

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 4. С. 203-215.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 4. P. 203-215.

Научная статья
УДК 636.5
doi:10.33284/2658-3135-106-4-203

Влияние энтеросорбентов на микробное разнообразие слепой кишки цыплят-бройлеров при скармливании полусинтетического рациона

Ольга Вилориевна Кван^{1,6}, Сергей Александрович Мирошников^{2,7}, Елена Владимировна Шейда^{3,8}, Елена Анатольевна Сизова^{4,9}, Ирина Викторовна Маркова⁵

^{1,2345}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия
6,7,8,9 Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

^{1,6}kwan111@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

^{2,7}fncbst@mail.ru, <https://orcid.org/orcid.org/0000-0003-1173-1952>

^{3,8}elena-shejda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2586-613X>

^{4,9}sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

⁵irinazzz88@yandex.ru

Аннотация. На сегодняшний день возникает необходимость в получении экологически безопасной сельхозпродукции, и этому уделяется большое внимание. Наибольший интерес направлен на препараты, которые обладают сорбционными и ионообменными свойствами, способные защитить слизистую кишечника от патогенной микрофлоры, в связи с этим перспективным является внедрение энтеросорбентов в кормление сельскохозяйственных животных и птицы. Цель исследования – изучить влияние энтеросорбентов на микробное разнообразие слепой кишки у цыплят-бройлеров, находящихся на полусинтетическом рационе. По результатам анализа бактериального профиля на конец эксперимента выявлено, что доминирующими филумами являются *Bacteroidetes* и *Firmicutes*. При этом, энтеросорбенты вызывают рост численности *Rikenellaceae*, *Ruminococcaceae* и *Lachnospiraceae*. Так, в группе, получающей энтеросгель (I опытная группа) в дозировке 6,0 г/кг корма, наибольшая численность была у представителей рода *Bacteroides* (43,69 %), что в 2,0 и в 2,1 раза больше, чем в контрольных группах: группа на полусинтетическом рационе (K₁) и полусинтетическом рационе, дефицитном по микрэлементам (K₂). На втором месте по встречаемости находился род *Ruminococcus* (14,65 %), что в 2,4 и в 2,3 раза меньше, чем в группе K₁ и K₂ соответственно. Во II опытной группе, получавшей активированный уголь в дозировке 3,0 г/кг корма, доминировали представители рода *Bacteroides* (33,9 %), чья численность была в 1,5 и в 1,6 раза выше, чем в группе K₁ и K₂ соответственно, но в 1,3 раза ниже, чем в I опытной группе. Численность *Ruminococcus* была в 2 и в 1,9 раза ниже, чем в группе K₁ и K₂ соответственно, но в 1,2 раза выше, чем в I опытной группе.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, энтеросорбенты, полусинтетический рацион, микробиом, слепая кишка

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 20-16-00078-П.

Для цитирования: Влияние энтеросорбентов на микробное разнообразие слепой кишки цыплят-бройлеров при скармливании полусинтетического рациона / О.В. Кван, С.А. Мирошников, Е.В. Шейда, Е.В. Сизова, И.В. Маркова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 4. С. 203-215. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-203>

Original article

**The effect of enterosorbents on microbial diversity of the blind intestine in broiler chickens
on a semi-synthetic diet**

Olga V Kvan^{1,6}, Sergey A Miroshnikov^{2,7}, Elena V Sheida^{3,8}, Elena A Sizova^{4,9}, Irina V Markova⁵

^{1,2,3,4,5}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
^{6,7,8,9}Orenburg State University, Orenburg, Russia

^{1,6}kwan111@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

^{2,7}fncbst@mail.ru, <https://orcid.org/orcid.org/0000-0003-1173-1952>

^{3,8}elena-shejda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2586-613X>

^{4,9}sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

⁵irinazzz88@yandex.ru

Abstract. Today there is a need to obtain environmentally safe agricultural products and much attention is paid to this. The greatest interest is directed to drugs that have sorption and ion-exchange properties that can protect the intestinal mucosa from pathogenic microflora, in this regard, the introduction of enterosorbents into feed of farm animals and poultry is promising. The aim of the study was to study the effect of enterosorbents on the microbial diversity of the blind intestine in broiler chickens on a semi-synthetic diet. According to the results of the analysis of the bacterial profile of the contents of the blind intestine of broiler chickens at the end of the experiment, it was revealed that the dominant phylum are *Bacteroidetes* and *Firmicutes*. The number of *Rikenellaceae*, *Ruminococcaceae* and *Lachnospiraceae* increased in the experimental groups, compared with the control groups. So, in the group receiving enterosgel (experimental group I) at a dosage of 6.0 g /kg of feed, genus *Bacteroides* (43.69%) had the largest amount of representatives, which is 2.0 and 2.1 times more than in the control groups: the group on a semi-synthetic diet (K_1) and a semi-synthetic diet with a deficiency of trace elements (K_2). The genus *Ruminococcus* was in second place in terms of rate (14.65%), which is 2.4 and 2.3 times less than in the K_1 and K_2 groups, respectively. In the II experimental group, representatives of the genus *Bacteroides* dominated (33.9%), whose number was 1.5 and 1.6 times higher than in the K_1 and K_2 groups, respectively, but 1.3 times lower than in the I experimental group. The number of *Ruminococcus* was 2 and 1.9 times lower than in group K_1 and K_2 , respectively, but 1.2 times lower than in the first experimental group.

Keywords: broiler chickens, feeding, enterosorbents, semi-synthetic diet, microbiome, cecum.

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 20-16-00078-II.

For citation: Kvan OV, Miroshnikov SA, Sheida EV, Sizova EV, Markova IV. The effect of enterosorbents on the 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.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-203>

Введение.

Список энтеросорбентов, используемых в животноводстве в качестве кормовых добавок, достаточно внушительный и включает: биоуголь-древесный уголь (Chu GM et al., 2013; Osman AI et al., 2022), цеолиты (Rocha GC et al., 2012); бентониты (Shi YH et al., 2007); нанокремнезем (Ghazalah AA et al., 2021) и др.

Энтеросорбенты в кормлении сельскохозяйственных животных используются с различной целью, в том числе для связывания токсинов (Bailey CA et al., 2006), улучшения ферментативной активности в тонком кишечнике (Xia MS et al., 2004); снижения поступления в кровь аммиака из кишечника (Pappas AC et al., 2010); повышения pH содержимого пищеварительного тракта (Wu QJ et al., 2013); снижения вязкости химуса, для связывания вредных микроорганизмов и радионуклидов (Schwaller D et al., 2016; Toprak NN et al., 2016; Chen S et al., 2020).

По различным оценкам потребность животноводства в энтеросорбентах в ближайшие пять лет увеличится более чем на 12,5 % (Man KY et al., 2021). Наиболее широко сегодня применяют энтеросорбенты для связывания микотоксинов, представляющих собой одну из наиболее сложных проблем, входящих в “десятку” опасностей, о которых сообщает Система быстрого оповещения о продуктах питания (RASFF) в Европе (The European Union explained. How the European Union works..., 2014).

Сегодня промышленные технологии содержания и кормления птицы на птицефабриках, а также интенсивная химизация отрасли и нерациональное применение антимикробных средств могут стать источниками нарушения микробных экологических систем в пищеварительном тракте. При этом бройлеры в силу ряда причин могут получать дефицитные по нутриентам или химическим веществам рационы (Нотова С.В. и др., 2022), что также негативно оказывается на микробиоценозе кишечника птицы. Таким образом, требуется проведение исследований, направленных на поиск средств модулирования количественного и качественного состава микробиоты кишечника (Фисинин В.И. и др., 2018; Дускаев Г.К. и др., 2020).

Цель исследования.

Изучить влияние энтеросорбентов на микробное разнообразие слепой кишки у цыплят-бройлеров, находящихся на полусинтетическом рационе.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса Арбор-Айкрес.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями Российских нормативных актов (Приказ Минздрава СССР № 755 о 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследования на птице проведены в условиях экспериментально-биологической клиники (вивария) Оренбургского государственного университета и ФНЦ БСТ РАН (<https://xn----btbzumgw.xn--p1ai/>).

В ходе эксперимента по оценке влияния энтеросорбентов на обмен веществ в организме животных, находящихся на полусинтетическом рационе, было отобрано 120 голов недельных цыплят-бройлеров, которых методом пар-аналогов разделили на 4 группы (n=30). Во время эксперимента вся птица находилась в одинаковых условиях содержания и кормления. Цыплятам-бройлерам в эксперименте скармливали полусинтетический рацион, рекомендованный Thompson JN и Scott ML (1969) в нашей модификации, поение цыплят проводилось дистиллированной водой без ограничения. Продолжительность эксперимента составила 28 суток. Опытные группы дополнительно получали в составе рациона энтеросгель – в дозе 6,0 г/кг корма (I опытная группа) и активированный уголь – в дозировке 3,0 г/кг корма (II опытная группа). Опытные группы сравнивали с K₁ (полусинтетический рацион) и K₂ (полусинтетический рацион, дефицитный по микроэлементам). Поение цыплят – дистиллированной водой без ограничения.

Оборудование и технические средства. Микробное биоразнообразие слепой кишки птицы определяли в ЦКП «Персистенция микроорганизмов» (Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Оренбург; <https://ikvs.info/institut/laboratori/czkp/>) на 42-е сут. Чистоту полученных препаратов ДНК проверяли электрофорезом в 1,5 % агарозном геле с фотометрией NanoDrop 8000 («Thermo Fisher Scientific, Inc.», США). Концентрацию ДНК измеряли флуориметрическим методом прибором Qubit 2.0 с высокой чувствительностью определения dsDNA («Life Technologies», США).

Статистическая обработка. Результаты исследований обработаны с применением программного пакета «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США).

Результаты исследования.

При анализе бактериального профиля образцов содержимого слепой кишки цыплят-бройлеров в группе К₁ на 42 сутки эксперимента было выявлено 189 OTU, в группе К₂ – 212 OTU, в I опытной группе – 228 OTU и во II опытной группе – 207 OTU.

При анализе бактериального профиля образцов содержимого слепой кишки цыплят-бройлеров как в контрольных, так и в опытных группах на 42 сутки эксперимента было выявлено, что доминирующими филумами являются *Bacteroidetes* и *Firmicutes* (рис. 1). Однако их соотношение было различным в группах. В опытных группах численность представителей *Bacteroidetes* повышалась: в I опытной группе – в 2,26 раза и в 2,4 раза; во II опытной группе – в 1,6 раза и в 1,78 раза выше, чем в группе К₁ и К₂ соответственно. Численность представителей *Firmicutes* снижалась, так, в I опытной группе – в 2,69 раза и в 2,7 раза по сравнению с группами К₁ и К₂ соответственно.

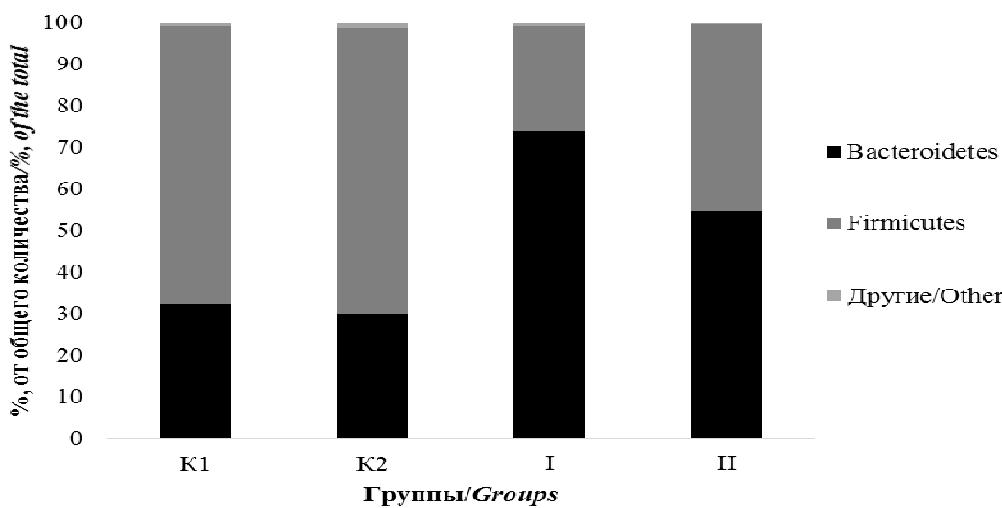


Рис. 1 – Состав микробиоценоза слепой кишки цыплят-бройлеров при внесении энтеросорбентов (численность таксонов>1 %)

Figure 1 – Composition of the microbiocenosis of the cecum of broiler chickens after enterosorbents were introduced (number of taxa>1%)

При анализе бактериального профиля образцов содержимого слепой кишки цыплят-бройлеров были отмечены различия между группами на уровне семейств.

Доминирующими представителями во всех группах являлось семейство *Bacteroidaceae*, при этом их численность в I опытной группе в 2,4 раза и в 1,5 раза выше, чем в группе К₁ и К₂ соответственно; во II опытной группе – в 1,5 раза и в 1,4 раза выше, чем в группе К₁ и К₂ соответственно (рис. 2).

Численность *Rikenellaceae*, *Ruminococcaceae* и *Lachnospiraceae* увеличивалась в опытных группах по сравнению с контрольными группами. Обращает на себя внимание уменьшение численности *Lactobacillaceae* в опытных группах, по сравнению с контролем. Так, в I опытной группе численность лактобацилл снизилась в 4,5 раза и в 4,9 раза по сравнению с группой К₁ и К₂ соответственно. Во II опытной группе отмечалась схожая тенденция, что выразилось в снижении численности представителей *Lactobacillaceae* в 5,3 раза и в 5,8 раза соответственно. При этом численность представителей условно-патогенной и патогенной микрофлоры кишечника не превышала 0,1 % по каждому семейству.

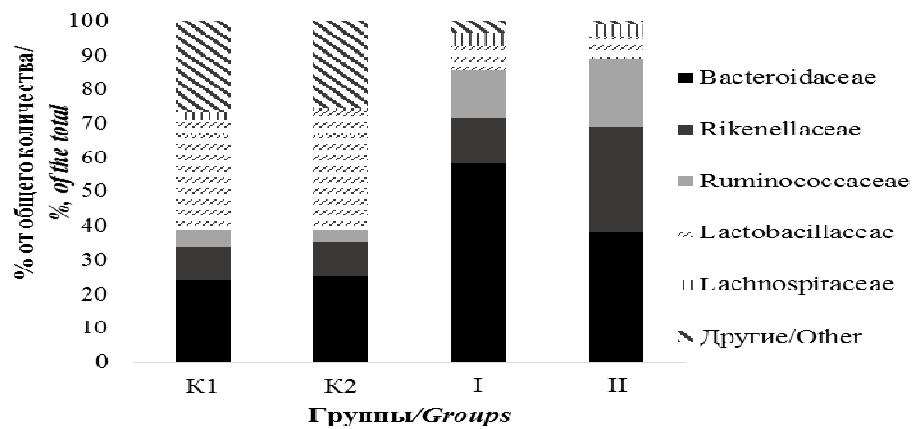


Рис. 2 – Состав микробиоценоза слепой кишки цыплят-бройлеров при внесении энтеросорбентов (численность таксонов>1 %)

Figure 2 – Composition of the microbiocenosis of the cecum of broiler chickens when introducing enterosorbents (number of taxa>1%)

При анализе микробиального профиля на уровне рода в группе K₁ (рис. 3) было показано, что доминирующими родами являются *Ruminococcus* (35,4 %), *Bacteroides* (22,1 %) и *Lactobacillus* (15,8 %). Численность менее 10 % была отмечена для представителей родов *Alistipes* (9 %), *Mediterraneibacter* (1,8 %), *Merdimonas* (1,8 %), *Blautia* (0,9 %). Не идентифицировано было 10,2 % микробиального профиля.

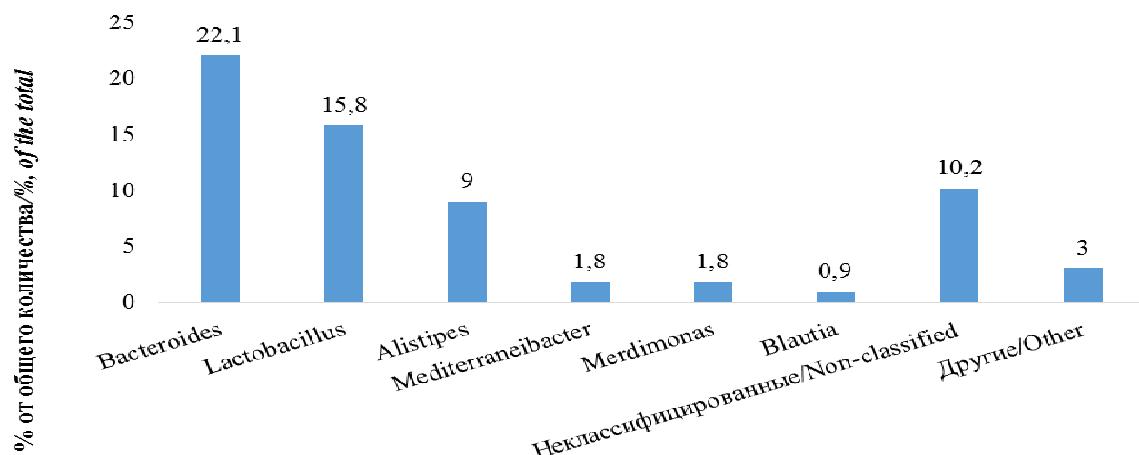


Рис. 3 – Микробиальный профиль кишечника цыплят-бройлеров группы K₁ на уровне вида
Figure 3 – Microbial intestinal profile of broiler chickens of group K₁ at the species level

В группе K₂ доминировали представители родов *Ruminococcus* (33,8 %), *Bacteroides* (20,8 %) и *Lactobacillus* (16,7 %). Также были обнаружены представители *Alistipes* (8,4 %), *Blautia* (2 %), *Mediterraneibacter* (1,7 %) и *Merdimonas* (1 %) (рис. 4).

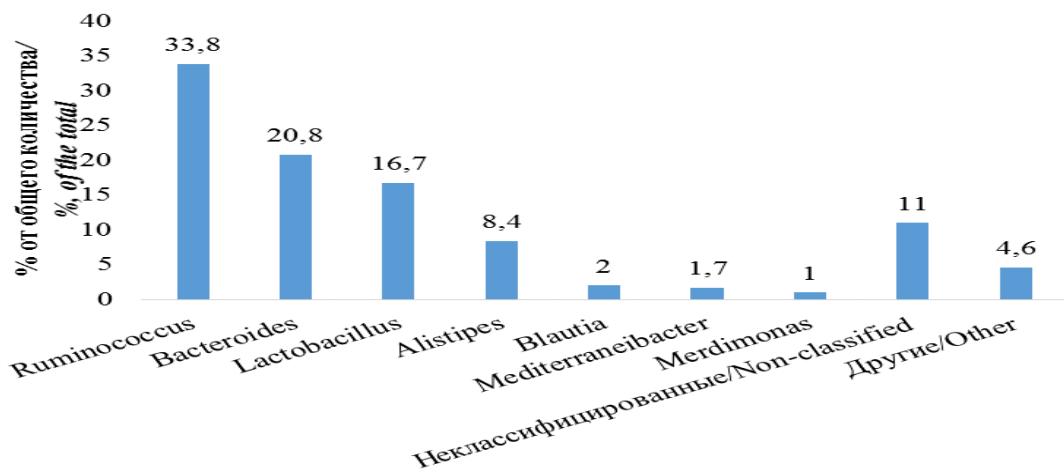


Рис. 4 – Микробиальный профиль кишечника цыплят-бройлеров группы К₂ на уровне вида
Figure 4 – Microbial intestinal profile of broiler chickens of group K₂ at the species level

В I опытной группе наибольшая численность была присуща представителям рода *Bacteroides* (43,69 %), что в 2 и в 2,1 раза больше, чем в группе K₁ и K₂ соответственно. На втором месте по встречаемости находился род *Ruminococcus* (14,65 %), что в 2,4 и в 2,3 раза меньше, чем в группе K₁ и K₂ соответственно. Численность представителей *Alistipes* составила 7,2 %, что в 1,25 и в 1,3 раза меньше, чем в группе K₁ и K₂ соответственно. Численность *Lactobacillus* составила 5,2 %, что в 3 и в 3,2 раза меньше, чем в группе K₁ и K₂ соответственно. Численность *Mediterraneibacter* незначительно отличалась от контрольных групп, в то время как встречаемость *Merdimonas* была в 1,9 раза выше, чем в группе K₂. Численность *Blautia* составила 1,1 %, что в 1,2 раза выше и в 1,8 раза ниже, чем в группе K₁ и K₂ соответственно (рис. 5).

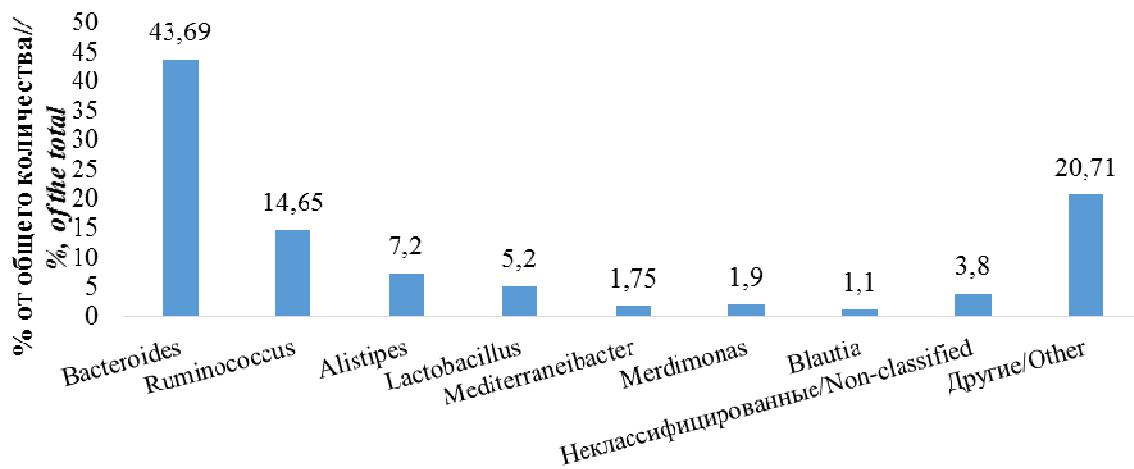


Рис. 5 – Микробиальный профиль кишечника цыплят-бройлеров I опытной группы на уровне вида
Figure 5 – Microbial intestinal profile of broiler chickens of experimental group I at the species level

Во II опытной группе доминировали представители рода *Bacteroides* (33,9 %), чья численность была в 1,5 и в 1,6 раза выше, чем в группе K₁ и K₂ соответственно, но в 1,3 раза ниже, чем в

И опытной группе. Численность *Ruminococcus* была в 2 и в 1,9 раза ниже, чем в группе K₁ и K₂ соответственно, но в 1,2 раза больше, чем в I опытной группе. Численность *Alistipes* была в 1,3 и в 1,2 раза ниже, чем в группе K₁ и K₂ соответственно, при этом различия были незначимы с I опытной группой. Встречаемость бактерий рода *Lactobacillus* составила 5,4 %, что в 2,9 и в 3,1 раза ниже, чем в группе K₁ и K₂ соответственно. Представители *Mediterraneibacter* (3,01 %) по своей численности превосходили показатели группы K₁ в 1,6 раза, K₂ – в 1,7 раза, I группы – в 1,77 раза. Встречаемость *Merdimonas* была выше аналогичных показателей в группе K₁ в 1,4 раза, в группе K₂ – в 2,48 раза, I группы – в 1,3 раза. Численность *Blautia* была в 2 раза ниже, чем в группе K₂, незначительно отличаясь от других групп (рис. 6).

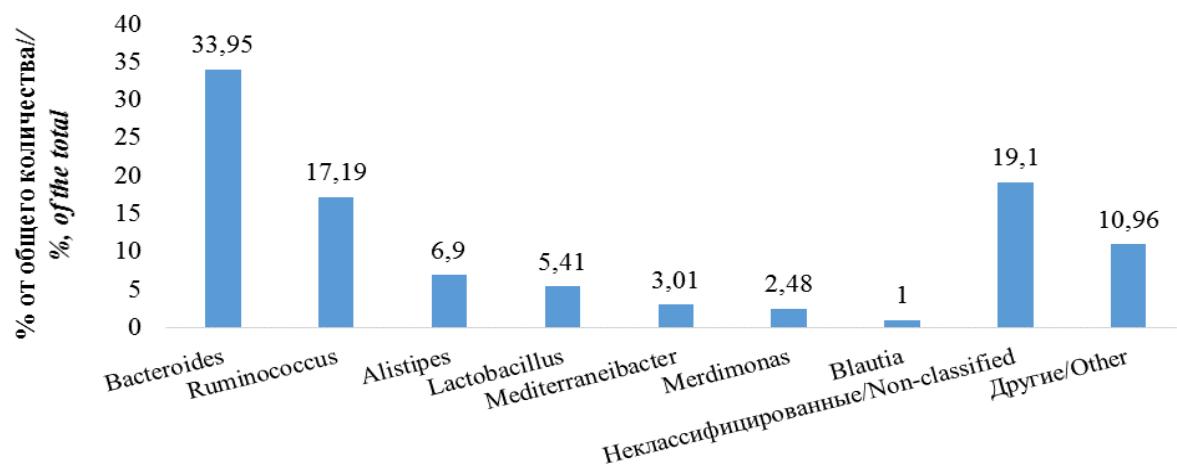


Рис. 6 – Микробиальный профиль кишечника цыплят-бройлеров II опытной группы на уровне вида

Figure 6 – Microbial intestinal profile of broiler chickens of experimental group II at the species level

Обсуждение полученных результатов.

В последние десятилетия в кормлении сельскохозяйственных животных применяются энтеросорбенты (Егоров И.А. и др., 2019). Механизм действия сорбентов объясняется их способностью связывать на своей поверхности токсины микроорганизмов, микотоксины, тяжёлые металлы, радионуклиды, газы, холестерин. Благодаря этому осуществляется детоксикация организма, происходит функциональная разгрузка органов, коррекция обменных процессов

В исследовании Клетиковой Л.В. с соавторами (2020) было показано, что при введении энтеросорбента повышалось содержание лактобактерий, а пролиферация патогенных и условно-патогенных бактерий на всём протяжении опыта отсутствовала, что согласуется и с результатами нашего исследования.

Некоторыми из часто встречающихся микробов в ЖКТ домашней птицы являются представители лактобацилл и бактероидов. Имеющиеся данные о преобладании *Firmicutes* и *Bacteroidetes* в слепой кишке позволяют предположить, что присутствующая микробиота играет важную роль в рециркуляции азота с использованием мочевой кислоты, в продукции незаменимых аминокислот и в переваривании некрахмальных полисахаридов, которые стимулируют производство короткоцепочечных жирных кислот.

Wilkinson N с коллегами (2016) использовали пиросеквенирование области V3 гена 16S рРНК и обнаружили, что бактериальные сообщества, продуцирующие бутират и разлагающие цел-

люлозу и крахмал в слепой кишке, связанны с высокопроизводительными цыплятами, таким образом, это применимо и к полученным нами результатам.

Как известно, представители *Bacteroidetes* – доминантные представители кишечника птицы, адаптированы к слизистой оболочке кишечника, используя муцин в качестве субстрата. Хорошо известен их иммуномодулирующий эффект. Жирные кислоты с короткой цепью могут модулировать иммунный ответ, а представители *Ruminococcaceae* в основном являются продуцентами бутиратов (Sakaridis I et al., 2018). Высокое содержание *Bacteroides* и *Ruminococcus* предполагает более здоровую микробиоту кишечника. Семейство *Ruminococcaceae* играет важную роль в расщеплении пектина и целлюлозы при ферментации пищевых волокон в толстой кишке (Kong L et al., 2021). Руминококки, как правило, являются полезными ключевыми членами экосистемы кишечника, имеющими множественные взаимодействия с другими членами кишечной микробиоты (La Reau AJ and Suen G, 2018).

Ранее исследователями были выявлены потенциально связанные с производительностью филотипы: *Lactobacillus salivarius*, *Lactobacillus aviarius*, *Lactobacillus crispatus*, *Clostridium lactatifermentans*, различным членам семейства *Ruminococcaceae*, *Bacteroides vulgatus*, *Akkermansia* и *Faecalibacterium* (Yan W et al., 2017).

Заключение.

По результатам анализа бактериального профиля на конец эксперимента выявлено, что доминирующими филумами являются *Bacteroidetes* и *Firmicutes*. При этом энтеросорбенты вызывают рост численности *Rikenellaceae*, *Ruminococcaceae* и *Lachnospiraceae*. Так, в группе, получающей энтеросгель (I опытная группа) в дозировке 6,0 г/кг корма, наибольшая численность была у представителей рода *Bacteroides* (43,69 %), что в 2,0 и в 2,1 раза больше, чем в контрольных группах: группа на полусинтетическом рационе (K_1) и полусинтетическом рационе дефицитном по микроэлементам (K_2). На втором месте по встречаемости находился род *Ruminococcus* (14,65 %), что в 2,4 и в 2,3 раза меньше, чем в группе K_1 и K_2 соответственно. Во II опытной группе доминировали представители рода *Bacteroides* (33,9 %), чья численность была в 1,5 и в 1,6 раза выше, чем в группе K_1 и K_2 соответственно, но в 1,3 раза ниже, чем в I опытной группе. Численность *Ruminococcus* была в 2 и в 1,9 раза ниже, чем в группе K_1 и K_2 соответственно, но в 1,2 раза больше, чем в I опытной группе.

Список источников

1. Замещение кормовых антибиотиков в рационах. Сообщение I. микробиота кишечника и продуктивность мясных кур (*Gallus gallus* L.) на фоне энтеросорбента с фито- и пробиотическими свойствами / И.А. Егоров и др. // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 2. С. 280-290. [Egorov IA et al. Poultry diets without antibiotics. i. intestinal microbiota and performance of broiler (*Gallus gallus* L.) breeders fed diets with enterosorbent possessing phytobiotic and probiotic effects. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2019;54(2):280-290. [In Russ.]. doi: 10.15389/agrobiology.2019.2.280rus doi: 10.15389/agrobiology.2019.2.280eng]
2. Изменение иммунологических и продуктивных показателей у цыплят-бройлеров под влиянием биологически активных веществ из экстракта коры дуба / В.И. Фисинин, А.С. Ушаков, Г.К. Дускаев, Н.М. Казачкова, Б.С. Нуржанов, Ш.Г. Рахматуллин, Г.И. Левахин // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 2. С. 385-392. [Fisinin VI, Ushakov AS, Duskaev GK, Kazachkova NM, Nurzhanov BS, Rahmatullin ShG, Levahin GI. Mixtures of biologically active substances of oak bark extracts change immunological and productive indicators of broilers. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2018;53(2):385-392. (In Russ.). doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.385rus doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.385eng]
3. Изучение влияния тяжёлых металлов и их смесей на организм (обзор) / С.В. Нотова, О.В. Маршинская, Т.В. Казакова, А.М. Ми�향хова // Животноводство и кормопроизводство. 2022.

- T. 105. № 3. С. 19-33. [Notova SV, Marshinskaya OV, Kazakova TV, Miftakhova AM. Study of the influence of heavy metals and their mixtures on the body (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(3):19-33. (*In Russ.*)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-19>
4. Клетикова Л.В., Маннова М.С., Якименко Н.Н. Изменение кишечного микробиоценоза у цыплят в возрастном аспекте и при введении биологически активных веществ //Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 81-86. [Kletikova LV, Mannova MS, Yakimenko NN. The change of the intestinal microbiocenosis of chickens in the age aspect and the introduction of biologically active substances. The Agrarian Scientific Journal. 2020;10:81-86. (*In Russ.*)]. doi: 10.28983/asj.y2020i10pp81-86
5. Продуктивность птицы, биохимические значения крови: эффект *Bacillus cereus* и Кумарина / Г.К. Дускаев, Ш.Г. Рахматуллин, О.В. Кван, Б.С. Нуржанов, Г.И. Левахин // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 4. С. 197-209. [Duskaev GK, Rahmatullin ShG, Kvan OV, Nurzhanov BS, Ushakov AS, Levahin GI. Poultry productivity, blood biochemical values: the effect of *Bacillus cereus* and Coumarin. Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(4):197-209. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-197
6. Bailey CA, Latimer GW, Barr AC, Wigle WL, Haq AU, Balthrop JE. Efficacy of Montmorillonite Clay (NovaSil PLUS) for Protecting Full-Term Broilers from Aflatoxicosis. *J Appl Poult Res.* 2006;15(2):198-206. doi: 10.1093/japr/15.2.198
7. Chen S, Guo H, Cui M, Huang R, Su R, Qi W, et al. Interaction of particles with mucosae and cell membranes. *Colloids Surf B: Biointer.* 2020;186:110657. doi: 10.1016/j.colsurfb.2019.110657
8. Chu GM, Kim JH, Kang SN, Song YM. Effects of dietary bamboo charcoal on the carcass characteristics and meat quality of fattening pigs. *Korean J Food Sci Anim Resour.* 2013;33:348-355. doi: 10.5851/kosfa.2013.33.3.348
9. Ghazalah AA, Abd-Elsamee MO, Elkloub K, Moustafa M.E, Khattab MA, Rehan AA. Effect of nanosilica and bentonite as mycotoxins adsorbent agent in broiler chickens' diet on growth performance and hepatic histopathology. *Animals (Basel).* 2021;11(7):2129. doi: 10.3390/ani11072129
10. Kong L, Wang Zh, Xiao Ch, Zhu Q, Song Zh. Glycerol monolaurate ameliorated intestinal barrier and immunity in broilers by regulating intestinal inflammation, antioxidant balance, and intestinal microbiota. *Frontiers in Immunology.* 2021;12:713485. doi: 10.3389/fimmu.2021.713485
11. La Reau AJ, Suen G. The Ruminococci: Key symbionts of the gut ecosystem. *J Microbiol.* 2018;56:199-208. doi: 10.1007/s12275-018-8024-4
12. Man KY, et al. Use of biochar as feed supplements for animal farming. *Crit Rev Environ Sci Technol.* 2021;51(2):187-217. doi: 10.1080/10643389.2020.1721980
13. Osman AI, Fawzy S, Farghali M, El-Azazy M, Elgarahy A.M, Fahim RA, Abdel Maksoud MIA, Ajlan AA, Yousry M, Saleem Y, Rooney DW. Biochar for agronomy, animal farming, anaerobic digestion, composting, water treatment, soil remediation, construction, energy storage, and carbon sequestration: a review. *Environ Chem Lett.* 2022;20(4):2385-2485. doi: 10.1007/s10311-022-01424-x
14. Pappas AC, Zoidis E, Theophilou N, Zervas G, Fegeros K. Effects of palygorskite on broiler performance, feed technological characteristics, and litter quality. *Appl Clay Sci.* 2010;49:276-280. doi: 10.1016/j.clay.2010.06.003
15. Rocha GC, Donzele JL, de Oliveira RFM, de Oliveira Silva FC, Kiefer C, Brustolini PC, Carlos Pereira CM, Alebrante L. Evaluation of zeolite levels in diets for swine in the growing and finishing phases. *R. Bras. Zootec.* 2012;41(1):111-117. doi: 10.1590/S1516-35982012000100017
16. Sakaridis I, Ellis RJ, Cawthraw ShA, van Vliet Arnoud HM, Stekel Dov J, Penell J, Chambers M, Ragione RM, Cook AJ. Investigating the association between the caecal microbiomes of broilers and *Campylobacter* burden. *Frontiers in Microbiology.* 2018;9:927. doi: 10.3389/fmicb.2018.00927
17. Schwaller D, Wilkens MR, Liesegang A. Zeolite A effect on calcium homeostasis in growing goats. *J Anim Sci.* 2016;94(4):1576-1586. doi: 10.2527/jas.2015-9690

18. Shi YH, Xu ZR, Wang CZ, Sun Y. Efficacy of two different types of montmorillonite to reduce the toxicity of aflatoxin in pigs. *N. Z. J. Agric. Res.* 2007;50(4):473-478. doi: 10.1080/00288230709510315
19. Thompson JN, Scott ML. The role of selenium in the nutrition of the chick. *Journal Nutrition*. 1969;97(3):335-342. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/97.3.335>
20. Toprak NN, Yilmaz A, Öztürk E, Yigit O, Cedden F. Effect of micronized zeolite addition to lamb concentrate feeds on growth performance and some blood chemistry and metabolites. *South Afr J Animal Sci*. 2016;46(3):313-320. doi: 10.4314/sajas.v46i3.11
21. The European Union explained. How the European Union works. Your guide to the EU institutions. The European Commission: promoting the common interest. Directorate-General for Communication (European Commission). Luxembourg: Publication Office of the European Union; 2014:19-22. doi: 10.2775/11255
22. Wilkinson N, Hughes RJ, Aspden WJ, Chapman J, Moore RJ, Stanley D. The gastrointestinal tract microbiota of the Japanese quail, *Coturnix japonica*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2016;100(9):4201-4209. doi: 10.1007/s00253-015-7280-z
23. Wu QJ, Zhou YM, Wu YN, Zhang LL, Wang T. The effects of natural and modified clinoptilolite on intestinal barrier function and immune response to LPS in broiler chickens. *Vet Immunol Immunopathol*. 2013;153(1-2):70-76. doi: 10.1016/j.vetimm.2013.02.006
24. Xia MS, Hu CH, Xu ZR. Effects of copper-bearing montmorillonite on growth performance, digestive enzyme activities, and intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poult Sci*. 2004;83(11):1868-1875. doi: 10.1093/ps/83.11.1868
25. Yan W, Sun C, Yuan J, Yang N. Gut metagenomic analysis reveals prominent roles of *Lactobacillus* and cecal microbiota in chicken feed efficiency. *Sci Rep*. 2017;7:1-11. doi: 10.1038/srep45308

References

1. Egorov IA et al. Poultry diets without antibiotics. i. intestinal microbiota and performance of broiler (*Gallus gallus* L.) breeders fed diets with enterosorbent possessing phytobiotic and probiotic effects. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya* [Agricultural Biology]. 2019;54(2):280-290. doi: 10.15389/agrobiology.2019.2.280eng
2. Fisinin VI, Ushakov AS, Duskaev GK, Kazachkova NM, Nurzhanov BS, Rahmatullin ShG, Levahin GI. Mixtures of biologically active substances of oak bark extracts change immunological and productive indicators of broilers. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2018;53(2):385-392. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.385eng
3. Notova SV, Marshinskaya OV, Kazakova TV, Miftakhova AM. Study of the influence of heavy metals and their mixtures on the body (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):19-33. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-19>
4. Kletikova LV, Mannova MS, Yakimenko NN. The change of the intestinal microbiocenosis of chickens in the age aspect and the introduction of biologically active substances. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;10:81-86. doi: 10.28983/asj.y2020i10pp81-86
5. Duskaev GK, Rahmatullin ShG, Kvan OV, Nurzhanov BS, Ushakov AS, Levahin GI. Poultry productivity, blood biochemical values: the effect of *Bacillus cereus* and Coumarin. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(4):197-209. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-197
6. Bailey CA, Latimer GW, Barr AC, Wigle WL, Haq AU, Balthrop JE. Efficacy of Montmorillonite Clay (NovaSil PLUS) for Protecting Full-Term Broilers from Aflatoxicosis. *J Appl Poult Res*. 2006;15(2):198-206. doi: 10.1093/japr/15.2.198
7. Chen S, Guo H, Cui M, Huang R, Su R, Qi W, et al. Interaction of particles with mucosae and cell membranes. *Colloids Surf B: Biointer*. 2020;186:110657. doi: 10.1016/j.colsurfb.2019.110657

8. Chu GM, Kim JH, Kang SN, Song YM. Effects of dietary bamboo charcoal on the carcass characteristics and meat quality of fattening pigs. *Korean J Food Sci Anim Resour.* 2013;33:348-355. doi: 10.5851/kosfa.2013.33.3.348
9. Ghazalah AA, Abd-Elsamee MO, Elklob K, Moustafa M.E, Khattab MA, Rehan AA. Effect of nanosilica and bentonite as mycotoxins adsorbent agent in broiler chickens' diet on growth performance and hepatic histopathology. *Animals (Basel).* 2021;11(7):2129. doi: 10.3390/ani11072129
10. Kong L, Wang Zh, Xiao Ch, Zhu Q, Song Zh. Glycerol monolaurate ameliorated intestinal barrier and immunity in broilers by regulating intestinal inflammation, antioxidant balance, and intestinal microbiota. *Frontiers in Immunology.* 2021;12:713485. doi: 10.3389/fimmu.2021.713485
11. La Reau AJ, Suen G. The Ruminococci: Key symbionts of the gut ecosystem. *J Microbiol.* 2018;56:199-208. doi: 10.1007/s12275-018-8024-4
12. Man KY, et al. Use of biochar as feed supplements for animal farming. *Crit Rev Environ Sci Technol.* 2021;51(2):187-217. doi: 10.1080/10643389.2020.1721980
13. Osman AI, Fawzy S, Farghali M, El-Azazy M, Elgarahy A.M, Fahim RA, Abdel Maksoud MIA, Ajlan AA, Yousry M, Saleem Y, Rooney DW. Biochar for agronomy, animal farming, anaerobic digestion, composting, water treatment, soil remediation, construction, energy storage, and carbon sequestration: a review. *Environ Chem Lett.* 2022;20(4):2385-2485. doi: 10.1007/s10311-022-01424-x
14. Pappas AC, Zoidis E, Theophilou N, Zervas G, Fegeros K. Effects of palygorskite on broiler performance, feed technological characteristics, and litter quality. *Appl Clay Sci.* 2010;49:276-280. doi: 10.1016/j.clay.2010.06.003
15. Rocha GC, Donzele JL, de Oliveira RFM, de Oliveira Silva FC, Kiefer C, Brustolini PC, Carlos Pereira CM, Alebrante L. Evaluation of zeolite levels in diets for swine in the growing and finishing phases. *R. Bras. Zootec.* 2012;41(1):111-117. doi: 10.1590/S1516-35982012000100017
16. Sakaridis I, Ellis RJ, Cawthraw ShA, van Vliet Arnoud HM, Stekel Dov J, Penell J, Chambers M, Ragione RM, Cook AJ. Investigating the association between the caecal microbiomes of broilers and *Campylobacter* burden. *Frontiers in Microbiology.* 2018;9:927. doi: 10.3389/fmicb.2018.00927
17. Schwaller D, Wilkens MR, Liesegang A. Zeolite A effect on calcium homeostasis in growing goats. *J Anim Sci.* 2016;94(4):1576-1586. doi: 10.2527/jas.2015-9690
18. Shi YH, Xu ZR, Wang CZ, Sun Y. Efficacy of two different types of montmorillonite to reduce the toxicity of aflatoxin in pigs. *N. Z. J. Agric. Res.* 2007;50(4):473-478. doi: 10.1080/00288230709510315
19. Thompson JN, Scott ML. The role of selenium in the nutrition of the chick. *Journal Nutrition.* 1969;97(3):335-342. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/97.3.335>
20. Toprak NN, Yilmaz A, Öztürk E, Yigit O, Cedden F. Effect of micronized zeolite addition to lamb concentrate feeds on growth performance and some blood chemistry and metabolites. *South Afr J Animal Sci.* 2016;46(3):313-320. doi: 10.4314/sajas.v46i3.11
21. The European Union explained. How the European Union works. Your guide to the EU institutions. The European Commission: promoting the common interest. Directorate-General for Communication (European Commission). Luxembourg: Publication Office of the European Union; 2014:19-22. doi: 10.2775/11255
22. Wilkinson N, Hughes RJ, Aspden WJ, Chapman J, Moore RJ, Stanley D. The gastrointestinal tract microbiota of the Japanese quail, *Coturnix japonica*. *Applied Microbiology and Biotechnology.* 2016;100(9):4201-4209. doi: 10.1007/s00253-015-7280-z
23. Wu QJ, Zhou YM, Wu YN, Zhang LL, Wang T. The effects of natural and modified clinoptilolite on intestinal barrier function and immune response to LPS in broiler chickens. *Vet Immunol Immunopathol.* 2013;153(1-2):70-76. doi: 10.1016/j.vetimm.2013.02.006
24. Xia MS, Hu CH, Xu ZR. Effects of copper-bearing montmorillonite on growth performance, digestive enzyme activities, and intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poult Sci.* 2004;83(11):1868-1875. doi: 10.1093/ps/83.11.1868

25. Yan W, Sun C, Yuan J, Yang N. Gut metagenomic analysis reveals prominent roles of Lactobacillus and cecal microbiota in chicken feed efficiency. *Sci Rep.* 2017;7:1-11. doi: 10.1038/srep45308

Информация об авторах:

Ольга Вилориевна Кван, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, и. о. заведующего отделом кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. проф. С.Г. Леушкина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; старший научный сотрудник института биоэлементологии, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13. тел.: 8-922-548-56-57.

Сергей Александрович Мирошников, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушкина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8(3532)30-81-70; ректор, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13, тел.: 8 (3532)77-67-70.

Елена Владимировна Шейда, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января; старший научный сотрудник института биоэлементологии, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13 29, тел.: 8-922-862-64-05.

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, просп. Победы, д. 13, тел.: 8-912-344-99-07.

Ирина Викторовна Маркова, кандидат биологических наук, руководитель научно-образовательного центра, научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, сот.: 8-961-047-40-26.

Information about the authors:

Olga V Kvan, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Acting Head of the Department of Feeding Farm Animals and Feed Technology named after prof. S.G. Leushin, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, January 9, 29; Senior Researcher at the Institute of Bioelementology Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018; tel.: 8-922-548-56-57.

Sergey A Miroshnikov, Dr. Sci. (Biology), RAS Corresponding Member, Chief Researcher of the Department of Feeding for Farm Animals and Feed Technology named after Leushin SG, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 9 Yanyvarya St., 29, Orenburg, 460000, tel.: 8(3532)30-81-70; Rector, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 77-67-70.

Elena V Sheida, Cand. Sci. (Biology), researcher at the laboratory of Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, January 9, 29; Senior Researcher at the Institute of Bioelementology, Orenburg State University, pr. Pobedy, 13, Orenburg, 460018; Senior Researcher at the Institute of Bioelementology, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, , tel: 8-922-862-64-02.

Elena A Sizova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Centre "Nanotechnologies in Agriculture", Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 January St., Orenburg, 460000; Professor of the scientific and educational center "Biological systems and nanotechnologies", Orenburg State University, 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, cell.: 8-912-344-99-07.

Irina V Markova, Cand. Sci (Biology), Head of Scientific and Educational Center, Researcher, Department of Technology for Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, cell.: 8-961-047-40-26.

Статья поступила в редакцию 14.11.2023; одобрена после рецензирования 21.11.2023; принятая к публикации 11.12.2023.

The article was submitted 14.11.2023; approved after reviewing 21.11.2023; accepted for publication 11.12.2023.