. Исходя из того, что введение кормовой добавки Суспензия хлореллы не оказало существенного влияние на валовое содержание энергии и питательных веществ рациона животных опытной группы, так как с добавкой внесено не более 20 граммов сухой биомассы микроводорослей, можно заключить, что дополнительная продукция получена за счёт оптимизации процессов ферментации в рубце и создания в рубцовой среде более благоприятных условий для развития полезной микрофлоры и повышения переваримости питательных веществ. Аналогичные объяснения приводят и другие исследователи (Лаптев Г.Ю. и др., 2021; Кислова Д.А., 2022; Мунгин В.В. и др., 2023). Проведённые нами физиологические исследования содержимого рубца коров подтвердили наше заключение – содержание летучих жирных кислот у

коров опытной группы оказалось на 31,6 % выше, чем у животных контрольной группы. В результате за период исследований от каждой коровы опытной группы получено молока на 13,1 % больше.

Как правило, между показателями продуктивности и содержанием жира в молоке отмечается обратная связь (Горелик О.В. и др., 2019), т. е. – с увеличением удоя содержание жира в молоке снижается и наоборот. В нашем случае при снижении удоев содержание жира в контрольной группе увеличилось с 3,47 % до 4,09 %, в опытной – с 3,48 % до 3,76 %. То есть, по концентрации жира молоко, полученное от коров контрольной группы обладало более питательными свойствами. Однако в конечном итоге, определяя жирномолочную продуктивность коровы, следует учитывать сумму произведённого молочного жира. Расчёты показали, что за счёт более высокой продуктивности от коров опытной группы молочного жира получено на 13,94 кг или на 10,4 % больше, чем в контрольной группе.

Аналогично содержанию жира коррелирует с удоями и содержание белка в молоке. В то же время введение в рацион коров кормовой добавки «Суспензия хлореллы» привело к положительному эффекту, и в результате в опытной группе за период исследований белкомолочная продуктивность оказалась выше на 8,8 %, чем в контроле. В итоге от каждой коровы дополнительно получено 10,64 кг белка.

По вопросу влияния скармливания микроводорослей имеются противоречивые данные. Одни авторы сообщают об отсутствии изменений в молочных белках (Tsiplakou E et al., 2018). Напротив, в других исследованиях сообщается, что скармливание микроводорослей приводит к снижению содержания молочного белка, которое может быть связано с низким содержанием гистидина в микроводорослях. Эта аминокислота ограничивает выработку молока и может стать неоптимальной в случае употребления водорослей (Lamminen M et al., 2017).

В наших исследованиях скармливание суспензии хлореллы, помимо получения положительного результата по удою, привело к более высокому по сравнению с контрольной группой выходу молочного жира и белка. Полученные нами результаты согласуются с исследованиями К.А. Стребковой и других авторов (2020), которые проведены на лактирующих коровах, находящихся в конце лактации и имеющих меньшую продуктивность. Включение в рацион кормовой добавки «Хлорелла» в количестве 1,0 л/гол. позволило дополнительно получить 1,9 кг молока в сутки (+7,4 %), при большем выходе молочного жира и белка.

Заключение.

Сравнивая показатели удоя и содержания в молоке жира и белка в начале эксперимента с показателями, полученными в конце эксперимента, можно заключить, что пребиотическая кормовая добавка «Суспензия хлореллы», вводимая в рацион высокопродуктивных коров в дозе 1 л/гол. в сутки, оказала положительное влияние на молочную продуктивность и качество молока. В частности, в опытной группе валовой удой за период эксперимента превысил аналогичный показатель в контроле на 13,1 %, выход молочного жира – на 10,4 %, молочного белка – на 8,8 %.

Таким образом, данным исследованием показана перспективность использования микроскопических водорослей в рационе высокопродуктивных молочных коров.

Список источников

1. Влияние систем кормления, биологически активных веществ и нетрадиционных кормов на переваримость и физиологию пищеварения у коз (обзор) / Д.А. Кислова, Г.К. Дускаев, О.В. Кван, Е.В. Шейда // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 4. С. 131-145. [Kislova DA, Duskaev GK, Kvan OV, Sheida EV. The influence of feeding systems, biologically active substances and non-traditional feeds on digestibility and physiology of digestion in goats (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):131-145. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-131

2. Головин А.В., Рыков Р.А. Влияние энергообеспеченности рациона коров на молочную продуктивность и биохимический статус крови // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2021. № 3. С. 71-77. [Golovin AV, Rykov RA. Influence of energy supply of diet of cows on dairy productivity and biochemical blood status. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2021;3:71-77. (*In Russ.*)]. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202103010
3. Горелик О.В., Федосеева Н.А., Кныш И.В. Молочная продуктивность коров голштинских линий черно-пестрого скота // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 56. С. 99-105. [Gorelik OV, Fedoseeva NA, Knysh IV. Molochnaja produktivnost' korov golshtinskih linij cherno-pestrogo skota. *Izvesniya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019;56:99-105. (*In Russ.*)]. doi: 10.24411/2078-1318-2019-13099
4. Дуборезов В., Цис Е., Ваулин Е. Пребиотическая добавка на основе микроскопических водорослей в рационе первотелок // Комбикорма. 2023. № 6. С. 46-48. [Duborezov V, Tsis E, Vaulin E. Prebiotic supplement based on microscopic algae in the diet of first calvers. *Compound Feeds*. 2023;6:46-48. (*In Russ.*)]. doi: 10.25741/2413-287X-2023-06-4-202
5. Дуборезов В.М. Кормление молочных коров по детализированным нормам // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 52-54. [Duborezov VM. Dairy cow feeding and nutrition according to detailed nutrition requirements. *Journal Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2020;4:52-54. (*In Russ.*)]. doi: 10.33943/MMS.2020.19.15.009
6. Использование бифидосодержащей кормовой пробиотической добавки в кормлении молодняка крупного рогатого скота / Р.В. Некрасов, М.Г. Чабаев, Е.Ю. Цис, Б.А. Кареткин, Е.А. Терешкова, Ф.Ф. Мягих // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 3. С. 3-8. [Nekrasov RV, Chabaev MG, Tsis EYu, Karetkin BA, Tereshkova EA, Myagkih FF. The use of bifid-containing feed probiotic additive in the feeding of young cattle. *Journal Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2021;3:3-8. (*In Russ.*)]. doi: 10.33943/MMS.2021.10.78.001
7. Кирнос И.О., Сулова И.В., Дуборезов В.М. Адаптивная система кормления – решающий фактор в реализации генетического потенциала продуктивности коров // Зоотехния. 2011. № 9. С. 9-11. [Kirnos IO, Suslova IV, Duborezov VM. Adapting feed system - the key factor in realization the genetic potential of cows productivity. *Zootechniya*. 2011;9:9-11. (*In Russ.*)].
8. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: монография / под ред. Р.В. Некрасова, А.В. Головина, Е.А. Махаева. М.: РАН, 2018. 290 с. [Normy potrebnostei molochnogo skota i svinei v pitatel'nykh veshchestvakh: monografiya. pod red. Nekrasova RV, Golovina AV., Makhaeva EA. Moscow: RAN; 2018:290 p. (*In Russ.*)].
9. Овчинников А.А., Овчинникова Л.Ю., Матросова Ю.В. Инкубационные качества яиц кур-несушек родительского стада при использовании в рационе пробиотиков // Вестник Курганской ГСХА. 2019. № 4(32). С. 35-38. [Ovchinnikov AA, Ovchinnikova LYu, Matrosova JuV. Incubation qualities of chicken-bird eggs of parent stock using probiotics in the diet. *Vestnik Kurganskoy GSNA*. 2019;4(32):35-38. (*In Russ.*)].
10. Попов В.С., Свазлян Г.А., Воробьева Н.В. Перспективы применения биологически активной добавки на основе *Chlorella vulgaris* // Ветеринария и кормление. 2020. № 7. С. 53-55. [Popov VS, Svazlian GA, Vorobyeva NV. Prospects for the use of biologically active additives based on *Chlorella vulgaris*. *Veterinaria i kormlenie*. 2020;7:53-55. (*In Russ.*)]. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-7-13
11. Рязанцев М.В., Дуборезов В.М. Влияние уровня кормления на продуктивность и сервис-период молочных коров // Комбикорма. 2021. № 6. С. 70-72. [Ryazantsev MV, Duborezov VM. The effect of the feeding level on productivity and service period of dairy cows. *Compound Feeds*. 2021;6:70-72. (*In Russ.*)]. <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2021-06-3-141>
12. *Chlorella* в питании телят молочного периода выращивания / В.В. Мунгин, Н.И. Гибалкина, Д.С. Акимов, И.А. Рябов, Н.К. Морозова // Известия Дагестанского ГАУ. 2023. № 2(18). С. 101-104. [Mungin VV, Gibalkina NI, Akimov DS, Ryabov IA, Morozowa NK. *Chlorella* in the nutri-

tion of calves of the preweaning period. Dagestan GAU Proceedings. 2023;2(18):101-104. (*In Russ.*). doi: 10.52671/26867591.2023.2.101

13. Стребкова К.А., Абилов Б.Т., Артамонов В.С. Использование кормовой добавки "Хлорелла" в рационах дойных коров и телят-молочников // Сельскохозяйственный журнал. 2020. № 5(13). С. 64-73. [Strebkova KA, Abilov BT, Artamonov VS. The use of "Chlorella" feed additive in the diets of dairy cows and unweaned calves. Agricultural Journal. 2020;5(13): 64-73. (*In Russ.*). doi: 10.25930/2687-1254/011.5.13.2020

14. Таксономические и функциональные особенности микробиоты рубца у дойных коров с диагнозом кетоз / Г.Ю. Лаптев, Е.А. Йылдырым, Т.П. Дуняшев, Л.А. Ильина, Д.Г. Тюрина, В.А. Филиппова, Е.А. Бражник, Н.В. Тарлавин, А.В. Дубровин, Н.И. Новикова // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 2. С. 356-373. [Laptev GYu, Yildirim EA, Dunyashev TP, Pina LA, Tyurina DG, Filippova VA, Brazhnik EA, Tarlavin NV, Dubrovin AV, Novikova NI. Peculiarities of taxonomic and functional characteristics of rumen microbiota of dairy cows suffered from ketosis. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2021;56(2):356-373. (*In Russ.*). doi:10.15389/agrobiology.2021.2.356rus doi: 10.15389/agrobiology.2021.2.356eng

15. Фролова М., Сложенкина М., Мосолов А. Микроводоросли – естественный биостимулятор роста // Животноводство России. 2021. № 9. С. 55-56. [Frolova M, Slozhenkina M, Mosolov A. Micro seaweeds - a natural biogrowth factor. Zhivotnovodstvo Rossii. 2021;9:55-56. (*In Russ.*). doi: 10.25701/ZZR.2021.31.46.010

16. Цис Е.Ю., Дуборезов В.М., Рыков Р.А. Влияние различного уровня кормления на продуктивность и обмен веществ молочных коров // Зоотехния. 2023. № 5. С. 2-4. [Tsis EYu, Duborezov VM, Rykov RA. The effect of different feeding levels on the productivity and metabolism of dairy cows. Zootechniya. 2023;5:2-4. (*In Russ.*). doi: 10.25708/ZT.2023.17.95.001

17. Шацких Е.В., Шевкунов О.А. Пробиотический препарат "Простор" в кормлении цыплят-бройлеров // Аграрный вестник Урала. 2019. № 2(181). С. 36-41. [Shatskikh EV, Shevkunov OA. Probiotic preparation "Prostor" in feeding chickens-broiler. Agrarian Bulletin of the Urals. 2019;2(181):36-41. (*In Russ.*). doi: 10.32417/article_5cb0b02e77c954.66179326

18. Использование пробиотиков и растительных экстрактов для улучшения продуктивности жвачных животных (обзор) / Г.К. Дускаев, Г.И. Левахин, В.Л. Королёв, Ф.Х. Сиразетдинов // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. № 1. 136-148. [Duskaev GK, Levakhin GI, Korolyov 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

19. Henderson G, Cox F, Ganesh S, Jonker A, Young W, Global Rumen Census Collaborators, Janssen PH. Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. Scientific Reports. 2015;5(1):14567. doi: 10.1038/srep14567

20. Kharitonov EL. The processes of nutrition and metabolism affecting the biosynthesis of milk components and vitality of cows with high- and low-fat milk. Animals. 2022;12(5):604. doi: 10.3390/ani12050604

21. Lamminen M, Halmemies-Beauchet-Filleau A, Kokkonen T, Simpura I, Jaakkola S, Vanhatalo A. Comparison of microalgae and rapeseed meal as supplementary protein in the grass silage based nutrition of dairy cows. Animal Feed Science and Technology. 2017;234:295-311. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.10.002

22. Tsiplakou E, Abdullah MAM, Mavrommatis A, Chatzikonstantinou M, Skliros D, Sotirakoglou K, Fliemetakis E, Zervas G. The effect of dietary Chlorella vulgaris inclusion on goat's milk chemical composition, fatty acids profile and enzymes activities related to oxidation. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2018;102(1):142-151. doi: 10.1111/jpn.12671

References

1. Kislova DA, Duskaev GK, Kvan OV, Sheida EV. The influence of feeding systems, biologically active substances and non-traditional feeds on digestibility and physiology of digestion in goats (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):131-145. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-131
2. Golovin AV, Rykov RA. Influence of energy supply of diet of cows on dairy productivity and biochemical blood status. *Veterinary, zootechnics and biotechnology*. 2021;3:71-77. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202103010
3. Gorelik OV, Fedoseeva NA, Knysh IV. Milk productivity of cows of Black Spotted lines of the Holstein cattle. *Izvestia Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019;56:99-105. doi:10.24411/2078-1318-2019-13099
4. Duborezov V, Tsis E, Vaulin E. Prebiotic supplement based on microscopic algae in the diet of first calvers. *Compound Feeds*. 2023;6:46-48. doi: 10.25741/2413-287X-2023-06-4-202
5. Duborezov VM. Dairy cow feeding and nutrition according to detailed nutrition requirements. *Journal Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2020;4:52-54. doi: 10.33943/MMS.2020.19.15.009
6. Nekrasov RV, Chabaev MG, Tsis EYu, Karetkin BA, Tereshkova EA, Myagkih FF. The use of bifid-containing feed probiotic additive in the feeding of young cattle. *Journal Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2021;3:3-8. doi: 10.33943/MMS.2021.10.78.001
7. Kirnos IO, Suslova IV, Duborezov VM. Adapting feed system - the key factor in realization the genetic potential of cows productivity. *Zootechniya*. 2011;9:9-11.
8. Nekrasova RV, Golovina AV, Mahaeva EA, editors. Standards requirements of dairy cattle and pigs in nutrients: monograph. Moscow: RAS; 2018:290 p.
9. Ovchinnikov AA, Ovchinnikova LYu, Matrosova JuV. Incubation qualities of chicken-bird eggs of parent stock using probiotics in the diet. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2019;4(32):35-38.
10. Popov VS, Svazlian GA, Vorobyeva NV. Prospects for the use of biologically active additives based on *Chlorella vulgaris*. *Veterinary science and feeding*. 2020;7:53-55. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-7-13
11. Ryazantsev MV, Duborezov VM. The effect of the feeding level on productivity and service period of dairy cows. *Compound Feeds*. 2021;6:70-72. <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2021-06-3-141>
12. Mungin VV, Gibalkina NI, Akimov DS, Ryabov IA, Morozova NK. *Chlorella* in the nutrition of calves of the preweaning period. *Dagestan GAU Proceedings*. 2023;2(18):101-104. doi: 10.52671/26867591.2023.2.101
13. Strebkova KA, Abilov BT, Artamonov VS. The use of "*Chlorella*" feed additive in the diets of dairy cows and unweaned calves. *Agricultural Journal*. 2020;5(13):64-73. doi: 10.25930/2687-1254/011.5.13.2020
14. Laptev GYu, Yildirim EA, Dnyashev TP, Ilina LA, Tyurina DG, Filippova VA, Brazhnik EA, Tarlavin NV, Dubrovin AV, Novikova NI. Peculiarities of taxonomic and functional characteristics of rumen microbiota of dairy cows suffered from ketosis. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2021;56(2):356-373. doi: 10.15389/agrobiol.2021.2.356eng
15. Frolova M, Slozhenkina M, Mosolov A. Micro seaweeds - a natural biogrowth factor. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2021;9:55-56. doi: 10.25701/ZZR.2021.31.46.010
16. Tsis EYu, Duborezov VM, Rykov RA. The effect of different feeding levels on the productivity and metabolism of dairy cows. *Zootechniya*. 2023;5:2-4. doi: 10.25708/ZT.2023.17.95.001
17. Shatskikh EV, Shevkunov OA. Probiotic preparation "Prostor" in feeding chickens-broiler. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019;2(181):36-41. doi: 10.32417/article_5cb0b02e77c954.66179326
18. Duskaev GK, Levakhin GI, Korolyov 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

19. Henderson G, Cox F, Ganesh S, Jonker A, Young W, Global Rumen Census Collaborators, Janssen PH. Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Scientific Reports*. 2015;5(1):14567. doi: 10.1038/srep14567

20. Kharitonov EL. The processes of nutrition and metabolism affecting the biosynthesis of milk components and vitality of cows with high- and low-fat milk. *Animals*. 2022;12(5):604. doi: 10.3390/ani12050604

21. Lamminen M, Halmemies-Beauchet-Filleau A, Kokkonen T, Simpura I, Jaakkola S, Vanhatalo A. Comparison of microalgae and rapeseed meal as supplementary protein in the grass silage based nutrition of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. 2017;234:295-311. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.10.002

22. Tsiplakou E, Abdullah MAM, Mavrommatis A, Chatzikonstantinou M, Skliros D, Sotirakoglou K, Flemetakis E, Zervas G. The effect of dietary *Chlorella vulgaris* inclusion on goat's milk chemical composition, fatty acids profile and enzymes activities related to oxidation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2018;102(1):142-151. doi: 10.1111/jpn.12671

Информация об авторах:

Валерий Николаевич Кувшинов, аспирант отдела кормления сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Россия, 142132, Московская область, г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8 496765-12-43.

Василий Мартынович Дуборезов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Россия, 142132, Московская область, г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8 496765-12-43.

Елена Юрьевна Цис, научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Россия, 142132, Московская область, г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8 496765-12-97.

Information about the authors

Valeriy N Kuvshinov, Co-researcher of the Department of Feeding of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk district, Moscow region, 142132, tel.: 8 496 765-12-43.

Vasily M Duborezov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Researcher of the Department of Feeding of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk district, Moscow region, 142132, tel.: 8 496765-12-43.

Elena Y Tsis, Researcher of the Department of Feeding of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk district, Moscow region, 142132, tel.: 8 496 765-12-97.

Статья поступила в редакцию 10.01.2024; одобрена после рецензирования 06.02.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 10.01.2024; approved after reviewing 06.02.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Научная статья

УДК 636.5:577.17

doi:10.33284/2658-3135-107-1-93

Влияние комплексной минеральной добавки на качество яиц кур-несушек промышленного стада

Вера Александровна Терещенко¹

¹Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Россия

¹v.a.tereshchenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5842-0153>

Аннотация. Представлены результаты исследований по изучению влияния разных дозировок комплексной минеральной кормовой добавки ТоксиНон на качественные показатели яиц кур-несушек промышленного стада кросса «Хайсекс коричневый». Исследования были проведены в условиях ООО «Боготольская птицефабрика» Красноярского края на четырёх группах кур (контрольная и три опытные) в возрасте 21 недели, по 50 голов в каждой группе. Продолжительность опыта составляла 133 дня. Птице опытных групп, в отличие от контрольной, в состав рациона вводили кормовую добавку ТоксиНон в дозировках 0,15; 0,25; 0,35 % от массы кормосмеси. В результате исследований было установлено, что наиболее положительный эффект на качество яиц кур оказала дозировка добавки 0,25 % от массы кормосмеси: по сравнению с аналогами контрольной группы увеличилась средняя масса яйца на 2,9 %, масса желтка – на 3,6 %, масса скорлупы – на 8,0 %, толщина скорлупы – на 3,7 %, индекс желтка – на 0,9 п. п., а также снизились затраты корма на 10 яиц на 7,3 %, на 1 кг яичной массы – на 9,2 %.

Ключевые слова: куры-несушки, качество яиц, кормовая добавка ТоксиНон, природные минералы, рацион, «Хайсекс коричневый», масса яйца, толщина скорлупы, индекс желтка, индекс белка

Благодарности: участие в «Современные технологии в кормопроизводстве, кормлении высокопродуктивных кроссов птицы, контроль безопасности и качества комбикормов, премиксов, биологически активных добавок» проведено при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (код заявки: 2022052308705).

Для цитирования: Терещенко В.А. Влияние комплексной минеральной добавки на качество яиц кур-несушек промышленного стада // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 93-106. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-93>

Original article

The influence of a complex mineral additive on the quality of eggs of commercial laying hens

Vera A Tereshchenko¹

¹ Krasnoyarsk Scientific Research Institute of Agriculture – Separate Division of Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center” of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk, Russia

¹v.a.tereshchenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5842-0153>

Abstract. The results of studies on the influence of different dosages of the complex mineral feed additive ToxiNon on the quality indicators of laying hen eggs from the industrial herd of the Hisex Brown cross are presented. The studies were conducted in the conditions of Bogotolsk Poultry Farm LLC, Krasnoyarsk Territory, on four groups of chickens (control and three experimental) at the age of 21 weeks,

50 birds in each group. The duration of the experiment was 133 days. The birds of the experimental groups, in contrast to the control group, were given the feed additive ToxiNon in the diet in dosages of 0.15; 0.25; 0.35% by weight of the feed mixture. As a result of the research, it was found that the dosage of the additive 0.25% of the weight of the feed mixture had the most positive effect on the quality of chicken eggs: compared with analogues in the control group, the average egg weight increased by 2.9%, yolk weight – by 3.6%, shell weight - by 8.0%, shell thickness – by 3.7%, yolk index – by 0.9 percentage points, and feed costs per 10 eggs decreased by 7.3%, per 1 kg of egg mass – by 9.2%.

Keywords: laying hens, egg quality, feed additive ToxiNon, natural minerals, diet, Hisex brown, egg weight, shell thickness, yolk index, white index

Acknowledgments: participation in “Modern technologies in feed production, feeding of highly productive poultry crosses, control of the safety and quality of compound feeds, premixes, dietary supplements” was supported by the Krasnoyarsk Regional Fund for the Support of Scientific and Scientific-Technical Activities (application code: 2022052308705).

For citation: Tereshchenko VA. The influence of a complex mineral additive on the quality of eggs of commercial laying hens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):93-106. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-93>

Введение.

Одной из основных задач развития современной отрасли птицеводства является улучшение качества производимой продукции при уменьшении затрат на её производство. Этого можно достичь, создавая для птицы оптимальные условия кормления и содержания, позволяющие максимально реализовать генетически заложенный потенциал организма.

Учитывая, что продуктивность кур современных яичных кроссов может составлять 310-330 яиц в год при высокой конверсии кормов, обеспечение птицы полноценными кормосмесями – один из основных факторов, влияющих на её продуктивность и здоровье (Николаев С.И. и др., 2017; Цой З.В. и др., 2021; Мусабаева Л.Л. и др., 2022).

Частой проблемой является дефицит в кормовом балансе протеина и нормируемых минеральных веществ, которые играют важнейшую роль в метаболизме и являются пластическим материалом скелета и скорлупы яиц (Васильева Н.В. и Цой З.В., 2020).

Известно, что в животном организме обмен белков, жиров, углеводов, формирование гормонального фона и поддержание кислотно-щелочного равновесия происходит при обязательном активном участии минеральных веществ, которые содержатся в виде растворов или в составе органических соединений в каждой живой клетке (Николаев С.И. и др., 2017; Фисинин В.И. и др., 2016).

Кроме того, макро- и микроэлементы способствуют регулированию осмотического давления, образуют комплексы между ферментами, активизируют макромолекулы, задействованные в процессах пищеварения (Калоев Б.С. и Дзеранова А.В., 2014).

Полноценное минеральное питание для сельскохозяйственной яичной птицы является одним из наиболее важных факторов обеспечения её продуктивности, качества получаемого яйца, стимуляции роста и развития молодняка, полноценности воспроизводительных качеств. От обеспечения организма птицы минеральными веществами зависит состояние костной системы, оперения, а также образование скорлупы яиц (Шаронина Н.В. и др., 2017).

Поскольку в процессе кальцификации яичной скорлупы используется большое количество кальция и других макро- и микроэлементов, недостаток минералов является одной из основных проблем в кормлении высокопродуктивных кур-несушек (Swiatkiewicz S and Koreleski A, 2010).

Нарушение витаминно-минерального питания птицы приводит к возникновению серьёзных расстройств метаболизма, значительному снижению резистентности организма. При недостатке минеральных элементов в организме у молодняка птицы снижаются приросты живой массы, сохранность, у взрослой птицы наблюдается ухудшение показателей продуктивности, что в конечном итоге приводит к повышению себестоимости производства яиц (Шкаленко В.В. и др., 2021).

В современное время эффективным способом удовлетворения потребностей птицы в минеральных веществах является использование в кормлении балансирующих кормовых добавок, содержащих комплекс биологически активных макро- и микроэлементов.

Такие кормовые добавки способны оказывать регулирующее действие на процессы переваривания и усвоения питательных веществ кормов, что позволяет оказывать целенаправленное нужное воздействие на эти процессы (Николаев С.И. и др., 2017).

Поскольку используемые кормосмеси часто не стабильны по химическому составу и питательной ценности и не всегда соответствуют требуемому качеству, актуально вводить в их состав кормовые добавки из природных минералов, которые обогащают рационы птицы необходимыми минеральными веществами, способствуют снижению токсичности и бактериальной загрязненности ингредиентов кормов (Наумова Л.И. и др., 2019).

Современный научный поиск направлен на определение наиболее эффективных кормовых добавок, способствующих повышению продуктивности и сохранению здоровья сельскохозяйственной птицы.

В наших исследованиях изучалась минеральная кормовая добавка ТоксиНон (ООО «Биорост», Россия), состоящая из группы природных минералов, – тонкодисперсных глин, образующихся в природе в результате разложения вулканических пород (монтмориллонит, цеолит, высокодисперсный кремнезем). Эти минералы являются наносиликатами и имеют слоистую структуру и разбухающую кристаллическую решетку. Исследованиями ученых установлено, что эти минералы содержат комплекс жизненно важных для животного организма минеральных веществ (SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; CaO ; MgO ; MnO ; K_2O ; Na_2O ; TiO_2) (Большакова Л.П. и Кузнецова Т.С., 2020; Терещенко В.А., 2021). Кроме того, эти природные глины способны проявлять каталитическое, молекулярно-ситовое, сорбционное и ионообменное действия в организме, способствуя исключению токсического эффекта различных вредных веществ (радионуклидов, свободных радикалов, тяжелых металлов), микотоксинов и бактерий. Также они безопасны при поедании птицей и животными, не оказывают раздражающего действия на желудочно-кишечный тракт и не проявляют кумулятивного эффекта (Иванова О.В. и др., 2017; Святковский А.А., 2015).

Цель исследований.

Изучение влияния минеральной кормовой добавки ТоксиНон на качество яиц кур-несушек промышленного стада.

Задачи исследований:

1. Изучить качественные показатели яиц кур-несушек под действием разных дозировок испытываемой кормовой добавки.
2. Определить затраты корма на единицу продукции под действием разных дозировок испытываемой кормовой добавки.
3. На основании полученных данных определить наиболее эффективную дозировку скормливания испытываемой кормовой добавки для кур-несушек.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Куры-несушки промышленного стада кросса «Хайсекс коричневый» в возрасте 21 недели.

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 в Красноярском крае на ООО «Боготольская птицефабрика». Для опыта по принципу аналогов (учитывая возраст птицы, живую массу и общее развитие) по методике ВНИТИП (Егоров И.А. и др., 2013) было сформировано четыре группы кур (контрольная и три опытные) по 50 голов. Опыт продолжался 133 дня до смены рациона согласно фазе яйценоскости.

Кормление кур-несушек по группам различалось: птице контрольной группы скармливался только основной рацион, в отличие от несушек 1, 2 и 3 опытных групп, которым дополнительно в основной рацион вводили кормовую добавку Токсинон (ООО «Биорост», Россия) в разных дозировках, % от массы кормосмеси: 0,15; 0,25; 0,35. Экспериментальную кормосмесь скармливали птице в сухом виде 2 раза в сутки. Исследуемая кормовая добавка состоит, %: монтмориллонит – 82, цеолит – 16, высокодисперсный кремнезём – 2.

Условия содержания были одинаковые: подопытная птица располагалась в цехе промышленного стада по 5 голов в клетке (клеточные батареи КП-12ЛМ) с ниппельной системой поения.

Кормление несушек было фазовым, в частности в период проведения исследований птицу всех групп кормили полнорационной кормосмесью, предназначенной для первой фазы яйценоскости (кур в возрасте 21-40 недель) (табл. 1).

Таблица 1. Рецепт и питательность кормосмеси Кладка-1 для кур-несушек
Table 1. Recipe and nutritional value of Kladka-1 feed mixture for laying hens

Компонент кормосмеси / Feed mixture component		% ввода / % content															
Пшеница / <i>Wheat</i>		63,52															
Отруби пшеничные / <i>Wheat bran</i>		1,30															
Мука рыбная / <i>Fish meal</i>		2,50															
Шрот соевый / <i>Soybean meal</i>		10,00															
Шрот подсолнечниковый / <i>Sunflower meal</i>		10,00															
Масло рапсовое / <i>Rapeseed oil</i>		2,70															
Сода пищевая / <i>Baking soda</i>		0,20															
Известняк / <i>Limestone</i>		8,46															
Монокальций фосфат / <i>Monocalcium phosphate</i>		0,58															
Монохлоргидрат лизина / <i>Lysine monochlorohydrate</i>		0,10															
Соль поваренная / <i>Table salt</i>		0,20															
Метионин кормовой / <i>Methionine feed</i>		0,14															
Холин хлорид / <i>Choline chloride</i>		0,10															
Витаминно-минеральный комплекс / <i>Vitamin-mineral complex</i>		0,20															
Содержание в 100 г кормосмеси, % / <i>Content in 100 g of feed mixture, %</i>																	
ккал / <i>kcal</i>	МДж / <i>MJ</i>	обменная энергия / <i>exchange energy</i>	сырой протеин / <i>crude protein</i>	линолевая кислота / <i>linoleic acid</i>	сырая клетчатка / <i>crude fiber</i>	сырой жир / <i>crude fat</i>	метионин / <i>methionine</i>	метионин + цистин / <i>methioni + cystine</i>	лизин / <i>lysine</i>	триптофан / <i>tryptophan</i>	треонин / <i>threonine</i>	аргинин / <i>arginine</i>	кальций / <i>calcium</i>	фосфор доступный / <i>phosphorus available</i>	фосфор общий / <i>total phosphorus</i>	натрий / <i>sodium</i>	хлор / <i>chlorine</i>

Для определения качественных показателей яиц ежемесячно в течение 5 смежных дней собирали все снесённые яйца от каждой группы кур и производили их оценку не позднее, чем через сутки после снесения.

Массу яйца и его составных частей (скорлупы, белка, желтка) устанавливали методом индивидуального взвешивания с использованием электронных весов ВК-1500; упругую деформацию (прочность) скорлупы определяли на приборе ПУД-1 конструкции П.П. Царенко; толщину скорлупы – методом измерения микрометром; индекс формы яйца – штангенциркулем.

Индексы белка и желтка вскрытого яйца устанавливали расчётным методом по общепринятой формуле. При определении индексов измеряли высоту желтка, плотного слоя белка при помощи высотометра, при помощи кронциркуля – малый и большой диаметры растекания белка и продольный и поперечный диаметры желтка.

Для определения затрат кормов на единицу продукции (на 10 яиц, 1 кг яичной массы) на протяжении исследований производили ежедневный учёт потребления кормов птицей по группам. Полученные данные использовали для расчёта валового расхода корма по общепринятой методике.

Оборудование и технические средства. Исследования проводились в КрасНИИЖ ФИЦ КНЦ СО РАН с использованием российского оборудования: электронных весов ВК-1500 (Масса-К), прибора ПУД-1 конструкции П.П. Царенко, микрометра (Micron), штангенциркуля (Гарвин), высотометра (Micron), кронциркуля (Снабинструмент).

Статистическая обработка. Биометрическую обработку опытных цифровых данных проводили по методике Н.А. Плохинского в компьютерной программе «Пакет анализа для биометрической обработки зоотехнических данных» (ФИЦ КНЦ СО РАН, Россия). Достоверность разницы между подопытными группами устанавливали по t-критерию Стьюдента. Разницу между группами считали статистически значимой при $P \leq 0,05$.

Результаты исследования.

В результате исследований установлено, что наибольшие показатели массы яйца были у кур-несушек 2 опытной группы (рис. 1). По сравнению с контрольной группой у птицы 2 опытной группы достоверно увеличилась масса яйца на 2,9 % ($P \leq 0,05$), а также масса отдельных составных частей яйца (рис. 2): желтка – на 3,6 % ($P \leq 0,05$), скорлупы – на 8,0 % ($P \leq 0,05$). По показателю массы белка во 2 опытной группе по сравнению с контролем отмечалась лишь тенденция увеличения на 1,8 %. Кроме того, в 3 опытной группе также достоверно увеличилась масса скорлупы на 7,6 % ($P \leq 0,05$).

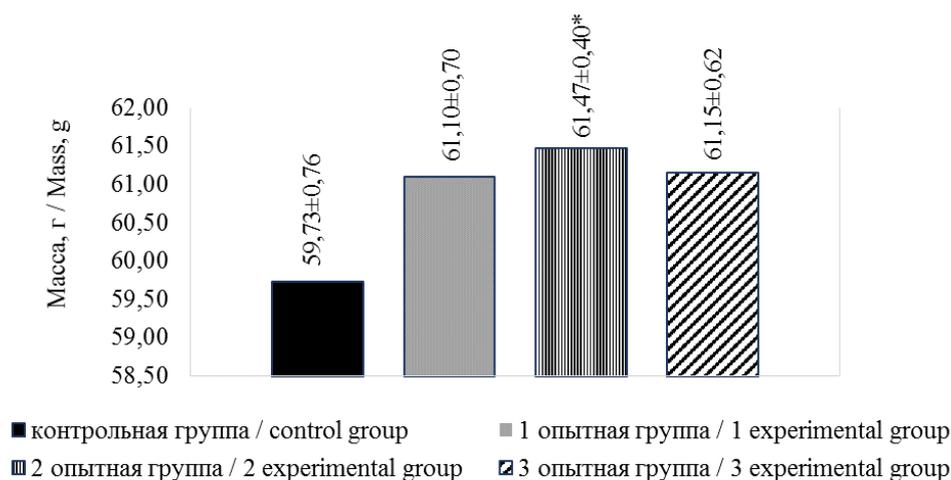


Рисунок 1. Масса яйца, г

Figure 1. Egg weight, g

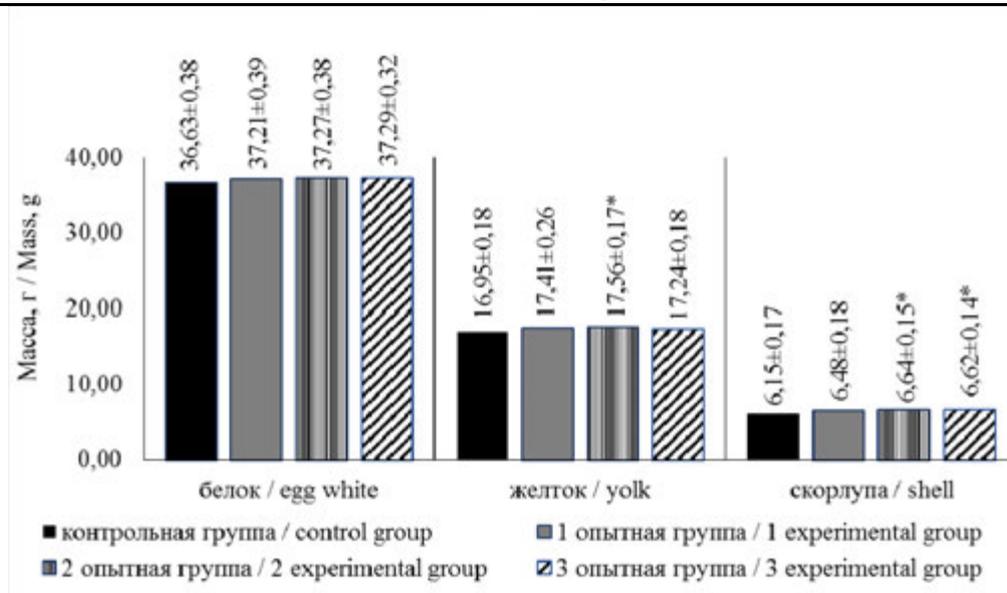


Рисунок 2. Масса составных частей яйца, г
Figure 2. Weight of egg components, g

Процентное соотношение составных частей яйца (рис. 3) соответствовало физиологической норме и не имело существенных различий по группам.

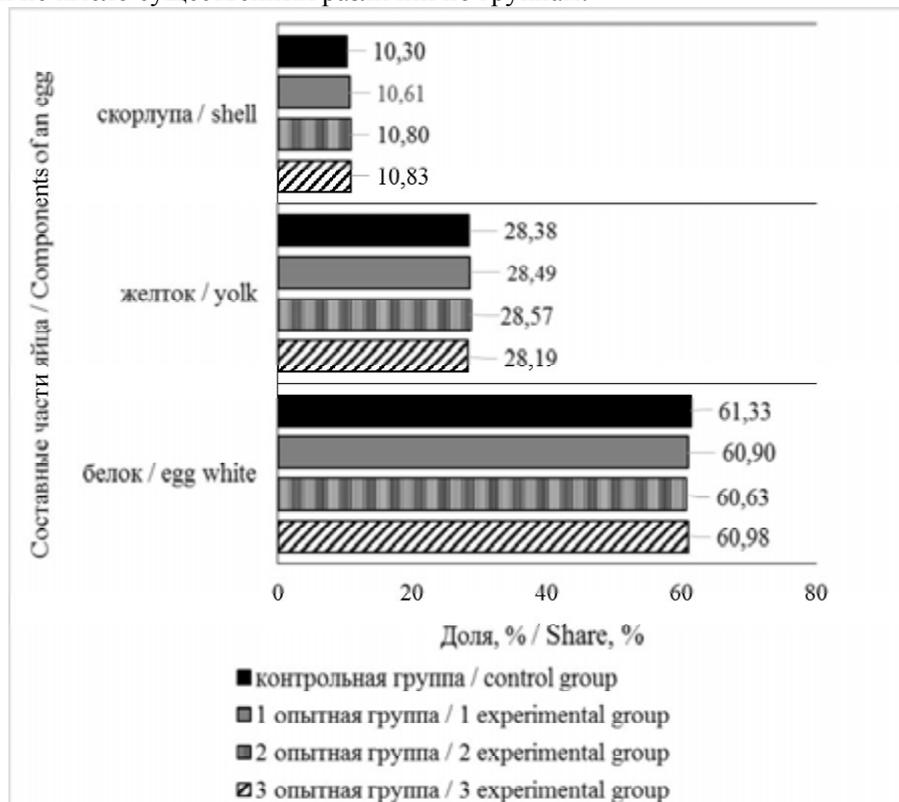


Рисунок 3. Процентное соотношение составных частей яйца
Figure 3. Percentage of egg components

Анализ качественных показателей яиц подопытных кур-несушек (табл. 2) показал, что скармливание разных дозировок исследуемой кормовой добавки не повлияло на индекс формы яйца, который по группам составлял 74,15-75,10 % и соответствовал норме. Наибольший индекс желтка был отмечен у несушек 2 опытной группы и составлял 43,0 %, что было достоверно больше аналогичного показателя контрольной группы на 0,9 п. п. ($P \leq 0,01$). По индексу белка наблюдалась только тенденция увеличения в опытных группах по сравнению с контролем на 0,10-0,14 п. п.

Таблица 2. Качественные показатели яиц подопытных кур-несушек
Table 2. Qualitative indicators of eggs from experimental laying hens

Группа / Group	Показатель / Index					
	индекс формы яйца / egg shape index	индекс белка / albumen index	индекс желтка / yolk index	отношение белка к желтку / white to yolk ratio	толщина скорлупы / shell thickness	упругая деформация / elastic deformation
	ед. измерения / unit of measurement				мкм / μm	мм / mm
	%			–		
Контрольная / Control	74,15±0,40	6,41±0,06	42,1±0,18	2,16 : 1	345,3±2,43	0,36±0,11
1 опытная / 1 experimental	74,28±0,33	6,54±0,06	42,7±0,27	2,14 : 1	354,1±2,52*	0,38±0,06
2 опытная / 2 experimental	74,92±0,24	6,55±0,06	43,0±0,28**	2,12 : 1	358,2±2,59***	0,39±0,08
3 опытная / 3 experimental	75,06±0,34	6,51±0,07	42,5±0,23	2,16 : 1	355,1±2,61**	0,37±0,04

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$

Толщина скорлупы достоверно увеличилась во всех опытных группах в сравнении с контрольной: в 1 – на 2,5 % ($P \leq 0,05$), в 3 – на 2,8 % ($P \leq 0,01$), однако наибольший показатель толщины скорлупы был у несушек 2 опытной группы и превышал контроль на 3,7 % ($P \leq 0,001$).

В результате исследований было отмечено снижение затрат кормов на единицу продукции (рис. 4) в опытных группах, по сравнению с контрольной, однако наибольшая разница с контролем установлено во 2 опытной группе: затраты корма на 10 яиц снизились на 7,3 %, затраты корма на 1 кг яичной массы – на 9,2 %.

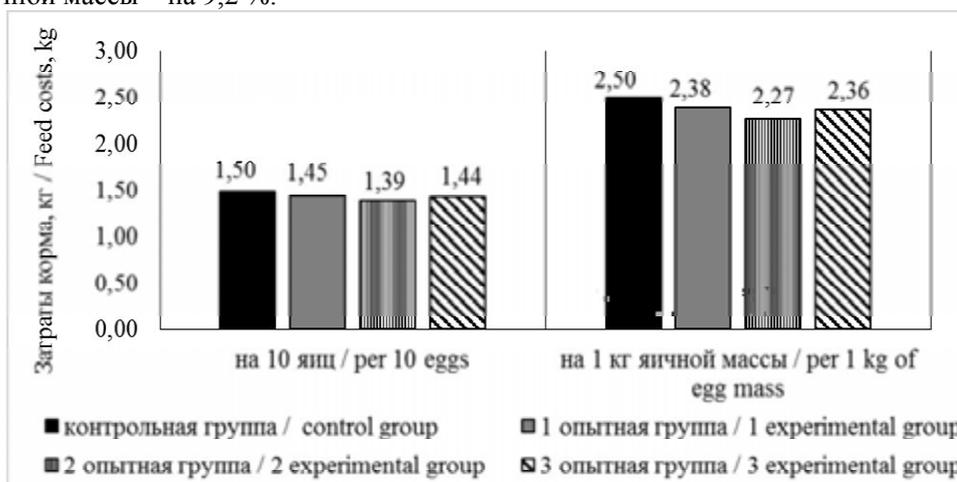


Рисунок 4. Затраты корма на единицу продукции за период опыта, кг
Figure 4. Feed costs per unit of production during the experimental period, kg

Обсуждение полученных результатов.

Полученные результаты исследований показали, что скармливание курам-несушкам промышленного стада минеральной кормовой добавки ТоксиНон на основе монтмориллонита (бентонита) положительно отразилось на качественных показателях яиц: у кур увеличилась масса яйца на 2,9 %, желтка – на 3,6 %, скорлупы – на 8,0 %, толщина скорлупы – на 3,7 %, индекс желтка – на 0,9 п.п., а также снизились затраты кормов на единицу продукции (на 10 яиц – на 7,3 %, на 1 кг яичной массы – на 9,2 %).

Полученные результаты согласуются с исследованиями Четвериковой О.П. с коллегами (2012), установившими, что при скармливании курам бентонитовой глины с адаптогеном у птицы улучшились качественные показатели яиц, в частности масса яйца – на 10,4 % и толщина скорлупы – на 14,3 %. Кроме того, подкормка несушек бентонитом способствовала стимуляции начала яйцекладки и повышению интенсивности яйценоскости на 10 %.

Исследования Норбабаевой С.Т. с соавторами (2023) также подтвердили, что использование бентонита в рационе кур оказывает положительное эффективное влияние на качество яиц, в особенности на толщину скорлупы, которая увеличилась на 0,6-1,7 %, а также произошло увеличение соотношения белка к массе яиц на 0,3-1,0 %, желтка – на 0,9-1,0 %. В опыте установлено, что потребление птицей бентонитовых глин позволяет благотворно влиять на переваримость и усвояемость питательных и минеральных веществ корма в организме.

Результатами исследований Дзагурова Б.А. с коллегами (2023) установлено, что включение в состав комбикормов для кур-несушек бентонитовой глины обеспечивает достоверное увеличение яйценоскости птицы на 8,3 %, конверсии корма на производства 10 яиц – на 7,1 %, выхода инкубационного яйца – на 1,9 % и сохранности поголовья – на 1 %.

Улучшение качественных показателей яиц подопытных кур может объясняться тем, что скармливание птице испытываемой кормовой добавки способствует дополнительной активизации обмена веществ в организме и лучшей переваримости и использованию питательных веществ кормов, что подтверждается результатами ранее проведенного нами физиологического опыта (Терещенко В.А., 2021).

Наши предположения подтверждаются рядом учёных, изучавших влияние природных глинистых минералов посредством их скармливания на организм и продуктивность сельскохозяйственной птицы. Так, Ouachem D et al. (2015) утверждают, что использование глин в кормлении птицы сопровождается положительными показателями усвояемости питательных веществ и коэффициентов конверсии кормов, поскольку природные глинистые минералы способствуют гигиеничности пищеварительного тракта птицы, выводя различного рода токсины, увеличивают время прохождения пищевого кома по кишечнику и способствуют наибольшему удержанию воды в организме, снижая влажность помета. Помимо этого, добавление природных глин в рационы позволяет улучшить качественные показатели яиц кур-несушек (толщина и прочность скорлупы, масса яйца), а также вкусовые качества мяса птицы и его органолептические характеристики, увеличивает простоты живой массы и выход мяса.

Хугаева О.М. и Дзагуров Б.А. (2023) при добавлении в рацион кур-несушек бентонитовой подкормки в результате балансового опыта установили, что у птицы достоверно повысились коэффициенты переваримости питательных веществ корма в пределах 1,0-4,0 %, а также лучше усваивался азот корма на 6,6 %.

В исследованиях Павловец Е. (2016) сказано, что кормовые добавки на основе природных минеральных глин способствуют нормализации общего и минерального обменов, что позволяет повысить устойчивость организма к различным заболеваниям и продуктивность животных.

Современная научная литература располагает значительным количеством данных, доказывающих положительное влияние природных минеральных сорбентов и кормовых добавок на их основе на животный организм.

Описано, что глинистые минералы, в частности монтмориллонит (бентонит), цеолит выступают в организме птицы в качестве пластического строительного материала при формировании

костяка и образовании скорлупы яиц, ускоряют метаболизм, связывают и транспортируют биологически активные вещества, регулируют их уровень, обменивая катионы, способствуют поддержанию кислотно-щелочного баланса и осмотического гомеостаза, а также необходимы как часть активатора гормонов и ферментов (Alagawany M et al., 2021; Филиппова О.Б. и др., 2019).

Механизм действия в животном организме монтмориллонита (бентонита), основного компонента изучаемой кормовой добавки, проявляется через его катионообменные свойства, которые используются для регуляции состава электролитов пищеварительного тракта, а через них – минерального обмена и кислотно-щелочного равновесия организма. Кроме этого, посредством выброса в пищеварительный тракт свободных радикалов кислорода, монтмориллонит обеспечивает бактерицидный эффект, а за счёт адсорбционных, ионообменных свойств он вступает в обмен с ионами вредных химических веществ, которые скапливаются на его активной поверхности, и выводит их из организма (Alagawany M et al., 2021).

Также известно, что при поедании птицей бентонита в её ротовой полости происходит наиболее активное выделение слюны, в результате чего в зобном отделе потреблённый корм лучше смачивается. Биологическое действие бентонитовой глины в организме проявляется в эффективном выведении из желудочно-кишечного тракта лишней жидкости, различных эндотоксинов и вредных газов, что позволяет исключить их негативное токсическое влияние на организм, предотвращает диарею, снижает уровень аммиака, улучшая эффективность преобразования и переваривания корма (Кичеева А.Г. и Терещенко В.А., 2021).

Использование природных минералов в кормлении птицы оказывает благоприятный эффект на организм, поскольку, помимо всего прочего, они устраняют побочное действие антибиотиков, приводящее к уничтожению не только вредной, но и полезной кишечной микробиоты; защищают слизистую кишечника от патогенной микрофлоры; нейтрализуют микотоксины кормов, стимулируют процессы детоксикации печени, выведение тяжёлых металлов и радиоактивных элементов (Machacek M et al., 2010; Кван О.В. и др., 2023; Овчинников А.А. и др., 2023).

Таким образом, информация, представленная в современных научных источниках о влиянии природных минералов и кормовых добавок на их основе на организм птицы, её продуктивность и качество получаемой продукции, подтверждает согласованность полученных в нашем исследовании результатов с российскими и зарубежными учёными.

Заключение.

На основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

– включение в рацион кур-несушек промышленного стада кормовой добавки ТоксиНон оказало положительное влияние на качественные показатели яиц и способствовало снижению затрат кормов на образование единицы продукции;

– наиболее эффективная дозировка скармливания изученной кормовой добавки для кур-несушек – 0,25 % от массы кормосмеси, поскольку она позволила получить лучшие качественные показатели яиц, а именно: увеличить среднюю массу яйца – на 2,9 %, массу желтка – на 3,6 %, массу скорлупы – на 8,0 %, толщину скорлупы – на 3,7 %, индекс желтка – на 0,9 п. п., а также снизить затраты корма на 10 яиц на 7,3 %, на 1 кг яичной массы – на 9,2 %.

Список источников

1. Бентонитовая глина в кормлении сельскохозяйственных животных: рекомендации / О.В. Иванова и др.; Красноярский НИИЖ ФИЦ КНЦ СО РАН. Красноярск, 2017. 24 с. [Ivanova OV et al. Bentonitovaja glina v kormlenii sel'skhozjajstvennyh zhivotnyh: rekomendacii. Krasnojarsk; 2017:24 p. (*In Russ.*)].
2. Биологически активная добавка «Эльтон» в кормлении кур-несушек Хайсекс коричневый / С.И. Николаев, А.Н. Струк, А.Г. Найдова, А.А. Тарушкин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 3(47).

С. 136-141. [Nikolaev SI, Struk AN, Naydova AG, Tarushkin AA. Biologically active additive «Elton» in the feeding of laying hens hajseks brown. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2017;3(47):136-141. (*In Russ.*)].

3. Биорост. ТоксиНон® адсорбент микотоксинов. [Электронный ресурс]. URL: <https://biorost.su/production/kormovye-dobavki-/toksinon@/> (дата обращения: 20.08.2023). [Biorost. ToksiNon® adsorbent mikotoksinov. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://biorost.su/production/kormovye-dobavki-/toksinon@/> (data obrashhenija: 20.08.2023). (*In Russ.*)].

4. Большакова Л.П., Кузнецова Т.С. Использование природной минеральной добавки в кормлении кур-несушек // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. материалов XV Междунар. науч.-практ. конф. в 2 кн. (г. Барнаул, 12-13 марта 2020 г.). Барнаул: Алтайский гос. аграрный ун-т, 2020. Т. 2. С. 111-112. [Bol'shakova LP, Kuznecova TS. Ispol'zovanie prirodnoj mineral'noj dobavki v kormlenii kur-nesushek (Conference proceedings) Agrarnaja nauka – sel'skomu hozjajstvu: sb. materialov XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v 2 kn. (g. Barnaul, 12-13 marta 2020 g.). Barnaul: Altajskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. 2020;2:111-112. (*In Russ.*)].

5. Васильева Н.В., Цой З.В. Использование нетрадиционных кормовых добавок в рационах ремонтного молодняка кур-несушек в условиях Дальневосточного региона // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. № 2(54). С. 61-64. [Vasilyeva NV, Tsoy ZV. Use of nontraditional feed additives in the diets of the replacement chicks (laying type) in the climate of the Far East. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2020;2(54):61-64. (*In Russ.*)]. doi: 10.24411/1999-6837-2020-12023

6. Влияние энтеросорбентов на микробное разнообразие слепой кишки цыплят-бройлеров при скармливании полусинтетического рациона / О.В. Кван, С.А. Мирошников, Е.В. Шейда, Е.А. Сизова, И.В. Маркова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 203-215. [Kvan OV, Miroshnikov SA, Sheida EV, Sizova EA, IV Markova. The effect of enterosorbents on microbial diversity of the blind intestine in broiler chickens on a semi-synthetic diet. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):203-215. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-203

7. Дзагуров Б.А., Хугаева О.М., Абаев А.А. Гранулированные комбикорма в сочетании с бентонитом в рационе кормления кур-несушек // Известия Горского государственного аграрного университета. 2023. Т. 60-1. С. 60-65. [Dzagurov BA, Khugaeva OM, Abaev AA. Granular compound feed in combination with bentonite in the diet of laying hens. Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2023;60-1:60-65. (*In Russ.*)]. doi: 0.54258/20701047_2023_60_1_60

8. Динамика живой массы молодняка кур при применении кормовых добавок местного происхождения / З.В. Цой, Н.В. Васильева, Ю.П. Никулин, О.А. Никулина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2(88). С. 287-290. [Tsoy ZV, Vasil'eva NV, Nikulin JuP, Nikulina OA. Dynamics of live weight of young chickens when using feed additives of local origin. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;2(88):287-290. (*In Russ.*)]. doi: 10.37670/2073-0853-2021-88-2-287-290

9. Калоев Б.С., Дзеранова А.В. Последствие йодных подкормок на физиологические и продуктивные показатели кур-несушек // Известия Горского государственного аграрного университета. 2014. Т. 51. № 4. С. 165-170. [Kaloev BS, Dzeranova AV. The effect of iodine nutrition on laying hens' physiological and productive indexes. Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2014;51(4):165-170. (*In Russ.*)].

10. Кичеева А.Г., Терещенко В.А. Перспективы использования природных глинистых минералов в животноводстве (обзор) // Аграрный научный журнал. 2021. № 12. С. 88-93. [Kicheeva AG, Tereshhenko VA. Prospects for the use of natural clay minerals in animal husbandry (review). The Agrarian Scientific Journal. 2021;12:88-93. (*In Russ.*)]. doi: 10.28983/asj.y2021i12pp88-93

11. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-генетические методы определения микрофлоры кишечника / И.А. Егоров и др. Сергиев Посад: ВНИТИП РАСХН, 2013. 51 с. [Egorov IA et al. Metodika provedeniya nauchnyh i proizvodstvennyh issledovanij po kormleniju sel'skohozjajstvennoj pticy. Molekuljarno-geneticheskie metody opredelenija mikroflory kischechnika. Sergiev Posad: VNITIP RASHN; 2013:51 p. (*In Russ.*)].

12. Морфобioхимические показатели крови цыплят-бройлеров при применении кремнийсодержащей кормовой добавки / Л.Л. Мусабаева, Е.А. Сизова, Я.В. Лутковская, А.П. Иванищева // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 2. С. 95-106. [Musabaeva LL, Sizova EA, Lutkovskaya YaV, Ivanishheva AP. Morphobiochemical parameters of blood of broilers using a silicon-containing feed additive. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(2):95-106. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-2-95
13. Наумова Л.И., Ключников М.Т., Ключникова Н.Ф. Кормовая добавка нового поколения в птицеводстве // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 1. С. 67-69. doi: 10.30850/vrsn/2019/1/67-69. [Naumova LI, Klyuchnikov MT, Klyuchnikova NF. New generation feed additive in poultry breeding. Vestnik of the Russian agricultural science. 2019;1:67-69. (*In Russ.*)]. doi: 10.30850/vrsn/2019/1/67-69
14. Норбабаева С.Т., Эргашев Д.Д., Бобозода О. Влияние бентонитов Таджикистана на морфологические качества яиц кур родительского стада // Инновационные достижения науки и техники АПК: сб. науч. труд. Междунар. науч.-практ. конф., (г. Самара, 28 февр.-2 марта 2023 г.). Кинель: Самарский государственный аграрный университет, 2023. С. 480-485. [Norbabaeva ST, Ergashev DD, Bobozoda O. Influence of bentonites of Tajikistan on the morphological quality of eggs of hens of the parent flock. (Conference proceedings) Innovacionnyye dostizhenija nauki i tehniki APK: sb. nauch. trud. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (Samara, 28 fevr.-2 marta 2023 g.). Kinel': Samarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet; 2023:480-485. (*In Russ.*)].
15. Оценка постнатального развития ремонтного молодняка родительского стада кур мясного направления продуктивности на рационе с биологически активными добавками / А.А. Овчинников, Л.Ю. Овчинникова, Ю.В. Матросова, Т.А. Шепелева, С.В. Мокин // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 1. С. 144-155. [Ovchinnikov AA, Ovchinnikova LYu, Matrosova YuV, Shepeleva TA, Mokin SV. Assessment of postnatal development of replacement young animals of the parent flock of meat chickens on a diet with biologically active additives. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(1):144-155. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-144
16. Павловец Е. Использование натуральной минеральной добавки в животноводстве // Белорусское сельское хозяйство. 2016. № 5. С. 38-41. [Pavlovec E. Ispol'zovanie natural'noj mineral'noj dobavki v zhivotnovodstve. Belorusskoe sel'skoe hozjajstvo. 2016;5:38-41. (*In Russ.*)].
17. Применение бентонита и адаптогена в кормлении кур-несушек / О.П. Четверикова и др. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2012. № 1(224). С. 73-76. [Chetverikova OP et al. The use of bentonite and adaptogen in feeding laying hens. Siberian Herald of Agricultural Science. 2012;1(224):73-76. (*In Russ.*)].
18. Промышленное птицеводство: монография / В.И. Фисинин и др. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, 2016. 534 с. [Fisinin VI et al. Promyshlennoe pticevodstvo: monografija. 6-e izd., pererab. i dop. Moscow: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij i tehnologicheskij institut pticevodstva; 2016:534 p. (*In Russ.*)].
19. Святковский А.А. Новое средство для сохранения здоровья сельскохозяйственной птицы // Птицеводство. 2015. № 4. С. 37-39. [Svyatkovskiy AA. A new preparation maintaining health in poultry. Ptitsevodstvo. 2015;4:37-39. (*In Russ.*)].
20. Терещенко В.А. Использование минеральной кормовой добавки для повышения переваримости и усвоения питательных веществ рациона у кур-несушек // Птицеводство. 2021. № 10. С. 20-24. [Tereshhenko VA. A mineral feed additive improving the digestibility and retention of dietary nutrients in laying hens. Ptitsevodstvo. 2021;10:20-24. (*In Russ.*)]. doi: 10.33845/0033-3239-2021-70-10-20-24
21. Филиппова О.Б., Кийко Е.И., Маслова Н.И. Способ приготовления энтеросорбента для животных: пат. 2706549 Рос. Федерация. Заявл. 04.12.2018; опубл. 19.11.2019, Бюл. № 32. [Filipova OB, Kijko EI, Maslova NI. Method for preparation of enterosorbent for animals: pat. 2706549 Ros. Federatsiya. Zayavl. 04.12.2018; opubl. 19.11.2019, Byul. № 32. (*In Russ.*)].
22. Хугаева О.М., Дзагуров Б.А. Переваримость питательных веществ и усвоение азота курами-несушками при скормливании гранулированных комбикормов в сочетании с бентонитом //

Известия Горского государственного аграрного университета. 2023. Т. 60-3. С. 15-20. [Khugaeva OM, Dzagurov VA. Nutrient digestibility and nitrogen uptake laying hens, when feeding granular compound feed in combination with bentonite. Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2023;60-3:15-20. (In Russ.)]. doi: 10.54258/20701047-2023-603-15

23. Шаронина Н.В., Мухитов А.З., Дежаткина С.В. Содержание минеральных элементов в тканях кур-несушек при включении в рацион соевой окары // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 4 (40). С. 169-173. [Sharonina NV, Mukhitov AZ, Dezhatkina SV. Content of mineral elements in tissues of laying hens in case of application of soy okara in their rations. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2017;4(40):169-173. (In Russ.)]. doi: 10.18286/1816-45-2017-4-169-173

24. Эффективность использования кормовой добавки в рецептуре комбикормов для сельскохозяйственной птицы / В.В. Шкаленко, А.К. Карапетян, А.А. Баксарова, Ю.Г. Букаева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2(62). С. 298-305. [Shkalenko VV, Karapetyan AK, Baksarova AA, Bukaeva YuG. The effectiveness of the use of feed additives in the formulation of compound feeds for poultry. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2021;2(62):298-305. (In Russ.)]. doi: 10.32786/2071-9485-2021-02-31

25. Alagawany M, Elnesr SS, Farag MR, Tiwari R, Yatoo MI, Karthik K, Michalak I, Dhama K. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health – a comprehensive review. Veterinary Quarterly. 2021;41(1):1-29. doi: 10.1080/01652176.2020.1857887

26. Machacek M, Vecerek V, Mas N, Suchy P, Strakova E, Serman V, Herzig I. Effect of the feed additive clinoptilolite (zeofeed) on nutrient metabolism and production performance of laying hens. Acta Veterinaria Brno. 2010;79:29-34. doi: 10.2754/avb201079S9S029

27. Ouachem D, Kaboul N, Meredef A, F. Abdessemed, Gaid ZA. Effects of clay on performance, moisture of droppings and health status of poultry: an overview World's Poultry Science Journal. 2015;71(1):184-189. doi: 10.1017/S004393391500015X

28. Swiatkiewicz S, Koreleski A, Arczewska-Włosek A. Effect of prebiotic fructans and organic acids on mineral retention in laying hens. Acta Agriculturae Scandinavica Section Animal Science. 2010;60(2):125-128. doi: 10.1080/09064702.2010.482593

References

1. Ivanova OV et al. Bentonite clay in feeding farm animals: recommendations. Krasnoyarsk Research Institute of Housing, Federal Research Center KSC SB RAS. Krasnoyarsk; 2017:24 p.

2. Nikolaev SI, Struk AN, Naydova AG, Tarushkin AA. Biologically active additive «Elton» in the feeding of laying hens hajseks brown. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2017;3(47):136-141.

3. Biogrowth. ToxiNon® mycotoxin adsorbent. [Internet]. Available from: <https://biorost.su/production/kormovye-dobavki-/toksinon@/> (cited: 2023 Aug 20).

4. Bolshakova LP, Kuznetsova TS. The use of natural mineral additives in feeding laying hens (Conference proceedings) Agricultural Science - Agriculture: Collection of materials of the XV International. scientific-practical conf. in 2 books. (Barnaul, March 12-13, 2020). Barnaul: Altai State. Agrarian University. 2020;2:111-112.

5. Vasilyeva NV, Tzoy ZV. Use of nontraditional feed additives in the diets of the replacement chicks (laying type) in the climate of the Far East. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2020;2(54):61-64. doi: 10.24411/1999-6837-2020-12023

6. Kvan OV, Miroshnikov SA, Sheida EV, Sizova EA, Markova IV. The effect of enterosorbents on microbial diversity of the blind intestine in broiler chickens on a semi-synthetic diet. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):203-215. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-203

7. Dzagurov BA, Khugaeva OM, Abaev AA. Granular compound feed in combination with bentonite in the diet of laying hens. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2023;60-1:60-65. doi: 10.54258/20701047_2023_60_1_60
8. Tsoy ZV, Vasil'eva NV, Nikulin JuP, Nikulina OA. Dynamics of live weight of young chickens when using feed additives of local origin. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;2(88):287-290. doi: 10.37670/2073-0853-2021-88-2-287-290
9. Kaloev BS, Dzeranova AV. The effect of iodine nutrition on laying hens' physiological and productive indexes. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2014;51(4):165-170.
10. Kicheeva AG, Tereshhenko VA. Prospects for the use of natural clay minerals in animal husbandry (review). *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;12:88-93. doi: 10.28983/asj.y2021i12pp88-93
11. Egorov IA et al. Methodology for conducting scientific and production research on feeding poultry. *Molecular genetic methods for determining intestinal microflora*. Sergiev Posad: VNITIP RASHN; 2013:51 p.
12. Musabaeva LL, Sizova EA, Lutkovskaya YaV, Ivanishheva AP. Morphobiochemical parameters of blood of broilers using a silicon-containing feed additive. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(2):95-106. doi: 10.33284/2658-3135-105-2-95
13. Naumova LI, Klyuchnikov MT, Klyuchnikova NF. New generation feed additive in poultry breeding. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2019;1:67-69. doi: 10.30850/vrsn/2019/1/67-69
14. Norbabaeva S.T., Ergashev D.D., Bobozoda O. Influence of bentonites of Tajikistan on the morphological qualities of eggs of parent flock chickens (Conference proceedings) Innovative achievements of science and technology of the agro-industrial complex: collection of scientific work. Intl. scientific-practical conf., (Samara, February 28-March 2, 2023). Kinel: Samara State Agrarian University, 2023:480-485.
15. Ovchinnikov AA, Ovchinnikova LYu, Matrosova YuV, Shepeleva TA, Mokin SV. Assessment of postnatal development of replacement young animals of the parent flock of meat chickens on a diet with biologically active additives. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(1):144-155. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-144
16. Pavlovets E. The use of natural mineral additives in animal husbandry. *Belarusian Agriculture*. 2016;5:38-41.
17. Chetverikova OP et al. The use of bentonite and adaptogen in feeding laying hens. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2012;1(224):73-76.
18. Fisinin VI et al. *Industrial poultry farming: monograph*. 6th ed., revised. and additional Moscow: All-Russian Scientific Research and Technological Institute of Poultry Farming; 2016:534 p.
19. Svyatkovskiy AA. A new preparation maintaining health in poultry. *Poultry Farming*. 2015;4:37-39.
20. Tereshhenko VA. A mineral feed additive improving the digestibility and retention of dietary nutrients in laying hens. *Poultry farming*. 2021;10:20-24. doi: 10.33845/0033-3239-2021-70-10-20-24
21. Filippova OB, Kijko EI, Maslova NI. Method for preparation of enterosorbent for animals: pat. 2706549 Ros. Federatsiya. Appl. 04.12.2018; publ. 19.11.2019, Bul. № 32.
22. Khugaeva OM, Dzagurov BA. Nutrient digestibility and nitrogen uptake laying hens, when feeding granular compound feed in combination with bentonite. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2023;60-3:15-20. doi: 10.54258/20701047-2023-603-15
23. Sharonina NV, Mukhitov AZ, Dezhatkina SV. Content of mineral elements in tissues of laying hens in case of application of soy okara in their rations. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2017;4(40):169-173. doi: 10.18286/1816-45-2017-4-169-173
24. Shkalenko VV, Karapetyan AK, Baksarova AA, Bukaeva YuG. The effectiveness of the use of feed additives in the formulation of compound feeds for poultry. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2021;2(62):298-305. doi: 10.32786/2071-9485-2021-02-31

25. Alagawany M, Elnesr SS, Farag MR, Tiwari R, Yatoo MI, Karthik K, Michalak I, Dhama K. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health – a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*. 2021;41(1):1-29. doi: 10.1080/01652176.2020.1857887
26. Machacek M, Vecerek V, Mas N, Suchy P, Strakova E, Serman V, Herzig I. Effect of the feed additive clinoptilolite (zeofeed) on nutrient metabolism and production performance of laying hens. *Acta Veterinaria Brno*. 2010;79:29-34. doi: 10.2754/avb201079S9S029
27. Ouachem D, Kaboul N, Meredef A, F. Abdessemed, Gaid ZA. Effects of clay on performance, moisture of droppings and health status of poultry: an overview *World's Poultry Science Journal*. 2015;71(1):184-189. doi: 10.1017/S004393391500015X
28. Swiatkiewicz S, Koreleski A, Arczewska-Włosek A. Effect of prebiotic fructans and organic acids on mineral retention in laying hens. *Acta Agriculturae Scandinavica Section Animal Science*. 2010;60(2):125-128. doi: 10.1080/09064702.2010.482593

Информация об авторах:

Вера Александровна Терещенко, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела животноводства, Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск, Россия, 660036, г. Красноярск, пр. Свободный, 66, тел.: +7 (391) 202-19-73.

Information about the authors:

Vera A Tereshchenko, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Animal Husbandry Department, Krasnoyarsk Scientific Research Institute of Agriculture – Separate Division of Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center” of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, 66, Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660036, phone: +7 (391) 202-19-73.

Статья поступила в редакцию 26.12.2023; одобрена после рецензирования 07.02.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 26.12.2023; approved after reviewing 07.02.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Научная статья

УДК 639.111.11:639.184(470.26)

doi:10.33284/2658-3135-107-1-107

Прогноз пантовой продуктивности европейского благородного оленя в условиях Калининградской области

Анна Сергеевна Баркова¹, Евгений Алексеевич Зель², Василий Владимирович Верхотуров³, Евгения Игоревна Шурманова⁴

^{1,3,4}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

²ООО «Сафари Парк», Калининград, Россия

¹barkova.as@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2602-6810>

²zell.05zell@mail.ru

³vasilij.verkhoturov@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2979-9867>

⁴evgenijashurmanova@rambler.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2466-8016>

Аннотация. В настоящее время большой интерес вызывает такая отрасль сельского хозяйства, как пантовое оленеводство. Преимущественно для получения пантов используют маралов, однако на европейской территории страны для получения пантов и мясной продукции занимаются разведением европейского благородного оленя. Целью работы являлась разработка критериев прогнозирования пантовой продуктивности у самцов европейского благородного оленя. Было изучено поголовье самцов-рогачей, их возрастной состав в структуре стада в оленеводческом хозяйстве Калининградской области в период 2017-2021 гг. Для анализа пантовой продуктивности и массы животных изучены отчетные данные за 2017-2020 гг. Определено, что увеличение массы пантов наблюдается у самцов преимущественно до 6-летнего возраста, после чего ежегодное увеличение массы пантов находится в пределах 2-2,5 %. Для прогнозирования пантовой продуктивности опирались на массу самцов оленей в возрасте двух лет (олени-перворожки). У 37,1 % самцов масса находилась в диапазоне от 91 до 100 кг. Средняя масса пантов при первой срезке у европейского благородного оленя составляет 2,2 кг. Для анализа прогноза учитывали массу пантов при первой и второй или первой и третьей срезке у животных разных весовых категорий. Полученные результаты показали, что наибольшую пантовую продуктивность и прирост массы пантов можно ожидать от оленей с живой массой при первой срезке пантов от 81 до 100 кг, что позволит выполнять планирование в перспективе использования самцов для получения пантовой продукции, разведения или в охотничьих целях.

Ключевые слова: европейский благородный олень, панты, живая масса, пантовая продуктивность, самцы-рогачи

Для цитирования: Прогноз пантовой продуктивности европейского благородного оленя в условиях Калининградской области / А.С. Баркова, Е.А. Зель, В.В. Верхотуров, Е.И. Шурманова // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 107-117. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-107>

Original article

Forecast of antler productivity of European red deer in the conditions of Kaliningrad region

Anna S Barkova¹, Evgeny A Zel², Vasily V Verkhoturov³, Evgenia I Shurmanova⁴

^{1,3,4} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

²Safari Park, Kaliningrad, Russia

¹barkova.as@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2602-6810>

²zell.05zell@mail.ru

³vasilij.verkhoturov@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2979-9867>

⁴evgenijashurmanova@rambler.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2466-8016>

Abstract. Nowadays such branch of agriculture as antler reindeer breeding is of great interest. Mainly deer are used to produce antlers, but in the European territory of the country, they breed European red deer to obtain antlers and meat products. The purpose of work was a development of criteria of predic-

tion of antler productivity in males of the European red deer. The herd of male European red deer, their age composition in the structure of the herd in the reindeer breeding farm of the Kaliningrad region in the period of 2017-2021 was studied. To analyse antler productivity and animal weight, the reporting data for 2017-2020 were studied. It has been determined that an increase in the mass of antlers is observed in males mainly until the age of 6, after which the annual increase To predict panto productivity, we relied on the weight of male deer at the age of two years (first-horned deer). In 37.1% of males weight was in the range from 91 to 100 kg. The average weight of antlers at the first cutting of the European red deer is 2.2 kg. To analyze the prognosis, we took into account the weight of antlers during the first and second or first and third cuts in animals of different weight categories. The results obtained showed that the greatest antler productivity and antler weight gain can be expected from deer with a live weight at the first cutting of antler from 81 to 100 kg, which will allow planning in the future of using males for antler production, breeding or hunting purposes.

Keywords: European red deer, antlers, live weight, antler productivity, horned males

For citation: Barkova AS, Zel EA, Verkhoturov VV, Shurmanova EI. Forecast of antler productivity of European red deer in the conditions of Kaliningrad region. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):107-117. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-107>

Введение.

В настоящее время в мире отмечается устойчивая тенденция к включению в рацион питания биологически активных веществ различного происхождения, в зарубежных странах уровень их потребления доходит до 90 %. Одними из популярных и эффективных биологических добавок являются продукты, полученные из пантов оленей, в связи с высоким уровнем содержания микроэлементов и биологически активных компонентов (Tajchman K et al., 2022). Наибольший интерес и рынок сбыта представлен азиатскими странами, но есть спрос и у отечественных фармацевтических компаний (Межов С.И. и др., 2019; Dalisova NA et al., 2019). Для получения пантовой продукции разводят преимущественно пантовых оленей сибирских подвидов, в частности марала, пятнистого оленя, изюбря. В России занимаются оленеводством, северным оленеводством и мараловодством около 20 регионов (Беленюк Д.Н. и Беленюк Н.Н., 2019) В последнем десятилетии лидерами в стране по развитию мараловодства устойчиво являются Республика Алтай и Алтайский край, где сосредоточено более 90 % поголовья маралов (Лубенникова М.В. и др., 2021). На европейских территориях страны в оленеводческих хозяйствах предпочтение отдаётся европейскому благородному оленю (Лубенникова М.В. и др., 2020). Кроме пантовой продукции данные животные используются в охотничьих угодьях и для получения мясных деликатесов (Патиева А.М. и др., 2023). В связи с этим актуальным является прогнозирование продуктивности у самцов оленей для определения их дальнейшего хозяйственного использования с целью получения пантовой продукции или для использования в охотничьих хозяйствах (Казанцев Д.А. и др., 2021).

Цель-исследования.

Разработка критериев прогнозирования пантовой продуктивности у самцов европейского благородного оленя для определения дальнейшего хозяйственного использования.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Европейские благородные олени.

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. Исследование проведено на базе ООО «Сафари Парк» Калининградской области. На предприятии содержатся европейские благородные олени в количестве около 1300 голов разного возраста. Поголовье было сформировано за счёт импортных оленей, ввезённых из оленеводческих хозяйств Польши и Литвы. Деятельность ООО «Сафари Парк» направлена на получение пантовой и мясной продукции. На предприятии ведётся поголовный учёт пантовой продуктивности у самцов, а также ежегодная перевеска в конце ноября всех возрастных групп животных.

Для анализа пантовой продуктивности и веса животных изучены инвентарные описи животных и отчёты о движении скота по форме № СП-51 за 2017-2021 гг.

Оборудование и технические средства. Взвешивание оленей проводилось в ноябре в период ежегодной перевески и обработки животных. Станок гидравлический для оленей «Магnum» (ООО «ДирЛенд», Россия).

Статистическая обработка. Все материалы обработаны статистически с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» и применением программы «Excel» («Microsoft», США). Статистическая обработка включала расчёт среднего значения (M) и стандартные ошибки среднего ($\pm\sigma$). Для определения достоверности показателей использовали t-критерий Стьюдента.

Результаты исследований.

ООО «Сафари Парк» Калининградской области является динамически развивающимся предприятием, ежегодно наращивающим поголовье животных. Проведён анализ структуры стада по самцам-производителям (рис. 1). Отмечено ежегодное увеличение количества самцов-рогачей.

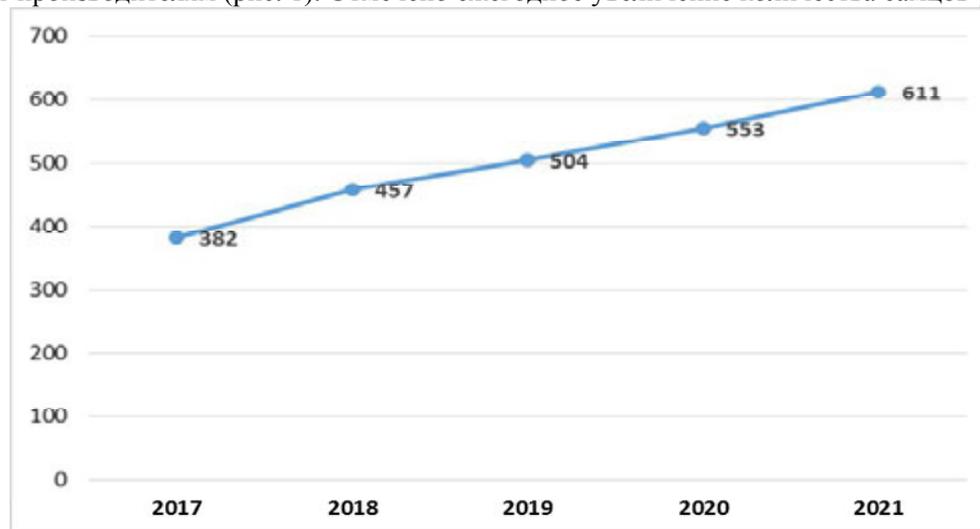


Рисунок 1. Поголовье оленей-рогачей в ООО «Сафари Парк»
Figure 1. Population of horned reindeer in LLC Safari Park

В 2018 году произошел прирост поголовья на 19,6 % за счёт дополнительной покупки животных в Литве. В дальнейшем зафиксирован постепенный рост количества самцов в пределах 9,7-10,5 % ежегодно за счёт размножения собственных животных.

При анализе структуры стада по самцам продуктивного возраста отмечено, что на предприятии, начиная с 2017 года, увеличивается количество возрастных рогачей в составе стада (рис. 2). В 2017 году наибольший возраст рогачей составил 6 лет, и доля этих животных была в пределах 7,9 %, а к 2021 году наибольший возраст самцов увеличился до 10 лет (2,3 %), при этом в структуре стада сократилось количество самцов 2-летнего возраста до 20 % (в 2020 г. – 27,1 %, в 2019 г. – 28,2 %).

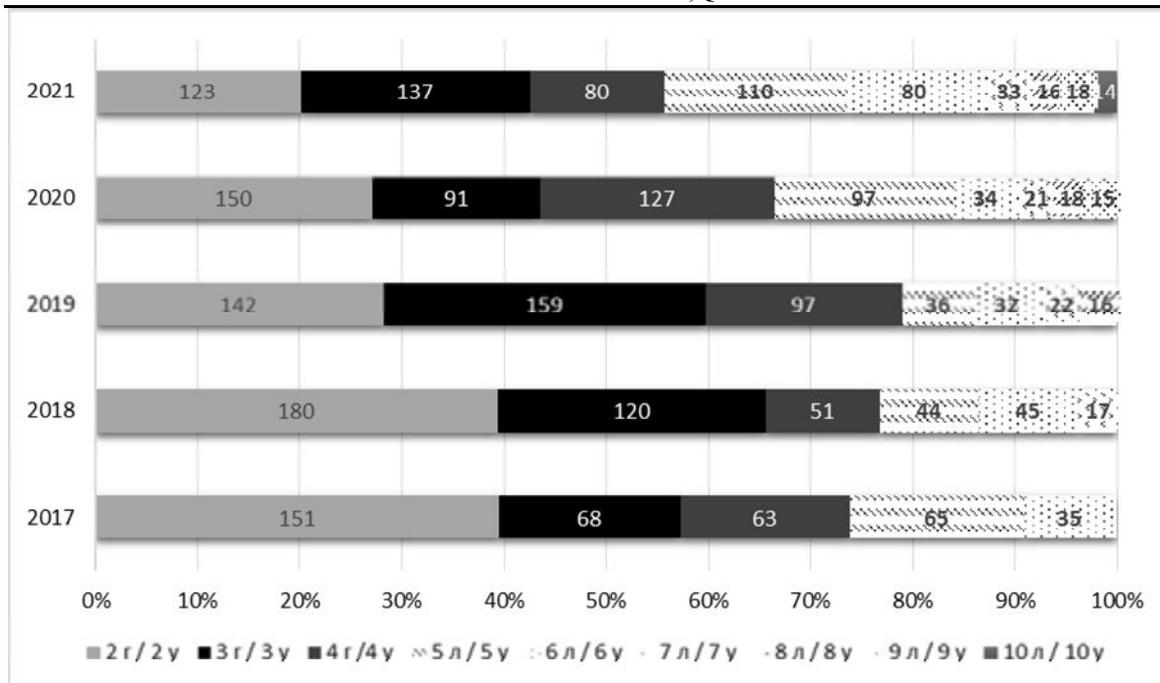


Рисунок 2. Возрастной состав самцов в ООО «Сафари Парк»
Figure 2. Age composition of males in LLC Safari Park

Анализ пантовой продуктивности в зависимости от возраста самцов рогачей показал, что более быстрый прирост массы пантов был в период со второго по пятый год жизни с последующим медленным ростом (рис. 3).

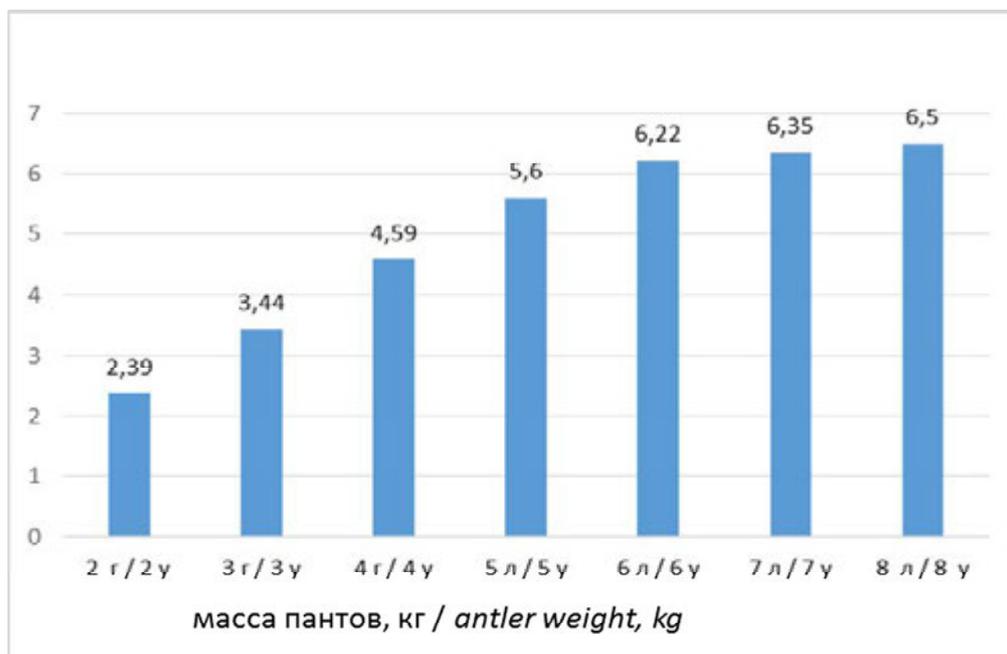


Рисунок 3. Пантовая продуктивность оленей в зависимости от возраста
Figure 3. Antler productivity of reindeer depending on age

Изучение взаимосвязи массы пантов при первой срезке и дальнейшей пантовой продуктивности животных проводили при их первой срезке в возрасте 2 лет, начиная с 2016 года. Полученные результаты показали, что до 2019 года отмечалось постепенное снижение массы пантов, с 2443,6±613,9 г в 2016 году до 2000,1±311,2 г в 2018 году, что составило 22,2 %, а в 2020 и 2021 годах зафиксирован незначительный её рост (табл. 1).

Таблица 1. Соотношение живой массы самцов благородного оленя в возрасте двух лет и пантовой продуктивности за первый год срезки (M±σ)

Table 1. Weight ratio of male red deer at two years of age and antler productivity in the first year of cutting (M±σ)

Год рождения оленя / Year of the deer's birth	Число голов / Number of animals	Масса пантов при первой срезке, г / Weight of antlers at the first cutting, g
2014	74	2443,6±613,9
2015	123	2348,1±477,0
2017	155	2000,1±311,2
2018	99	2145,7±323,8
2019	103	2155,5±362,0

С 2018 года наметилась тенденция к повышению пантовой продуктивности на 7,2 и 0,4 % соответственно.

В это же время отмечено снижение живой массы телят в возрасте 5-6 месяцев, что может говорить о неблагоприятных экологических условиях в этот временной период и недостатке фетального питания (рис. 4).



Рисунок 4. Живая масса молодняка с 2017 по 2020 гг.

Figure 4. Live weight of young deer from 2017 to 2020

Для анализа пантовой продуктивности в зависимости от массы тела животных выполнен анализ живой массы и пантовой продуктивности 167 оленей 2017 и 2018 года рождения в возрасте двух лет (первая срезка пантов) (рис. 5).

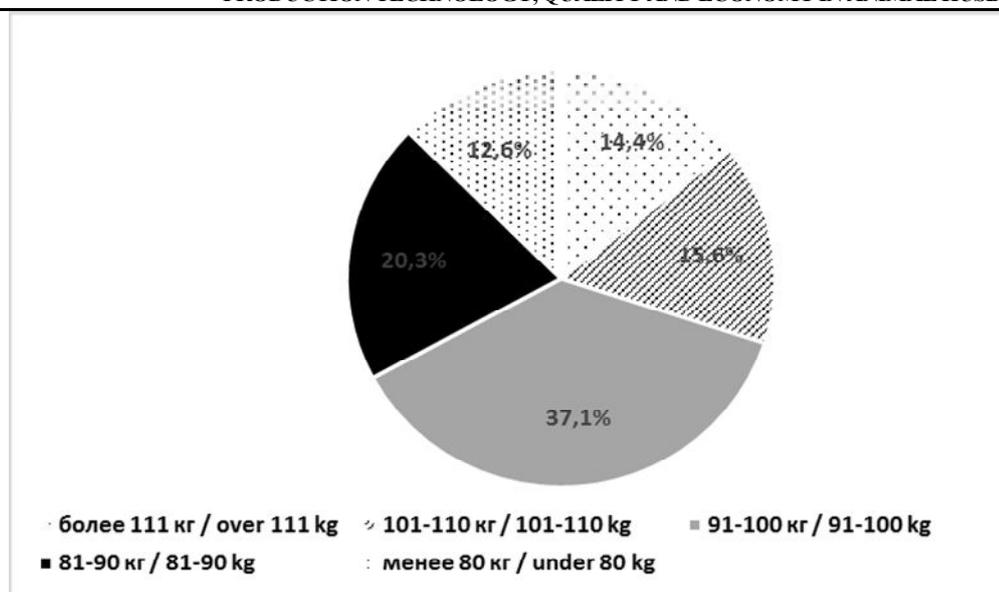


Рисунок 5. Живая масса самцов оленей в возрасте 2 лет

Figure 5. Live weight of male reindeer at 2 years of age

При анализе живой массы установлено, что у 37,1 % самцов она находилась в диапазоне от 91 до 100 кг. При этом низкую массу – менее 80 кг и высокую – более 110 кг имели соответственно 12,5 и 14,4 % оленей.

Для оценки пантовой продуктивности оленей разделили на группы в соответствии с массой. Выход пантов учитывали при первой и второй срезке (табл. 2).

Таблица 2. Соотношение живой массы самцов оленей в возрасте двух лет и пантовой продуктивности за первый и второй год срезки ($M \pm \sigma$)
Table 2. Weight ratio of male deer at two years of age and antler productivity for the first and second year of cutting ($M \pm \sigma$)

Живая масса оленя / Reindeer weight	Число голов / Number of animals	Масса пантов при первой срезке, г / Weight of antlers at the first cutting, g	Масса пантов при второй срезке, г / Weight of antlers at the second cutting, g	Разница, % / Difference, %
Более 111 кг / over 111 kg	24	2142,9±360,7	2804,1±735,8	30,8
101-110 кг / 101-110 kg	26	2083,1±327,7	2717,3±445,9	30,4
91-100 кг / 91-100 kg	62	2079,5±355,5	2926,1±600,6	40,9
81-90 кг / 81-90 kg	34	2021,5±291,3	2851,2±512,6	41,0
Менее 80 кг / under 80 kg	21	2045,2±327,0	2761,4±397,1	35,0

Для анализа взаимосвязи пантовой продуктивности и живой массы оленей проанализирована продуктивность оленей 2017 г.р. Анализируемая живая масса оленей определялась при первой срезке, а пантовая продуктивность – по первой и третьей срезке (табл. 3).

Таблица 3. Соотношение живой массы самцов оленей в возрасте двух лет и пантовая продуктивность за первый и третий год срезки ($M \pm \sigma$)
Table 3. Weight ratio of male reindeer at two years of age and antler productivity in the first and third year of cutting ($M \pm \sigma$)

Живая масса оленя в 2 года / Weight of a deer at 2 years of age	Средняя масса данных животных в 3 года / Average weight of these animals at 3 years of age	Число голов / Number of animals	Масса пантов при первой срезке, г / Weight of antlers at the first cutting, g	Масса пантов при третьей срезке, г / Weight of antlers at the third cutting, g	Разница, % / Difference, %
Более 101 кг / over 101 kg	156,4±8,2	8	1826,3±192,8	3290,0±786,5	80,1
91-100 кг / 91-100 kg	143,1±7,7	33	1987,3±314,1	3698,8±579,2	86,1
81-90 кг / 81-90 kg	133,5±7,3	26	1980,0±307,5	3710,4±646,9	87,4
Менее 80 кг / under 80 kg	122,8±5,3	21	2045,2±327,0	3651,9±528,8	78,7

Полученные результаты показали, что к третьей срезке пантов их масса возрастает на 79-87 % относительно массы при первой срезке. Наибольший прирост зарегистрирован в группах животных с живой массой в возрасте 2 лет от 81 до 100 кг, что на 9,2 % выше относительно остальных групп.

Обсуждение полученных результатов.

Оленеводство является перспективной отраслью животноводства в связи с высоким спросом на пантовую продукцию (Семяшкин Г.М. и Семяшкин Е.Г., 2020). Также в настоящее время отмечается тенденция увеличения спроса на мясную продукцию, получаемую от оленей (Попкова Т.В. и др., 2023; Брызгалов Г.Я. и Игнатович Л.С., 2021). В связи с этим важно проводить бонитировку самцов с учётом перспективности их пантовой продуктивности, так как часть животных ежегодно планируется для использования в охотничьих угодьях, а также с целью получения мясной продукции. Самки подлежат выбраковке только в случае бесплодия или полученных травм (Моложавский А.А. и др., 2020). Проведённый ретроспективный анализ показал, что с возрастом у всех оленей отмечается увеличение массы пантов, что связано с ежегодным появлением новых роговых отростков (Gaspar-López E et al., 2012). При этом вес пантов у самцов увеличивается неравномерно и в значительной мере зависит от климатических условий, кормления и содержания животных (Bils K et al., 2023; Fletcher J, 2022). Так, в 2017-2018 гг. на предприятии зафиксированы проблемы с обеспечением животных полноценным рационом, и в этот период отмечено выраженное снижение живой массы полученного приплода, а также пантовой продуктивности самцов.

Проведённые нами исследования направлены на разработку критериев прогнозирования пантовой продуктивности у самцов европейского благородного оленя. Полученные результаты показали, что при первой срезке пантов имеется зависимость между живой массой животного и его продуктивностью. В связи с тем, что наибольшее количество животных имели в возрасте 2 лет живую массу в диапазоне 91-100 кг, эта группа была принята за эталон, и расчёт отклонений вёлся относительно показателей этих животных. Средний вес пантов в данной группе составил 2079,5±355,5 г при первой срезке, в то время как у животных с массой более 110 кг – 2142,9±360,7 г, что

на 3,0 % больше, а с массой 81-90 кг – 2021,5±291,3 г, что на 2,8 % меньше, чем у оленей эталонной группы.

При оценке пантовой продуктивности при второй срезке пантов отмечено, что у животных с меньшим весом отмечается больший прирост массы пантов (35-41 %) относительно данных первой срезки. Наибольший вес пантов зафиксирован у животных эталонной группы – 2926,1 ± 600,6 г, у оленей с массой более 111 кг средний вес пантов был ниже на 4,3 %, а в группе оленей с массой менее 80 кг – ниже на 6,0 %. У 6 оленей (3,6 %) отмечался более низкий вес пантов по второй срезке, чем по первой, что может быть связано с состоянием здоровья животных. Таким образом, наиболее перспективными по пантовой продуктивности являются самцы, имеющие в двухлетнем возрасте массу в диапазоне 91-100 кг.

Заключение.

Анализ продуктивности европейского благородного оленя показал, что рост пантовой продуктивности у самцов наблюдается преимущественно до 6-летнего возраста, после чего ежегодное увеличение массы пантов находится в пределах 2-2,5 %. При оценке прогнозируемой пантовой продуктивности у самцов европейского благородного оленя было установлено, что наибольшую пантовую продуктивность и прирост массы пантов можно ожидать от оленей с живой массой при первой срезке пантов от 81 до 100 кг. В связи с этим для использования в пищевых или охотничьих целях предпочтительнее выбирать оленей в возрасте двух лет с массой менее 80 кг или более 101 кг, что позволит сохранить наиболее продуктивное поголовье для дальнейшего воспроизводства стада.

Список источников

1. Беленюк Д.Н., Беленюк Н.Н. Опыт создания мараловодческого питомника с целью восстановления численности популяции благородного оленя в Красноярском крае // Вестник КрасГАУ. 2019. № 2(143). С. 103-110. [Belenyuk DN, Belenyuk NN. The experience of creating a maral-breeding kennels with the purpose of restoring the number of red deer in Krasnoyarsk region. Bulletin of KSAU. 2019;2(143):103-110. (In Russ.)].
2. Брызгалов Г.Я., Игнатович Л.С. Селекционно-племенная работа в северном оленеводстве (к смене парадигмы развития) // Генетика и разведение животных. 2021. № 4. С. 29-36. [Brizgalov G, Ignatovich L. Selection and breeding work in northern reindeer husbandry (to change the development paradigm). Genetics and Breeding of Animals. 2021;4:29-36. (In Russ.)]. doi: 10.31043/2410-2733-2021-4-29-36
3. Казанцев Д.А., Растопшина Л.В., Кыпчаков М.А. Индивидуальные и групповые показатели пантовой продуктивности маралов за период хозяйственного использования // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 12(206). С. 71-76. [Kazantsev DA, Rastopshina LV, Kypchakov MA. Individual and group indices of velvet antler production of marals for the period of their economic use. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021;12(206):71-76. (In Russ.)]. doi: 10.53083/1996-4277-2021-206-12-71-76
4. Лубенникова М.В., Афанасьев В.А., Афанасьев К.А. О благородном олене // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2020. № 6. С. 74-79. [Lubennikova MV, Afanas'ev VA, Afanas'ev KA. About the noble deer. Veterinary, Zootechnics and Biotechnology. 2020;6:74-79. (In Russ.)]. doi: 10.26155/vet.zoo.bio.202006010
5. Лубенникова М.В., Афанасьев К.А., Афанасьев В.А. Продуктивные качества маралов-рогачей новоталицкой линии алтае-саянской породы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2(54). С. 200-206. [Lubennikova MV, Afanasiev KA, Afanasiev VA. Productive qualities of maral stags of novotalitsk line of Altai-Sayan breed. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021;2(54);200-206. (In Russ.)]. doi: 10.18286/1816-4501-2021-2-200-206

6. Рынок пантового оленеводства: анализ и тенденции / С.И. Межов, А.Ю. Тарасова, Е.В. Рудой, Т.А. Афанасьева, Д.М. Слобожанин // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 2. С. 53-57. [Mezhov SI, Tarasova AYU, Rudoy EV, Afanasieva TA, Slobozhanin DM. The market of velvet antler industry: analysis and tendencies. Mezhdunarodnyi Sel'skokhozyaistvennyi Zhurnal. 2019;2:53-57. (*In Russ.*)]. doi: 10.24411/2587-6740-2019-12028
7. Моложавский А.А., Бахур О.В., Каплич В.М. Благородный олень в охотничьих хозяйствах РГОО "Белорусское общество охотников и рыболовов" // Экология и животный мир. 2020. № 1. С. 9-14. [Molozhavsky AA, Bahur OV, Kaplic VM. Noble deer in hunting farms of RGOO «Belarusian society of hunters and fishermen». Ecology and Animal World. 2020;1:9-14. (*In Russ.*)].
8. Медико-биологическое обоснование использования оленины в специальных продуктах питания / А.М. Патиева, З.Н. Хатко, С.В. Патиева, А.В. Зыкова // Новые технологии. 2023. Т. 19. № 3. С. 58-67. [Patieva AM, Khatko ZN, Patieva SV, Zyкова AV. Medical and biological justification for the use of venison in special food products. New Technologies. 2023;19(3):58-67. (*In Russ.*)]. doi: 10.47370/2072-0920-2023-19-3-58-67
9. Мясная продуктивность оленей муниципального унитарного предприятия "Оленекский" / Т.В. Попкова, В.К. Евсюкова, Е.С. Слепцов, С.А. Герасимов // Иппология и ветеринария. 2023. № 1(47). С. 231-237. [Popkova TV, Evsyukova VK, Sleptsov ES, Gerasimov SA. Meat productivity of deer of the municipal unitary enterprise "Oleneksky". Hippology and Veterinary. 2023;1(47); 231-237. (*In Russ.*)]. doi: 10/52419/2225-1537/2023.1.231-237
10. Семьяшкин Г.М., Семьяшкин Е.Г. Перспективы развития оленеводства // АПК: экономика, управление. 2020. № 6. С. 41-49. [Semyashkin G, Semyashkin E. Prospects for the development of reindeer herding. AIC: Economics, Management. 2020;6:41-49. (*In Russ.*)]. doi: 10.33305/206-41
11. Bils K, Willems H, Reiner G. Variation of antlers in individual red deer (*Cervuselaphus*) stags: repeatability, age and side effects. European Journal of Wildlife Research. 2023;69:27. doi:10.1007/s10344-023-01646-6
12. Dalisova NA, Rozhkova AV, Stepanova EV. Russian export of products of maral breeding and velvet antler industry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019;315:022078. doi: 10.1088/1755-1315/315/2/022078
13. Fletcher J. The management of enclosed and domesticated deer: international husbandry systems and diseases. Springer International Publishing A&G; 2022: 447 p. doi: 10.1007/978-3-031-05386-3
14. Gaspar-López E, García AJ, Landete-Castillejos T, Carrión D, Jose A. Growth of the first antler in Iberian red deer (*Cervus elaphus hispanicus*). European Journal of Wildlife Research 2012;54(1):1-5. doi:10.1007/s10344-007-0096-0
15. Tajchman K, Ukalska-Jaruga A, Ceacero F, Pecio M, Steiner-Bogdaszewska Z. Concentration of macroelements and trace elements in farmed fallow deer antlers depending on age. Animals. 2022;12(23):3409. doi: 10.3390/ani12233409

References

- 1 Belenyuk DN, Belenyuk NN. The experience of creating a maral-breeding kennels with the purpose of restoring the number of red deer in Krasnoyarsk region. Bulletin of KSAU. 2019;2(143):103-110.
- 2 Brizgalov G, Ignatovich L. Selection and breeding work in northern reindeer husbandry (to change the development paradigm). Genetics and Breeding of Animals. 2021;4:29-36. doi: 10.31043/2410-2733-2021-4-29-36
- 3 Kazantsev DA, Rastopshina LV, Kypchakov MA. Individual and group indices of velvet antler production of marals for the period of their economic use. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021;12(206):71-76. doi: 10.53083/1996-4277-2021-206-12-71-76

- 4 Lubennikova MV, Afanas'ev VA, Afanas'ev KA. About the noble deer. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2020;6:74-79. doi: 10.26155/vet.zoo.bio.202006010
- 5 Lubennikova MV, Afanasiev KA, Afanasiev VA. Productive qualities of maral stags of novotalitsk line of Altai-Sayan breed. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;2(54):200-206. doi: 10.18286/1816-4501-2021-2-200-206
- 6 Mezhev SI, Tarasova AYU, Rudoy EV, Afanasieva TA, Slobozhanin DM. The market of velvet antler industry: analysis and tendencies. *International Agricultural Journal*. 2019;2:53-57. doi: 10.24411/2587-6740-2019-12028
- 7 Molozhavsky AA, Bahur OV, Kaplić VM. Noble deer in hunting farms of RGOO «Belarusian society of hunters and fishermen». *Ecology and Animal World*. 2020;1:9-14.
- 8 Patieva AM, Khatko ZN, Patieva SV, Zykova AV. Medical and biological justification for the use of venison in special food products. *New Technologies*. 2023;19(3):58-67. doi: 10.47370/2072-0920-2023-19-3-58-67
- 9 Popkova TV, Evsyukova VK, Slepsov ES, Gerasimov SA. Meat productivity of deer of the municipal unitary enterprise "Oleneksky". *Hippology and Veterinary*. 2023;1(47): 231-237. doi: 10/52419/2225-1537/2023.1.231-237
- 10 Semyashkin G, Semyashkin E. Prospects for the development of reindeer herding. *AIC: Economics, Management*. 2020;6:41-49. doi: 10.33305/206-41
- 11 Bils K, Willems H, Reiner G. Variation of antlers in individual red deer (*Cervuselaphus*) stags: repeatability, age and side effects. *European Journal of Wildlife Research*. 2023;69:27. doi:10.1007/s10344-023-01646-6
- 12 Dalisova NA, Rozhkova AV, Stepanova EV. Russian export of products of maral breeding and velvet antler industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;315:022078. doi: 10.1088/1755-1315/315/2/022078
- 13 Fletcher J. The management of enclosed and domesticated deer: international husbandry systems and diseases. *Springer International Publishing A&G*; 2022: 447 p. doi: 10.1007/978-3-031-05386-3
- 14 Gaspar-López E, García AJ, Landete-Castillejos T, Carrión D, Jose A. Growth of the first antler in Iberian red deer (*Cervus elaphus hispanicus*). *European Journal of Wildlife Research* 2012;54(1):1-5. doi:10.1007/s10344-007-0096-0
- 15 Tajchman K, Ukalska-Jaruga A, Ceacero F, Pecio M, Steiner-Bogdaszewska Z. Concentration of macroelements and trace elements in farmed fallow deer antlers depending on age. *Animals*. 2022;12(23):3409. doi: 10.3390/ani12233409

Информация об авторах

Анна Сергеевна Баркова, доктор ветеринарных наук, заведующий кафедрой производства и экспертизы качества сельскохозяйственной продукции, Калининградский государственный технический университет, 236022, г. Калининград, Советский проспект, д. 1, сот.: 8-908-903-28-36.

Евгений Алексеевич Зель, главный ветеринарный врач ООО «Сафари Парк», 238431, Калининградская область, Багратиновский р-н, п. Мушкино д. 5а, сот.: 8-967-350-93-15.

Василий Владимирович Верхотуров, доктор биологических наук, директор института агроинженерии и пищевых систем, Калининградский государственный технический университет, 236022, г. Калининград, Советский проспект, д. 1, раб. тел: 8 (4012) 99-53-40.

Евгения Игоревна Шурманова, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры производства и экспертизы качества сельскохозяйственной продукции, Калининградский государственный технический университет, 236022, г. Калининград, Советский проспект, д. 1, сот.: 8-903-086-25-45.

Information about the authors:

Anna S Barkova, Dr Sci. (Veterinary), Head of the Department of Production and Quality Expertise of Agricultural Products, Kaliningrad State Technical University, 1 Sovetsky Prospekt, Kaliningrad, 236022, cell.: 8-908-903-28-36.

Evgeny A Zel, Chief veterinarian, Safari Park, 5a Mushkino village, Kaliningrad region, Bagrationovsky district, 238431, cell.: 8-967-350-93-15.

Vasily V Verkhoturov, Dr Sci. (Biology), Director of the Institute of Agroengineering and Food Systems, Kaliningrad State Technical University, 1 Sovetsky Prospekt, Kaliningrad, 236022, work. tel: 8 (4012) 99-53-40.

Evgenia I Shurmanova, Cand. Sci (Veterinary), Associate Professor of the Department of Production and Quality Assessment of Agricultural Products, Kaliningrad State Technical University, 1 Sovetsky Prospekt, Kaliningrad, 236022, cell.: 8-903-086-25-45.

Статья поступила в редакцию 19.02.2024; одобрена после рецензирования 28.02.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 19.02.2024; approved after reviewing 28.02.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 118-127.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no. 1. P. 118-127.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА КОРМЛЕНИЯ

Научная статья
УДК 636.5:633.854.59:636.085.25
doi:10.33284/2658-3135-107-1-118

Сравнительная оценка влияния кормовой добавки Silaccess на основе льняного жмыха и цеолита на переваримость и морфологические показатели крови цыплят-бройлеров

Лера Ленуровна Мусабаева¹, Елена Анатольевна Сизова², Ксения Сергеевна Нечитайло³

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

¹musabaeva_l@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0199-1013>

²Sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

³k.nechit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8755-414X>

Аннотация. В работе представлены результаты сравнительной оценки влияния кормовой добавки Silaccess на основе льняного жмыха (I группа) и цеолита (II группа) на переваримость питательных веществ стартового и ростового рационов цыплят-бройлеров. Наблюдается рост коэффициента переваримости сырого жира в стартовый период в экспериментальных группах, получавших кормовую добавку. Причём, по данному показателю I опытная группа превышает контроль на 5,12 %, II группа – на 7,83 %. Также отмечается увеличение переваримости углеводов стартового рациона в обеих экспериментальных группах на 0,22 % и 1,90 %. В ростовой период кормовая добавка, как содержащая в составе льняной жмых, так и цеолит, направленно способствует наилучшей переваримости сухого вещества, органического вещества, сырого жира, сырого протеина, сырой клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ и углеводов. В связи с характерной картиной крови наилучшими показателями обладали птицы I опытной группы, получавшие кормовую добавку на основе льняного жмыха.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормовая добавка Silaccess, льняной жмых, цеолит, коэффициент переваримости

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2024-2026 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2024-0002).

Для цитирования: Мусабаева Л.Л., Сизова Е.А., Нечитайло К.С. Сравнительная оценка влияния кормовой добавки Silaccess на основе льняного жмыха и цеолита на переваримость и морфологические показатели крови цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 118-127. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-118>

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА КОРМЛЕНИЯ

Original article

Comparative assessment of the effect of the feed additive Silaccess based on flaxseed cake and zeolite on digestibility and morphological parameters of broiler chickens

Lera L Musabaeva¹, Elena A Sizova², Ksenia S Nechitailo³

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

¹musabaeva_l@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0199-1013>

²Sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

³k.nechit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8755-414X>

Abstract. The paper presents the results of a comparative assessment of the effect of the feed additive «Silaccess» based on flaxseed cake (group I) and zeolite (group II) on the digestibility of nutrients in the starting and growth diet of broiler chickens. There is an increase in the digestibility coefficient of

crude fat during the starting period in the experimental groups receiving the feed additive. Moreover, according to this indicator, experimental group I exceeds the control by 5.12%, group II – by 7.83%. There is also an increase in the digestibility of carbohydrates in the starting diet in both experimental groups by 0.22% and 1.90%. During the growth period, a feed additive, both containing flaxseed cake and zeolite, specifically promotes the best digestibility of dry matter, organic matter, crude fat, crude protein, crude fiber, nitrogen-free extractives and carbohydrates. Due to the characteristic blood picture, the birds of experimental group I, which received a feed additive based on flaxseed cake, had the best performance.

Keywords: broiler chickens, feed additive Silaccess, flaxseed cake, zeolite, digestibility coefficient

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024-2026 FSBSI FRC BST RAS (FNWZ-2024-0002).

For citation: Musabaeva LL, Sizova EA, Nechitailo KS. Comparative assessment of the effect of the feed additive Silaccess based on flaxseed cake and zeolite on digestibility and morphological parameters of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):118-127. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-118>

Введение.

Грамотный подбор кормовых добавок в рационе способствует оптимизации переваримости и усвояемости питательных веществ кормов, повышает продуктивность птицы (Кочиш И.И. и Капитонова Е.А., 2021). К таким добавкам относятся цеолиты и льняной жмых, которые обуславливают усиление продуктивности птицы, снижают её заболеваемость и затраты на получение конечного выхода продукции сельского хозяйства.

Цеолиты – минералы (алюмосиликаты), содержащие в своем составе металлы I А и II А групп периодической системы химических элементов. Было доказано, что цеолиты, включённые в рацион, улучшают общий метаболизм в организме птиц (Шарвадзе Р.Л. и др., 2022). Цеолиты напрямую участвуют в жировом, углеводном, белковом и водном обменах, способствуют повышению абсолютной живой массы и сохранности птицы. В них содержатся свыше 40 минеральных элементов (железо, цинк, марганец, кобальт, селен, молибден и др.), ценных для животного организма (Кичеева А.Г. и Терещенко В.А., 2021; Ежова О.Ю. и др., 2017). Внесение цеолита в рацион увеличивает содержание микро- и макроэлементов: Al, Si, O, Ca, Na (Береговая Н.Г. и др., 2019). Установлено, что цеолиты обладают также сорбционными свойствами (Ленкова Т.Н. и др., 2019).

Льняной жмых считается одним из наиболее полезных для птицы, широко используется в кормлении и позволяет существенно снизить стоимость кормов (Цай В.П. и Истринина Ж.А., 2022), так как он обладает большой энергетической ценностью: в 1 кг жмыха заключается 13,73 МДж энергии. Жмых льна является ресурсом витаминов – тиамина, рибофлавина, пиридоксина, ниацина, пантотеновой кислоты, фолиевой кислоты, биотина, токоферола. В 100 г жмыха льна содержится 1/5 нормы витаминов для птицы.

За счёт содержания в льняном жмыхе протеина и жира можно регулировать питательную ценность корма. Использование льняного жмыха в кормлении сельскохозяйственных птиц обеспечивает баланс рациона по содержанию белка и позволяет осуществить замену импортным добавкам, в связи с этим исследования в данном русле являются весьма актуальными (Жиенбаева С.Т. и др., 2020; Василенко З.В. и др., 2022).

Однако на данный момент нет обстоятельных сведений о влиянии кремнийсодержащих кормовых добавок на основе цеолита и льняного жмыха на переваримость основного рациона цыплятами-бройлерами.

Цель исследований.

Изучить сравнительную эффективность влияния кормовой добавки Silaccess на основе льняного жмыха и цеолита на переваримость стартового и ростового рационов и морфологические показатели крови.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса «Арбор-Айкрес».

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.), 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.

Схема эксперимента. Исследования проводились в ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФНЦ БСТ РАН). В таблице 1 дана схема кормления цыплят-бройлеров.

Таблица 1. Схема опыта
Table 1. Experimental scheme

Группа / <i>Group</i>	Рацион / <i>Diet</i>
Контрольная / <i>Control</i>	Основной рацион (ОП) / <i>Basic diet (BD)</i>
Опытная I / <i>Experimental I</i>	Основной рацион (ОП)+0,1 % Silaccess на основе льняного жмыха / <i>Basic diet (BD)+0.1% Silaccess based on flaxseed meal</i>
Опытная II / <i>Experimental II</i>	Основной рацион (ОП)+0,1 % Silaccess на основе цеолита / <i>Basic diet (BD)+0.1% Silaccess based on zeolite</i>

В эксперименте отобраны 7-суточные цыплята-бройлеры методом пар-аналогов и образованы три группы (n=30): контрольная и две опытные. Содержание цыплят-бройлеров было идентичным и соответствовало зоотехническим нормам. Доступ воды и корма – свободный. Кормление проводилось согласно рекомендациям ВНИТИПа (2010). Забор крови у цыплят-бройлеров проводили утром в возрасте 42 суток из подкрыльцовой вены.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены в ЦКП БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>). Кровь животных исследовали на биохимическом автоматическом анализаторе марки Dirui CS-240 («DIRUI», Китай) и морфологическом автоматическом анализаторе DF-50 Vet («Shenzhen Dymind Biotechnology Co», Китай).

Статистическая обработка. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Результаты представлены в виде среднего (M) и стандартной ошибки среднего (m). Достоверность различий сравниваемых коэффициентов определяли по t-критерию Стьюдента. Достоверными считали значения при $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Анализ переваримости стартового рациона (табл. 2) показал, что переваримость сухого вещества (СВ) у птиц опытных групп несущественно ниже показателей контрольной группы на 1,25 % и 0,17 %, хотя данные различия не являются достоверными. Переваримость органического вещества (ОВ) в эксперименте остаётся в пределах контрольных показателей во II группе и имеет тенденцию к снижению в I опытной группе на 1,05 %. Выявлены значительные отличия в значении коэффициента переваримости сырого жира (СЖ). По данному показателю I опытная группа превысила контроль на 4,24 %, II группа – на 6,48 %. Иными словами, птицы II экспериментальной группы намного эффективнее переваривают сырой жир (СЖ).

Переваримость сырого протеина (СП) достоверно снижается в опытных группах на 9,12 % ($P \leq 0,001$) и 6,45 % ($P \leq 0,01$) соответственно. Тожественно изменяется переваримость сырой клетчатки (СК) на 9,39 % и 1,51%.

Несмотря на это, данные изменения не затронули переваримости безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), которые находятся на одном уровне с контрольными показателями. Также отмечено увеличение переваримости углеводов стартового рациона в обеих экспериментальных группах на 0,22 % и 1,53 % соответственно.

Таблица 2. Переваримость питательных веществ стартового рациона птиц
Table 2. Nutrient digestibility of birds' starter diet

Стартовый рацион / <i>Starter diet</i>	Контроль/ <i>Control</i>	Опытная I / <i>Experimental I</i>	Опытная II / <i>Experimental II</i>
СВ / <i>Dry matter</i>	79,05±1,65	77,80±0,91	78,88±1,29
ОВ / <i>Organic matter</i>	81,13±1,49	80,08±0,82	81,65±1,12
СЖ / <i>Crude fat</i>	82,75±1,36	86,99±0,53*	89,23±0,66**
СП / <i>Crude protein</i>	84,73±1,20	75,61±1,00***	78,28±1,33**
СК / <i>Crude fiber</i>	35,83±5,06	26,44±3,02	34,32±4,02
БЭВ / <i>NFE</i>	84,15±1,25	84,46±0,64	86,34±0,84
Углеводы / <i>Carbohydrates</i>	80,22±1,56	80,40±0,80	81,75±1,12

Примечание: * – достоверная разница опытных групп с контрольной группой ($P \leq 0,05$), ** – достоверная разница опытных групп с контрольной группой ($P \leq 0,01$), *** – достоверная разница опытных групп с контрольной группой ($P \leq 0,001$)

Note: * – significant difference between the experimental groups and the control group ($P \leq 0,05$), ** – significant difference between the experimental groups and the control group ($P \leq 0,01$), *** – significant difference between the experimental groups and the control group ($P \leq 0,001$)

Анализ переваримости ростового рациона (табл. 3) выявил, что переваримость сухого вещества комбикорма была выше у птиц опытных групп, получавших кормовую добавку на основе льянного жмыха – на 3,58 %, цеолита – на 1,8 % в сравнении с контрольной группой. Таким образом, птица I группы лучше переваривала сухое вещество (СВ). Переваримость органического вещества (ОВ) также возрастает у птиц экспериментальных групп. Так, наилучшей переваримостью органического вещества отличается I группа, превышая показатели контрольных значений на 2,7 %, а II группа – на 1,54 %. Достоверная разница отмечается в переваривании сырого жира, которая по этому показателю также максимальна в I опытной группе, превышая значения контроля на 3,65 % ($P \leq 0,01$), во II группе – 1,91 %. Уровень переваримости сырого протеина (СП) возрастает в экспериментальных группах на одинаковую величину, на 6,68 % ($P \leq 0,01$) и 6,9 % ($P \leq 0,01$) соответственно.

Таблица 3. Переваримость питательных веществ ростового рациона птиц
Table 3. Digestibility of nutrients in the growth diet of birds

Стартовый рацион / <i>Starter diet</i>	Контроль/ <i>Control</i>	Опытная I / <i>Experimental I</i>	Опытная II / <i>Experimental II</i>
СВ / <i>Dry matter</i>	72,66±1,78	75,84±0,69	74,06±1,25
ОВ / <i>Organic matter</i>	75,23±1,61	77,93±0,63	76,77±1,12
СЖ / <i>Crude fat</i>	84,23±1,02	87,88±0,35**	86,14±0,67
СП / <i>Crude protein</i>	74,94±1,63	81,62±0,53**	81,84±0,88**
СК / <i>Crude fiber</i>	26,10±4,80	31,75±1,95	31,13±3,32
БЭВ / <i>NFE</i>	78,80±1,38	80,27±0,56	78,08±1,06
Углеводы / <i>Carbohydrates</i>	74,59±1,65	75,93±0,69	74,33±1,24

Примечание: ** – достоверная разница опытных групп с контрольной группой ($P \leq 0,01$)

Note: ** – significant difference between the experimental groups and the control group ($P \leq 0,01$)

В исследовании отмечается значительный рост показателей переваримости сырой клетчатки (СК) в опытных группах, так, птицы I и II опытных групп превысили контрольные значения на 5,65 % и 5,03 %.

Максимальные значения коэффициентов переваримости безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) были у цыплят I опытной группы, что выше, чем у птиц контрольной группы на 1,47 %. При этом птицы II экспериментальной группы не отличались по коэффициенту переваримости от таковых значений контроля.

Аналогичная картина отмечается в переваримости углеводов ростового рациона, которая возрастает у птиц I опытной группы на 1,34 % и остаётся примерно равной контролю у цыплят II группы.

При оценке влияние влияния нутриентного фактора на здоровье цыплят-бройлеров обязательным критерием безопасности применения является динамика морфологических показателей крови.

В ходе исследования было выявлено влияние кормовой добавки Silaccess в дозе 0,1 % на основе льняного жмыха и цеолита на морфологию крови птиц (табл. 4).

Таблица 4. Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров кросса «Арбор-Айкрес» на 42 сутки

Table 4. Morphological blood parameters of broiler chickens of the Arbor Acres cross on the 42nd day

Показатель / Indicator	Контроль / Control	Опытная I / Experimental I	Опытная II / Experimental II
Лейкоциты, $10^9/л$, WBC, $10^9/l$	36,50±1,175	31,88±1,611	29,27±4,872
Нейтрофилы, %/ Neutrophils, %	45,25±4,250	36,50±4,651	24,20±8,879
Лимфоциты, %/ Lymphocytes, %	45,35±4,850	55,43±6,894	69,7±9,846
Моноциты, %/ Monocytes, %	0,35±0,050	1,17±0,491	0,20±0,153
Эозинофилы, %/ Eosinophils, %	8,70±0,600	5,37±1,690	5,03±1,443
Базофилы, %/ Basophils, %	0,35±0,050	1,23±0,260*	0,87±0,088**
Эритроциты, $10^{12}/л$ /RBC $10^{12}/l$	1,98±0,020	1,74±0,064	1,53±0,363
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	106,50±1,500	98,00±3,512	83,00±19,218
Гематокрит, % / Hematocrit, %	23,55±0,450	21,20±0,751	18,80±4,384
Средний объём эритроцитов, фм/ MCV fl	118,70±3,400	121,67±0,612	123,10±1,429
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг / MCH, pg	53,70±1,300	56,17±0,145	54,33±0,524
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л /MCHC, g/l	452,50±2,500	461,67±1,856*	441,33±1,667*

Примечание: * – достоверная разница опытных групп с контрольной группой ($P \leq 0,05$),

** – достоверная разница опытных групп с контрольной группой ($P \leq 0,01$)

Note: * – significant difference between the experimental groups and the control group ($P \leq 0,05$),

** – significant difference between the experimental groups and the control group ($P \leq 0,01$)

В крови цыплят количество лейкоцитов в экспериментальных группах снижалось на 12,66 % и 19,80 % в сравнении с контрольной величиной соответственно. Показатели лейкоцитов соответствовали физиологической норме.

Характерная картина отмечена по содержанию нейтрофилов в эксперименте. Их количество уменьшилось в I группе на 13,6 % и во II группе – на 42,72 % в сравнении с контрольными величинами.

Касаемо уровня лимфоцитов наблюдается обратная картина: повышение лимфоцитов в экспериментальных группах связано с общим снижением уровня лейкоцитов в крови. Уровень лимфоцитов в I группе вырос на 22,23 %, у птиц II группы – на 53,69 %.

Динамика уровня моноцитов отличается в ходе эксперимента в опытных группах. У птиц I группы уровень моноцитов резко возрастает практически в два раза и становится выше контрольных значений на 234,28 %, в то время как у птиц II опытной группы обнаружено его падение на 42,86 % по сравнению с контрольной величиной.

Доля процентного содержания эозинофилов снижается в обеих опытных группах на 38,27 % и 42,18% соответственно.

Достоверными являются различия процентного содержания базофилов, которое растёт в обеих опытных группах на 251,43 % ($P \leq 0,05$) и 148,57 % ($P \leq 0,01$) соответственно.

Количество эритроцитов в опытных группах близко к контрольным показателям, со смещением в сторону уменьшения в I группе на 12,12 % ($P \leq 0,05$) и недостоверного снижения у птиц II группы на 22,73 %.

В крови снижается уровень гемоглобина. Его концентрация ниже в I группе на 7,98 % (8,5 г/л), во II группе – на 22,06 % (23,5 г/л), что ниже референтных величин.

Гематокрит – соотношение объёма плазмы и форменных элементов крови, выраженное в процентах по объёму. Изменения в гематокрите характеризуются тождественным его падением на 9,98 % (в I группе) и на 20,17 % (во II группе).

Средний объём эритроцита (MCV) – средняя величина объёма эритроцитов. Этот индикатор применяют в основном для характеристики вида анемий, в то время как его изменения дают нужную информацию о проблемах в водном и электролитном балансах. Так, в экспериментальных группах растёт средний объём эритроцитов, несмотря на снижение их общего числа. У птиц I группы средний объём эритроцитов увеличивается на 2,5 %, у II опытной группы – на 3,7 %.

Положительный рост отмечается в показателе MCH. Среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH) – показатель степени насыщения эритроцита гемоглобином. Отмечено данное увеличение на 4,59 % и на 1,17 % в I и II опытных группах соответственно.

Средняя концентрация гемоглобина в эритроците (MCHC) изменяется неравномерно с достоверными отличиями. Так, она увеличивается на 2,03 % ($P \leq 0,05$) в I группе, и снижается на 2,47 % ($P \leq 0,05$) во II группе.

Обсуждение полученных результатов.

По итогам исследования рассчитаны коэффициенты переваримости питательных веществ и проведён анализ динамики данных коэффициентов в зависимости от состава кормовой добавки. Выявлено, что введение в рацион кормовой добавки Silaccess на основе льняного жмыха и цеолита оказывает различное влияние на переваримость рациона. В стартовый период кормовая добавка достоверно увеличивает рост переваримости сырого жира и углеводов в обеих опытных группах, достигая предельных значений во II опытной группе, получавшей кормовую добавку на основе цеолита.

Исходя из полученных результатов, можно предположить, что кормовая добавка в момент становления структурно-функциональных особенностей пищеварительной системы птиц способствует улучшению переваримости жира и углеводов как основных источников получения энергии в организме.

В ростовой период кормовая добавка как на льняном жмыхе, так и на цеолите направленно способствует наилучшей переваримости сухого вещества, органического вещества, сырого жира, сырого протеина, сырой клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ и углеводов. Отмечено достоверное увеличение переваримости сырого жира и сырого протеина в организме птиц опытных групп.

Клетчатка трудно гидролизуется в организме птицы по причине отсутствия необходимых ферментов для её гидролиза. Следовательно, в нашем опыте в результате активизации микробиологических процессов ускорилось переваривание питательных ингредиентов, в том числе и клетчатки, в ростовой период (Красноперов А.С. и Малков С.В., 2018).

Таким образом, наш опыт согласуется с результатами многих исследователей, изучавших влияние кормовых добавок на основе кремния – Набикат и Иркутин. Было выявлено, что они положительно влияют на продуктивность птицы, на улучшение метаболизма и усиление перевариваемости корма (Николаев С.И. и др., 2018).

Кровь характеризуется относительным постоянством состава и физико-химических условий, благодаря чему обеспечивается гомеостаз организма (Наточин Ю.В., 2019). Проведённое исследование показало, что при использовании кормовой добавки Silaccess происходит снижение лейкоцитов, нейтрофилов и эозинофилов на фоне увеличения числа лимфоцитов, базофилов и моноцитов. Вероятнее всего, снижение уровня лейкоцитов обусловлено влиянием кормовой добавки на метаболизм и, в связи с этим, иммуномодулирующим воздействием на организм птиц, что является подтверждением отсутствия воспалительных процессов. На организм цыплят-бройлеров опытных групп не оказывали влияния факторы, подрывающие устойчивость гомеостаза, так как кремнийсодержащий препарат нивелирует их влияние, в том числе и стрессы.

Количество эритроцитов в опытных группах остаётся максимально приближённым к контрольным показателям, хотя уровень гемоглобина немного снижен по сравнению с контролем, но всё же находится в пределах физиологической нормы для птиц I опытной группы. Точно такие же изменения характерны и для гематокрита.

Несмотря на происходящие изменения, в картине красной крови наблюдается увеличение среднего объёма эритроцитов. Так, у птиц I группы средний объём эритроцитов увеличивается на 2,5 %, у II опытной группы – на 3,7 % (в сравнении с контролем). Положительный рост отмечается в показателе МСН, который увеличивается в экспериментальных группах на 4,59 % и на 1,17 %. Однако при этом асинхронно изменяется средняя концентрация гемоглобина в эритроците (МСНС), которая увеличивается на 2,03 % ($P \leq 0,05$) в I группе и снижается на 2,47 % ($P \leq 0,05$) во II группе.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод о том, что динамика морфологических показателей крови цыплят-бройлеров характеризуется волнообразными изменениями показателей, главная доля которых не выходит за границы физиологической нормы и характерна для птиц данного кросса (Жиенбаева С.Т. и др., 2020).

Наши данные согласуются с данными других авторов по результатам морфологического состава крови животных, комбикорма которых содержали кремнийсодержащие добавки, такие как НаБиКат и добавку на основе диоксида кремния коллоидного. Что в конечном итоге способствовало усилению обмена веществ и улучшению окислительно-восстановительных реакций в организме, становлению высокого уровня естественной устойчивости к заболеваниям, оказывало положительное влияние на иммунную систему организма, балансировало увеличение иммунокомпетентных клеток (Мижевикина А.С. и др., 2022; Лыкасова И.А. и др., 2023; Мустафин Р.З. и Мустафина А.С., 2021).

Заключение.

Анализируя результаты коэффициентов переваримости, необходимо отметить, что наиболее оптимальными они были в I опытной группе, которой дополнительно к основному рациону вводили кормовую добавку Silaccess в дозировке 0,1 % от рациона на основе льняного жмыха. Независимо от периода выращивания птицы, кормовая добавка на любой основе увеличивает переваримость ростового рациона в целом, тем самым способствуя эффективному влиянию на метаболизм птиц. В связи с характерной картиной крови наилучшими показателями обладали птицы I опытной группы, получавшие кормовую добавку на основе льняного жмыха.

Список источников

1. Влияние муки из жмыха льняного на биологическую ценность белков вареной колбасы из мяса птицы / З.В. Василенко и др. // *Механика и технологии*. 2022. № 2(76). С. 59-65. [Vasilenko ZV et al. Influence of flaxseed cake flour on the biological value of proteins of boiled poultry sausage. *Mechanics and Technologies*. 2022;2(76):59-65. (In Russ.). doi: 10.55956/VQQD2432]
2. Гематологические показатели сельскохозяйственной птицы при введении в комбикорма нетрадиционной кормовой добавки / С.И. Николаев, Л.В. Андреев, М.В. Струк, О.Е. Карнаухова // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018. № 12(170). С. 78-83. [Nikolayev SI, Andreyenko LV, Struk MV, Karnaukhova OYe. Hematological parameters of poultry with the introduction of non-traditional feed supplements into diets. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2018;12(170):78-83. (In Russ.).]
3. Ежова О.Ю., Сенько А.Я., Маслов М.Г. Влияние цеолита на обмен веществ и воспроизводительные качества уток // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017. № 1(63). С. 162-165. [Yezhova OYu, Senko AYa, Maslov MG. Effect of zeolite on metabolism and reproductive qualities of ducks. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2017;1(63):162-165. (In Russ.).]
4. Жиенбаева С.Т., Ермуканова А.М., Мынбаева А.Б. Применение льняного жмыха при производстве комбикормов для сельскохозяйственных птиц // *Механика и технологии*. 2020. № 4(70). С. 83-88. [Zhienbaeva ST, Yermukanova AM, Mynbayeva AB. Application of flax cake in the feed concentrates production for poultry. *Mechanics and Technologies*. 2020;4(70):83-88. (In Russ.).]
5. Кичеева А.Г., Терещенко В.А. Перспективы использования природных глинистых минералов в животноводстве (обзор) // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 12. С. 88-93. [Kicheeva AG, Tereshchenko VA. Prospects for the use of natural clay minerals in animal husbandry (review). *Agrarian Scientific Journal*. 2021;12:88-93. (In Russ.). doi: 10.28983/asj.y2021i12pp88-93]
6. Кочиш И.И., Капитонова Е.А. Мясная продуктивность сельскохозяйственной птицы Беларуси при профилактике микотоксикозов цеолитсодержащими кормовыми добавками // *Ветеринария и кормление*. 2021. № 5. С. 38-41. [Kochish II, Kapitonova EA. Meat productivity of belarus agricultural poultry in the prevention of mycotoxicoses with zeolite-containing feed additives. *Veterinaria i kormlenie*. 2021;5:38-41. (In Russ.). doi: 10.30917/АТТ-VK-1814-9588-2021-5-10]
7. Красноперов А.С., Малков С.В. Влияние кормовой добавки на основе диоксида кремния на иммунологические показатели телят с диспепсией // *Эколого-биологические проблемы использования природных ресурсов в сельском хозяйстве: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов (г. Екатеринбург, 07-08 июня 2018 г)*. Екатеринбург: ООО "Уральское издательство", 2018. С. 213-220. [Krasnoperov AS, Malkov SV. Vliyanie kormovoj dobavki na osnove dioksida kremnija na immunologicheskie pokazateli teljat s dispepsiej. (Conference proceedings) *Ekologo-biologicheskie problemy ispol'zovanija prirodnyh resursov v sel'skom hozjajstve: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh i specialistov (g. Ekaterinburg, 07-08 ijunja 2018 g)*. Ekaterinburg: ООО "Ural'skoe izdatel'stvo"; 2018:213-220. (In Russ.).]
8. Ленкова Т.Н., Егорова Т.А., Сысоева И.Г. Продуктивность бройлеров, получавших цеолиты в комбикормах // *Птицеводство*. 2019. № 5. С. 26-31. [Lenkova TN, Egorova TA, Sysoeva IG. The productive performance in broilers fed crushed vs. micronized zeolite. *Ptitsevodstvo*. 2019;5:26-31. (In Russ.). doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-5-26-31]
9. Лыкасова И.А., Мижевикина А.С., Савостина Т.В. Результаты применения кормовых добавок в промышленном птицеводстве // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 4(102). С. 319-324. [Lykasova IA, Mizhevikina AS, Savostina TV. Results of the use of feed additives in industrial poultry farming. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023;4(102):319-324. (In Russ.).]

10. Мустафин Р.З., Мустафина А.С. Определение рациональной дозы диоксида кремния в кормлении цыплят-бройлеров // *Животноводство и кормопроизводство*. 2021. Т. 104. № 1. С. 8-19. [Mustafin RZ, Mustafina AS. Determination of the rational dose of silicon dioxide in feeding of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(1):8-19. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-8
11. Наточин Ю.В. Принципы эволюции органов выделения и система гомеостаза // *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*. 2019. Т. 55. № 5. С. 348-359. [Natochin YuV. Principles of evolution of the excretory organs and the system of homeostasis. *Zhurnal evolyutsionnoi biokhimii i fiziologii*. 2019;55(5):348-359. (*In Russ.*)]. doi: 10.1134/S0044452919050103
12. Органические формы микроэлементов в кормлении сельскохозяйственной птицы: метод. рекомендации / И.А. Егоров, Е.Н. Андрианова, А.Б. Петросян, А.В. Манукян и др. ВНИИТИП.-Сергиев Посад, 2010. 44 с. [Egorov IA, Andrianova EN, Petrosjan AB, Manukjan AV et al. *Organicheskie formy mikroelementov v kormlenii sel'skhozjajstvennoj pticy: metod. rekomendacii*. VNIITIP.-Sergiev Posad; 2010:44 p. (*In Russ.*)].
13. Синтетический цеолит NaX как кормовая добавка для цыплят-бройлеров / Н.Г. Береговая, В.В. Герасименко, В.Н. Никулин, И.А. Бабичева // *Животноводство и кормопроизводство*. 2019. Т. 102. № 2. С. 136-150. [Beregovaya NG, Gerasimenko VV, Nikulin VN, Babicheva IA. Synthetic zeolite NaX as a feed additive for broiler chickens *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(2):136-150. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-102-2-136
14. Сравнительное влияние кормовых добавок на обменные процессы у цыплят-бройлеров / А.С. Мизевикина и др. // *АПК России*. 2022. Т. 29. № 5. С. 653-658. [Mizhevikina AS et al. Comparative effect of feed additives on metabolic processes in broiler chickens. *Agro-industrial Complex of Russia*. 2022;29(5):653-658. (*In Russ.*)]. doi: 10.55934/2587-8824-2022-29-5-653-658
15. Цай В.П., Истринина Ж.А. Комбикорма с разными уровнями жмыха льна масличного в рационах откармливаемого молодняка крупного рогатого скота // *Зоотехническая наука Беларуси*. 2022. Т. 57. № 2. С. 84-93. [Tsai VP, Istranyna ZhA. Compound feed with different levels of oil flax cake in the diets of fattened young cattle. *Zootechnical Science of Belarus*. 2022;57(2):84-93. (*In Russ.*)]. doi: 10.47612/0134-9732-2022-57-2-84-93
16. Шарвадзе Р.Л., Пензин А.А., Юэцзюэ Ч. Влияние цеолитов Вангинского месторождения на продуктивность кур // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2022. Т. 16. № 1. С. 87-94. [Sharvadze RL, Penzin AA, Yuetszyue Ch. The effect of the wanginsky deposit zeolites on the productivity of hens. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022;16(1):87-94. (*In Russ.*)]. doi: 10.24412/1999-6837-2022-1-87-94

References

1. Vasilenko ZV et al. Influence of flaxseed cake flour on the biological value of proteins of boiled poultry sausage. *Mechanics and Technologies*. 2022;2(76):59-65. doi: 10.55956/VQQD2432
2. Nikolayev SI, Andreyenko LV, Struk MV, Karnaukhova OYe. Hematological parameters of poultry with the introduction of non-traditional feed supplements into diets. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2018;12(170):78-83.
3. Yezhova OYu, Senko AYa, Maslov MG. Effect of zeolite on metabolism and reproductive qualities of ducks. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2017;1(63):162-165.
4. Zhienbaeva ST, Yermukanova AM, Mynbayeva AB. Application of flax cake in the feed concentrates production for poultry. *Mechanics and Technologies*. 2020;4(70):83-88.
5. Kicheeva AG, Tereshchenko VA. Prospects for the use of natural clay minerals in animal husbandry (review). *Agrarian Scientific Journal*. 2021;12:88-93. doi: 10.28983/asj.y2021i12pp88-93
6. Kochish II, Kapitonova EA. Meat productivity of belarus agricultural poultry in the prevention of mycotoxinoses with zeolite-containing feed additives. *Veterinary Medicine and Feeding*. 2021;5:38-41. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-5-10

7. Krasnoperov AS, Malkov SV. The influence of a feed additive based on silicon dioxide on the immunological parameters of calves with dyspepsia (Conference proceedings) Ecological and biological problems of using natural resources in agriculture: materials of the IV International. scientific-practical conf. of young scientists and specialists (Ekaterinburg, June 07-08, 2018). Ekaterinburg: Ural Publishing House LLC; 2018:213-220.
8. Lenkova TN, Egorova TA, Sysoeva IG. The productive performance in broilers fed crushed vs. micronized zeolite. *Poultry Breeding*. 2019;5:26-31. doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-5-26-31
9. Lykasova IA, Mizhevikina AS, Savostina TV. Results of the use of feed additives in industrial poultry farming. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023;4(102):319-324.
10. Mustafin RZ, Mustafina AS. Determination of the rational dose of silicon dioxide in feeding of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(1):8-19. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-8
11. Natochin YuV. Principles of evolution of the excretory organs and the system of homeostasis. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*. 2019;55(5):348-359. (*In Russ.*)]]. doi: 10.1134/S0044452919050103
12. Egorov IA, Andrianova EN, Petrosyan AB, Manukyan AV et al. Organic forms of microelements in feeding poultry: method. recommendations. VNITIP.-Sergiev Posad; 2010:44 p.
13. Beregovaya NG, Gerasimenko VV, Nikulin VN, Babicheva IA. Synthetic zeolite NaX as a feed additive for broiler chickens *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(2):136-150. doi: 10.33284/2658-3135-102-2-136
14. Mizhevikina AS et al. Comparative effect of feed additives on metabolic processes in broiler chickens. *Agro-industrial Complex of Russia*. 2022;29(5):653-658. doi: 10.55934/2587-8824-2022-29-5-653-658
15. Tsai VP, Istranyna ZhA. Compound feed with different levels of oil flax cake in the diets of fattened young cattle. *Zootechnical Science of Belarus*. 2022;57(2):84-93. doi: 10.47612/0134-9732-2022-57-2-84-93
16. Sharvadze RL, Penzin AA, Yuetszyue Ch. The effect of the wanginsky deposit zeolites on the productivity of hens. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022;16(1):87-94. doi: 10.24412/1999-6837-2022-1-87-94

Информация об авторах:

Лера Ленуровна Мусабаяева, соискатель, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29.

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологических наук, руководитель центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29.

Ксения Сергеевна Нечитайло, кандидат биологических наук, научный сотрудник центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29.

Information about the authors:

Lera L Musabayeva, applicant, Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Elena A Sizova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Centre "Nanotechnologies in Agriculture", Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Ksenia S Nechitailo, Cand. Sci (Biology), researcher at the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg.

Статья поступила в редакцию 21.11.2023; одобрена после рецензирования 15.02.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 21.11.2023; approved after reviewing 15.02.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 128-146.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 1. P. 128-146.

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Обзорная статья
УДК 639.3.043:577.17
doi:10.33284/2658-3135-107-1-128

Общее понимание кворум сенсинга бактерий и применение ингибиторов кворума в аквакультуре

Марина Сергеевна Мингазова^{1,5}, Елена Петровна Мирошникова², Азамат Ерсайнович Аринжанов³,
Юлия Владимировна Килякова⁴

^{1,2,3,4}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

⁵Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

^{1,5}ms.mingazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>

²elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

⁴arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

⁵fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

Аннотация. Развитие антибиотикорезистентности приводит к поиску новых решений в области улучшения качества готовой продукции и снижения отрицательного воздействия на конечного потребителя. Аквакультура, являющаяся активно развивающейся отраслью, предъявляет к продукции серьезные требования, в том числе по снижению заболеваемости среди выращиваемых рыб и уменьшению использования антибиотиков. Среди альтернативных препаратов выделяют различные кормовые добавки (про- и пребиотики, фитогенные препараты), которые способны заменить антибиотики без вреда для организма гидробионтов. Новой отраслью является изучение кворум сенсинг бактерий и его действие на патогенные организмы. Последние исследования показали, что использование ингибиторов кворума способно стать перспективной заменой антибиотикам без вреда для организма и конечного потребителя. Основное действие ингибиторов направлено на блокирование взаимодействия N-ацилгомосериновых лактонов с сигнальными рецепторами, что приводит к ингибированию экспрессии генов, связанных с вирулентностью. Учёными разных стран проведены исследования на тему влияния ингибиторов на патогенные для гидробионтов бактерии. В обзоре представлены сведения о кворум сенсинге бактерий и общие данные по исследованию ингибиторов кворума, способные стать перспективными компонентами в кормлении гидробионтов.

Ключевые слова: аквакультура, гидробионты, рыба, кворум сенсинг, ингибиторы кворума, микробное сообщество, патогены

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-76-10054.

Для цитирования. Общее понимание кворум сенсинга бактерий и применение ингибиторов кворума в аквакультуре (обзор) / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 128-146. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-128>

PHYSIOLOGY OF ANIMALS

Review article

General understanding of bacterial quorum sensing and use of quorum inhibitors in aquaculture

Marina S Mingazova^{1,5}, Elena P Miroshnikova², Azamat E Arinzhanov³, Yulia V Kilyakova⁴

^{1,2,3,4}Orenburg State University, Orenburg, Russia

⁵Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

^{1,5}ms.mingazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>

²elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

⁴arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

⁵fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

Abstract. The development of antibiotic resistance leads to the search for new solutions in the field of improving the quality of finished products and reducing the negative impact on the end user. Aquaculture being an actively developing industry imposes serious requirements on products, including reducing the incidence of diseases among farmed fish and reducing the use of antibiotics. Among the alternative drugs, there are various feed additives (pro-, prebiotics, phytogenic drugs) that can replace antibiotics without harm to the body of hydrobionts. A new branch is the study of quorum sensing bacteria and its effect on pathogenic organisms. Recent studies have shown that the use of quorum inhibitors can become a promising replacement for antibiotics without harm to the body and the end user. The main action of inhibitors is aimed at blocking the interaction of *N*-Acyl homoserine lactone with signaling receptors, which leads to inhibition of the expression of virulence-related genes. Scientists from different countries have conducted research on the effect of inhibitors on pathogenic bacteria for hydrobionts. The review presents information about quorum sensing of bacteria and general data on the study of quorum inhibitors that can become promising components in the feeding of hydrobionts.

Keywords: aquaculture, hydrobionts, fish, quorum sensing, quorum inhibitors, microbial community, pathogens

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 23-76-10054.

For citation: 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.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-128>

Введение.

Водная экосистема сталкивается со значительными угрозами антропогенной деятельности, среди которых особое внимание уделяется чрезмерному вылову гидробионтов и загрязнению пластиком. Решение первой проблемы является важной целью при разработке политики сохранения водной среды. Аквакультура считается главным подходом в сохранении естественных запасов рыб и представляет важную часть в продовольственной безопасности разных стран. Кроме того, отрасль является самым быстрорастущим сектором животноводства в мире (Longo SB et al., 2019). Однако серьёзную угрозу представляют болезни, препятствующие производству и вызывающие экономические потери. Более того, высокие плотности посадки повышают риски развития заболеваний среди гидробионтов (Blandford MI et al., 2018; James G et al., 2021; 2023). По оценкам мировых учёных до 10 % всех выращиваемых видов погибают из-за инфекционных заболеваний, что ежегодно приводит к большим убыткам предприятий во всём мире. Поэтому современные исследования направлены на повышение иммунитета выращиваемой рыбы и профилактику заболеваний (Garza M et al., 2019; Adams A, 2019).

Среди распространённых способов борьбы с заболеваниями является вакцинирование, так как оно признано важным инструментом при профилактике развития болезней и борьбе с ними, при отсутствии риска развития лекарственной устойчивости, что способствует развитию коллек-

тивного иммунитета. Так, весенняя виремия карпа является высоко опасным заболеванием карповых рыб, способное наносить значительный экономический ущерб отрасли из-за высокой смертности. При этом использование пероральной пробиотической вакцины в хитозан-альгинатной микрокапсуле может обеспечить высокую эффективность против вируса (Jia Sh et al., 2020). Также доказана эффективность применения похожей пробиотической добавки против вируса герпеса кои – заболевания с высокой смертностью среди рыб, в том числе среди обыкновенного карпа (*Cyprinus carpio*) (Huang X et al., 2021).

При этом использование вакцин может быть ограничено. Например, вакцина, вводимая внутримышечно, не подходит при массовой вакцинации на предприятии из-за трудоёмкого процесса, высоких затрат и стресса при обращении с гидробионтами, что может спровоцировать повышение смертности (Adams A, 2019). Также эффективность вакцинирования молоди ограничена, поскольку в раннем возрасте рыбы не обладают полной иммунокомпетентностью. Нецелесообразно использование вакцин при выращивании ракообразных и моллюсков, так как они не вырабатывают долгосрочный приобретённый иммунитет. В дополнении стоит отметить, что в аквакультуре существует ограниченное количество вакцин, которые разрешено использовать и реализовать (Perez-Sanchez T et al., 2018).

В аквакультуре важным средством лечения заболеваний является использование антибиотиков, действие которых направлено на уничтожение или ингибирование роста патогенов. В животноводстве антибиотики стали применять с 1940-х годов, в аквакультуре – последние 50 лет. Часто их включали не только для лечения, но и для профилактики заболеваний. В настоящее время применение антибиотиков ограничивают, при этом ряд стран запрещает их использование в качестве терапевтического препарата, так как они способны накапливаться в окружающей среде, организмах и повышать резистентность к препаратам (Abdel-Tawwab M et al., 2018; Lulijwa R et al., 2019). При воздействии антибиотиков на организм гидробионтов возможно появление устойчивых бактериальных штаммов. Патогенные организмы могут стать серьёзной проблемой здравоохранения во всём мире, которая угрожает эффективным методам лечения бактериальных инфекций, повышает смертность и негативно влияет на конечного потребителя (Reina JC et al., 2019; Reina JC et al., 2021). Кроме того, повышение устойчивости к препаратам может привести не только к росту числа заболеваний и массовой гибели среди культивируемых видов, но и нанести серьёзные экономические убытки предприятиям (Shrestha P et al., 2018; Mai T et al., 2019).

Решение проблемы антибиотикорезистентности наталкивает современных учёных на разработку препаратов, которые безопасны для гидробионтов, в том числе не будут оказывать негативного влияния на их прирост и физиологическое состояние (Зуева М.С., 2022). Разработка и применение функциональных кормов подразумевает улучшение состояния выращивания рыб в условиях аквакультуры, поскольку высококачественные корма обеспечивают пользу для гидробионтов. Наиболее распространённой альтернативой являются пробиотики. Они рассматриваются в качестве средств биологического контроля инфекционных заболеваний и их лечения, также оказывают благоприятное воздействие на организм, увеличивая рост и продуктивность, модулируя кишечную микробиоту и снижая риск развития заболеваний. Актуальными препаратами являются и лекарственные растения, которые не вызывают токсичного действия на организм рыб (Килякова Ю.В. и др., 2022; Firmino JP et al., 2021; Iorizzo M et al., 2022). Растительные компоненты оказывают иммуномодулирующие и антистрессовые функции, способствуют повышению антимикробной активности и устойчивости к заболеваниям (Rezende RAE et al., 2021).

Преыдушие исследования (Мирошникова Е.П. и др., 2022; Аринжанова М.С. и др., 2023; Мингазова М.С. и др., 2023) доказывают эффективность использования кормовых добавок в кормлении рыб и их благоприятное воздействие на рост и развитие. Авторами установлено, что препараты способствуют приросту рыб, начиная с третьей недели включения добавок, улучшению аминокислотного состава мышечной ткани рыб, качественному и количественному увеличению микробного сообщества кишечника, снижению содержания токсичных веществ в тканях.

Новым направлением в снижении заболеваемости и антибиотикорезистентности у рыб является нарушение кворум сенсинга бактерий (QS). Исследователи выяснили, что бактерии могут общаться между собой, что представляет интерес как фактор понимания их социального поведения. Данные наработки привели к инновационным подходам по изучению микробных сообществ. Первая модель системы QS основывалась на идентификации N-ацилгомосериновых лактонов (AHL) как регуляторов биолюминесценции у *Vibrio fischeri*. Кроме того, AHL-лактоназа была первым идентифицированным ферментом, подавляющим кворум сенсинг, выделенным из *Bacillus* sp. 240B1. При тестировании *in vivo* AHL повышала устойчивость растений к болезням при ослаблении вирулентности *Erwinia carotovora*. Таким образом, нарушение связи патогенов или определения кворума с помощью молекул подавления кворума является потенциальной альтернативой в борьбе с бактериальными инфекциями в аквакультуре (Dong YH et al., 2000; Santos RA et al., 2021).

Цель исследования.

Сбор и анализ литературных данных о механизме действия кворум сенсинга бактерий на организм гидробионтов.

Материалы и методы исследования.

Систематический обзор литературы был проведён для получения сведений об общем представлении кворум сенсинга бактерий и его воздействии на организм гидробионтов, в том числе при использовании различных ингибиторов кворума. Поиск и анализ литературы осуществлялся через специализированные базы данных в Интернете – Elibrary, PubMed, Академия Google, ScienceDirect, Nation Library of Medicine, SpringerLink, Wiley online Library.

Поиск осуществлялся по ключевым словам: quorum sensing, аквакультура (aquaculture), рыба (fish), гидробионты (hydrobionts), антибиотики (antibiotics), кормовые добавки (feed additives), патогены (pathogens).

Результаты исследования и обсуждение.

В настоящее время сообщества бактерий ценят за их способность действовать коллективно в многоклеточных группах. Скоординированное поведение включает биолюминесценцию, выработку факторов вирулентности и вторичных метаболитов, способность поглощать ДНК и формировать биоплёнку. Для подобной организации коллективного поведения бактерии используют процесс межклеточной коммуникации, называемый определением кворума или кворум сенсинг (QS). Понимание механизма QS было получено благодаря изучению бактериальных культур в лабораторных условиях. Эти исследования стали фундаментальными знаниями о взаимодействии механизмов, лежащих в основе определения кворума у различных бактерий. Однако бактерии существуют в неидеальных условиях. Поэтому в современных исследованиях делают акцент на том, что бактериальные организмы существуют в условиях реальной среды обитания. Изучение взаимодействия механизмов QS представляет область растущего интереса в связи с его применением в качестве терапевтического лечения и альтернативы антибиотикам. Регулирование бактериальной коммуникации путём разработки синтетических аналогов аутоиндукторов способно повысить качество готовой продукции и снизить затраты на возможное лечение (Mukherjee S and Bassler BL, 2019; Ruiz Ch et al., 2022).

Впервые термин «quorum sensing» был использован в 1994 г. (Fuqua C et al., 1994). На данный момент существует несколько определений термина. Так, Abisado RG совместно с коллегами (2018) поясняют, что кворум сенсинг – это тип передачи сигналов между клетками, который зависит от плотности популяции и вызывает изменения в поведении, когда популяция достигает критической плотности. Gupta DS и Kumar MS (2022) приводят следующее определение QS: это механизм связи у бактерий, контролирующей несколько явлений, в том числе образование биоплёнки, экспрессию генов вирулентности и адаптацию к стрессу. Учёные Mukherjee S и Bassler BL (2019) описывают QS, как процесс химической связи бактериальной клетки с клеткой, основанный на

производстве, обнаружении и реакции на внеклеточные сигнальные молекулы. Кворум сенсинг позволяет группам бактерий синхронно изменять поведение в ответ на изменения плотности популяции и видового состава местного сообщества.

Общий принцип всех определений понятия QS сводится к тому, что кворум сенсинг бактерий зависит от плотности микробных клеток, при увеличении популяции бактерий начинают накапливаться аутоиндукторы – внеклеточные сигнальные молекулы (Chen J et al., 2019). Когда достигается максимальная концентрация аутоиндукторов, происходит экспрессия или подавление генов патогенных организмов (Padder SA et al., 2018; Mai T et al., 2019). Бактерии обычно интегрируют информацию, закодированную в нескольких аутоиндукторах для контроля экспрессии генов, что обеспечивает межвидовую и внутривидовую коммуникацию и связь бактерий в микробиоте. Аутоиндукторы координируют экспрессию генов, отвечающих за выработку антибиотиков, экзоферментов и образование биоплёнки (Abisado RG et al., 2018; Krzyzek P, 2019; Mukherjee S and Bassler BL, 2019).

Передача сигналов QS может быть активирована собственными внеклеточными химическими сигналами в окружающей среде. Сигналы QS в основном состоят из N-ацилглюкозаминидных лактонов (AHL), аутоиндуцирующих пептидов (AIP) и аутоиндуктора-2 (AI-2), которые играют ключевую роль в регуляции бактериального патогенеза, в том числе в образовании биоплёнки, конъюгации плазмид, устойчивости к антибиотикам, синтезе факторов вирулентности (Eickhoff MJ and Bassler BL, 2018; Jiang Q et al., 2019). Для межклеточной коммуникации грамотрицательные и грамположительные бактерии имеют разные сигналы QS. При этом грамотрицательными бактериями продуцируются аутоиндукторы AHL (Reina JC et al., 2021; Padra JT et al., 2022), грамположительными – сигнальные молекулы AIP. Продуцирование и восприятие сигналов AI-2 происходит как грамположительными, так и грамотрицательными бактериями (Jiang Q et al., 2019).

Стоит указать, что под действием системы QS происходит контролирование экспрессии генов вирулентности у патогенов сельскохозяйственных животных и человека (Soukarieh A et al., 2018; Torres M et al., 2018; 2019). Аутоиндукторы способны оказывать действие на образование, поддержание и рассеивание структур биоплёнки. Образование её структуры влияет на устойчивость бактерий к иммунной системе хозяина. Эффективным средством для предотвращения образования биоплёнки у большинства патогенов является блокировка передачи сигналов QS (Ganesh PS and Rai VR, 2018). Например, биоплёнка оказывает действие на устойчивость к антибиотикам в популяциях патогенных бактерий *Vibrio harveyi* и *Aeromonas hydrophila* (Raissa G et al., 2020; El-Kurdi N et al., 2021).

Передача сигналов QS может быть нарушена путём ферментативной инактивации сигнальных молекул – механизма, известного как подавление кворума (QQ), который является одним из наиболее используемых подходов, применяемым для вмешательства в регуляторные механизмы, опосредованные QS, с целью контроля бактериальных инфекций (Reina JC et al., 2019). Ухудшая сигнал QS, ферменты, а именно, лактоназа AHL, ацилаза или оксиредуктаза, могут снижать выработку факторов вирулентности у патогенных бактерий (Santos RA et al., 2021).

Патогенами гидробионтов являются представители родов *Vibrio*, *Edwardsiella*, *Aeromonas*, *Pseudomonas* и *Yersinia* (Torres M et al., 2018). Наиболее изучены *Vibrio* – грамотрицательные бактерии, встречающиеся в морской среде. Из них 12 представителей являются патогенами не только для гидробионтов, но и могут вызывать инфекции у человека (Kasanah N et al., 2022). Такие представители, как *Vibrio harveyi*, *Vibrio campbellii* и *Vibrio alginolyticus* способны стать причиной высокой смертности у культивируемых рыб (Liu J et al., 2018; Zhang W and Li Ch, 2021). Эти патогены способны вызвать некроз кишечника, анемию, кровоизлияние в мышечных стенках, задержку жидкости в воздушном пузыре, а также общие симптомы – потерю аппетита и веса, вялость, обесцвечивание чешуи (Xie J et al., 2020; Alexpandi R et al., 2021). Кроме того, *Vibrio* способны адаптироваться к изменениям окружающей среды (Girard L, 2019; Yusof NAM et al., 2022).

В аквакультуре патогены *Vibrio harveyi* используют в качестве модельного вида. На примере патогена изучают влияние различных препаратов и их перспективность использования как аль-

тернатива антибиотикам (Mai T et al., 2019). Другим изучаемым патогеном является *Pseudomonas aeruginosa*, который вызывает острые и хронические инфекции (Ahator SD and Zhang LH, 2019; Sindeldecker D and Stoodley P, 2021), как у животных, так и у людей (Milivojevic D et al., 2018). Кроме того, *Pseudomonas aeruginosa* проявляет устойчивость к антибиотикам и иммунной системе хозяина (Pang Zh et al., 2019; Li J et al., 2023).

Dai L. совместно с коллегами (2019) указывают, что QS контролирует свыше 300 генов, которые регулируют факторы вирулентности, образование биоплёнки, устойчивость к антибиотикам и реакцию на стресс. Поэтому система QS играет важную роль в формировании механизмов устойчивости к лекарственным средствам, регулируя образование биоплёнок (Zhao X et al., 2020).

Ингибирование кворум сенсинга подразумевает подавление активности присущей патогену системы QS. В настоящее время учёные предлагают использовать ингибиторы кворума (QSI) в качестве нового жизнеспособного подхода к преодолению устойчивости к антибиотикам в аквакультуре. Принцип действия ингибиторов основан на блокировании взаимодействия AHL с сигнальными рецепторами. Применение ингибиторов кворума возможно при лечении вибриоза и аэромоназа рыб. Действие QSI направлено на ингибирование экспрессий генов, связанных с вирулентностью, а также на ослабление вирулентности патогенов аквакультуры (Hasan KN and Banerjee G, 2020; Gupta DS and Kumar MS, 2022; Mugwanya M et al., 2022).

Исследователи Nathalia O и Waturangi DE (2021) отмечают, что изоляты филлосферных бактерий показывают антибиотическую активность против патогенных для рыб бактерий *Aeromonas hydrophila*, *Streptococcus agalactiae* и *Vibrio harveyi*. Псаммаплин А и бисапразин, выделенные из морской губки *Aplysinella rhax*, проявляют ингибирующую активность у *Pseudomonas aeruginosa*, также эти вещества ингибируют продуцирование эластазы (Oluwabusola ET et al., 2022). Zeng YX совместно с коллегами (2022) получили сведения об актиномицине D, выделенном из *Streptomyces cyaneochromogenes* RC1. Установлено, что актиномицин D (50, 100 и 200 мкг/мл) проявляет хорошую анти-QS активность против *Pseudomonas aeruginosa*, снижает выработку факторов вирулентности. Учёным Qais FA и его коллегами (2021) была установлена эффективность использования кумарина против QS-регулируемых вирулентных признаков грамотрицательных бактерий. Кумарин ингибирует выработку пигмента виолацеина в *Chromobacterium violaceum* 12472 на 64,21 %. Похожий эффект получили Karuppiyah V и Seralathan M (2022) при использовании вакциновой кислоты в отношении *Chromobacterium violaceum* и метициллин-резистентного золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus*). Кислота ингибирует выработку вирулентности патогенов и пигмента виолацеина, снижает регуляцию генов.

В аквакультуре последние исследования показали перспективность использования ферментов QQ при снижении вирулентности патогенных бактерий у гидробионтов (Torres M et al., 2019). В течение нескольких лет были проведены важные исследования, которые показали эффективные результаты (Gupta DS and Kumar MS, 2022). Например, штамм *Bacillus thuringiensis* способен повышать устойчивость радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) к инфекции *Yersinia ruckeri* (Togabi Delshad S et al., 2018). Большинство исследователей используют штаммы-биосенсоры для выявления действия ингибиторов на бактерий (Kalia VC et al., 2019).

Pelusio NF вместе с коллегами (2020) отмечают действие микрокапсулированной смеси, содержащей лимонную и сорбиновую кислоты, тимол и ванилин, в дозировках 250, 500 и 1000 мг/кг корма на микробиоту кишечника радужной форели.

Santhakumaria S с соавторами (2018) сообщают, что использование в качестве ингибитора 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенола (DTBMP) против патогенов *Vibrio harveyi*, *Vibrio parahaemolyticus* и *Vibrio vulnificus* приводит к повышению выживаемости личинок белоногой креветки (*Litopenaeus vannamei*). Установлено, что добавление DTBMP снижает кишечную бактериальную колонизацию патогенов в организме креветок, что указывает на противоионфекционную эффективность. Также DTBMP ингибирует более ранние стадии образования биоплёнки и влияет на снижение образования микроколоний и многослойных биоплёнок культур.

Обработанный индолем *Vibrio parahaemolyticus* проявляет более низкую вирулентность по отношению к инфицированной модели и её хозяину – личинкам белоногой креветки (*Litopenaeus vannamei*). Так, присутствие индола при выращивании патогена уменьшает биолюминесценцию без существенной разницы в росте клеток. Снижается образование биоплёнки за 24 ч (Paopradit P et al., 2022).

Другим ингибитором кворума при выращивании личинок креветки (*Litopenaeus vannamei*) является альдегид цитраль. Sun Y вместе с коллегами (2019) описывает использование цитраля против патогена *Vibrio parahaemolyticus*. В своём эксперименте учёные констатируют, что цитраль эффективно снижает подвижность патогена. С увеличением концентрации цитраля (3,125, 6,25 или 12,5 мкг/мл) структура биоплёнки патогена становится рыхлой, при максимальной концентрации биоплёнка полностью разрушается.

Учёные под руководством Noog NM (2019) использовали чувствительные к кворуму мутации штамма *Vibrio campbellii* против патогена – дикого штамма *Vibrio campbellii*. В результате вирулентность патогена по отношению к личинкам буропятнистого групера (*Epinephelus fuscoguttatus*) регулировалась механизмом кворума. При этом чувствительные к кворуму мутации штамма повышали выживаемость личинок рыб.

Использование штаммов бактерий в качестве ингибиторов кворума также описывают другие учёные. Так, применение штамма *Bacillus licheniformis* T-1 в дозировке 0,02 мл при плотности клеток $2,6 \times 10^8$ КОЕ/мл подавляет кворум у патогена *Aeromonas hydrophila* и является потенциальным пробиотиком для профилактики и контроля заболеваемости у данио рерио (*Danio rerio*) (Chen B et al., 2020). Штамм *Streptomyces sp.* SH5 повышает выживаемость личинок рыб (*Danio rerio*) при заражении *Aeromonas hydrophila* и ингибирует выработку факторов вирулентности у патогена (Liang Q et al., 2022).

Escobar-Mucino E совместно с коллегами (2022) отмечают, что ингибиторы могут быть естественного и искусственного происхождения. Так, источниками ингибиторов природного происхождения являются фруктовые экстракты (ежевика, черника, экстракт ванили), травы (розмарин, куркума), масла специй (чеснок, гвоздика, корица) и фенольные соединения из растений. Синтетические ингибиторы кворума – альтернативные методы борьбы с патогенами, действие которых направлено на ингибирование экспрессии фенотипов вирулентности с низкой вероятностью развития резистентности. Стоит отметить, что естественные QSI используются чаще и предпочтительнее синтетических: во-первых, молекулы природного происхождения совместимы с окружающей средой и не токсичны; во-вторых, некоторые из них могут стать компонентами кормовых добавок (Vadassery DH and Pillari D, 2020). Натуральные ферменты, являющиеся ингибиторами кворума, по сравнению с синтетическими также обладают высокой специфичностью и селективностью в отношении ряда патогенов (Liu Y et al., 2019).

В настоящий момент исследования направлены на открытие новых экстрактов и молекул, имеющих противовирулентные свойства. Также есть некоторые данные о синергической активности некоторых ингибиторов с антибиотиками (Vasudevan S et al., 2018; Garcia-Contreras R et al., 2019). Так, исследователи Shaw E и Wuest WM (2020) отмечают, что совместное использование препаратов приводит к ослаблению образования биоплёнки и улучшению проникновению антибиотика в патогенную бактериальную клетку. Важное различие между использованием антибиотиков и QSI является действие препаратов на организм. Антибиотики подавляют рост бактерий, ингибиторы же в свою очередь влияют на вирулентность, что не приводит к возникновению резистентности (Gajdacs M and Spengler G, 2019; Escobar-Mucino E et al., 2020).

Заключение.

Аквакультура является важным источником продовольствия в отечественных и зарубежных хозяйствах. Перспектива данной отрасли связана и с повышением потребности населения в качественном животном белке. Последние годы продукция аквакультуры превысила продукцию, получаемую при вылове гидробионтов. Однако рост отрасли связан и с некоторыми проблемами,

среди которых основное место занимают инфекционные болезни гидробионтов. Распространение заболеваний среди объектов выращивания может стать причиной передачи патогенов через получаемую продукцию и потребителя, что способно негативно отразиться на здоровье населения. Современные методы выращивания предполагают несколько вариантов сокращения роста заболеваемости среди гидробионтов. Основное место занимает профилактическое кормление с добавлением различных препаратов – про- и пребиотиков, лекарственных препаратов, синбиотиков, наночастиц. Новым направлением является поиск добавок, способных ингибировать кворум сенсинг бактерий.

Изучение системы QS является развивающейся областью исследований в микробиологии. На данный момент влияние кворума и его действие на организм и патогены изучены не в полной мере. Современные исследования направлены на возможности использования ингибиторов QS бактерий при исследовании на устойчивость к антибиотикам и экспрессии факторов вирулентности. Кроме того, большое значение имеет изучение формирования и регуляции основных механизмов устойчивости микроорганизмов для профилактики и борьбы с заболеваниями. Среди проблем, которые ставятся перед учёными, выделяют механизм определения кворума, так как у разных микроорганизмов он может отличаться. Поиск различных ингибиторов кворума, которые будут влиять на устойчивость к антибиотикам, является актуальной областью знаний, необходимой для более полного изучения механизмов QS.

Новой ветвью изучения системы QS является исследование патогенов гидробионтов. На сегодняшний день понимание действия QS и использование ферментов QQ оказывает положительное действие на снижение или устранение вирулентности патогенных бактерий в отношении рыб и других гидробионтов. Регулирование заболеваний в аквакультуре путём вмешательства в QS является также эффективным способом снижения экономических потерь.

Основные предложения по положительному действию системы QS для улучшения здоровья гидробионтов направлены на использовании различных препаратов и веществ, способных подавлять кворум. Исследования мировых учёных ориентированы на поиске новых биологически активных веществ, в том числе в аквакультуре используют про- и пребиотики, лекарственные растения, наночастицы и т. д. В настоящее время хорошо зарекомендованы микроорганизмы *Bacillus* spp, *Lactobacillus* spp, *Bifidobacterium* spp, *Saccharomyces* spp, *Streptococcus* spp, *Streptomyces*, которые используют в качестве пробиотиков. Также последние исследования показали эффективность применения в кормлении рыб других биологически активных веществ, в том числе фитобиотических добавок, наночастиц, ферментных препаратов. Они могут действовать как противомикробные препараты и антипатогены, повышая общий иммунитет гидробионтов.

Таким образом, ингибирование кворум сенсинга бактерий становится новой многообещающей антибактериальной стратегией, которая направлена на улучшение состояния организма животных посредством развития бактериальной устойчивости и снижения факторов вирулентности посредством экспрессии генов.

Список источников

1. Влияние комплекса аминокислот и ультрадисперсных частиц диоксида кремния на рост рыб и аминокислотный состав печени / М.С. Аринжанова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 82-85. [Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JuV. Influence of a complex of amino acids and ultrafine particles of silicon dioxide on the growth of fish and the amino acid composition of the liver. Agrarian Scientific Journal. 2023;2:82-85. (In Russ.)]. doi: 10.28983/asj.y2022i2pp82-85
2. 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 morphobio-

chemical parameters of fish blood. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):115-125. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-105-3-115

3. Зуева М.С. Современный опыт включения биологически активных кормовых добавок в рацион рыб // *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. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):146-164. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146

4. 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. Килякова // *Животноводство и кормопроизводство*. 2023. 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*. 2023;106(4):18-29. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-106-4-18

5. Оценка элементного статуса карпа, выращиваемого на рационе с включением пробиотических препаратов / Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова, М.С. Зуева // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2022. № 1. С. 83-88. [Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV, Zueva MS. Assessment of the elemental status of carp grown on a diet with the inclusion of probiotic preparations. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-industrial Complex-Healthy Food Products*. 2022;1:83-88. (*In Russ.*). doi: 10.24412/2311-6447-2022-1-83-88

6. Abdel-Tawwab M, Adeshina I, Jenyo-Oni A, Ajani EK, Emikpe BO. Growth, physiological, antioxidants, and immune response of African catfish, *Clarias gariepinus* (B.), to dietary clove basil, *Ocimum gratissimum*, leaf extract and its susceptibility to *Listeria monocytogenes* infection. *Fish & Shellfish Immunology*. 2018;78:346-354. doi: 10.1016/j.fsi.2018.04.057

7. Abisado RG, Benomar S, Klaus JR, Dandekar AA, Chandler JR. Bacterial quorum sensing and microbial community interactions. *mBio*. 2018;9(3):e02331-17. doi: 10.1128/mBio.02331-17

8. Adams A. Progress, challenges and opportunities in fish vaccine development. *Fish & Shellfish Immunology*. 2019;90:210-214. doi: 10.1016/j.fsi.2019.04.066

9. Ahator SD, Zhang LH. Small is mighty-chemical communication systems in *Pseudomonas aeruginosa*. *Annual Review of Microbiology*. 2019;73:559-578. doi: 10.1146/annurev-micro-020518-120044

10. Alexpandi R, Ponraj JG, Swasthikka RP, Abirami G, Ragupathi Th, Jayakumar R, Ravi AV. Anti-QS mediated anti-infection efficacy of probiotic culture-supernatant against *Vibrio campbellii* infection and the identification of active compounds through *in vitro* and *in silico*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021;35:102108. doi: 10.1016/j.bcab.2021.102108

11. Blandford MI, Taylor-Brown A, Schlacher Th, Nowak B, Polkinghorne A. Epitheliocystis in fish: An emerging aquaculture disease with a global impact. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2018;65(6):1436-1446. doi: 10.1111/tbed.12908

12. Chen B, Peng M, Tong W, Zhang Q, Song Z. The quorum quenching bacterium *Bacillus licheniformis* T-1 protects zebrafish against *Aeromonas hydrophila* infection. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2020;12:160-171. doi: 10.1007/s12602-018-9495-7

13. Chen J, Wang B, Lu Y, Guo Y, Sun J, Wei B, Zhang H, Wang H. Quorum sensing inhibitors from marine microorganisms and their synthetic derivatives. *Marine Drugs*. 2019;17(2):80. doi: 10.3390/md17020080

14. Dai L, Wu TQ, Xiong YS, Ni HB, Ding Y, Zhang WC, Chu ShP, Ju Sh-Q, Yu J. Ibuprofen-mediated potential inhibition of biofilm development and quorum sensing in *Pseudomonas aeruginosa*. *Life Sciences*. 2019;237:116947. doi: 10.1016/j.lfs.2019.116947

15. Dong YH, Xu JL, Li XZ, Zhang LH. AiiA, an enzyme that inactivates the acylhomoserine lactone quorum-sensing signal and attenuates the virulence of *Erwinia carotovora*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2000;97(7):3526-3531. doi: 10.1073/pnas.97.7.3526

16. Eickhoff MJ, Bassler BL. SnapShot: bacterial quorum sensing. *Cell*. 2018;174(5):1328-1328.e1. doi: 10.1016/j.cell.2018.08.003
17. El-Kurdi N, Abdulla H, Hanora A. Anti-quorum sensing activity of some marine bacteria isolated from different marine resources in Egypt. *Biotechnology Letters*. 2021;43(2):455-468. doi: 10.1007/s10529-020-03020-x
18. Escobar-Mucino E, Arenas-Hernandez MMP, Luna-Guevara ML. Mechanisms of inhibition of quorum sensing as an alternative for the control of *E. coli* and *Salmonella*. *Microorganisms*. 2022;10(5):884. doi: 10.3390/microorganisms10050884
19. Firmino JP, Galindo-Villegas J, Reyes-Lopez FE, Gisbert E. Phytogetic bioactive compounds shape fish mucosal immunity. *Frontiers in Immunology*. 2021;12:695973. doi: 10.3389/fimmu.2021.695973
20. Fuqua C, Winans SC, Greenberg EP. Quorum sensing in bacteria: The LuxR-LuxI family of cell density-responsive transcriptional regulators. *Journal of Bacteriology*. 1994;176(2):269-275. doi: 10.1128/jb.176.2.269-275.1994
21. Gajdacs M, Spengler G. The role of drug repurposing in the development of novel antimicrobial drugs: non-antibiotic pharmacological agents as quorum sensing-inhibitors. *Antibiotics*. 2019;8(4):270. doi: 10.3390/antibiotics8040270
22. Ganesh PS, Rai VR. Attenuation of quorum-sensing-dependent virulence factors and biofilm formation by medicinal plants against antibiotic resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*. 2018;8(1):170-177. doi: 10.1016/j.jtcme.2017.05.008
23. Garcia-Contreras R, Wood TK, Tomas M. Editorial: Quorum Network (Sensing/Quenching) in Multidrug-Resistant Pathogens. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2019;9:80. doi: 10.3389/fcimb.2019.00080
24. Garza M, Mohan ChV, Rahman M, Wieland B, Hasler B. The role of infectious disease impact in informing decision-making for animal health management in aquaculture systems in Bangladesh. *Preventive Veterinary Medicine*. 2019;167:202-213. doi: 10.1016/j.prevetmed.2018.03.004
25. Girard L. Quorum sensing in *Vibrio* spp.: the complexity of multiple signaling molecules in marine and aquatic environments. *Critical Reviews in Microbiology*. 2019;45(4):451-471. doi: 10.1080/1040841X.2019.1624499
26. 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
27. Hasan KN, Banerjee G. Recent studies on probiotics as beneficial mediator in aquaculture: a review. *The Journal of Basic and Applied Zoology*. 2020;81:53. doi: 10.1186/s41936-020-00190-y
28. Huang X, Ma Y, Wang Y, Niu Ch, Liu Zh, Yao X, Jiang X, Pan R, Jia Sh, Li D, Guan X, Wang L, Xu Y. Oral probiotic vaccine expressing koi herpesvirus (KHV) ORF81 protein delivered by chitosan-alginate capsules is a promising strategy for mass oral vaccination of carps against KHV infection. *Journal of Virology*. 2021;95(12):e00415-21. doi: 10.1128/JVI.00415-21
29. Iorizzo M, Albanese G, Letizia F, Testa B, Tremonte P, Vergalito F, Lombardi SJ, Succi M, Coppola R, Sorrentino E. Probiotic potentiality from versatile *Lactiplantibacillus plantarum* strains as resource to enhance freshwater fish health. *Microorganism*. 2022;10(2):463. doi: 10.3390/microorganisms10020463
30. James G, Das BC, Jose S, Kumar VJR. *Bacillus* as an aquaculture friendly microbe. *Aquaculture International*. 2021;29:323-353. doi: 10.1007/s10499-020-00630-0
31. James G, Geetha PP, Puthiyedathu ST, Jayadradhan RKV. Applications of Actinobacteria in aquaculture: prospects and challenges. *3 Biotech*. 2023;13:42. doi: 10.1007/s13205-023-03465-7
32. Jia Sh, Zhou K, Pan R, Wei J, Liu Zh, Xu Y. Oral immunization of carps with chitosan-alginate microcapsule containing probiotic expressing spring viremia of carp virus (SVCV) G protein provides effective protection against SVCV infection. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020;105:327-329. doi: 10.1016/j.fsi.2020.07.052

33. Jiang Q, Chen J, Yang Ch, Yin Y, Yao K. Quorum sensing: a prospective therapeutic target for bacterial diseases. *BioMed Research International*. 2019;2019:2015978. doi: 10.1155/2019/2015978
34. Kalia VC, Patel SKS, Kang YCh, Lee J-K. Quorum sensing inhibitors as anti-pathogens: biotechnological applications. *Biotechnology Advances*. 2019;37(1):68-90. doi: 10.1016/j.biotechadv.2018.11.006
35. Karuppiyah V, Seralathan M. Quorum sensing inhibitory potential of vaccenic acid against *Chromobacterium violaceum* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2022;38:146. doi: 10.1007/s11274-022-03335-z
36. Kasanah N, Ulfah M, Rowley DC. Natural products as antivibrio agents: insight into the chemistry and biological activity. *RCS Advances*. 2022;12(53):34531-34547. doi: 10.1039/d2ra05076e
37. Krzyzek P. Challenges and limitations of anti-quorum sensing therapies. *Frontiers in Microbiology*. 2019;10:2473. doi: 10.3389/fmicb.2019.02473
38. Li J, Li Zh, Xie J, Xia Y, Gong W, Tian J, Zhang K, Yu E, Wang G. Quorum-quenching potential of recombinant PvdQ-engineered bacteria for biofilm formation. *International Microbiology*. 2023;26(3):639-650. doi: 10.1007/s10123-023-00329-1
39. Liang Q, Liu G, Guo Z, Wang Y, Xu Z, Ren Y, Zhang Q, Cui M, Zhao X, Xu D. Application of potential probiotic strain *Streptomyces* sp. SH5 on anti-*Aeromonas* infection in zebrafish larvae. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;127:375-385. doi: 10.1016/j.fsi.2022.06.049
40. Liu J, Fu K, Wu Ch, Qin K, Li F, Zhou L. "In-Group" communication in marine *Vibrio*: a review of N-Acyl homoserine lactones-driven quorum sensing. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2018;8:139. doi: 10.3389/fcimb.2018.00139
41. Liu Y, Ebalunode JO, Briggs JM. Insights into the substrate binding specificity of quorum-quenching acylase PvdQ. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*. 2019;88:104-120. doi: 10.1016/j.jmgm.2019.01.006
42. Longo SB, Clark B, York R, Jorgenson AK. Aquaculture and the displacement of fisheries captures. *Conservation Biology*. 2019;33(4):832-841. doi: 10.1111/cobi.13295
43. Lulijwa R, Rupia E J, Alfaro AC. Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers. *Reviews in Aquaculture*. 2019;12(2):640-663. doi: 10.1111/raq.12344
44. Mai T, Toullec J, Wynsberge SV, Besson M, Soulet S, Petek S, Aliotti E, Ekins M, Hall K, Erpenbeck D, Lecchini D, Beniddir MA, Saulnier D, Debitus C. Potential of faspaplysin and palauolide from *Faspaplysinopsis cf reticulata* to reduce the risk of bacterial infection in fish farming. *Fisheries and Aquatic Sciences*. 2019;22:30. doi: 10.1186/s41240-019-0145-0
45. Milivojevic D, Sumonja N, Medic S, Pavic A, Moric I, Vasiljevic V, Senerovic L, Nikodinovic-Runic J. Biofilm-forming ability and infection potential of *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from animals and humans. *Pathogens and Disease*. 2018;76(4):fty041. doi: 10.1093/femspd/fty041
46. Mugwanya M, Dawood MAO, Kimera F, Sewilam H. Updating the role of probiotics, prebiotics, and synbiotics for tilapia aquaculture as leading candidates for food sustainability: a review. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2022;14:130-157. doi: 10.1007/s12602-021-09852-x
47. Mukherjee S, Bassler BL. Bacterial quorum sensing in complex and dynamically changing environments. *Nature Reviews Microbiology*. 2019;17(6):371-382. doi: 10.1038/s41579-019-0186-5
48. Nathalia O, Waturangi DE. Extract from phyllosphere bacteria with antibiofilm and quorum quenching activity to control several fish pathogenic bacteria. *BMC Research Notes*. 2021;14(1):202. doi: 10.1186/s13104-021-05612-w
49. Noor NM, Defoirdt T, Alipiah N, Karim M, Daud H, Natrah I. Quorum sensing is required for full virulence of *Vibrio campbellii* towards tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*). *Journal of Fish Diseases*. 2019;42(4):489-495. doi: 10.1111/jfd.12946
50. Oluwabusola ET, Katermeran NP, Poh WH, Goh MB, Tan LT, Diyaolu O, Tabudravu J, Ebel R, Rice SA, Jaspars M. Inhibition of the quorum sensing system, elastase production and bio-

film formation in *Pseudomonas aeruginosa* by psammaplin a and bisaprasin. *Molecules*. 2022;27(5):1721. doi: 10.3390/molecules27051721

51. Padder SA, Prasad R, Shah AH. Quorum sensing: A less known mode of communication among fungi. *Microbiological Research*. 2018;210:51-58. doi: 10.1016/j.micres.2018.03.007

52. Padra JT, Loibman SO, Thorell K, Sundh H, Sundell K, Linden SK. Atlantic salmon mucins inhibit luxs-dependent *A. Salmonicida* AI-2 quorum sensing in an n-acetylneuraminic acid-dependent manner. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(8):4326. doi: 10.3390/ijms23084326

53. Pang Zh, Raudonis R, Glick BR, Lin TJ, Cheng Zh. Antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: mechanisms and alternative therapeutic strategies. *Biotechnology Advances*. 2019;37(1):177-192. doi: 10.1016/j.biotechadv.2018.11.013

54. Paopradit P, Aksonkird T, Mittraparp P. Indole inhibits quorum sensing-dependent phenotypes and virulence of acute hepatopancreatic necrosis disease-causing *Vibrio parahaemolyticus*. *Aquaculture Research*. 2022;53(10):3586-3597. doi: 10.1111/are.15863

55. Pelusio NF, Rossi B, Parma L, Volpe E, Ciulli S, Piva A, D'Amico F, Scicchitano D, Candelà M, Gatta PP, Bonaldo A, Grilli E. Effects of increasing dietary level of organic acids and nature-identical compounds on growth, intestinal cytokine gene expression and gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at normal and high temperature. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020;107(Part A):324-335. doi: 10.1016/j.fsi.2020.10.021

56. Perez-Sanchez T, Mora-Sanchez B, Balcazar JL. Biological approaches for disease control in aquaculture: advantages, limitations and challenges. *Trends in Microbiology*. 2018;26(11):896-903. doi: 10.1016/j.tim.2018.05.002

57. Qais FA, Khan MS, Ahmad I, Husain FM, Khan RA, Hassan I, Shahzad SA, AlHarbi W. Coumarin exhibits broad-spectrum antibiofilm and anti-quorum sensing activity against gram-negative bacteria: *In Vitro* and *In Silico*. *ACS Omega*. 2021;6(29):18823-18835. doi: 10.1021/acsomega.1c02046

58. Raissa G, Waturangi DE, Wahjuningrum D. Screening of antibiofilm and anti-quorum sensing activity of Actinomycetes isolates extracts against aquaculture pathogenic bacteria. *BMC Microbiology*. 2020;20(1):343. doi: 10.1186/s12866-020-02022-z

59. Reina JC, Pérez-Victoria I, Martín J, Llamas I. A quorum-sensing inhibitor strain of *Vibrio alginolyticus* blocks qs-controlled phenotypes in *Chromobacterium violaceum* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Marine Drugs*. 2019;17(9):494. doi: 10.3390/md17090494

60. Reina JC, Romero M, Salto R, Camara M, Llamas I. AhaP, a quorum quenching acylase from *Psychrobacter* sp. M9-54-1 that attenuates *Pseudomonas aeruginosa* and *Vibrio coralliilyticus* virulence. *Marine Drugs*. 2021;19(1):16. doi: 10.3390/md19010016

61. Rezende RAE, Soares MP, Sampaio FG, Cardoso IL, Ishikawa MM, Dallago BSL, Rantin FT, Duarte MCT. Phytobiotics blend as a dietary supplement for Nile tilapia health improvement. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021;114:293-300. doi: 10.1016/j.fsi.2021.05.010

62. Ruiz CH, Osorio-Llanes E, Trespalacios MH, Mendoza-Torres E, Rosales W, Melendez Gomez CM. Quorum Sensing regulation as a target for antimicrobial therapy. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*. 2022;22(6):848-864. doi: 10.2174/1389557521666211202115259

63. Santhakumaria S, Jayakumar R, Logalakshmi R, Prabhu NM, Nazar AKA, Pandian SK, Ravi AV. *In vitro* and *in vivo* effect of 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol as an antibiofilm agent against quorum sensing mediated biofilm formation of *Vibrio* spp. *International Journal of Food Microbiology*. 2018;281:60-71. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.05.024

64. Santos RA, Monteiro M, Rangel F, Jerusik R, Saavedra MJ, Carvalho AP, Oliva-Teles A, Serra CR. *Bacillus* spp. inhibit *Edwardsiella tarda* quorum-sensing and fish infection. *Marine Drugs*. 2021;19(11):602. doi: 10.3390/md19110602

65. Shaw E, Wuest WM. Virulence attenuating combination therapy: a potential multi-target synergy approach to treat *Pseudomonas aeruginosa* infections in cystic fibrosis patients. *RSC Medicinal Chemistry*. 2020;11(3):358-369. doi: 10.1039/c9md00566h

66. Shrestha P, Cooper BS, Coast J, Oppong R, Thuy NDT, Phodha T, Celhay O, Guerin PhJ, Wertheim H, Lubell Y. Enumerating the economic cost of antimicrobial resistance per antibiotic consumed to inform the evaluation of interventions affecting their use. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*. 2018;7:98. doi: 10.1186/s13756-018-0384-3
67. Sindeldecker D, Stoodley P. The many antibiotic resistance and tolerance strategies of *Pseudomonas aeruginosa*. *Biofilm*. 2021;3:100056. doi: 10.1016/j.biofilm.2021.100056
68. Soukariéh F, Williams P, Stocks MJ, Camara M. *Pseudomonas aeruginosa* quorum sensing systems as drug discovery targets: current position and future perspectives. *Journal of Medical Chemistry*. 2018;61(23):10385-10402. doi: 10.1021/acs.jmedchem.8b00540
69. Sun Y, Guo D, Hua Z, Sun H, Zheng Z, Xia X, Shi Ch. Attenuation of multiple *Vibrio parahaemolyticus* virulence factors by citral. *Frontiers in Microbiology*. 2019;10:894. doi: 10.3389/fmicb.2019.00894
70. Torabi Delshad S, Soltanian S, Sharifyazdi H, Haghkhal M, Bossier P. Identification of N-acyl homoserine lactone-degrading bacteria isolated from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Applied Microbiology*. 2018;125(2):356-369. doi: 10.1111/jam.13891
71. 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
72. Torres M, Reina JC, Fuentes-Monteverde JC, Fernandez G, Rodriguez J, Jimenez C, Llamas I. AHL-lactonase expression in three marine emerging pathogenic *Vibrio* spp. reduces virulence and mortality in brine shrimp (*Artemia salina*) and Manila clam (*Venerupis philippinarum*). *PloS one*. 2018;13(4):e0195176. doi: 10.1371/journal.pone.0195176
73. Vadassery DH, Pillari D. Quorum quenching potential of *Enterococcus faecium* QQ12 isolated from gastrointestinal tract of *Oreochromis niloticus* and its application as a probiotic for the control of *Aeromonas hydrophila* infection in goldfish *Carassius auratus* (Linnaeus 1758). *Brazilian Journal of Microbiology*. 2020;51:1333-1343. doi: 10.1007/s42770-020-00230-3
74. Vasudevan S, Swamy SS, Kaur G, Princy SA, Balamurugan P. Synergism between quorum sensing inhibitors and antibiotics: combating the antibiotic resistance crisis. In: Kalia VC, editor. *Biotechnological Applications of Quorum Sensing Inhibitors*. Singapore: Springer; 2018:209-225. doi: 10.1007/978-981-10-9026-4_10
75. Xie J, Bu L, Jin Sh, Wang X, Zhao Q, Zhou S, Xu Y. Outbreak of vibriosis caused by *Vibrio harveyi* and *Vibrio alginolyticus* in farmed seahorse *Hippocampus kuda* in China. *Aquaculture*. 2020;523:735168. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735168
76. Yusof NAM, Razali SA, Padzil AM, Lau BYCh, Baharum SN, Muhammad NAN, Raston NHA, Chong ChM, Ikhsan NFM, Situmorang ML, Fei LCh. Computationally designed Anti-LuxP DNA aptamer suppressed flagellar assembly- and quorum sensing-related gene expression in *Vibrio parahaemolyticus*. *Biology (Basel)*. 2022;11(11):1600. doi: 10.3390/biology11111600
77. Zeng YX, Liu JSh, Wang YJ, Tang Sh, Wang DY, Deng ShM, Jia AQ. Actinomycin D: a novel *Pseudomonas aeruginosa* quorum sensing inhibitor from the endophyte *Streptomyces cyaneochromogenes* RC1. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2022;38:170. doi: 10.1007/s11274-022-03360-y
78. Zhang W, Li Ch. Virulence mechanisms of vibrios belonging to the Splendidus clade as aquaculture pathogens, from case studies and genome data. *Reviews in Aquaculture*. 2021;13(4):2004-2026. doi: 10.1111/raq.12555
79. Zhao X, Yu Z, Ding T. Quorum-Sensing Regulation of Antimicrobial Resistance in Bacteria. *Microorganisms*. 2020;8(3):425. doi: 10.3390/microorganisms8030425

References

1. Arinzhanova MS, Mirosnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JuV. Influence of a complex of amino acids and ultrafine particles of silicon dioxide on the growth of fish and the amino acid composition of the liver. *Agrarian Scientific Journal*. 2023;2:82-85. doi: 10.28983/asj.y2022i2pp82-85
2. Kilyakova YuV, Mirosnikova 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
3. Zueva MS. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):146-164. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146
4. Mingazova MS, Mirosnikova 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*. 2023;106(4):18-29. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-18
5. Mirosnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV, Zueva MS. Assessment of the elemental status of carp grown on a diet with the inclusion of probiotic preparations. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-industrial Complex-Healthy Food Products*. 2022;1:83-88. doi: 10.24412/2311-6447-2022-1-83-88
6. Abdel-Tawwab M, Adeshina I, Jenyo-Oni A, Ajani EK, Emikpe BO. Growth, physiological, antioxidants, and immune response of African catfish, *Clarias gariepinus* (B.), to dietary clove basil, *Ocimum gratissimum*, leaf extract and its susceptibility to *Listeria monocytogenes* infection. *Fish & Shellfish Immunology*. 2018;78:346-354. doi: 10.1016/j.fsi.2018.04.057
7. Abisado RG, Benomar S, Klaus JR, Dandekar AA, Chandler JR. Bacterial quorum sensing and microbial community interactions. *mBio*. 2018;9(3):e02331-17. doi: 10.1128/mBio.02331-17
8. Adams A. Progress, challenges and opportunities in fish vaccine development. *Fish & Shellfish Immunology*. 2019;90:210-214. doi: 10.1016/j.fsi.2019.04.066
9. Ahator SD, Zhang LH. Small is mighty-chemical communication systems in *Pseudomonas aeruginosa*. *Annual Review of Microbiology*. 2019;73:559-578. doi: 10.1146/annurev-micro-020518-120044
10. Alexpandi R, Ponraj JG, Swasthikka RP, Abirami G, Ragupathi Th, Jayakumar R, Ravi AV. Anti-QS mediated anti-infection efficacy of probiotic culture-supernatant against *Vibrio campbellii* infection and the identification of active compounds through *in vitro* and *in silico*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021;35:102108. doi: 10.1016/j.bcab.2021.102108
11. Blandford MI, Taylor-Brown A, Schlacher Th, Nowak B, Polkinghorne A. Epitheliocystis in fish: An emerging aquaculture disease with a global impact. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2018;65(6):1436-1446. doi: 10.1111/tbed.12908
12. Chen B, Peng M, Tong W, Zhang Q, Song Z. The quorum quenching bacterium *Bacillus licheniformis* T-1 protects zebrafish against *Aeromonas hydrophila* infection. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2020;12:160-171. doi: 10.1007/s12602-018-9495-7
13. Chen J, Wang B, Lu Y, Guo Y, Sun J, Wei B, Zhang H, Wang H. Quorum sensing inhibitors from marine microorganisms and their synthetic derivatives. *Marine Drugs*. 2019;17(2):80. doi: 10.3390/md17020080
14. Dai L, Wu TQ, Xiong YS, Ni HB, Ding Y, Zhang WC, Chu ShP, Ju Sh-Q, Yu J. Ibuprofen-mediated potential inhibition of biofilm development and quorum sensing in *Pseudomonas aeruginosa*. *Life Sciences*. 2019;237:116947. doi: 10.1016/j.lfs.2019.116947
15. Dong YH, Xu JL, Li XZ, Zhang LH. AiiA, an enzyme that inactivates the acylhomoserine lactone quorum-sensing signal and attenuates the virulence of *Erwinia carotovora*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2000;97(7):3526-3531. doi: 10.1073/pnas.97.7.3526
16. Eickhoff MJ, Bassler BL. SnapShot: bacterial quorum sensing. *Cell*. 2018;174(5):1328-1328.el. doi: 10.1016/j.cell.2018.08.003

17. El-Kurdi N, Abdulla H, Hanora A. Anti-quorum sensing activity of some marine bacteria isolated from different marine resources in Egypt. *Biotechnology Letters*. 2021;43(2):455-468. doi: 10.1007/s10529-020-03020-x
18. Escobar-Mucino E, Arenas-Hernandez MMP, Luna-Guevara ML. Mechanisms of inhibition of quorum sensing as an alternative for the control of *E. coli* and *Salmonella*. *Microorganisms*. 2022;10(5):884. doi: 10.3390/microorganisms10050884
19. Firmino JP, Galindo-Villegas J, Reyes-Lopez FE, Gisbert E. Phytogetic bioactive compounds shape fish mucosal immunity. *Frontiers in Immunology*. 2021;12:695973. doi: 10.3389/fimmu.2021.695973
20. Fuqua C, Winans SC, Greenberg EP. Quorum sensing in bacteria: The LuxR-LuxI family of cell density-responsive transcriptional regulators. *Journal of Bacteriology*. 1994;176(2):269-275. doi: 10.1128/jb.176.2.269-275.1994
21. Gajdacs M, Spengler G. The role of drug repurposing in the development of novel antimicrobial drugs: non-antibiotic pharmacological agents as quorum sensing-inhibitors. *Antibiotics*. 2019;8(4):270. doi: 10.3390/antibiotics8040270
22. Ganesh PS, Rai VR. Attenuation of quorum-sensing-dependent virulence factors and biofilm formation by medicinal plants against antibiotic resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*. 2018;8(1):170-177. doi: 10.1016/j.jtcme.2017.05.008
23. Garcia-Contreras R, Wood TK, Tomas M. Editorial: Quorum Network (Sensing/Quenching) in Multidrug-Resistant Pathogens. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2019;9:80. doi: 10.3389/fcimb.2019.00080
24. Garza M, Mohan ChV, Rahman M, Wieland B, Hasler B. The role of infectious disease impact in informing decision-making for animal health management in aquaculture systems in Bangladesh. *Preventive Veterinary Medicine*. 2019;167:202-213. doi: 10.1016/j.prevetmed.2018.03.004
25. Girard L. Quorum sensing in *Vibrio* spp.: the complexity of multiple signaling molecules in marine and aquatic environments. *Critical Reviews in Microbiology*. 2019;45(4):451-471. doi: 10.1080/1040841X.2019.1624499
26. 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
27. Hasan KN, Banerjee G. Recent studies on probiotics as beneficial mediator in aquaculture: a review. *The Journal of Basic and Applied Zoology*. 2020;81:53. doi: 10.1186/s41936-020-00190-y
28. Huang X, Ma Y, Wang Y, Niu Ch, Liu Zh, Yao X, Jiang X, Pan R, Jia Sh, Li D, Guan X, Wang L, Xu Y. Oral probiotic vaccine expressing koi herpesvirus (KHV) ORF81 protein delivered by chitosan-alginate capsules is a promising strategy for mass oral vaccination of carps against KHV infection. *Journal of Virology*. 2021;95(12):e00415-21. doi: 10.1128/JVI.00415-21
29. Iorizzo M, Albanese G, Letizia F, Testa B, Tremonte P, Vergalito F, Lombardi SJ, Succi M, Coppola R, Sorrentino E. Probiotic potentiality from versatile *Lactiplantibacillus plantarum* strains as resource to enhance freshwater fish health. *Microorganism*. 2022;10(2):463. doi: 10.3390/microorganisms10020463
30. James G, Das BC, Jose S, Kumar VJR. *Bacillus* as an aquaculture friendly microbe. *Aquaculture International*. 2021;29:323-353. doi: 10.1007/s10499-020-00630-0
31. James G, Geetha PP, Puthiyedathu ST, Jayadradhan RKV. Applications of Actinobacteria in aquaculture: prospects and challenges. *3 Biotech*. 2023;13:42. doi: 10.1007/s13205-023-03465-7
32. Jia Sh, Zhou K, Pan R, Wei J, Liu Zh, Xu Y. Oral immunization of carps with chitosan-alginate microcapsule containing probiotic expressing spring viremia of carp virus (SVCV) G protein provides effective protection against SVCV infection. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020;105:327-329. doi: 10.1016/j.fsi.2020.07.052
33. Jiang Q, Chen J, Yang Ch, Yin Y, Yao K. Quorum sensing: a prospective therapeutic target for bacterial diseases. *BioMed Research International*. 2019;2019:2015978. doi: 10.1155/2019/2015978

34. Kalia VC, Patel SKS, Kang YCh, Lee J-K. Quorum sensing inhibitors as anti-pathogens: biotechnological applications. *Biotechnology Advances*. 2019;37(1):68-90. doi: 10.1016/j.biotechadv.2018.11.006
35. Karuppiyah V, Seralathan M. Quorum sensing inhibitory potential of vaccenic acid against *Chromobacterium violaceum* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2022;38:146. doi: 10.1007/s11274-022-03335-z
36. Kasanah N, Ulfah M, Rowley DC. Natural products as antivibrio agents: insight into the chemistry and biological activity. *RCS Advances*. 2022;12(53):34531-34547. doi: 10.1039/d2ra05076e
37. Krzyzek P. Challenges and limitations of anti-quorum sensing therapies. *Frontiers in Microbiology*. 2019;10:2473. doi: 10.3389/fmicb.2019.02473
38. Li J, Li Zh, Xie J, Xia Y, Gong W, Tian J, Zhang K, Yu E, Wang G. Quorum-quenching potential of recombinant PvdQ-engineered bacteria for biofilm formation. *International Microbiology*. 2023;26(3):639-650. doi: 10.1007/s10123-023-00329-1
39. Liang Q, Liu G, Guo Z, Wang Y, Xu Z, Ren Y, Zhang Q, Cui M, Zhao X, Xu D. Application of potential probiotic strain *Streptomyces* sp. SH5 on anti-*Aeromonas* infection in zebrafish larvae. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;127:375-385. doi: 10.1016/j.fsi.2022.06.049
40. Liu J, Fu K, Wu Ch, Qin K, Li F, Zhou L. "In-Group" communication in marine *Vibrio*: a review of N-Acyl homoserine lactones-driven quorum sensing. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2018;8:139. doi: 10.3389/fcimb.2018.00139
41. Liu Y, Ebalunode JO, Briggs JM. Insights into the substrate binding specificity of quorum-quenching acylase PvdQ. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*. 2019;88:104-120. doi: 10.1016/j.jmgm.2019.01.006
42. Longo SB, Clark B, York R, Jorgenson AK. Aquaculture and the displacement of fisheries captures. *Conservation Biology*. 2019;33(4):832-841. doi: 10.1111/cobi.13295
43. Lulijwa R, Rupia E J, Alfaro AC. Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers. *Reviews in Aquaculture*. 2019;12(2):640-663. doi: 10.1111/raq.12344
44. Mai T, Toullec J, Wynsberge SV, Besson M, Soulet S, Petek S, Aliotti E, Ekins M, Hall K, Erpenbeck D, Lecchini D, Beniddir MA, Saulnier D, Debitus C. Potential of faspaplysin and palauolide from *Faspaplysinopsis* cf *reticulata* to reduce the risk of bacterial infection in fish farming. *Fisheries and Aquatic Sciences*. 2019;22:30. doi: 10.1186/s41240-019-0145-0
45. Milivojevic D, Sumonja N, Medic S, Pavic A, Moric I, Vasiljevic V, Senerovic L, Nikodinovic-Runic J. Biofilm-forming ability and infection potential of *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from animals and humans. *Pathogens and Disease*. 2018;76(4):fty041. doi: 10.1093/femspd/fty041
46. Mugwanya M, Dawood MAO, Kimera F, Sewilam H. Updating the role of probiotics, prebiotics, and synbiotics for tilapia aquaculture as leading candidates for food sustainability: a review. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2022;14:130-157. doi: 10.1007/s12602-021-09852-x
47. Mukherjee S, Bassler BL. Bacterial quorum sensing in complex and dynamically changing environments. *Nature Reviews Microbiology*. 2019;17(6):371-382. doi: 10.1038/s41579-019-0186-5
48. Nathalia O, Waturangi DE. Extract from phyllosphere bacteria with antibiofilm and quorum quenching activity to control several fish pathogenic bacteria. *BMC Research Notes*. 2021;14(1):202. doi: 10.1186/s13104-021-05612-w
49. Noor NM, Defoidt T, Alipiah N, Karim M, Daud H, Natrah I. Quorum sensing is required for full virulence of *Vibrio campbellii* towards tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*). *Journal of Fish Diseases*. 2019;42(4):489-495. doi: 10.1111/jfd.12946
50. Oluwabusola ET, Katermeran NP, Poh WH, Goh MB, Tan LT, Diyaolu O, Tabudravu J, Ebel R, Rice SA, Jaspars M. Inhibition of the quorum sensing system, elastase production and biofilm formation in *Pseudomonas aeruginosa* by psammaplin a and bisaprasin. *Molecules*. 2022;27(5):1721. doi: 10.3390/molecules27051721

51. Padder SA, Prasad R, Shah AH. Quorum sensing: A less known mode of communication among fungi. *Microbiological Research*. 2018;210:51-58. doi: 10.1016/j.micres.2018.03.007
52. Padra JT, Loibman SO, Thorell K, Sundh H, Sundell K, Linden SK. Atlantic salmon mucins inhibit luxs-dependent *A. Salmonicida* AI-2 quorum sensing in an n-acetylneuraminic acid-dependent manner. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(8):4326. doi: 10.3390/ijms23084326
53. Pang Zh, Raudonis R, Glick BR, Lin TJ, Cheng Zh. Antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: mechanisms and alternative therapeutic strategies. *Biotechnology Advances*. 2019;37(1):177-192. doi: 10.1016/j.biotechadv.2018.11.013
54. Paopradit P, Aksonkird T, Mittraparp P. Indole inhibits quorum sensing-dependent phenotypes and virulence of acute hepatopancreatic necrosis disease-causing *Vibrio parahaemolyticus*. *Aquaculture Research*. 2022;53(10):3586-3597. doi: 10.1111/are.15863
55. Pelusio NF, Rossi B, Parma L, Volpe E, Ciulli S, Piva A, D'Amico F, Scicchitano D, Candelà M, Gatta PP, Bonaldo A, Grilli E. Effects of increasing dietary level of organic acids and nature-identical compounds on growth, intestinal cytokine gene expression and gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at normal and high temperature. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020;107(Part A):324-335. doi: 10.1016/j.fsi.2020.10.021
56. Perez-Sanchez T, Mora-Sanchez B, Balcazar JL. Biological approaches for disease control in aquaculture: advantages, limitations and challenges. *Trends in Microbiology*. 2018;26(11):896-903. doi: 10.1016/j.tim.2018.05.002
57. Qais FA, Khan MS, Ahmad I, Husain FM, Khan RA, Hassan I, Shahzad SA, AlHarbi W. Coumarin exhibits broad-spectrum antibiofilm and antiquorum sensing activity against gram-negative bacteria: *In Vitro* and *In Silico*. *ACS Omega*. 2021;6(29):18823-18835. doi: 10.1021/acsomega.1c02046
58. Raissa G, Waturangi DE, Wahjuningrum D. Screening of antibiofilm and anti-quorum sensing activity of Actinomycetes isolates extracts against aquaculture pathogenic bacteria. *BMC Microbiology*. 2020;20(1):343. doi: 10.1186/s12866-020-02022-z
59. Reina JC, Pérez-Victoria I, Martín J, Llamas I. A quorum-sensing inhibitor strain of *Vibrio alginolyticus* blocks qs-controlled phenotypes in *Chromobacterium violaceum* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Marine Drugs*. 2019;17(9):494. doi: 10.3390/md17090494
60. Reina JC, Romero M, Salto R, Camara M, Llamas I. AhaP, a quorum quenching acylase from *Psychrobacter* sp. M9-54-1 that attenuates *Pseudomonas aeruginosa* and *Vibrio coralliilyticus* virulence. *Marine Drugs*. 2021;19(1):16. doi: 10.3390/md19010016
61. Rezende RAE, Soares MP, Sampaio FG, Cardoso IL, Ishikawa MM, Dallago BSL, Rantin FT, Duarte MCT. Phytobiotics blend as a dietary supplement for Nile tilapia health improvement. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021;114:293-300. doi: 10.1016/j.fsi.2021.05.010
62. Ruiz CH, Osorio-Llanes E, Trespalacios MH, Mendoza-Torres E, Rosales W, Melendez Gomez CM. Quorum Sensing regulation as a target for antimicrobial therapy. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*. 2022;22(6):848-864. doi: 10.2174/1389557521666211202115259
63. Santhakumaria S, Jayakumar R, Logalakshmi R, Prabhu NM, Nazar AKA, Pandian SK, Ravi AV. *In vitro* and *in vivo* effect of 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol as an antibiofilm agent against quorum sensing mediated biofilm formation of *Vibrio* spp. *International Journal of Food Microbiology*. 2018;281:60-71. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.05.024
64. Santos RA, Monteiro M, Rangel F, Jerusik R, Saavedra MJ, Carvalho AP, Oliva-Teles A, Serra CR. *Bacillus* spp. inhibit *Edwardsiella tarda* quorum-sensing and fish infection. *Marine Drugs*. 2021;19(11):602. doi: 10.3390/md19110602
65. Shaw E, Wuest WM. Virulence attenuating combination therapy: a potential multi-target synergy approach to treat *Pseudomonas aeruginosa* infections in cystic fibrosis patients. *RSC Medicinal Chemistry*. 2020;11(3):358-369. doi: 10.1039/c9md00566h
66. Shrestha P, Cooper BS, Coast J, Oppong R, Thuy NDT, Phodha T, Celhay O, Guerin PhJ, Wertheim H, Lubell Y. Enumerating the economic cost of antimicrobial resistance per antibiotic con-

sumed to inform the evaluation of interventions affecting their use. Antimicrobial Resistance & Infection Control. 2018;7:98. doi: 10.1186/s13756-018-0384-3

67. Sindeldecker D, Stoodley P. The many antibiotic resistance and tolerance strategies of *Pseudomonas aeruginosa*. Biofilm. 2021;3:100056. doi: 10.1016/j.biofilm.2021.100056

68. Soukarieh F, Williams P, Stocks MJ, Camara M. *Pseudomonas aeruginosa* quorum sensing systems as drug discovery targets: current position and future perspectives. Journal of Medical Chemistry. 2018;61(23):10385-10402. doi: 10.1021/acs.jmedchem.8b00540

69. Sun Y, Guo D, Hua Z, Sun H, Zheng Z, Xia X, Shi Ch. Attenuation of multiple *Vibrio parahaemolyticus* virulence factors by citral. Frontiers in Microbiology. 2019;10:894. doi: 10.3389/fmicb.2019.00894

70. Torabi Delshad S, Soltanian S, Sharifyazdi H, Haghkhal M, Bossier P. Identification of N-acetyl homoserine lactone-degrading bacteria isolated from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Journal of Applied Microbiology. 2018;125(2):356-369. doi: 10.1111/jam.13891

71. 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

72. Torres M, Reina JC, Fuentes-Monteverde JC, Fernandez G, Rodriguez J, Jimenez C, Llamas I. AHL-lactonase expression in three marine emerging pathogenic *Vibrio* spp. reduces virulence and mortality in brine shrimp (*Artemia salina*) and Manila clam (*Venerupis philippinarum*). PloS one. 2018;13(4):e0195176. doi: 10.1371/journal.pone.0195176

73. Vadassery DH, Pillari D. Quorum quenching potential of *Enterococcus faecium* QQ12 isolated from gastrointestinal tract of *Oreochromis niloticus* and its application as a probiotic for the control of *Aeromonas hydrophila* infection in goldfish *Carassius auratus* (Linnaeus 1758). Brazilian Journal of Microbiology. 2020;51:1333-1343. doi: 10.1007/s42770-020-00230-3

74. Vasudevan S, Swamy SS, Kaur G, Princy SA, Balamurugan P. Synergism between quorum sensing inhibitors and antibiotics: combating the antibiotic resistance crisis. In: Kalia VC, editor. Biotechnological Applications of Quorum Sensing Inhibitors. Singapore: Springer; 2018:209-225. doi: 10.1007/978-981-10-9026-4_10

75. Xie J, Bu L, Jin Sh, Wang X, Zhao Q, Zhou S, Xu Y. Outbreak of vibriosis caused by *Vibrio harveyi* and *Vibrio alginolyticus* in farmed seahorse *Hippocampus kuda* in China. Aquaculture. 2020;523:735168. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735168

76. Yusof NAM, Razali SA, Padzil AM, Lau BYCh, Baharum SN, Muhammad NAN, Raston NHA, Chong ChM, Ikhsan NFM, Situmorang ML, Fei LCh. Computationally designed Anti-LuxP DNA aptamer suppressed flagellar assembly- and quorum sensing-related gene expression in *Vibrio parahaemolyticus*. Biology (Basel). 2022;11(11):1600. doi: 10.3390/biology11111600

77. Zeng YX, Liu JSh, Wang YJ, Tang Sh, Wang DY, Deng ShM, Jia AQ. Actinomycin D: a novel *Pseudomonas aeruginosa* quorum sensing inhibitor from the endophyte *Streptomyces cyaneochromogenes* RC1. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2022;38:170. doi: 10.1007/s11274-022-03360-y

78. Zhang W, Li Ch. Virulence mechanisms of vibrios belonging to the Splendidus clade as aquaculture pathogens, from case studies and genome data. Reviews in Aquaculture. 2021;13(4):2004-2026. doi: 10.1111/raq.12555

79. Zhao X, Yu Z, Ding T. Quorum-Sensing Regulation of Antimicrobial Resistance in Bacteria. Microorganisms. 2020;8(3):425. doi: 10.3390/microorganisms8030425

Информация об авторах:

Марина Сергеевна Мингазова, ассистент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13; аспирант 2 года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 января, 29, 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.

Азамат Ерсанович Аринжанов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-922-806-33-43.

Юлия Владимировна Киякова, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-961-920-40-64.

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, Postgraduate student of 2 year of study, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, 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.

Azamat E Arinzhanov, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-922-806-33-43.

Yulia V Kilyakova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-961-920-40-64.

Статья поступила в редакцию 05.02.2024; одобрена после рецензирования 16.02.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 05.02.2024; approved after reviewing 16.02.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, №. 1. С. 147-160.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no. 1. P. 147-160.

Научная статья
УДК 639.3.043:577.17:591.11
doi:10.33284/2658-3135-107-1-147

Биологическое действие активированного угля в качестве кормовой добавки на организм радужной форели

Олег Владимирович Иньшин¹, Елена Петровна Мирошникова², Азамат Ерсайнович Аринжанов³

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

^{2,3}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹oleg0_0_0@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5200-4298>

²elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

³arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

Аннотация. В статье описаны результаты исследований по изучению воздействия дополнительного включения в рацион радужной форели активированного угля (АУ) в следующих дозировках: I опытная группа – 1 г/кг корма, II – 2 г/кг и III опытная группа – 3 г/кг. Включение в комбикорм дозировок активированного угля в количестве 1 и 3 г/кг комбикорма оказали положительное влияние на начальных стадиях выращивания товарной форели. Установлено, что при введении АУ в дозе 2 г/кг корма продуктивность роста рыбы повышается относительно контрольной группы на 19,5 %. Дополнительное включение АУ в рацион форели не оказало негативного влияния на морфологические показатели крови, но при этом отмечено снижение концентрации эритроцитов в опытных группах на 35,8 %. Во II опытной группе установлено повышение уровня тромбоцитов и тромбокрита на 138 % и 100 % соответственно относительно контрольных значений. Включение АУ в рацион радужной форели оказало влияние на биохимические показатели крови рыб. В I опытной группе зафиксировано достоверное увеличение общего белка на 56,67 % ($P \leq 0,05$), альбумина – на 35,33 % ($P \leq 0,01$), холестерина – на 52 %. Во II опытной группе установлено снижение аланинаминотрансферазы (АЛТ) на 39 % и аспаратаминотрансферазы (АСТ) на 39,4 % ($P \leq 0,05$), триглицеридов – на 78,2 % ($P \leq 0,05$). В III опытной группе отмечено увеличение билирубина общего на 78,57 % ($P \leq 0,01$) и мочевины – на 36,36 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля. При этом уровень глюкозы и АЛТ снизился по сравнению с контролем на 30,8 % ($P \leq 0,05$) и 59,9 % ($P \leq 0,05$) соответственно.

Ключевые слова: аквакультура, рыба, форель, кормление рыб, кормовые добавки, морфологические показатели крови, биохимические показатели крови, минеральный состав крови, кормовая угольная добавка, активированный уголь

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-76-10054.

Для цитирования. Иньшин О.В., Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е. Биологическое действие активированного угля в качестве кормовой добавки на организм радужной форели // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 147-160. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-147>

Original article

Biological effect of activated carbon as a feed additive on the organism of rainbow trout

Oleg V Inshin¹, Elena P Mirosnikova², Azamat E Arinzhanov³

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

^{2,3}Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹oleg0_0_0@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5200-4298>

²elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

³arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

Abstract. The article describes the results of studies on the impact of additional inclusion of activated carbon (AC) in the diet of rainbow trout in the following dosages: I experimental group – 1 g/kg, II experimental group – 2 g/kg and III experimental group – 3 g/kg of feed. The inclusion of activated carbon dosages of 1 and 3 g/kg of feed had a positive effect on the initial stages of commercial trout growth. It was found that the introduction of AC at a dose of 2 g/kg of feed increased fish growth productivity by 19.5% compared to the control group. Additional inclusion of AC in the diet of trout did not have a negative effect on the morphological parameters of blood, but at the same time there was a decrease in the concentration of erythrocytes in the experimental groups by 35.8%. In II experimental group, platelet and thrombocrit levels increased by 138% and 100%, respectively, compared to control values. Inclusion of AC in the diet of rainbow trout affected the biochemical parameters of fish blood. In I experimental group there was recorded a significant increase in total protein by 56.67% ($P \leq 0.05$), albumin - by 35.33% ($P \leq 0.01$), cholesterol - by 52%. In II experimental group there was a decrease in alanine aminotransferase (ALT) by 39% and aspartate aminotransferase (AST) by 39.4% ($P \leq 0.05$), triglycerides - by 78.2% ($P \leq 0.05$). In III experimental group there was an increase in total bilirubin by 78.57% ($P \leq 0.01$) and urea - by 36.36% ($P \leq 0.05$) relative to control. At the same time the level of glucose and ALT decreased by 30.8% ($P \leq 0.05$) and 59.9% ($P \leq 0.05$), respectively, in comparison with the control.

Keywords: aquaculture, fish, trout, fish feeding, feed additives, morphological blood parameters, biochemical blood parameters, blood mineral composition, feed carbon additive, activated carbon

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 23-76-10054.

For citation: Inshin OV, Mirosnikova EP, Arinzhanov AE. Biological effect of activated carbon as a feed additive on the organism of rainbow trout. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024; 107(1):147-160. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-147>

Введение.

Аквакультура является одной из основных ведущих отраслей агропромышленности в РФ (Тимонина Е.А., 2021). С 2006 года она была включена в приоритетный национальный проект «Развитие АПК» как направление сельскохозяйственной деятельности. С этого времени в РФ началось усиленное развитие данного сектора сельского хозяйства (Аварский Н.Д. и др., 2020; Куликова О.В., 2022). Развитие аквакультуры соответствует постановлению Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 г. № 314 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса».

Ранее считалось, что сбалансированные по составу корма способны обеспечить животных всеми питательными веществами (Yang Z et al., 2021), но современные исследования говорят о том, что корма могут быть загрязнены токсинами, которые способны значительно снизить эффективность производства продукции (Patriarca A, 2017). Кроме того, в XX веке в кормопроизводстве активно использовали антибиотики (Forgetta V et al., 2012), которые способствовали появлению антибиотикорезистентности и накоплению остатков препаратов в окружающей среде и в организме животных и людей (Gonzalez Ronquillo M and Angeles Hernandez JC, 2017; Yang Q et al., 2021).

Кормовые антибиотики применяют в аквакультуре для повышения эффективности производства (Lin J, 2014). Они способствуют лечению и профилактике различных заболеваний. Их использование позволяет увеличить темпы роста животных и сохранить их поголовье. Основным и главным негативным последствием такой практики учёные считают аккумуляцию антибиотиков в тканях и органах рыб (Gonzalez Ronquillo M and Angeles Hernandez JC, 2017). При систематическом употреблении такой продукции в пищу, человек сам становится биоаккумулятором антибиотиков. Очевидно, что такое явление негативно отражается на иммунитете и здоровье в целом. Систематическое употребление рыбы, выращенной с помощью таких препаратов, приводит к отрицательным последствиям для человеческого организма. Прежде всего опасна антибиотикорезистентность к препаратам терапевтического действия (Simakova IV et al., 2021).

Перечисленные факторы мотивируют исследователей к активному поиску новых эффективных препаратов, способных повысить продуктивность животных без вреда для здоровья (Bhatti SA et al., 2021).

В настоящее время одной из новых тенденций в кормлении животных является использование различных сорбентов, в частности активированного угля (АУ). Анализ научной информации показывает, что использование АУ в кормлении улучшает пищеварение, показатели крови, адсорбцию токсинов, а также эффективность использования корма. Доказано, что активированный уголь способен поглощать микотоксины из корма (Burchacka E et al., 2021) и улучшать показатели роста бройлеров (Oso AO et al., 2014). Исследования на птицах и млекопитающих демонстрируют способность АУ повышать иммунитет (Khatoun A et al., 2018; Bhatti SA et al., 2021).

Цель исследования.

Изучить влияние различных дозировок активированного угля на динамику роста и морфо-биохимический состав крови радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*).

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Годовики радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) средней массой 330 г.

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. Эксперимент проводился на базе садкового хозяйства ООО «Ирикла – рыба» (п. Энергетик д. 118, Новоорский р-н, Оренбургская область, Россия) в 2023 году.

Методом пар-аналогов были отобраны 400 рыб (m=330 г) и сформированы четыре группы (n=100), которые в течение первых 7 суток (подготовительный период) получали основной рацион (ОР). Затем группы были переведены на учётный период (8-100 суток), в рамках которого рыбам в ОР дополнительно вводили АУ: I опытная группа – ОР+АУ (1 г/кг корма), II опытная группа – ОР+АУ (2 г/кг корма), III опытная группа – ОР+АУ (3 г/кг корма). Контрольная группа получала ОР без АУ.

Корма опытных групп готовили, используя метод напыления кормовых добавок на гранулы комбикорма. В качестве ОР использовали экструдированный корм «Форель 42/20 А50» («ЛимКорм Аква», Россия). Суточная норма кормления – 1,6 % от массы тела рыб в соответствии с технологией выращивания. Рыбу кормили в светлое время суток 5 раз в день.

Контроль над ростом годовиков проводился утром до кормления еженедельно (± 1 г) (Мирошникова Е.П. и др., 2022).

Оборудование и технические средства. Морфологические и биохимические показатели крови оценивались в ЦКП БСТ РАН (<https://цкп-бст.рф/>) по стандартным методикам с помощью автоматического гематологического анализатора URIT-2900 Vet Plus, («URIT Medial Electronic Co.», Китай) и автоматического биохимического анализатора CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd.», Китай) с использованием коммерческих биохимических наборов для ветеринарии («ДИАКОН-

ДС», Россия; «Randox Laboratories Ltd», Великобритания). Для определения живой массы форели использовали электронные весы M-ER MERCURY 333ACLP-150.20/50 LCD 3612 (Россия).

Статистическая обработка. Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Данные представлены в виде: среднее (M) ± стандартная ошибка среднего (m). Определение достоверности различий определяли по t-критерию Стьюдента. Достоверными считали результаты при $P \leq 0,05$.

Результаты исследования.

В ходе исследований установлено, что кормовая добавка (АУ) влияет на выживаемость рыбы. Выживаемость рыбы в опытных группах составила 97 %, что было выше контрольной группы на 7 %. Добавление АУ в рацион не повлияло на реакцию рыбы на кормление, весь корм поедался активно, рыба четко реагировала на внешние раздражители.

Включение в экструдированный корм АУ в установленных дозировках оказало влияние на скорость роста живой массы рыбы (рис. 1). Динамика живой массы рыбы активно повышалась в первые 20 дней эксперимента. По окончании второй декады разница I, II и III опытных групп по сравнению с контрольной составила 8 % ($P \leq 0,05$); 11,2 % ($P \leq 0,05$) и 13,1 % ($P \leq 0,05$) соответственно.

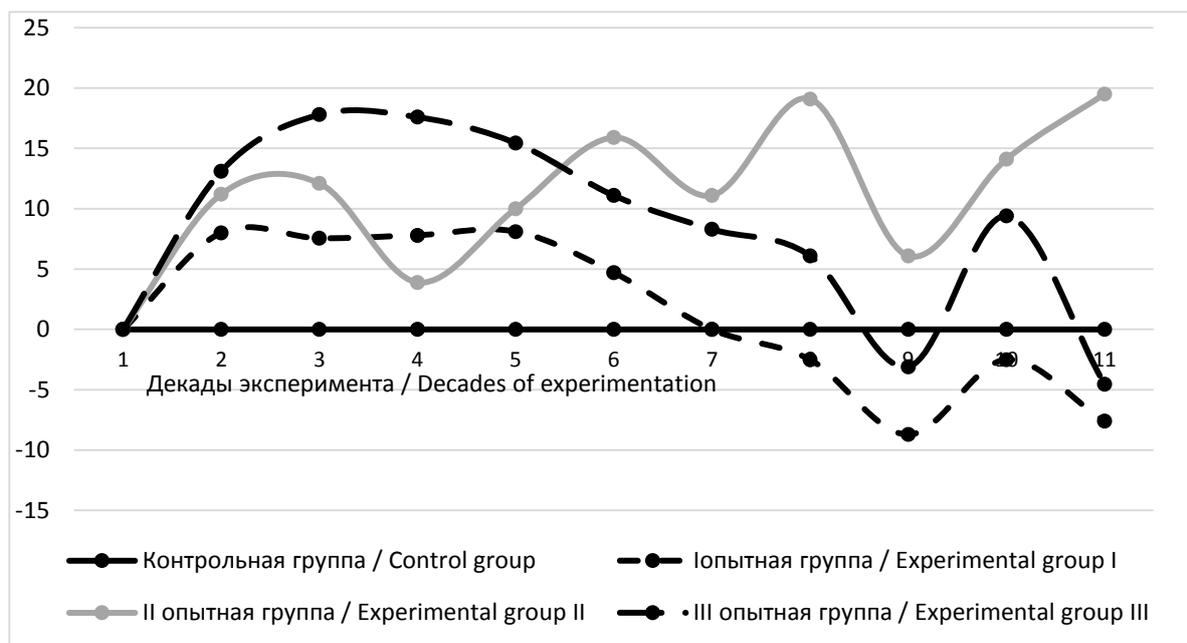


Рисунок 1. Динамика живой массы форели в опытных группах по сравнению с контрольной, %
Figure 1. Dynamics of live weight of trout in the experimental groups compared with the control group, %

В период 2-7 декад опытные группы также опережали контрольную в скорости роста. Максимальная живая масса на конец испытательного периода зафиксирована во II опытной группе – средняя масса форели была выше контроля на 19,5 % ($P \leq 0,05$). В I опытной группе в это же время отмечено снижение массы на 7,5 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с контролем. В III опытной группе было установлено повышение массы на 9,5 % ($P \leq 0,05$) до 10-й декады эксперимента, затем масса рыбы оказалась ниже массы рыбы контрольной группы на 4,5 % ($P \leq 0,05$).

В группах, потреблявших АУ, зарегистрирован более низкий уровень эритроцитов в сравнении с контрольной группой – на 35,8 % (табл. 1).

Таблица 1. Морфологические показатели крови радужной форели
Table 1. Morphological parameters of blood in rainbow trout

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	контроль /control	I	II	III
Эритроциты, $10^{12}/л$ <i>Erythrocyte, $10^{12}/l$</i>	0,14±0,08	0,09±0,05	0,09±0,05	0,09±0,05
Тромбоциты, $10^9/л$ <i>Thrombocytes, $10^9/l$</i>	35,3±8,08	30,3±6,8	84,0±13,7**	63,0±13,9
Средний объём тромбоцитов, Фл <i>Mean Platelet Volume, fl</i>	8,13±0,15	7,56±0,06	8,0±0,3	8,33±0,15
Тромбоцитрит, % / <i>Thrombocrit, %</i>	0,03±0,01	0,03±0,0	0,06±0,01*	0,05±0,01
Гемоглобин, г/л / <i>Hemoglobin, g/l</i>	165,33±21,2	187,33±22,12	162,3±31,3	162,6±43,6
Ширина распределения тромбоцитов, % / <i>Platelet Distribution Width, %</i>	12,4±0,1	11,6±0,06**	11,3±0,7	12,1±0,35

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ относительно контроля

Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$ relative to control

Количество тромбоцитов во II опытной группе превысило контрольное значение на 138,0 %, что почти в 2,5 раза выше нормы. Так же эти изменения отражаются и в значениях тромбоцитрита. Значение тромбоцитрита во II опытной группе на 100,0 % опередило показания контрольной группы.

Зафиксировано достоверное снижение ширины распределения тромбоцитов в I опытной группе на 6,5 %.

Включение АУ оказало влияние на биохимические показатели крови рыб (табл. 2).

Таблица 2. Биохимические показатели крови форели
Table 2. Biochemical blood parameters of trout

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	контроль /control	I	II	III
Глюкоза, ммоль/л <i>Glucose, mmol/l</i>	0,843±0,7	0,813±0,88	0,813±0,88	0,26±0,01*
Общий белок, г/л / <i>Total protein, g/l</i>	35,89±9,96	56,23±4,3*	37,39± 9,7	45,39±6,17
Альбумин, г/л / <i>Albumin, g/l</i>	16,5±0,5	22,33±1,15**	15,33±3,2	19,0±2,0
АЛТ, Ед/л / <i>ALT, U/l</i>	48,9±28,8	29,33±1,1**	19,2±4,4	29,3±1,1**
АСТ, Ед/л / <i>AST, U/l</i>	193,75±4,65	170,56±39,5	76,4±18,66*	186,93±84,58
Билирубин общий, мкмоль/л / <i>Total bilirubin, $\mu\text{mol/l}$</i>	4,48±0,3	4,14±1,3	3,7±0,67	8,0±0,73**
Холестерин, ммоль/л / <i>Cholesterol, mmol/l</i>	6,94±0,36	10,55±1,16*	5,64±1,15	8,0±0,73
Триглицериды, ммоль/л <i>Triglycerides, mmol/l</i>	3,94±0,61	3,67±0,45	0,86±1,35*	2,97±0,08
Креатинин, мкмоль/л / <i>Creatinine, $\mu\text{mol/l}$</i>	9,45±2,35	9,93±9,28	8,03±4,1	8,6±2,2
Мочевина, ммоль/л / <i>Urea, mmol/l</i>	1,8±0,3	1,86±0,63	2,5±1,15	3,83±0,03*

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ относительно контроля

Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$ relative to control

В I опытной группе зафиксировано достоверное увеличение общего белка на 56,7 % ($P \leq 0,05$), альбумина – на 35,3 % ($P \leq 0,01$), холестерина – на 52,0 %.

Для II опытной группы установлено недостоверное понижение аланинаминотрансферазы (АЛТ) на 39,0 % и достоверное понижение уровня триглицеридов – на 78,2 % ($P \leq 0,05$).

В III опытной группе относительно контроля произошло увеличение общего билирубина на 78,6 % ($P \leq 0,01$) и мочевины – на 36,4 % ($P \leq 0,05$). При этом уровень глюкозы и АЛТ снизился по сравнению с контролем на 30,8 % ($P \leq 0,05$) и 59,9 % ($P \leq 0,05$) соответственно.

В таблице 3 представлен минеральный состав крови форели. Увеличение количества железа зафиксировано во всех опытных группах. Так, уровень железа выше контроля на 49,6 % ($P \leq 0,05$), 68,2 % ($P \leq 0,05$) и 135,7 % ($P \leq 0,01$) в I, II и III опытных группах соответственно.

Таблица 3. Минеральный состав крови форели
Table 3. The mineral composition of blood in trout

Показатели / <i>Indicators</i>	Группа / <i>Group</i>			
	контроль / <i>control</i>	I	II	III
Железо, мкмоль/л / <i>Iron, μmol/l</i>	7,55±1	11,3±1,2*	12,7±1,1*	17,8±1,5*
Магний, ммоль/л / <i>Magnesium, mmol/l</i>	1,5±0,5	1,67±0,5	1,5±0,35	1,6±0,34
Фосфор, ммоль/л / <i>Phosphorus, mmol/l</i>	3,82±0,34	4±0,81	3,37±0,22	4±0,5
Кальций, ммоль/л / <i>Calcium, mmol/l</i>	4±0,03	6,64±2,7	3,5±0,8	4,2±0,07*

Примечание: * – $P \leq 0,05$ относительно контроля

Note: * – $P \leq 0.05$ relative to control

Обсуждение полученных результатов.

Отечественными и зарубежными учёными неоднократно устанавливался факт положительного воздействия различных кормовых добавок на рост рыб (Мирошникова Е.П. и др., 2022; Зуева М.С., 2022; Hassan M et al., 2023)

Значительное увеличение выживаемости форели напрямую связано с адсорбцией бактериологических патогенов и их метаболитов активированным углём. Именно поэтому активированный уголь признан одним из наиболее успешных способов предотвращения смертельных последствий перорального приёма токсинов (Hassan M et al., 2023).

Зафиксированный положительный эффект, оказанный на скорость роста живой массы, согласуется с ранее проведёнными исследованиями, в ходе которых обнаружено, что АУ является катализатором поглощения питательных веществ комбикорма молодью гигантских каранкасов (*Caranx ignobilis*). АУ функционирует как бактериальный абсорбент эндотоксина, который сам по себе ингибирует всасывание питательных веществ в кровь. Кроме того, активированному углю свойственно поглощать аммиак, который также является весьма токсичным веществом. Заявлено, что добавление АУ в корм ускоряет регенерацию слизистой оболочки за счёт нейтрализации кишечных болезнетворных бактерий (Firdus F et al., 2021). Также АУ играет роль в снижении поверхностного давления в кишечнике, поглощая и удаляя газы и яды, тем самым делая всасывание питательных веществ более интенсивным (Hai NV, 2015).

Некоторые исследования, проведённые ранее, свидетельствуют о нахождении определённого оптимума в дозировках АУ, включаемого в рацион рыб. Дозировки ниже оптимума и превышающие его способны оказать негативный эффект на продуктивность рыбы, что связано с изменениями структуры фавеолярных клеток желудка при длительном воздействии сорбирующих веществ (Firdus F et al., 2021), что и наблюдали в I и III опытных группах.

Гематологические показатели являются ценной информацией при оценке здоровья рыб и целесообразности применения тех или иных комбикормов, поскольку сама кровь активно подвержена влиянию внутренних и внешних факторов среды (Ma L et al., 2020).

Анализируя полученные в ходе научного эксперимента показатели, следует обратить внимание на недостоверное, но устойчивое снижение эритроцитов во всех трёх опытных группах. Та же зависимость зафиксирована в снижении уровня гемоглобина во II и III опытных группах. В природе такие изменения связаны с сезонными колебаниями температурного режима воды, в которой находится рыба. При повышении температуры воды у форели возникает кислородное голода-

ние и в некоторой степени замедление метаболизма, такие условия приводят к повышению уровня эритроцитов и гемоглобина в крови. В исследуемой ситуации отрицательная динамика этих показателей свидетельствует о снижении количества потребляемого кислорода ввиду того, что применение в кормлении АУ способствует улучшению пищеварения и, соответственно, понижению общего уровня активно потребляемого рыбой кислорода (Schvezov N et al., 2022).

Высокий уровень развития клеточного иммунитета на фоне действия АУ подтверждает повышение количества тромбоцитов во II и III опытных группах (Ахметова В.В. и Васина С.Б., 2015).

Влияние традиционных и новых биотехнологий на организм рыбы можно оценивать по биохимическим показателям, которые способны охарактеризовать протекающие внутриорганизменные реакции (Ганжа Е.В., 2012).

В I опытной группе наблюдалось достоверное увеличение общего белка на 56,67 % ($P \leq 0,05$), альбумина – на 35,33 % ($P \leq 0,01$), холестерина – на 52 %. Альбумин в крови взаимодействует напрямую с общим белком, который связан с усилением биосинтеза белка в печени и ответом врождённого иммунитета (Gharaei A et al., 2020). Чаще всего увеличение количества общего белка у рыб связано с отсутствием дисфункции печени (Ni M et al., 2021). В данном случае можно предположить, что АУ оказывает гепатопротекторный эффект, снимая функциональную нагрузку с клеток печени.

В ходе проведения исследований было установлено, что уровень глюкозы в III опытной группе повысился на 30,8 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с контролем. Уровень глюкозы является маркером физиологического стресса у животных. Изменение уровня глюкозы может указывать на незначительный стресс у рыбы (Ахметова В.В. и Васина С.Б., 2015; Kesbic OS et al., 2022), но в данном случае уровень гликемии соответствует потребностям эритроцитов, поскольку их уровень в III группе такой же, как и в других опытных и соответствует физиологической норме (Лыкасова И.А. и Макарова Г.П., 2019).

Уровни количества АЛТ и АСТ являются важными показателями в диагностике функций пищеварения и целостности печени (Килякова Ю.В. и др., 2022). В данном случае видно, что АУ способствует снижению АЛТ и АСТ на 39,4 % ($P \leq 0,01$) и 39% ($P \leq 0,01$) в I и III группах соответственно. Если повышение уровня АЛТ и АСТ в крови рыб является своеобразным индикатором загрязнённости воды (Singh J and Gaikwad DS, 2020), то снижение может быть связано с повышением активности ключевых ферментов гликолиза и белкового обмена (Мингазова М.С. и др., 2023). Понижение активности этих показателей может способствовать улучшению использования углеводов при получении энергии, снижать белковый катаболизм, усилить иммунные функции печени даже при воздействии высокотоксичных веществ (González JD et al., 2016; Kesbic OS et al., 2022).

Снижение активности АЛТ и АСТ в I и II группах может говорить о гепатопротекторном характере действия изучаемого препарата (Килякова Ю.В. и др., 2022).

Изменение уровня триглицеридов во II группе при включении в рацион указывает на замедление липидного обмена у рыб, что может быть связано с сезонным повышением температуры воды (Hassaan MS et al., 2018).

Показатель уровня мочевины в крови не является основным показателем почечной дисфункции, но имеет важное значение (Xu M et al., 2019). В крови III опытной группы зафиксировано достоверное увеличение уровня мочевины на 112 %, что выходит за пределы физиологической нормы. Повышение уровня мочевины в крови является одним из регуляторных механизмов поддержания положительного азотного баланса в организме рыб, она уменьшает токсическое влияние аммиака на ткани и органы (Xu M et al., 2019).

Повышение билирубина в III опытной группе на 78,5 % может говорить об увеличении показателей при интенсивном росте рыб (Ахметова В.В. и Васина С.Б., 2015).

В ходе исследований образцов биоматериала зафиксированы достоверные различия в сравнении с контрольными показателями по минеральному составу крови форели. Во всех опытных группах зарегистрировано повышение уровня железа и в III группе – кальция. Активированный уголь имеет высокий уровень железа, что объясняет его высокое содержание в крови. Железо вы-

полняет функцию окислительно-восстановительного колеса в пищеварительном тракте. Оно действует в качестве акцептора и донатора электронов, напрямую связывая различные биотические и абиотические окислительно-восстановительные реакции (Joseph S et al., 2015; Quin P et al., 2015). Таким образом, активированный уголь усиливает интенсивность окислительно-восстановительных процессов в пищеварительной системе рыб.

Заключение.

Применение активированного угля в дозировке 2 г/кг корма в кормлении радужной форели способствует увеличению темпов роста живой массы рыбы. Установлено, что АУ оказал положительное воздействие на морфологический состав крови рыб.

Список источников

1. Аринжанова М.С. Ультрадисперсные препараты металлов-микроэлементов: опыт использования и перспективы применения в аквакультуре // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 1. С. 8-30. [Arinzhanova MS. Ultrafine preparations of trace metals: experience of use and prospects for use in aquaculture (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):8-30. (*In Russ.*)] doi: 10.33284/2658-3135-105-1-8
2. 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: 10.18286/1816-4501-3-53-58
3. Биологическое действие кормовых добавок на организм карпа / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Килякова, А.Е. Аринжанов // Животноводство и кормопроизводство. 2023. 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*. 2023;106(3):121-137. (*In Russ.*)] doi: 10.33284/2658-3135-106-3-121
4. Влияние пробиотических препаратов на рост и развитие сеголетков карпа / Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова, М.С. Зуева // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: сб. материалов Всерос. науч.-метод. конф., (г. Оренбург, 26-27 янв. 2022 г.). Оренбург: ОГУ, 2022. С. 3509-3513. [Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV, Zueva MS. Vliyanie probioticheskikh preparatov na rost i razvitie segoletkov karpa (Conference proceedings) *Universitetskij kompleks kak regional'nyj centr obrazovaniya, nauki i kul'tury: sb. materialov Vseros. nauch.-metod. konf., (g. Orenburg, 26-27 janv. 2022 g.)*. Orenburg: OGU; 2022:3509-3513. (*In Russ.*)]
5. 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
6. 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

7. Ганжа Е.В. Физиологическое состояние лососевых рыб при использовании биотехнологий: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2012. 24 с. [Ganzha EV. Fiziologicheskoe sostojanie lososevyh ryb pri ispol'zovanii biotehnologij: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Moscow; 2012:24 p. (*In Russ.*)].
8. Зуева М.С. Современный опыт включения биологически активных кормовых добавок в рацион рыб // 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. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):146-164. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146
9. Куликова О.В. Органическая аквакультура в России: правовые и практические вопросы развития // Аграрное и земельное право. 2022. № 1(205). С. 57-61. [Kulikova OV. Organic aquaculture in Russia: legal and practical issues of development. *Agrarian and Land Law*. 2022;1(205):57-61. (*In Russ.*). doi: 10.47643/1815-1329_2022_1_57
10. Лыкасова И.А., Макарова Г.П. Влияние Набиката на морфобиохимические показатели крови карпа чешуйчатого // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2019. № 2(51). С. 90-95. [Lykasova IA, Makarova GP. Impact of nabicate on morphological biochemical parameters of european carp. *Vestnik of NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2019;2(51):90-95. (*In Russ.*). doi: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-90-95
11. Оценка элементного статуса карпа, выращиваемого на рационе с включением пробиотических препаратов / Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова, М.С. Зуева // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 1. С. 83-88. [Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV, Zueva MS. Assessment of the elemental status of carp grown on a diet with the inclusion of probiotic preparations. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex - Healthy Food Products*. 2022;1.83-88. (*In Russ.*). doi: 10.24412/2311-6447-2022-1-83-88
12. Развитие товарной аквакультуры в России: состояние и ключевые направления / Н.Д. Аварский, К.В. Колончин, С.Н. Серёгин, О.И. Бетин // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2020. № 8(65). С. 74-90. [Avarskii ND, Kolonchin KV, Seregin SN, Betin OI. Development of commodity aquaculture in Russia: state and key areas. *Economy, Labor, Management in Agriculture*. 2020;8(65):74-90. (*In Russ.*). doi: 10.33938/208-74
13. Тимонина Е.А. Перспективы развития аквакультуры в России // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сб. материалов Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. молодых ученых, (г. Пенза, 20-21 окт. 2021 г). Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. Т. 1. С. 168-170. [Timonina EA. Prospects for the development of aquaculture in Russia (Conference proceedings) *Vklad molodyh uchenyh v innovacionnoe razvitie APK Rossii: sb. materialov Vseros. (nacional'noj) nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh, (g. Penza, 20-21 okt. 2021 g)*. Penza: Penzenskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. 2021;1:168-170. (*In Russ.*)].
14. Bhatti SA, Khan M Z, Saleemi M K, Hassan ZU. Combating immunotoxicity of aflatoxin B1 by dietary carbon supplementation in broiler chickens. *Environ Sci Pollut Res*. 2021;28:49089-49101. doi: 10.1007/s11356-021-14048-5
15. Burchacka E, Pstrowka K, Beran E, Fałtynowicz H, Katarzyna C, Kułczyński M. Antibacterial agents adsorbed on active carbon: a new approach for *S. aureus* and *E. coli* pathogen elimination. *Pathogens*. 2021;10(8):1066. doi: 10.3390/pathogens10081066
16. Firdus F, Samadi S, Muhammadar AA, Sarong MA, Muchlisin ZA, Sari W, Mellisa S, Satria S, Boihaqi B, Batubara AS. Supplementation of rice husk activated charcoal in feed and its effects on growth and histology of the stomach and intestines from giant trevally, *Caranx ignobilis* [version 2; peer review: 2 approved, 1 approved with reservations] *F1000Res*. 2021;9:1274. doi: 10.12688/f1000research.27036.2
17. Forgetta V, Rempel H, Malouin F, Vaillancourt R Jr, Topp E, Dewar K, Diarra MS. Pathogenic and multidrug-resistant *Escherichia fergusonii* from broiler chicken. *Poult Sci*. 2012;91(2):512-525. doi: 10.3382/ps.2011-01738

18. Gharaei A, Khajeh M, Khosravanizadeh A, Mirdar J, Fadai R. Fluctuation of biochemical, immunological, and antioxidant biomarkers in the blood of beluga (*Huso huso*) under effect of dietary ZnO and chitosan-ZnO NPs. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2020;46(2):547-561. doi: 10.1007/s10695-019-00726-2
19. González JD, Silva-Marrero JI, Metón I, Caballero-Solares A, Viegas I, Fernández F, Miñarro M, Fàbregas A, Ticó JR, Jones JG, Baanante IV. Chitosan-mediated shRNA knockdown of cytosolic alanine aminotransferase improves hepatic carbohydrate metabolism. *Marine Biotechnology*. 2016;18(1):85-97. doi: 10.1007/s10126-015-9670-8
20. Gonzalez Ronquillo M, Angeles Hernandez JC. Antibiotic and synthetic growth promoters in animal diets: review of impact and analytical methods. *Food Control*. 2017;72(Part B):255-267. doi: 10.1016/j.foodcont.2016.03.001
21. Hai NV. The use of probiotics in aquaculture. *Journal of Applied Microbiology*. 2015;119(4):917-935. doi: 10.1111/jam.12886
22. 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
23. Hassan M, Wang Y, Rajput SA, Shaikat A, Yang P, Farooq MZ, Cheng Q, Ali M, Mi X, An Y, Qi D. Ameliorative effects of Luteolin and activated charcoal on growth performance, immunity function, and antioxidant capacity in broiler chickens exposed to deoxynivalenol. *Toxins*. 2023;15(8):478. doi: 10.3390/toxins15080478
24. Joseph S, Husson O, Graber E, Van Zwieten L, Taherymoosavi S, Thomas T, Nielsen S, Ye J, Pan G, Chia C, Munroe P, Allen J, Lin Y, Fan X, Donne S. The electrochemical properties of biochars and how they affect soil redox properties and processes. *Agronomy*. 2015;5(3):322-340. doi: 10.3390/agronomy5030322
25. Kesbic OS, Acar U, Hassaan MS, Yilmaz S, Guerrera 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
26. Khatoun A, Khan MZ, Abidin ZU, Bhatti SA. Effects of feeding bentonite clay upon ochratoxin A-induced immunosuppression in broiler chicks. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo*. 2018;35(3):538-545. doi: 10.1080/19440049.2017.1411612
27. Lin J. Antibiotic growth promoters enhance animal production by targeting intestinal bile salt hydrolase and its producers. *Frontier Microbiology*. 2014;5:33. doi: 10.3389/fmicb.2014.00033
28. Ma L, Kaneko G, Xie J, Wang G, Li Z, Tian J, Zhang K, Xia Y, Gong W, Li H, Yu E. Safety evaluation of four faba bean extracts used as dietary supplements in grass carp culture based on hematological indices, hepatopancreatic function and nutritional condition. *PeerJ*. 2020;8:e9516. doi: 10.7717/peerj.9516
29. 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
30. Oso AO, Akapo O, Sanwo K A, Bamgbose AM. Utilization of unpeeled cassava (*Manihot esculenta* Crantz) root meal supplemented with or without charcoal by broiler chickens. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl.)*. 2014;98:431-438. doi: 10.1111/jpn.12088
31. Patriarca A, Fernández Pinto V. Prevalence of mycotoxins in foods and decontamination. *Current Opinion in Food Science*. 2017;14:50-60. doi: 10.1016/j.cofs.2017.01.011
32. Quin P, Joseph S, Husson O, Donne S, Mitchell D, Munroe P, Phelan D, Cowie A, Van Zwieten L. Lowering N₂O emissions from soils using eucalypt biochar: the importance of redox reactions. *Scientific Reports*. 2015;5(1):16773. doi: 10.1038/srep16773

33. Schvezov N, Wilson RW, Urbina MA. Oxidative damages and antioxidant defences after feeding a single meal in rainbow trout. *J Comp Physiol B*. 2022 Jul;192(3-4):459-471. doi: 10.1007/s00360-022-01435-8
34. Simakova IV, Vasiliev AA, Korsakov KV, Sivokhina LA, Salautin VV, Gulyaeva LY, Dmitriev NO. Role of humic substances in formation of safety and quality of poultry meat. In: Makan A, editor. *Humic Substances*. UK, London: IntechOpen; 2021; P. 1-17. doi: 10.5772/intechopen.96595
35. Singh J, Gaikwad DS. *Phytogenic feed additives in animal nutrition*. Singh J, Yadav AN, editors. *Natural bioactive products in sustainable agriculture*. Singapore: Springer; 2020:273-289. doi: 10.1007/978-981-15-3024-1_13
36. 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
37. Yang Q, Gao Y, Ke J, Show PL, Ge Y, Liu Y, Guo R, Chen J. Antibiotics: An overview on the environmental occurrence, toxicity, degradation, and removal methods. *Bioengineered*. 2021;12(1):7376-7416. doi: 10.1080/21655979.2021.1974657
38. Yang Z, Huang S, Kong W, Chen L, Priakhina E, Khatoon Z, Ashraf M, Akram W. Effects of fish feed addition scenarios with prometryn on *Microcystis aeruginosa* growth and water qualities. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2021;209:111810. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111810

References

1. Arinzhanova MS. Ultrafine preparations of trace metals: experience of use and prospects for use in aquaculture (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):8-30. doi: 10.33284/2658-3135-105-1-8
2. 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: 10.18286/1816-4501-3-53-58
3. Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhanov AE. Biological effect of feed additives on carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):121-137. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-121
4. Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV, Zueva MS. Effect of probiotic preparations on the growth and development of carp juveniles (Conference proceedings) University complex as a regional center of education, science and culture: Proceedings of the All-Russian scientific-methodical conference, (Orenburg, 26-27 January 2022). Orenburg: OSU; 2022:3509-3513.
5. 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
6. Kilyakova YuV, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Arinzhanova MS. Influence of phyto-biotic 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
7. Ganzha EV. *Physiological state of salmon fishes at use of biotechnologies: thesis of dissertation ...* Candidate of Biological Sciences. Moscow; 2012:24 p.
8. Zueva MS. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):146-164. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146
9. Kulikova OV. *Organic aquaculture in Russia: legal and practical issues of development*. *Agrarian and Land Law*. 2022;1(205):57-61. doi: 10.47643/1815-1329_2022_1_57
10. Lykasova IA, Makarova GP. Impact of nabicate on morphological biochemical parameters of european carp. *Vestnik of NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2019;2(51):90-95. doi: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-90-95

11. Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV, Zueva MS. Assessment of the elemental status of carp grown on a diet with the inclusion of probiotic preparations. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro–Industrial Complex - Healthy Food Products*. 2022;1:83-88. doi: 10.24412/2311-6447-2022-1-83-88
12. Avarskii ND, Kolonchin KV, Seregin SN, Betin OI. Development of commodity aquaculture in Russia: state and key areas. *Economy, Labor, Management in Agriculture*. 2020;8(65):74-90. doi: 10.33938/208-74
13. Timonina EA. Prospects for the development of aquaculture in Russia (Conference proceedings) Contribution of young scientists in the innovative development of agroindustrial complex of Russia: Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference of young scientists, (Penza, 20-21 October 2021). Penza: Penza State Agrarian University. 2021;1:168-170.
14. Bhatti SA, Khan M Z, Saleemi M K, Hassan ZU. Combating immunotoxicity of aflatoxin B1 by dietary carbon supplementation in broiler chickens. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2021;28:49089-49101. doi: 10.1007/s11356-021-14048-5
15. Burchacka E, Pstrowka K, Beran E, Fałtynowicz H, Katarzyna C, Kułazyński M. Antibacterial agents adsorbed on active carbon: a new approach for *S. aureus* and *E. coli*. pathogen elimination. *Pathogens*. 2021;10(8):1066. doi: 10.3390/pathogens10081066
16. Firdus F, Samadi S, Muhammadar AA, Sarong MA, Muchlisin ZA, Sari W, Melissa S, Satria S, Boihaqi B, Batubara AS. Supplementation of rice husk activated charcoal in feed and its effects on growth and histology of the stomach and intestines from giant trevally, *Caranx ignobilis* [version 2; peer review: 2 approved, 1 approved with reservations] *F1000Res*. 2021;9:1274. doi: 10.12688/f1000research.27036.2
17. Forgetta V, Rempel H, Malouin F, Vaillancourt R Jr, Topp E, Dewar K, Diarra MS. Pathogenic and multidrug-resistant *Escherichia fergusonii* from broiler chicken. *Poult Sci*. 2012;91(2):512-525. doi: 10.3382/ps.2011-01738
18. Gharaei A, Khajeh M, Khosravanizadeh A, Mirdar J, Fadaei R. Fluctuation of biochemical, immunological, and antioxidant biomarkers in the blood of beluga (*Huso huso*) under effect of dietary ZnO and chitosan-ZnO NPs. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2020;46(2):547-561. doi: 10.1007/s10695-019-00726-2
19. González JD, Silva-Marrero JI, Metón I, Caballero-Solares A, Viegas I, Fernández F, Miñarro M, Fàbregas A, Ticó JR, Jones JG, Baanante IV. Chitosan-mediated shRNA knockdown of cytosolic alanine aminotransferase improves hepatic carbohydrate metabolism. *Marine Biotechnology*. 2016;18(1):85-97. doi: 10.1007/s10126-015-9670-8
20. Gonzalez Ronquillo M, Angeles Hernandez JC. Antibiotic and synthetic growth promoters in animal diets: review of impact and analytical methods. *Food Control*. 2017;72(Part B):255-267. doi: 10.1016/j.foodcont.2016.03.001
21. Hai NV. The use of probiotics in aquaculture. *Journal of Applied Microbiology*. 2015;119(4):917-935. doi: 10.1111/jam.12886
22. 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
23. Hassan M, Wang Y, Rajput SA, Shaikat A, Yang P, Farooq MZ, Cheng Q, Ali M, Mi X, An Y, Qi D. Ameliorative effects of Luteolin and activated charcoal on growth performance, immunity function, and antioxidant capacity in broiler chickens exposed to deoxynivalenol. *Toxins*. 2023;15(8):478. doi: 10.3390/toxins15080478
24. Joseph S, Husson O, Graber E, Van Zwieten L, Taherymoosavi S, Thomas T, Nielsen S, Ye J, Pan G, Chia C, Munroe P, Allen J, Lin Y, Fan X, Donne S. The electrochemical properties of biochars and how they affect soil redox properties and processes. *Agronomy*. 2015;5(3):322-340. doi: 10.3390/agronomy5030322

25. Kesbic OS, Acar U, Hassaan MS, Yilmaz S, Guerrera 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
26. Khatoon A, Khan MZ, Abidin ZU, Bhatti SA. Effects of feeding bentonite clay upon ochratoxin A-induced immunosuppression in broiler chicks. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo*. 2018;35(3):538-545. doi: 10.1080/19440049.2017.1411612
27. Lin J. Antibiotic growth promoters enhance animal production by targeting intestinal bile salt hydrolase and its producers. *Frontier Microbiology*. 2014;5:33. doi: 10.3389/fmicb.2014.00033
28. Ma L, Kaneko G, Xie J, Wang G, Li Z, Tian J, Zhang K, Xia Y, Gong W, Li H, Yu E. Safety evaluation of four faba bean extracts used as dietary supplements in grass carp culture based on hematological indices, hepatopancreatic function and nutritional condition. *PeerJ*. 2020;8:e9516. doi: 10.7717/peerj.9516
29. 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
30. Oso AO, Akapo O, Sanwo K A, Bamgbose AM. Utilization of unpeeled cassava (*Manihot esculenta* Crantz) root meal supplemented with or without charcoal by broiler chickens. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl.)*. 2014;98:431-438. doi: 10.1111/jpn.12088
31. Patriarca A Fernández Pinto V. Prevalence of mycotoxins in foods and decontamination. *Current Opinion in Food Science*. 2017;14:50-60. doi: 10.1016/j.cofs.2017.01.011
32. Quin P, Joseph S, Husson O, Donne S, Mitchell D, Munroe P, Phelan D, Cowie A, Van Zwieten L. Lowering N₂O emissions from soils using eucalypt biochar: the importance of redox reactions. *Scientific Reports*. 2015;5(1):16773. doi: 10.1038/srep16773
33. Schvezov N, Wilson RW, Urbina MA. Oxidative damages and antioxidant defences after feeding a single meal in rainbow trout. *J Comp Physiol B*. 2022 Jul;192(3-4):459-471. doi: 10.1007/s00360-022-01435-8
34. Simakova IV, Vasiliev AA, Korsakov KV, Sivokhina LA, Salautin VV, Gulyaeva LY, Dmitriev NO. Role of humic substances in formation of safety and quality of poultry meat. In: Makan A, editor. *Humic Substances*. UK, London: IntechOpen; 2021; P. 1-17. doi: 10.5772/intechopen.96595
35. Singh J, Gaikwad DS. Phytogetic feed additives in animal nutrition. Singh J, Yadav AN, editors. *Natural bioactive products in sustainable agriculture*. Singapore: Springer; 2020:273-289. doi: 10.1007/978-981-15-3024-1_13
36. 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
37. Yang Q, Gao Y, Ke J, Show PL, Ge Y, Liu Y, Guo R, Chen J. Antibiotics: An overview on the environmental occurrence, toxicity, degradation, and removal methods. *Bioengineered*. 2021;12(1):7376-7416. doi: 10.1080/21655979.2021.1974657
38. Yang Z, Huang S, Kong W, Chen L, Priakhina E, Khatoon Z, Ashraf M, Akram W. Effects of fish feed addition scenarios with prometryn on *Microcystis aeruginosa* growth and water qualities. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2021;209:111810. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111810

Информация об авторе:

Олег Владимирович Иньшин, аспирант 2 года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 января, 29, тел.: 8-987-793-88-70.

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.

Азамат Ерсаинович Аринжанов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-922-806-33-43.

Information about the authors:

Oleg V Inshin, Postgraduate student of 2 year of study, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel: 8-987-793-88-70.

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.

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 09.01.2024; одобрена после рецензирования 08.02.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 09.01.2024; approved after reviewing 08.02.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 161-175.
Animal Husbandry and Fodder Production.2024. Vol. 107, no 1. P. 161-175.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья
УДК 633.1:631.559(470.56)
doi:10.33284/2658-3135-107-1-161

Урожайность зерновых культур в богарных условиях степной зоны Южного Урала

**Виталий Юрьевич Скороходов¹, Юрий Васильевич Кафтан², Николай Алексеевич Максютлов³,
Наталья Анатольевна Зенкова⁴, Елена Николаевна Скороходова⁵**

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

¹ skorohodov.vitali1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4179-7784>

² yu.kaftan@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6653-7220>

³ maksyutov.n@mail.ru, <https://0000-0002-5469-3952>

⁴ natalya.zenkova1977mail@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1873-2245>

⁵ lena.1981.20@mail.ru

Аннотация. На продуктивность севооборотов и при возделывании культур в бессменных посевах влияют погодные условия, влажность почвы, содержание элементов питания, как растений, так и микроорганизмов, предшественник и засорённость агроценозов. Целью исследования являлось определение урожайности сельскохозяйственных культур, возделываемых на богаре в 2023 году, а также оценка влияния различных севооборотов на формирование урожайности яровой пшеницы и ячменя в условиях засухи. Исследования проводились сотрудниками отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН в период с 1990 по 2023 годы на стационарном участке, расположенном близ села Нежинка Оренбургского района Оренбургской области (51.7756125° с. ш. и 55.306547° в. д.). Почва опытного участка относится к чернозёмам южным карбонатным малогумусным тяжелосуглинистым с содержанием гумуса в пахотном слое 3,2-4,0 %. Изучались варианты возделывания яровой твёрдой пшеницы (Оренбургская 21), яровой мягкой (Учитель) и ячменя (Анна) в шестиполье, двуполье и бессменных посевах. Особенностью ранневесенней засухи 2023 года является отрицательное влияние применения минеральных удобрений, выражающееся снижением урожайности зерновых культур на удобренном фоне. Снижение урожайности яровой твёрдой пшеницы в 2023 году при применении минеральных удобрений в севооборотах составило от 1,31 ц (в севообороте с сидеральными) до 2,46 ц (в севообороте с озимыми). В опыте отмечается снижение урожайности яровой пшеницы на удобренном фоне после гороха на 0,6 ц, после кукурузы – на 2,0 ц с 1 га. Возделывание ячменя при использовании минеральных удобрений сопровождается положительным эффектом, наиболее высокая урожайность культуры – в шестиполье с сидератами, в последствии гороха (11,34 ц), проса (10,85 ц) и кукурузы (9,3 ц с 1 га). Моновозделывание ячменя сопровождается снижением урожайности культуры в сравнении с выращиванием в севооборотах (8,27 ц), а в двуполье по твёрдой пшенице она увеличивается до 9,23 ц с 1 га.

Ключевые слова: урожайность зерновых, продуктивная влага, удобрение, монопосев, севооборот, предшествующая культура

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2022-2024 гг. ФГБНУФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2022-0014).

Для цитирования: Урожайность зерновых культур в богарных условиях степной зоны Южного Урала / В.Ю. Скороходов, Ю.В. Кафтан, Н.А. Максютлов, Н.А. Зенкова, Е.Н. Скороходова // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 161-175. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-161>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

Grain crop yields under rain-fed conditions in the steppe zone of the Southern Urals

**Vitaly Yu Skorokhodov¹, Yuri V Kaftan², Nikolai A Maksyutov³, Natalya A Zenkova⁴,
Elena N Skorokhodova⁵**

¹²³⁴⁵Federal 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>

²yu.kaftan@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6653-7220>

³maksyutov.n@mail.ru, <https://0000-0002-5469-3952>

⁴natalya.zenkova1977mail@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1873-2245>

⁵lena.1981.20@mail.ru

Abstract. Weather conditions, soil moisture, nutrient content, both plant and microbial, precursors and weediness of agrocenoses affect the productivity of crop rotations and permanent crops. The purpose of the study was to determine the yield of agricultural crops grown on rainfed soils in 2023 and to evaluate the impact of different crop rotations on the yield of spring wheat and barley under drought conditions. The research was carried out by researchers of the Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies of the Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies RAS between 1990 and 2023 on a stationary site located near the Nezhinka village, Orenburg Region (51.7756125°N and 55.306547°E). The soil of the experimental plot belongs to southern carbonate, low-humus, heavy-loamy black soils with a humus content in the arable layer of 3.2-4.0%. The experimental design explores options for cultivating spring durum wheat (Orenburgskaya 21), spring soft wheat (Uchitel') and barley (Anna) in six-field, two-field and permanent crops. A feature of the early spring drought of 2023 is the negative impact of the use of mineral fertilizers, which is expressed by a decrease in the yield of grain crops against a fertilized background. The decrease in the yield of spring durum wheat in 2023 when using mineral fertilizers in crop rotations ranged from 1.31 centners (in crop rotation with green manure) to 2.46 centners (in crop rotation with winter crops). The experiment noted a decrease in the yield of spring wheat on a fertilized background after peas by 0.6 centners and after corn by 2.0 centners per 1 ha. Cultivation of barley using mineral fertilizers is accompanied by a positive effect and the highest crop yield is in a six-field with green manure, in the aftereffect of peas (11.34 c), millet (10.85 c) and corn (9.3 c per 1 ha). Monocultivation of barley is accompanied by a decrease in crop yield compared to cultivation in crop rotation (8.27 centners), and it increases to 9.23 centners per 1 ha in double-field durum wheat.

Keywords: grain yield, productive moisture, fertilizer, mono-seeding, crop rotation, previous crop

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2022-2024 FSBSI FRC BST RAS (FNWZ-2022-0014).

For citation: Skorokhodov YuV, Kaftan YuV, Maksyutov NA, Zenkova NA, Skorokhodova EN. Grain crop yields under rain-fed conditions in the steppe zone of the Southern Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024; 107(1):161-175. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-161>

Введение.

На сегодняшний день устойчивость и стабильность биосистемы в целом достигается за счёт использования севооборотов (Азизов З.М. и др., 2020; Горянин О.И. и Щербинина Е.В., 2020). Помимо природно-климатических факторов и условий выращивания растений на изменение продуктивности сельскохозяйственных культур оказывают влияние водный и питательный режимы, биоактивность почвы и др. (Ложкин А.Г. и др., 2018; Максютков Н.А. и др., 2015).

Сельскохозяйственные культуры, возделываемые в паровых полях как на корм животным, так и зелёное удобрение оказывают положительное влияние на плодородие почвы и увеличение продуктивности агроценозов. Использование в севооборотах бобово-злаковых и зернобобовых культур способствует восстановлению почвенного плодородия и в целом повышает продуктив-

ность пашни. Возделывание в севооборотах сидеральных культур также способствует повышению почвенного плодородия и увеличивает сбор сельскохозяйственной продукции с гектара (Долгополова Н.В., 2015; Неверов А.А., 2022; Максюттов Н.А. и др., 2014).

На продуктивность севооборотов и при возделывании культур в бессменных посевах влияют погодные условия, влажность почвы, содержание элементов питания, как растений, так и микроорганизмов, предшественник и засорённость агроценозов. В условиях большого дефицита влажности отмечается отрицательное воздействие среднесуточных температурных периодов, тем самым создаётся стрессовая ситуация для растений, приводящая в отдельные годы к гибели посевов (Елисеев И.П. и др., 2020; Смуров С.И. и др., 2020).

Выпавшие осадки летнего периода, особенно их недобор в засушливый год, способствуют снижению объёма зерновой продукции. Локальные изменения агрометеорологических условий и продуктивности культур в севооборотах при возделывании на богаре приводят к необходимости корректировки структуры посевных площадей и обновлению агротехнологий (Скорыходов В.Ю., 2004; Балакшина В.И., 2016).

Цель исследования.

Определить урожайность сельскохозяйственных культур, возделываемых на богаре в 2023 году. Дать оценку влияния различных севооборотов на формирование урожайности яровой пшеницы и ячменя в условиях засухи.

Материалы и методы исследования.

Объекты исследования. Яровая твёрдая пшеница Оренбургская 21, яровая мягкая пшеница Учитель, ячмень Анна.

Характеристика территорий и природно-климатические условия. Исследования проводились сотрудниками отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН на стационарном участке, расположенном близ села Нежинка Оренбургского района Оренбургской области (51.7756125° с. ш. и 55.306547 в. д.). Почва опытного участка – чернозём южный карбонатный малогумусный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое почвы 3,2-4,0 %, общего азота -0,2-0,31 %, общего фосфора – 0,14-0,22 %, подвижного фосфора – 1,5-2,5 мг, обменного калия – 30-38 мг на 100 г почвы, рН почвенного раствора – 7,0-8,1. Наименьшая полевая влагоёмкость в 0-100 см, 0-150 см слоях почвы составляет 297 мм (27,1 %) и 389 мм (25,4 %) соответственно.

В апреле 2023 года среднесуточная температура воздуха составила 10,3 °С при норме 4,8 °С. Погода мая сопровождалась дефицитом осадков (16 мм), засушливыми днями (22) и превышением температурного режима на 2,5 °С.

Схема эксперимента. Исследования проводились сотрудниками отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН в период с 1990 по 2023 годы на стационарном участке. В 2023 году полевой опыт закладывался в 4 повторениях. Размер делянок – 14,4×90 м (в шестиполье), 7,2×90 (в двуполье и бессменных посевах), длина агрофона с применением минеральных удобрений (N₄₀P₈₀K₄₀) составила 30 м, неудобренного фона – 60 м.

Схема опыта:

1. Яровая твёрдая пшеница: а) в шестиполье по чёрному, почвозащитному и сидеральному парам; б) в двуполье по мягкой пшенице, кукурузе, гороху, просу; в) бессменно.

2. Яровая мягкая пшеница: а) в шестиполье по твёрдой пшенице в последствии различных видов пара (3-е поле севооборотов); б) в последствии кукурузы, проса, гороха (5-е поле севооборотов); в) бессменно.

3. Ячмень:

а) в шестиполье по мягкой пшенице в последствии различных видов пара; б) бессменный посев.

В опыте применялась агротехника, рекомендуемая зональной. Норма высева яровой твёрдой пшеницы (Оренбургская 21) – 4,0 млн шт., яровой мягкой пшеницы (Учитель) – 4,5 млн шт., ячмень (Анна) – 4,0 млн шт. на 1 гектар.

Оборудование и технические средства. Сбор урожая проводился механизировано комбайном Сампо-500 (Финляндия). Влажность почвы определялась методом Воробьёва 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).

Результаты исследований.

На агрофоне с применением минеральных удобрений снижалась урожайность зерновых культур в связи с низким содержанием продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см. Влияние на урожайность яровой твёрдой пшеницы в условиях засухи оказывали агрофон и предшественники. В среднем по двум агрофонам урожайность твёрдой пшеницы составила после озимых 3,8 ц, по чёрному, почвозащитному и сидеральному парам соответственно – 2,7, 2,3 и 2,5 ц с 1 га (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность яровой твёрдой пшеницы в зависимости по различным предшественникам на двух фонах питания, ц с 1 га
Table 1. Yield of spring durum wheat depend on different precursors on two nutritional backgrounds, c per 1 ha

Севооборот / Crop rotation	Предшественник / Precursor	Данные 2023 года / Data for 2023				Средняя урожайность по фонам за 1990-2022 гг. / Average yield by background for 1990-2022	
		фон питания / nutritional background		разница урожайности + или – ц с 1 га / Yield differences + or – c from 1 ha	средняя урожайность по двум фонам / average yield for two backgrounds	удобренный / fertilized	неудобренный / not fertilized
		удобренный / fertilized	неудобренный / not fertilized				
1	2	3	4	5	6	7	8
Опыт по севооборотам / Experiment in crop rotation	Пар чёрный кулисный (контроль) / Black backstage fallow (control)	1,62	3,75	-2,13	2,7	11,1	10,7
	Пар почвозащитный / Soil protection fallow	1,33	3,21	-1,90	2,3	12,7	11,9
	Пар сидеральный / Green manure fallow	1,83	3,14	-1,31	2,5	12,9	12,4
	Озимая рожь по чёрному пару / Winter rye in black fallow	1,58	4,04	-2,46	3,8	12,1	10,7
Двуполе / Two-field	Кукуруза на силос / Corn for silage	0,62	1,49	-0,77	0,78	10,9	10,2
	Горох / Peas	0,79	1,50	-0,71	1,19	10,1	10,4
	Мягкая пшеница / Soft wheat	0,75	0,89	-0,14	0,82	10,4	9,5
	Ячмень / Barley	0,70	0,93	-0,23	0,81	8,8	7,9
	Просо / Millet	0,62	1,35	-0,63	0,99	-	-

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Бессменный посев яровой твёрдой пшеницы / <i>Permanent sowing of spring durum wheat</i>		1,00	1,06	-0,06	1,03	8,9	8,4
НСР05 по фактору A=0,19, по фактору B=0,42 / <i>LSD05 by factor A=0.19, by factor B=0.42</i>							

Примечание: фактор А – фон почвенного питания, фактор В – предшественник

Note: factor A – is the background of soil nutrition, factor B – is the precursor

Снижение урожайности яровой твёрдой пшеницы в 2023 году при применении минеральных удобрений в севооборотах составило от 1,31 ц (в севообороте с сидератами) до 2,46 ц (в севообороте с озимыми). Возделывание яровой твёрдой пшеницы по непаровым предшественникам сопровождается снижением урожайности культуры. Так, средняя урожайность культуры составила по кукурузе – 0,78 ц, по гороху – 1,19 и по просу – 0,99 ц с 1 га.

В условиях дефицита почвенных влагозапасов непосредственное влияние на урожайность яровой мягкой пшеницы оказывает фон питания.

Использование минеральных удобрений в посевах мягкой пшеницы привело к снижению урожайности культуры по всем предшествующим культурам за исключением твёрдой пшеницы по чёрному пару. С большим запасом продуктивной влаги в варианте с твёрдой пшеницей урожайность яровой мягкой пшеницы составило 3,8 ц с 1 га (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность яровой мягкой пшеницы в зависимости по различным предшественникам на двух фонах питания, ц с 1 га

Table 2. Yield of spring soft wheat depending on different precursors on two food backgrounds, c per 1 ha

№ севооборота / No. crop rotation	Предшественник / Precursor	Данные 2023 года / Data for 2023				Средняя урожайность по фонам за 1990-2022 гг. / Average yield by background for 1990-2022	
		фон питания / nutritional background		разница + или – цс 1 га / Yield differences + or – c from 1 ha	средняя по двум фонам / the average for two backgrounds	удобренный / fertilized	неудобренный / not fertilized
		удобренный / fertilized	неудобренный / not fertilized				
1	2	3	4	5	6	7	8
2	Твёрдая пшеница по чёрному пару / <i>Durum wheat by black fallow</i>	3,71	3,85	-0,14	3,8	9,8	9,4
3	Твёрдая пшеница по почвозащитному пару / <i>Durum wheat by soil protection fallow</i>	1,70	3,27	-1,57	2,5	10,1	9,2
4	Твёрдая пшеница по сидеральному пару / <i>Durum wheat by green manure fallow</i>	2,20	3,58	-1,38	2,9	9,7	8,8
1	Кукуруза на силос / <i>corn for silage</i>	1,20	3,21	-2,0	2,2	10,9	10,5

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Просо /millet	1,70	2,77	-1,07	2,2	10,1	9,1
1	Горох /peas	3,20	3,81	-0,61	3,5	12,1	11,7
Монопосев яровой мягкой пшеницы /Mono-seeding of spring soft wheat		2,75	4,27	-1,52	3,5	8,3	7,5
Мягкая пшеница (чередование с твёрдой) / Soft wheat (rotation with durum wheat)		1,74	3,58	-1,84	2,2	9,1	7,5
НСР05 по фактору А=0,19, по фактору В=0,42/ LSD05 by factor A=0.19, by factor B=0.42							

Примечание: фактор А – фон почвенного питания, фактор В – предшественник

Note: factor A – is the background of soil nutrition, factor B – is the precursor

Лучшим предшественником среди культур восстановителей почвенного плодородия является горох. Урожайность яровой мягкой пшеницы в последствии гороха составило в среднем 3,5 ц с 1 га. В опыте отмечается снижение урожайности яровой пшеницы на удобренном фоне после гороха на 0,61 ц, после кукурузы – на 2,0 ц с 1 га. Возделывание культуры в двуполье по твёрдой пшенице и бесменно не приводит к снижению урожайности в сравнении с возделыванием яровой мягкой пшеницы в шестипольных севооборотах. В сидеральном севообороте получена самая высокая урожайность ячменя (10,4 ц с 1 га). В трёх других севооборотах с озимыми, чёрным и почвозащитным паром урожайность культуры ячменя составила 8,0, 9,1 и 8,2 ц с 1 га (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность ярового ячменя в зависимости от вида севооборота, предшественника и фона питания, ц с 1 га

Table 3. Yield of spring barley depending on the type of crop rotation, precursor and nutrition background, kg per 1 ha

№ севооборота/No. crop rotation	Начальное звено севооборота, вариант/ Initial element of crop rotation, option	Предшественник ярового ячменя/ Precursor of spring barley	Данные 2023 года / Data for 2023				Средняя урожайность по фонам за 1990-2022 гг./ Average yield by back ground for 1990-2022	
			удобренный фон/ fertilized background	неудобренный фон/ not fertilized background	разница + или -, цс 1 га/ difference + or -, centners per 1 ha	средняя по двум фонам питания / average for two nutritional background	удобренный/ fertilized	неудобренный/ not fertilized
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Пар чёрный кулисный – озимые - яровая твёрдая пшеница / black back-stage fallow – winter crops - spring durum wheat	Яровая пшеница по кукурузе /Spring wheat over corn	7,87	7,39	+0,48	7,63	16,6	14,9
		Яровая пшеница по просу /Spring wheat over millet	7,74	8,37	-0,63	8,05	18,6	16,0
		Яровая пшеница по гороху /Spring wheat over peas	7,79	8,91	-1,72	8,35	18,3	16,2

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Пар чёрный кулисный – яровая твёрдая пшеница – яровая мягкая пшеница / <i>black back-stage fallow – spring durum wheat – springs soft wheat</i>	Яровая пшеница по кукурузе / <i>Spring wheat over corn</i>	6,99	9,22	-2,23	8,1	18,5	16,3
		Яровая пшеница по просу / <i>Spring wheat over millet</i>	8,29	10,27	-1,98	9,28	19,5	16,4
		Яровая пшеница по гороху / <i>Spring wheat over peas</i>	9,17	10,58	-1,41	9,87	18,3	16,7
3	Пар почвозащитный – яровая твёрдая пшеница – яровая мягкая пшеница / <i>Soil protection fallow – spring durum wheat – spring soft wheat</i>	Яровая пшеница по кукурузе / <i>Spring wheat over corn</i>	7,04	7,41	-0,37	5,72	17,3	16,4
		Яровая пшеница по просу / <i>Spring wheat over millet</i>	7,75	8,62	-0,87	8,18	19,0	15,9
		Яровая пшеница по гороху / <i>Spring wheat over peas</i>	11,08	10,93	+0,15	0,65	18,7	16,2
4	Пар сидеральный - яровая твёрдая пшеница – яровая мягкая пшеница / <i>Green manure fallow – spring durum wheat – spring soft wheat</i>	Яровая пшеница по кукурузе / <i>Spring wheat over corn</i>	10,04	8,02	+2,02	9,3	17,9	15,7
		Яровая пшеница по просу / <i>Spring wheat over millet</i>	12,41	9,29	+3,12	10,85	18,7	16,2
		Яровая пшеница по гороху / <i>Spring wheat over peas</i>	12,33	10,35	+1,98	11,34	17,9	15,5
Двупольный / <i>Two-field</i>		Твёрдая пшеница / <i>Durum wheat</i>	8,96	9,50	-0,54	9,23		
Бессменный посев с 1990 г. / <i>Permanent seeding since 1990</i>		Ячмень / <i>Barley</i>	8,25	9,50	-1,25	8,87	15,2	14,4

НСР05 по фактору А=0,35, по фактору В=0,92 / *LSD05 by factor A=0.35, by factor B=0.92*

Примечание: фактор А – фон почвенного питания, фактор В- предшественник

Note: factor A – is the background of soil nutrition, factor B – is a precursor

В севообороте с сидеральным паром урожайность ячменя в последствии гороха – 11,34 ц, проса – 10,85 ц и кукурузы – 9,3 ц с 1 га. При возделывании ячменя в сидеральном севообороте с применением минеральных удобрений прибавка зерна культуры составила 2,37 ц с 1 га. В севооборотах с почвозащитным и чёрным паром отмечается снижение урожайности ячменя на удобренном фоне от 0,46 до 1,87 ц с 1 га. В условиях засухи складываются оптимальные условия для возделывания ячменя с высокой биологической активностью почвы на фоне разложения сидеральной массы. Монополев ячменя по урожайности сравним с возделыванием культуры в севооборотах (8,27 ц с 1 га). Чередование культуры ячменя с твёрдой пшеницей в двуполье повышает урожайность до 9,23 ц с 1 га в сравнении с полученной в шестипольных севооборотах. Почвенные запасы в срок сева ранних зерновых культур зависят от ряда факторов, в том числе от осадков, выпавших в осенне-зимний и ранневесенний период, выносом его с урожайностью предшественника, метеоусловий сельскохозяйственного года, предшествующего посеву культуры и так далее. В 2023 году, по данным Оренбургского ГМЦ, за осенне-зимний (сентябрь-февраль) выпало 251 мм осадков (норма составляет 163 мм). К концу зимы высота снегового покрова составило 42 см. Наибольший запас продуктивной влаги метрового и полуметрового слоёв почвы отмечен в чёрном пару под посев яровой твёрдой пшеницы (181,2 и 259,0 мм). В период сева твёрдой пшеницы наибольшее количество продуктивной влаги находилось в метровом слое в севообороте с чёрным паром, минимальное – с почвозащитным (табл. 4).

Таблица 4. Запасы продуктивной влаги в почве (мм) под посевами яровой твёрдой пшеницы в шестипольных, двупольных севооборотах и бессменном посеве
Table 4. Reserves of productive moisture in the soil (mm) under spring durum wheat crops in six-field, two-field crop rotations and permanent sowing

Севооборот/ Crop rotation	Предшественник/ Precursor	Слой почвы, см/Soil layers, cm	Влажность почвы/ Soil moisture		Расход продуктивной влаги/ Consumption of productive moisture	
			в посев/ in sowing	в уборку/ in harvesting	мм/ mm	%
Шестиполье/ Six-field	Пар чёрный/ Black fallow	0-30	34,3	-	34,4	34
		0-100	105,4	-	105,4	100
	Пар почвозащитный /Soil protection fallow	0-30	25,8	-	25,8	100
		0-100	62,3	-	62,3	100
	Пар сидеральный/ Green manure fallow	0-30	27,8	-	27,8	100
		0-100	84,2	0,2	84,0	99,7
Двуполье/ Two-field	Озимая рожь / Winter rye	0-30	27,8	1,0	26,8	96,4
		0-100	99,0	1,0	98,0	98,9
	Кукуруза на силос / Corn for silage	0-30	24,9	4,2	20,7	83,1
		0-100	71,7	4,3	67,4	94,0
	Мягкая яровая пшеница /Soft spring wheat	0-30	30,3	6,2	24,1	79,5
		0-100	97,7	6,2	91,5	93,6
Бессменный посев / Permanent sowing	Ячмень /Barley	0-30	27,3	6,4	20,9	76,5
		0-100	95,3	6,4	88,9	93,2
	Горох /Peas	0-30	30,6	-	30,6	100
		0-100	84,7	-	84,7	100
	Просо /Millet	0-30	25,7	8,4	17,3	67,3
		0-100	71,7	8,4	63,3	88,2
Бессменный посев / Permanent sowing	Твёрдая яровая пшеница /Hard spring wheat	0-30	28,0	9,0	19,0	67,8
		0-100	64,2	11,7	52,5	81,7

Непаровые предшественники яровой твёрдой пшеницы аккумулируют примерно одинаковое количество продуктивной влаги, за исключением бессменного посева. Количество продуктивной влаги в монопосеве к весне составило 64,2 мм, из которых 11,7 мм – остаточная влага. Отсутствует закономерность по влагозапасам в вариантах яровой мягкой пшеницы. Наибольший влагозапас метрового слоя отмечается в севообороте с чёрным паром по твёрдой пшенице и после гороха (125,0 и 126,7 мм соответственно) и небольшое (63,9 мм) – в почвозащитном севообороте (табл. 5).

Таблица 5. Запасы продуктивной влаги в почве (мм) под мягкой яровой пшеницей в шестипольных, двухпольных севооборотах и бессменном посеве
Table 5. Reserves of productive moisture in the soil (mm) under soft spring wheat in six-field, two-field crop rotations and permanent sowing

Севооборот/ Crop rotation	Предшественник / Precursor	Слой почвы, см/ Soil layers, cm	Влажность почвы/ Soil moisture		Расход продуктивной влаги/ Consumption of productive moisture		
			в посев / in sowing	в уборку / in harvesting	мм/ mm	%	
Шестиполье/ Six-field	Кукуруза на силос/ Corn for silage	0-30	28,1	6,2	21,9	77,9	
		0-100	80,3	6,2	74,1	92,2	
	Просо /Millet	0-30	32,1	9,4	22,7	70,7	
		0-100	113,5	11,1	102,4	90,2	
	Горох /Peas	0-30	28,8	11,5	17,3	60,0	
		0-100	126,7	13,4	113,3	89,4	
	Твёрдая яровая пшеница по чёрному пару/ Hard spring wheat by black fallow	0-30	27,9	1,0	26,9	96,4	
		0-100	125,0	1,0	124,0	99,2	
		Твёрдая яровая пшеница по почвозащитному пару/ Hard spring wheat by soil protection fallow	0-30	24,6	10,0	14,6	59,3
			0-100	63,9	22,0	41,9	65,5
	Твёрдая яровая пшеница по сидеральному пару/ Hard spring wheat by green manure fallow	0-30	31,1	11,0	20,1	64,6	
		0-100	112,2	20,0	92,2	81,9	
Двуполье /Two-field	Твёрдая яровая пшеница / Hard spring wheat	0-30	24,0	-	24,0	100	
		0-100	81,1	-	81,1	100	
Бессменный посев / Permanent sowing	Мягкая яровая пшеница / Soft spring wheat	0-30	28,9	6,8	22,1	76,4	
		0-100	73,4	6,8	66,6	90,7	

Наибольшее количество остаточной влаги в метровом слое почвы отмечено при уборке твёрдой пшеницы в почвозащитном (22 мм) и сидеральном (20 мм) севооборотах. В шестиполье в качестве предшественника ячменя выступает яровая мягкая пшеница по сборному полю (кукуруза

на силос, просо, горох). В период посева ячменя отмечается наименьший влагозапас метрового слоя почвы в последствии проса (92,2 мм), а минимальный – по кукурузе (54,4 мм) и гороху (59,1 мм) (табл. 6).

Таблица 6. Запасы продуктивной влаги в почве (мм) под ячменём в шестипольных, двупольных севооборотах и бессменном посеве
Table 6. Reserves of productive moisture in the soil (m) under barley in six-field, two-field crop rotations and permanent sowing

Севооборот /Crop rotation	Предшественник /Precursor	Слой почвы, см/ Soil layers, cm	Влажность почвы /Soil moisture		Расход продуктивной влаги/ Consumption of productive moisture	
			в посев /in sowing	в уборку / in harvesting	мм / mm	%
Шестиполье/ Six-field	Мягкая яровая пшеница / Soft spring wheat	0-30	25,6	-	25,6	100
		0-100	54,9	2,1	52,8	96,1
	Мягкая яровая пшеница / Soft spring wheat	0-30	29,4	1,0	28,4	96,6
		0-100	92,2	3,9	88,3	95,7
	Мягкая яровая пшеница / Soft spring wheat	0-30	25,9	1,0	24,9	96,1
		0-100	59,1	1,9	57,2	96,7
Двуполье/ Two-field	Твёрдая яровая пшеница/ Hard spring wheat	0-30	28,5	3,7	24,8	87,0
		0-100	109,7	4,2	105,5	96,1
Бессменный посев/ Permanent sowing	Ячмень /Barley	0-30	28,1	4,6	23,5	83,6
		0-100	99,6	7,5	92,1	92,4

В двуполье после твёрдой пшеницы влажность почвы составила 109,7 мм. В послеуборочный период во всех вариантах опыта отмечается равное количество остаточной почвенной влаги.

Обсуждение полученных результатов.

Величина урожайности полевых культур, как в севооборотах, так и в монопосевах зависит от выпадения осадков в период вегетации растений и от продуктивных почвенных влагозапасов (Горянин О.И. и др., 2020). Доля влияния продуктивного влагозапаса перед уборкой (остаточная влага после уборки, предшественник) в метровом слое почвы на урожайность сельскохозяйственных культур в шестипольных севооборотах составляет 44,86 %. Применение минеральных удобрений эффективно при возделывании сельскохозяйственных культур на чернозёмах южных, что выражается в значительной прибавке урожайности. Исключение составляют посевы проса в виду биологических особенностей культуры и часто повторяющихся гидротермических стрессов в период вегетации. Многолетнее, ежегодное применение минеральных удобрений в севооборотах монопосевов сельскохозяйственных культур увеличивает накопление макроэлементов и повышает содержание гумуса в почве (Селиванова В.Ю., 2018; Максюттов Н.А. и др., 2015; Сумина А.В. и Полонский В.И., 2020). В монопосевах без использования минеральных удобрений снижается почвенная биоактивность. В сопровождении с минеральными удобрениями увеличивается урожайность полевых культур в севооборотах и монопосевах, возделываемых в богарных условиях.

Предшественники яровой твёрдой пшеницы в значительной степени влияют на урожайность культуры. В годы с сильной засушливостью отмечается полная зависимость урожайности яровой твёрдой пшеницы от выпавших осадков и температуры воздуха. Степень влияния минеральных удобрений на урожайность зависит как от общего объёма выпавших осадков, так и от характера и равномерности их распределения за вегетационный период (Балашов В.В. и др., 2017; Власов В.Г. и др., 2021). Основным фактором, влияющим на продуктивность культур в севооборотах, является температурный режим. Эффективное использование атмосферных осадков имеет важное значение для получения устойчивых урожаев яровых зерновых культур в засушливых степных районах. Дефицит атмосферных осадков весенне-летнего периода приводит к снижению урожайности яровой мягкой пшеницы в севооборотах. Весенний влагозапас метрового слоя в 150-160 мм обеспечивает получение урожайности сельскохозяйственных культур. В период вегетации яровой мягкой пшеницы наибольший весенний влагозапас по гороховому предшественнику – в верхнем (0-30) и метровом (0-100 см) слоях почвы, что составляет 46,4 и 167,2 мм (Мордвинцев М.П. и Солдаткина Е.А., 2020).

Урожайность ячменя в первую очередь зависит от погодных условий и внесённых удобрений. Влагообеспеченность почвы под посевами ячменя играет основную роль в формировании урожайности зерна. По данным Селивановой В.Ю. (2018), отмечено, что при бессменном посеве ячменя продуктивная влага в метровом слое снижается (особенно при сравнении с севооборотами) с 138,58 до 43,09 мм (Емельянов А.М. и Емельянова Л.К., 2019; Мордвинцев М.П. и др., 2019).

Заключение.

В засушливых условиях при низких влагозапасах периода посева основной фактор воздействия на урожайность культуры яровой мягкой пшеницы – фон питания. В годы с сильной засушливостью снижается эффект применения минеральных удобрений на формирование урожайности яровой пшеницы по различным предшественникам. Выращивание яровой мягкой пшеницы в двуполье и бессменно не приводит к снижению урожайности культуры, а её уровень сравним с полученным в шестипольных севооборотах. Возделывание ячменя при использовании минеральных удобрений сопровождается положительным эффектом и наиболее высокая урожайность культуры в шестиполье с сидератами, в последствии гороха (11,34 ц), проса (10,85 ц) и кукурузы (9,3 ц с 1 га) моновозделывание ячменя не сопровождается снижением урожайности культуры в сравнении с выращиванием в севооборотах (8,27 ц), а в двуполье по твёрдой пшенице она увеличивается до 9,23 ц с 1 га.

Список источников

1. Азизов З.М., Архипов В.В., Имашев И.Г. Урожайность проса, яровой мягкой и яровой твёрдой пшеницы в условиях засушливого Поволжья // Аграрный вестник Юго-Востока. 2020. № 1(24). С. 11-13. [Azizov ZM, Arkhipov VV, Imashev IG. Productivity of millet, spring soft and durum wheat in the conditions of arid Volga region. Agrarian Reporter of South-East. 2020;1(24):11-13. (In Russ.)].
2. Балакшина В.И. Особенности выращивания яровой пшеницы в условиях сухостепной зоны Волгоградской области // Пермский аграрный вестник. 2016. № 2(14). С. 4-9. [Balakshina VI. Peculiarities of growing spring wheat in dry steppe zone of the Volgogradskaya oblast. Perm Agrarian Journal. 2016;2(14):4-9. (In Russ.)].
3. Власов В.Г., Захарова Л.Г., Никифорова С.А. Влияние элементов технологии на водопотребление и эффективность возделывания яровой мягкой пшеницы // Аграрный научный журнал. 2021. № 9. С. 13-18. [Vlasov VG, Zakharova LG, Nikiforova SA. The efficiency of spring soft wheat cultivation in forest-steppe of the Volga region. The Agrarian Scientific Journal. 2021;9:13-18. (In Russ.)]. doi: 10.28983/asj.y2021i9pp13-18
4. Горянин О.И., Щербинина Е.В. Совершенствование технологии и возделывания яровой пшеницы в Поволжье // Аграрный научный журнал. 2020. № 6. С. 11-14. [Goryanin OI,

Shcherbinina EV. Improving the technology of spring wheat cultivation in the Volga region. The Agrarian Scientific Journal. 2020;6:11-14. *(In Russ.)*. doi: 10.28983/asj.y2020i6pp11-14

5. ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. Введ. 01.06.1990. М.: Стандартинформ, 2006. 7 с. [GOST 28268-89 Soils. Methods of determination of moisture, maximum hygroscopic moisture and moisture of steady plant fading. Introduction 1990-06-01. Moscow: Standartinform; 2006:7 p. *(In Russ.)*].

6. Долгополова Н.В. Динамика элементов питания при возделывании яровой твёрдой пшеницы по различным предшественникам и фонам удобренности // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 51-53. [Dolgopolova NV. Dinamika elementov pitaniya pri vozdelevanii yarovoj tvyordoj pshenicy po razlichnym predshestvennikam I fonam udobrennosti. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2015;4:51-53. *(In Russ.)*].

7. Елисеев И.П., Елисеев Л.В., Степанов А.В. Динамика продуктивности ячменя и стоимости зерна в зависимости от погодных условий в Чувашской Республике // Вестник Чувашской ГСХА. 2020. № 2(13). С. 13-20. [Eliseev IP, Eliseev LV, Stepanov AV. Dynamics of productivity and cost of barley grain depending on weather conditions in the Chuvash republic. Vestnik Chuvash SAA. 2020;2(13):13-20. *(In Russ.)*. doi: 10.17022/853m-jp34

8. Емельянов А.М., Емельянова Л.К. Динамика продуктивной влаги в зернопаровом севообороте сухой степи Бурятии // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2019. №1(54). С. 25-35. [Emelyanov AM, Emelyanova LK. The dynamics of productive moisture in grain crop rotation at dry steppe of Buryatia. Bulletin of the BSSA named after V. R. Filippov. 2019;1(54):25-35. *(In Russ.)*].

9. Ложкин А.Г., Мальчиков Н.Н., Мясникова М.Г. Яровая твёрдая пшеница в условиях лесостепной зоны Чувашской республики // Зерновое хозяйство России. 2018. № 4(58). С. 59-62. [Lozhkin AG, Mal'chikov NN, Myasnikova MG. Spring durum wheat in the conditions of forest-steppe region of the Chuvash republic. Grain Economy of Russia. 2018;4(58):59-62. *(In Russ.)*. doi: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-59-62

10. Мордвинцев М.П., Калиахметов Т.Е., Байсиитова М.С. Анализ использования сортовых ресурсов основных яровых зерновых культур в сельскохозяйственном производстве Адамовского района Оренбургской области // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. № 3. С. 135-148. [Mordvintcev MP, Kaliakhmetov TE, Baysiitova MS. Analysis of varietal resources of main spring grain crops used in agricultural production of the Adamovsky district of Orenburg region. Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(3):135-148. *(In Russ.)*. doi: 10.33284/2658-3135-102-3-135

11. Мордвинцев М.П., Солдаткина Е.А. Сорты ярового ячменя селекции Оренбургского государственного аграрного университета и их характеристика // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 4. С. 230-242. [Mordvintcev MP, Soldatkina EA. Varieties of spring barley selected by Orenburg State Agrarian University and their characteristics. Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(4):230-242. *(In Russ.)*. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-230

12. Неверов А.А. Стимулирующая роль микроэлементов на стадии прорастания семян ячменя // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 1. С. 159-170. [Neverov AA. Stimulating role of trace elements at the stage of germination of barley seeds. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(1):159-170. *(In Russ.)*. doi: 10.33284/2658-3135-105-1-159

13. Селиванова В.Ю. Влагообеспеченность яровых культур в севообороте с различными обработками почвы в сухостепной зоне Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1(49). С. 154-161. [Selivanova VU. Water safety of spring crops in northern performance with different soil processing in the dry velocity zone of the lower Volga region. Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2018;1(49):154-161. *(In Russ.)*. doi: 10.32786/2071-9485-2018-02-154-161

14. Скороходов В.Ю. Влияние предшественников и удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур в севообороте с короткой ротацией и при бессменном возделывании на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Региональная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов: сб. материалов. Оренбург: ОГУ. 2004. Ч. 3. С. 99-100. [Skorohodov VYu. Vliyanie predshestvennikov i udobrenij na urozhajnost' sel'skohozyajstvennyh kul'tur v sevooborote s korotkoj rotaciej i pri bessmennom vzdelyvanii na chernozemah yuzhnyh Orenburgskogo Predural'ya. Regional'naya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenyh i specialistov: sb. materialov. Orenburg: OGU; 2004;3:99-100. (In Russ.)].

15. Смуров С.И., Наумкин В.Н., Ермолаев С.Н. Урожайность и качество зерна ярового ячменя в зависимости от различных предшественников и фонов минерального питания // Вестник аграрной науки. 2020. № 2(83). С. 36-44. [Smurov SI, Naumkin VN, Ermolaev SN. Yield and quality of spring barley grain in dependence on various predecessors and backgrounds of mineral nutrition. Bulletin of Agrarian Science. 2020;2(83):36-44. (In Russ.)]. doi: 10.17238/issn2587-666X.2020.2.36

16. Сравнительная оценка продуктивности кормовых культур на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья / Н.А. Максютов, В.М. Жданов, В.Ю. Скороходов, Ю.В. Кафтан, Д.В. Митрофанов, Н.А. Зенкова, В.Н. Жижин // Вестник мясного скотоводства. 2014. № 4(87). С. 101-104. [Maksyutov NA, Zhdanov VM, Skorohodov VY, Kaftan YV, Mitrofanov DV, Zenkova NA, Zhizhin VN. Comparative assessment of productivity of feed crops on black soils of southern Orenburg Cis-Ural region. Herald of Beef Cattle Breeding. 2014;4(87):101-104. (In Russ.)].

17. Сумина А.В., Полонский В.И. Минеральный состав зерна ячменя выращенного в контрастных климатических условиях Сибири // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 1. С. 190-199. [Sumina AV, Polonky VI. The mineral composition of barley grain grown in contrasting climatic conditions of Siberia. Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(1):190-199. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-190

18. Технологии возделывания ярового ячменя в засушливых условиях Поволжья / О.И. Горянин, Е.В. Мадякин, Л.В. Пронович, Б.Ж. Джангабаев, Н.А. Яковлева // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 9. С. 42-47. [Goryanin OI, Madyakin EV, Pronovich LV, Dzhangabaev BZh, Yakovleva NA. Technologies for the cultivation of spring barley under arid conditions of the Volga region. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2020;34(9):42-47. (In Russ.)]. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10908

19. Урожайность яровой твёрдой пшеницы в зависимости от гидротермических условий на светло-каштановых почвах Волгоградской области / В.В. Балашов, А.В. Балашов, К.В. Лёвкина, К.А. Кудина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 4(48). С. 29-35. [Balashov VV, Balashov AV, Levkina KW, Kudina KA. Crop of spring hard wheat depending on hydrothermal conditions on light-chestnut soils in Volgograd region. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2017;4(48):29-35.(In Russ.)].

20. Эффективность применения удобрений в полевых севооборотах степной зоны Южного Урала / Н.А. Максютов, В.М. Жданов, В.Ю. Скороходов, Ю.В. Кафтан, Д.В. Митрофанов, Н.А. Зенкова, В.Н. Жижин // Проблемы рационального использования природохозяйственных комплексов засушливых территорий: сборник науч. трудов междунар. науч.-практ. конф.. (г. Волгоград, 22-23 мая 2015 г.). Волгоград: Изд-во Волгоградский государственный аграрный университет, 2015. С. 68-72. [Maksyutov NA, Zhdanov VM, Skorohodov VYu, Kaftan YuV, Mitrofanov DV, Zenkova NA, Zhizhin VN. Jeffektivnost' primenenija udobrenij v polevyh sevooborotah stepnoj zony Juzhnogo Urala (Conference proceedings) Problemy racional'nogo ispol'zovanija prirodohozjajstvennyh kompleksov zasushivyh territorij. Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. (g. Volgograd, 22-23 maja 2015 g.). Volgograd: Izd-vo Volgogradskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2015:68-72. (In Russ.)].

References

1. Azizov ZM, Arkhipov VV, Imashev IG. Productivity of millet, spring soft and durum wheat in the conditions of arid Volga region. *Agrarian Reporter of South-East*. 2020;1(24):11-13.
2. Balakshina VI. Peculiarities of growing spring wheat in dry steppe zone of the Volgogradskaya oblast. *Perm Agrarian Journal*. 2016;2(14):4-9.
3. Vlasov VG, Zakharova LG, Nikiforova SA. The efficiency of spring soft wheat cultivation in forest-steppe of the Volga region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;9:13-18. doi: 10.28983/asj.y2021i9pp13-18
4. Goryanin OI, Shcherbinina EV. Improving the technology of spring wheat cultivation in the Volga region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;6:11-14. doi: 10.28983/asj.y2020i6pp11-14
5. State Standard 28268-89. Soils. Methods of determination of moisture, maximum hygroscopic moisture and moisture of steady plant fading. Introduction 1990-06-01. Moscow: Standartinform; 2006:7 p.
6. Dolgopolova NV. Dynamics of nutrient elements in spring durum wheat cultivation under different predecessors and fertilization backgrounds. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2015;4:51-53.
7. Eliseev IP, Eliseev LV, Stepanov AV. Dynamics of productivity and cost of barley grain depending on weather conditions in the Chuvash republic. *Vestnik Chuvash SAA*. 2020;2(13):13-20. doi: 10.17022/853m-jp34
8. Emelyanov AM, Emelyanova LK. The dynamics of productive moisture in grain crop rotation at dry steppe of Buryatia. *Bulletin of the BSSA named after V.R. Filippov*. 2019;1(54):25-35.
9. Lozhkin AG, Mal'chikov NN, Myasnikova MG. Spring durum wheat in the conditions of forest-steppe region of the Chuvash republic. *Grain Economy of Russia*. 2018;4(58):59-62. doi: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-59-62
10. Mordvintcev MP, Kaliakhmetov TE, Baysitova MS. Analysis of varietal resources of main spring grain crops used in agricultural production of the Adamovsky district of Orenburg region. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(3):135-148. doi: 10.33284/2658-3135-102-3-135
11. Mordvintcev MP, Soldatkina EA. Varieties of spring barley selected by Orenburg State Agrarian University and their characteristics. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(4):230-242. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-230
12. Neverov AA. Stimulating role of trace elements at the stage of germination of barley seeds. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):159-170. doi: 10.33284/2658-3135-105-1-159
13. Selivanova VU. Water safety of spring crops in northern performance with different soil processing in the dry velocity zone of the lower Volga region. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2018;1(49):154-161. doi: 10.32786/2071-9485-2018-02-154-161
14. Skorohodov VYu. Influence of precursors and fertilizers on crop yields in short-rotation crop rotation and permanent cultivation on southern chernozems of the Orenburg Urals. *Regional Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists: collection of materials*. Orenburg: OSU; 2004;3:99-100.
15. Smurov SI, Naumkin VN, Ermolaev SN. Yield and quality of spring barley grain in dependence on various predecessors and backgrounds of mineral nutrition. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020;2(83):36-44. doi: 10.17238/issn2587-666X.2020.2.36
16. Maksyutov NA, Zhdanov VM, Skorohodov VY, Kaftan YV, Mitrofanov DV, Zenkova NA, Zhizhin VN. Comparative assessment of productivity of feed crops on black soils of southern Orenburg Cis-Ural region. *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2014;4(87):101-104.
17. Sumina AV, Polonky VI. The mineral composition of barley grain grown in contrasting climatic conditions of Siberia. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(1):190-199. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-190

18. Goryanin OI, Madyakin EV, Pronovich LV, Dzhangabaev BZh, Yakovleva NA. Technologies for the cultivation of spring barley under arid conditions of the Volga region. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2020;34(9):42-47. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10908

19. Balashov VV, Balashov AV, Levkina KW, Kudina KA. Crop of spring hard wheat depending on hydrothermal conditions on light-chestnut soils in Volgograd region. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2017;4(48):29-35.

20. Maksyutov NA, Zhdanov VM, Skorohodov VYu, Kaftan YuV, Mitrofanov DV, Zenkova NA, Zhizhin VN. Efficiency of using fertilizers in field crop rotations in the steppe zone of the Southern Urals (Conference proceedings) *Problems of rational use of environmental complexes in arid territories: collection of scientific papers of the international scientific and practical conference (Volgograd, 22-23 may 2015)*. Volgograd: Publishing house of Volgograd State Agrarian University, 2015:68-72.

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.

Юрий Васильевич Кафтан, 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.: 89878994748.

Николай Алексеевич Максюттов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный 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.: 892285759209.

Наталья Анатольевна Зенкова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший 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.: 89877870965.

Елена Николаевна Скороходова, соискатель, отдел земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1, тел.: 89225357644.

Information about the authors:

Vitaliy Yu Skorokhodov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89068458745.

Yuri V Kaftan, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89878994748.

Nikolay A Maksyutov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Researcher of the Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 892285759209.

Natalia A Zenkova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89877870965.

Elena N Skorokhodova, applicant, Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89225357644.

Статья поступила в редакцию 15.01.2024; одобрена после рецензирования 30.01.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 15.01.2024; approved after reviewing 30.01.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Руководство и сотрудники Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», редколлегия журнала «Животноводство и кормопроизводство»

СЕРДЕЧНО ПОЗДРАВЛЯЮТ С ЮБИЛЕЕМ:

**доктора биологических наук, члена-корреспондента РАН, директора ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН
Святослава Валерьевича Лебедева
доктора сельскохозяйственных наук, академика РАН Ивана Фёдоровича Горлова
доктора сельскохозяйственных наук, профессора Едиге Гапуевича Насамбаева
доктора сельскохозяйственных наук Валерия Юрьевича Хайнацкого**

Святослав Валерьевич Лебедев



Родился 20 марта 1974 года в г. Оренбурге.

После окончания в 1996 году Оренбургского государственного аграрного университета С.В. Лебедев начал трудовую деятельность ветеринарным врачом в АОЗТ «Мужичья Павловка» Оренбургского района. С 1999 по 2003 год – ведущий специалист, а затем главный ветеринарный врач ВНИИ мясного скотоводства, НП «Мясоплемскот». В 2003 году Святослав Валерьевич переходит на работу в Оренбургский государственный университет заведующим лабораторией Института биоэлементологии. В 2017 году становится заместителем директора ВНИИ мясного скотоводства, продолжая педагогическую деятельность профес-

сором кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры в ОГУ.

С ноября 2020 года и по настоящее время С.В. Лебедев – директор Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук.

При этом С.В. Лебедев непрестанно повышал свой профессиональный уровень – кандидат сельскохозяйственных наук, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН.

Святослав Валерьевич является ведущим учёным в области зоотехнии, минерального питания и прикладной биотехнологии. Он принимал участие в разработке «Концепции устойчивого развития мясного скотоводства в Российской Федерации на период до 2030 года», в племенные хозяйства внедрена технология создания широкоформатных и высокорослых типов мясного скота, создан новый тип мясного скота «Адучи» (селекционное достижение № 12889), разработаны кормовые добавки для животноводства и птицеводства, а также технология профилактики, выявления и коррекции элементозов, обеспечивающая повышение продуктивности (7 патентов). Полученные результаты стали основой научно-технического задела, обеспечивающего развитие отечественного мясного скотоводства и создания до одного миллиона рабочих мест на селе, в том числе на территориях удалённых и депрессивных регионов, и были реализованы в основных положениях «Концепции устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2020, 2030 года».

Глобальным достижением С.В. Лебедева является разработка и внедрение концепции инновационно-технологического развития животноводства для обеспечения населения высококачественными продуктами питания. Экономический эффект и расчётная прибыль от использования этих разработок в 2018-2022 гг. в совокупности по России составили более 10 млрд руб.

С.В. Лебедев является автором свыше 450 научных работ (h-индекс – 22), в том числе 10 монографий, 9 учебных пособий, 47 патентов РФ на изобретение, 57 статей в базах Web of Science (R-1683-2016, h-индекс – 9), 65 статей Scopus (56982531600, h-индекс – 16). В качестве профессора кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государ-

ственного университета Святослав Валерьевич разработал и внедрил курсы лекций для бакалавров и магистрантов, опубликовал более 20 учебно-методических изданий и учебных пособий.

За годы работы С.В. Лебедевым создана научная школа и научное направление «Разработка новых подходов к оценке потребности организма животного в питательных веществах и энергии на отдельных этапах постэмбрионального развития». Уровень фундаментальных и прикладных научных работ, выполняемых научной школой, подтверждается финансированием со стороны федеральных фондов: 2 гранта Президента РФ, 3 – РНФ, 2 – РФФИ, Президиума РАН. Под его руководством подготовлены и успешно защищены 8 кандидатских и 1 докторская диссертации.

С.В. Лебедев – эксперт Российской академии наук, эксперт Российского научного фонда. Зарегистрирован в федеральном реестре экспертов научно-технической сферы (свидетельство № 02-00385 от 29 июня 2018 года). Является председателем диссертационного совета ФНЦ БСТ РАН, входит в состав диссертационного совета при Оренбургском государственном университете по специальности экология (биологические науки), член совета директоров «Национальной ассоциации заводчиков казахского белоголового скота», главный редактор журнала «Животноводство и кормопроизводство». Святослав Валерьевич – преподаватель Научно-образовательного центра ФНЦ БСТ РАН.

Научные достижения С.В. Лебедева отмечены многочисленными наградами: Почётная грамота Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Почётная грамота Комитета Государственной Думы по аграрным вопросам, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники (2023 год), Почётная грамота Министерства сельского хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности Оренбургской области, дважды лауреат премии Губернатора Оренбургской области в сфере науки и техники, трижды лауреат премии Оренбургской области для молодых учёных.

Иван Фёдорович Горлов



Родился 15 января 1949 г. в совхозе «Искра» Урюпинского района Волгоградской области.

В 1971 году после окончания с отличием Московской ветеринарной академии им. К.И. Скрябина Иван Фёдорович начал свою трудовую деятельность главным ветеринарным врачом, а затем зам директора совхоза «Искра» Урюпинского района Волгоградской области. С 1995 года трудовая деятельность Ивана Фёдоровича связана с Поволжским НИИ производства и переработки мясомолочной продукции (ранее – Волгоградский научно-исследовательский технологический институт мясо-молочного скотоводства и переработки продукции животноводства РАСХН), который он возглавлял около двадцати лет, а в 2015 году стал научным руководителем института. С 2022 года по настоящее время является главным научным сотрудником отдела производства

продукции животноводства Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясо-молочной продукции.

При постоянном профессиональном росте И.Ф. Горлов достигает и огромных научных высот – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАСХН, академик РАСХН, академик РАН.

И.Ф. Горлов участвует в разработке ресурсосберегающих технологий содержания сельскохозяйственных животных, обеспечивающих увеличение производства экологически безопасной продукции животноводства; нормативно-технической документации на 100 новых видов пищевых продуктов животного и растительного происхождения. С учётом местного сельскохозяйственного сырья разработал технологии новых видов пищевых продуктов повышенной пищевой и биологической ценности, добавок и натуральных биокорректоров. За эти годы коллектив сотрудников Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции под опытным руководством И.Ф. Горлова разработал безотходные технологии переработки бахчевых, масличных, зернобобовых, других культур и производство на их основе биологически полноценных продуктов многоцелевого назначения.

Под руководством и личном участии Ивана Фёдоровича было выведено несколько животноводческих пород, которые востребованы в 70 регионах страны: мясная порода крупного рогатого скота «Русская комолая», типы мясного скота «Волгоградский» и «Заволжский», тип свиной «Краснодонский», тип овец «Поволжский».

И.Ф. Горловым опубликованы более чем 1900 научных работ, в том числе более 140 книг и монографий, разработаны и внедрены в производство более 135 рекомендаций, концепций, систем ведения животноводства и ветеринарной защиты животных, более 150 новых пищевых продуктов, пищевых и биологически активных компонентов, более 70 ветеринарных препаратов, кормовых добавок и премиксов, консервантов для зелёных кормов. Иван Фёдорович – автор и соавтор более 350 патентов на изобретения и селекционные достижения, в том числе новой породы мясного скота «Русская комолая».

И.Ф. Горлов совмещает интенсивную научную работу с многолетней научно-педагогической деятельностью. Он заведует кафедрой «Технология пищевых производств» в Волгоградском государственном техническом университете, а с 2023 года – и в Волгоградском государственном аграрном университете. Много внимания Иван Фёдорович уделяет подготовке научных кадров, им создана научная школа, поддержанная грантом Президента РФ, в которой под его руководством подготовлены и успешно защищены 40 докторских и более 100 кандидатских диссертационных работ.

Большой вклад Иван Фёдорович внёс в сетевое взаимодействие профильных вузов по подготовке специалистов для АПК региона: ВолГТУ, КалмГУ, ВолГАУ, ДонГАУ и др.

И.Ф. Горлов является экспертом РАН, РНФ, по грантам Президента РФ, Минобрнауки России, членом Научного совета РАН по Глобальным экологическим проблемам, членом научно-технического совета по агропромышленному комплексу и природопользованию Волгоградской области, Совета

Волгоградской области по науке и инновациям и др., председателем докторского объединенного диссертационного совета, созданного на базе Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции и Калмыцкого государственного университета имени Б.Б. Городовикова, главным редактором журналов «Аграрно-пищевые инновации» и «Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса»: наука и высшее профессиональное образование, членом редколлегии журналов «Вестник российской сельскохозяйственной науки», «Молочное и мясное скотоводство», «Животноводство и кормопроизводство», «Хранение и переработка сельхозсырья», «Индустрия питания», «Вестник АПК», «Мясная индустрия», «Ветеринарная патология», «Food systems», «Theory and Practice of Meat Processing».

И.Ф. Горлов избран действительным членом ряда общественных академий: «Международной академии информатизации», «Российской народной академии наук», «Петровской академии наук и искусств», «Академии продовольственной безопасности», является почётным профессором Оренбургского государственного аграрного университета, Донского государственного аграрного университета, Калмыцкого государственного университета.

Вклад И.Ф. Горлова в развитие отечественной науки получил высокую оценку: орден Почёта, медаль “За трудовую доблесть”, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, дважды лауреат первой премии Министерства сельского хозяйства и продовольствия РФ, Почётная грамота Министерства сельского хозяйства РФ, Почётная грамота Комитета Государственной думы по аграрным вопросам, Почётная грамота РАН, медаль им. Т.С. Мальцева "За вклад в развитие сельского хозяйства", Почётная грамота Народного Хурала (Парламента) Республики Калмыкия, Почётная грамота Губернатора Волгоградской области. Иван Фёдорович является победителем Гранта Президента РФ, дважды победителем конкурса Российского научного фонда, лауреатом национальной премии имени П. А. Столыпина «Аграрная элита России», лауреатом конкурса Российской академии сельскохозяйственных наук, трижды лауреатом премии Волгоградской области в области науки и техники. Отмечен 15 золотыми медалями ВДНХ (ВВЦ), 56 медалями российских и международных конкурсов.

И.Ф. Горлову присвоены почётные звания: «Заслуженный деятель науки Российской Федерации», «Заслуженный деятель науки Республики Калмыкия», «Ветеран труда».

Едиге Гапуевич Насамбаев



Родился 30 января 1954 года в п. Верхний Баскунчак Владимирского района Астраханской области.

В 1977 году окончил Западно-Казахстанский сельскохозяйственный институт, получив квалификацию «Зооинженер» и оставшись там работать ассистентом кафедры анатомии сельскохозяйственных животных. Вся дальнейшая научная и практическая деятельность Едиге Гапуевича связана с родным институтом: декан заочного факультета, проректор по заочному и вечернему обучению, проректор по маркетингу образовательных услуг, декан факультета «Ветеринарная медицина и биотехнология», в настоящее время – профессор Высшей школы «Животноводство и биоресурсы» института «Ветеринарная медицина и животноводство» НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана».

Одновременно повышал свой профессиональный уровень – кандидат, а затем доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Едиге Гапуевич является руководителем республиканских и исполнителем международных научных проектов по методам совершенствования пород крупного рогатого скота с разработкой программ по совершенствованию селекционно-племенной работы и формированием необходимого генофонда, научным руководителем проектов по мясному скотоводству ИЦФ МСХ Республики Казахстан и МОН РК, инициировал открытие специальности «Ихтиология, промышленное рыболовство и рыбное хозяйство, установив сотрудничество с Астраханским государственным техническим университетом и рыбными заводами г. Атырау.

Е.Г. Насамбаев издал по отрасли мясного скотоводства более 350 научных работ, в том числе 6 монографий, 8 учебников 75 учебно-методических разработок. Имеет авторские свидетельства на селекционные достижения и изобретения: 6 новых заводских линий («Салем 12747», «Майлан 13851», Коппертон 150к, Лётчик 17433, Кундыз 9481, Самұрық 100195791»), 2 внутривидовых («Анкатинский укрупнённый», «Шагатайский комольный»), 1 зонального («Западно-Казахстанский зональный тип») типов казахской белоголовой породы и обладателем 2 патентов на изобретение молочных десертов.

Едиге Гапуевич является научным руководителем дипломников, магистрантов и докторантов, неоднократно участвовал в заседаниях диссертационных советов российских научно-образовательных учреждений (ОГАУ, Самарский ГАУ) в качестве официального оппонента по диссертациям на соискание ученых степеней кандидата и доктора сельскохозяйственных наук по специальностям «Разведение, селекция и генетика».

Является членом редакционной коллегии журналов: «Ғылым және білім», «Животноводство и кормопроизводство», «Известия Оренбургского государственного аграрного университета».

Научная деятельность Е.Г. Насамбаева отмечена медалью «Еңбек ардагері» МСХ РК, медалью в честь академика Е.Ф. Лискуна, медалью «25 лет Независимости Республики Казахстан», нагрудными знаками «За заслуги в развитии науки Республики Казахстан» и «Почётный работник образования Республики Казахстан», Почётными грамотами: «Курмет» МОН РК, Республиканской палаты по казахской белоголовой породе, Акима Западно-Казахстанской области, Федерации профсоюзов ЗКО, ректора Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана, ректора Оренбургского государственного аграрного университета, Благодарственными письмами акима Западно-Казахстанской области.

Входит в совет ветеранов Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана.

Валерий Юрьевич Хайнацкий



Родился 21 марта 1954 года в п. Копинский Новороссийского района Актыубинской области Казахстана.

После окончания Оренбургского сельскохозяйственного института в 1976 году Валерий Юрьевич начал свою трудовую деятельность главным зоотехником-селекционером племзавода им. Коминтерна Грачёвского района Оренбургской области. С 1978 года был принят старшим научным сотрудником отдела разведения во Всесоюзный научно-исследовательский институт мясного скотоводства, где проработал до 1993 года, защитив диссертацию кандидата сельскохозяйственных наук в 1988 году.

С 1993 по 2018 год В.Ю. Хайнацкий работал в Департаменте агропромышленного комплекса администрации области консультантом отдела по развитию отрасли животноводства. В 2013 году защитил диссертацию доктора сельскохозяйственных наук.

В декабре 2018 года был принят на должность ведущего научного сотрудника лаборатории управления проектами в Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий. В настоящее время – ведущий научный сотрудник селекционно-генетического центра по мясным породам скота.

Валерий Юрьевич является автором более 60 научных работ, в том числе соавтором монографий: «Мясное скотоводство (вопросы селекции и разведения)», «Совершенствование методов селекции для увеличения темпов генетического прогресса при создании заводских типов казахской белоголовой породы», «Экспортный потенциал и племенные ресурсы крупного рогатого скота мясного направления продуктивности Оренбургской области», «Книга племенного крупного рогатого скота казахской белоголовой породы. Том. 1», учебного пособия «Интенсификация селекционного и технологического процессов в мясном скотоводстве», методических указаний «Порядок и условия оценки быков-производителей мясных пород по собственной продуктивности и качеству потомства». Член редакционной коллегии справочника «Животноводство: вопросы и ответы. В помощь сельскохозяйственным товаропроизводителям». В.Ю. Хайнацкий – соавтор патента на селекционное достижение: крупный рогатый скот заводской тип «Заволжский»

Научные достижения Валерия Юрьевича отмечены: Благодарностью Министерства сельского хозяйства РФ, Почётной грамотой Министерства сельского хозяйства Оренбургской области, Почётной грамотой Министерства сельского хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности Оренбургской области.

Условия публикации статей

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 (согласно обновлённому перечню 15.02.2023, официальный сайт ВАК URL: <https://vak.minobrnauki.gov.ru/documents#tab=tab:editions~>) 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).

Журнал «Животноводство и кормопроизводство» включён в систему Российского индекса цитирования (договор с РУНЭБ № 225-06/2018 от 04.06.2018 г.).

Периодичность выхода журнала «Животноводство и кормопроизводство» – 4 раза в год. Стоимость публикации одной статьи – 1000 рублей. Оплата подписки осуществляется через банки РФ.

Для стран СНГ – 1500 руб., оплата – через любые банки РФ в валюте РФ.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

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.

- 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. **В тексте должна быть печатана буква «ё».** При написании знаков %, °С, №, § между ними и цифрами ставится пробел (в соответствии с ГОСТ 8.412-2002).

- 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 – прописными жирными буквами; затем через интервал – инициалы и фамилия авторов полностью; название учреждения, где работают авторы; через интервал 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. Источники не должны быть старше 5 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.И. 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.

Список начинается с русскоязычной литературы в алфавитном порядке, его продолжает список англоязычной литературы 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 и адресами электронной почты для обратной связи.

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: ntiip_vniims@rambler.ru, сайт журнала:
<http://gk.fncbst.ru/>