

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 247-260.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 4. P. 247-260.

Научная статья
УДК 636.5:636.085
doi:10.33284/2658-3135-108-4-247

Результаты метагеномного секвенирования микробиоты кишечника цыплят-бройлеров на фоне введения фитовеществ

Галимжан Калиханович Дускаев¹, Дмитрий Геннадьевич Дерябин², Людмила Викторовна Власенко³
^{1,2,3}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹gduskaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>

²dgderyabin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9578-7947>

³lv.efremova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3790-2783>

Аннотация. Перспективным инструментом для модулирования микробиома кишечника цыплят-бройлеров являются фитохимические вещества, влияние которых может быть усилено при сочетанном действии. Целью данного исследования было изучить влияние введения в рацион фитовеществ (кверцетин, ванилин, комбинация кверцетина с ванилином, умбеллиферон) на таксономический профиль слепого отдела кишечника цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres. Цыплята-бройлеры 7-дневного возраста были разделены на пять групп (по 30 голов в каждой): контрольную и четыре опытные. Контрольная группа получала только базовый рацион; в рацион опытных групп совместно с базовым рационом дополнительно вводили кверцетин (10 мг/кг в день; I опытная группа), ванилин (0,5 мг/кг в день; II опытная группа), комбинацию кверцетина с ванилином (2,5 мг/кг и 0,3 мг/кг в день; III опытная группа) и умбеллиферон (0,3 мг/кг в день; IV опытная группа). Эксперимент продолжался 28 дней. Таксономический анализ содержимого образцов слепого отдела кишечника птиц показал, что доминирующими филумами были *Bacillota* и *Bacteroidota*, количество представителей которых разнонаправленно изменялось при введении в рацион фитовеществ. Наиболее высокие значения индекса ЧАО1 были рассчитаны для контрольной группы (263,25±7,64), а индекс Шенна и Симпсона – для III опытной группы (4,02±0,14 и 0,98±0,04 соответственно). Сравнение бета-разнообразия микробиома кишечника птиц также свидетельствовало об изменении состава микробного сообщества под действием фитохимических веществ.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, кверцетин, ванилин, умбеллиферон, микробиом

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2025-2027 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2025-0003).

Для цитирования: Дускаев Г.К., Дерябин Д.Г., Власенко Л.В. Результаты метагеномного секвенирования микробиоты кишечника цыплят-бройлеров на фоне введения фитовеществ // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 247-260. [Duskaev GK, Deryabin DG, Vlasenko LV. Results of metagenomic sequencing of the intestinal microbiota of broiler chickens against the background of the introduction of phytochemicals. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):247-260. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-247>

Original article

Results of metagenomic sequencing of the intestinal microbiota of broiler chickens against the background of the introduction of phytochemicals

Galimzhan K Duskaev¹, Dmitry G Deryabin², Lyudmila V Vlasenko³

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

¹gduskaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>

²dgderabin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9578-7947>

³lv.efremova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3790-2783>

Abstract. Phytochemicals, whose effects can be enhanced when used in combination, are a promising tool for modulating the gut microbiome of broiler chickens. The aim of this study was to investigate the effect of dietary supplementation with phytochemicals (quercetin, vanillin, a combination of quercetin and vanillin, and umbelliferone) on the taxonomic profile of the cecum of Arbor Acres broiler chickens. Seven-day-old broiler chickens were divided into five groups (30 birds each): a control group and four experimental groups. The control group received only the basic diet; quercetin (10 mg/kg per day; experimental group I), vanillin (0.5 mg/kg per day; experimental group II), a combination of quercetin and vanillin (2.5 mg/kg and 0.3 mg/kg per day; experimental group III), and umbelliferone (0.3 mg/kg per day; experimental group IV) were additionally introduced into the diet of the experimental groups together with the basic diet. The experiment lasted 28 days. Taxonomic analysis of the cecal contents showed that the dominant phyla were *Bacillota* and *Bacteroidota*, the abundance of which changed in different directions when phytochemicals were introduced into the diet. The highest values of the Chao1 index were calculated for the control group (263.25±7.64), and the Shannon and Simpson index – for experimental group III (4.02±0.14 and 0.98±0.04, respectively). Comparison of the beta diversity of the gut microbiome of birds also indicated changes in the composition of the microbial community under the influence of phytochemicals.

Keywords: broiler chickens, feeding, quercetin, vanillin, umbelliferone, microbiome

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2025-2027 FSBRI FRC BST RAS (No. FNWZ-2025-0003).

For citation: Duskaev GK, Deryabin DG, Vlasenko LV. Results of metagenomic sequencing of the intestinal microbiota of broiler chickens against the background of the introduction of phytochemicals. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):247-260. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-247>

Введение.

Полифенолы играют важную роль в защите организма от внешних раздражителей и в устраниении активных форм кислорода (Rana A et al., 2022). Микробиом кишечника преобразует полифенолы в биоактивные соединения, обладающие терапевтическим эффектом.

Авторами (Shabbir U et al., 2021) изучены подтверждающие структурные изменения, происходящие после метаболических реакций в полифенолах (кверцетине и катехинах), а также их влияние на состав кишечной микробиоты, приводящее к улучшению общего состояния кишечника.

В этом отношении для птицеводства интересен кверцетин. Отмечено его влияние на микробиоту кишечника (Wu H et al., 2024). Он увеличивает расход энергии для борьбы с метаболическим синдромом за счет модуляции взаимодействия микробиоты кишечника и желчных кислот (Zhu X et al., 2024), значительно ($P \leq 0,05$) улучшает морфологию щеточной каемки, в частности, количества бокаловидных клеток и клеток Панета в кишечнике птицы (Agarwal N et al., 2022).

Механизмом действия кверцетина (в части повышения коэффициента конверсии корма) является регулирование сигнального пути NF-кВ, контроль баланса между противовоспалительными и провоспалительными факторами и модуляция кишечной флоры, что способствует усвоению питательных веществ у поросят (Mao Y et al., 2024).

Кверцетин уменьшает воспаление и защищает микробиоту кишечника у бройлеров (Sun L et al., 2022; Deryabin DG et al., 2023) и кур-несушек (Feng J et al., 2023), улучшает показатели роста, состояние микробиоты кишечника (снижает количество *Escherichia coli* и *Clostridium perfringens*, увеличивает количество бактерий рода *Lactobacillus*) и экспрессию генов мРНК в кишечнике у цыплят-бройлеров (Abdel-Latif MA et al., 2021).

Другим фенольным соединением, представляющим интерес для птицеводства, может являться ванилин, который также оказывает определенное действие на кишечный микробиом (Yadav M et al., 2020).

Ванилин значительно улучшает состояние микробиоты кишечника, связанное с ожирением, в том числе снижает альфа- и бета-разнообразие. Кроме того, ванилин увеличивает количество бактерий типа *Bacteroidota* и *Verrucomicrobiota* и препятствует размножению бактерий, продуцирующих липополисахариды и сероводород (Guo J et al., 2018). Ранее (Zhang X et al., 2024) анализ микробного разнообразия показал, что использование ванилина приводит к увеличению количества полезных бактерий типа *Verrucomicrobiota*, *Lactobacillaceae* и *Lactobacillus*, в то время как количество *Akkermansiaceae*, *Akkermansia*, *Romboutsia* и *Lactococcus* снижается, тем самым улучшая микробный дисбиоз.

Инкубирование рубцовой жидкости жвачных животных с ванилином, способствовало увеличению количества представителей филума *Bacillota* и уменьшению числа бактерий, относящихся к филуму *Bacteroidota* и *Pseudomonadota* (Власенко Л.В. и др., 2024а). А одновременное включение в рацион бычков комбинации ванилина и кверцетина приводило к улучшению некоторых показателей крови и значений относительной скорости роста бычков (Атландерова К.Н. и Власенко Л.В., 2025).

Другим перспективным соединением растительного происхождения является умбеллиферон (7-гидроксикумарин), добавление которого в рацион цыплят-бройлеров приводило к повышению соотношения *Bacillota:Bacteroidota* в микробиоме слепой кишки, увеличению представителей рода *Lactobacillaceae*, а также снижению лейкоцитов в крови птиц (Deryabin DG et al., 2023). Инкубирование умбеллиферона с рубцовой жидкостью крупного рогатого скота вело к уменьшению относительной численности бактерий филума *Pseudomonadota* и улучшению переваримости сухого вещества кормового субстрата (Власенко Л.В. и др., 2024б).

Таким образом, изучение действия (в том числе синергетического) фитохимических веществ на микробиом кишечника птицы является актуальной задачей.

Цель исследования.

Изучить влияние введения в рацион фитохимических веществ (кверцетина, ванилина, комбинацию кверцетина с ванилином, умбеллиферона) на таксономический профиль слепого отдела кишечника цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса Arbor Acres (ООО «Авиаген», Россия).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fnbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты

меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. Протокол исследования одобрен Комитетом по этике ФНЦ БСТ РАН (Постановление № 2/2022 от 28 марта 2022 г.).

Схема эксперимента. Исследования проведены в виварии ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. Цыплята-бройлеры, которым на момент начала эксперимента исполнилось 7 дней, были случайным образом разделены на 5 групп по 30 птиц в каждой. Цыплят помещали в клетки (ТЗКО, Россия) размером 0,9×0,45 м (по 5 птиц в клетке) и кормили базовым рационом в соответствии с рекомендациями производителя.

Контрольная группа получала только двухфазный базовый рацион, рекомендуемый для птиц данного кросса (Спецификации бройлерных рационов корма Arbor Acres. Aviagen, 2022). В корм экспериментальных групп добавляли кверцетин (10 мг/кг в день; I опытная группа), ванилин (0,5 мг/кг в день; II опытная группа), комбинацию кверцетина с ванилином (2,5 мг/кг и 0,3 мг/кг в день; III опытная группа) и умбеллиферон (0,3 мг/кг в день; IV опытная группа).

На 35 день после включения в рацион добавок птиц гуманно забивали, содержимое слепого отдела кишечника (200 мкл) помещали в стерильные пробирки, содержащие 200 мкл раствора для защиты ДНК/РНК (Zymo Research, США), замораживали в сухом льду и хранили при температуре -80 °С до выделения ДНК и последующего секвенирования гена 16S-рРНК.

Все соединения: дигидрат кверцетина (C15H10O7 × 2H2O; CAS 6151-25-3), ванилин (C8H8O3; CAS 121-33-5) и умбеллиферон (C9H6O3; CAS 93-35-6) были приобретены у компании Acros Organics (Бельгия) с чистотой 99 %. Дозировка была рассчитана на основе предварительных экспериментов *in vitro*.

Оборудование и технические средства. Исследования проводили в ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<https://цкп-бст.рф>). Тотальную ДНК из образцов извлекали с помощью коммерческого набора QIAamp Fast DNA Stool MiniKit (Qiagen GmbH, Германия) в соответствии с инструкциями производителя. Концентрацию ДНК определяли на флуориметре Qubit 4 (Life Technologies, США) с помощью набора для высокочувствительного анализа дsДНК (Life Technologies, США). Качество ДНК оценивали с помощью электрофореза в 1 %-ном агарозном геле.

Библиотеки генов 16S-рРНК были подготовлены в соответствии с двухэтапным протоколом Illumina (Part #15044223, ред. B). Вариабельные участки V3–V4 этого гена были амплифицированы с использованием прямого праймера S-D-Bact-0341-b-S-17 (CCTACGGGNNGCWGCAG) и обратного праймера S-D-Bact-0785-a-A-21 (GAATCAGVGGGTATCTAATCC), содержащих перекрывающийся участок праймеров для секвенирования Illumina. Библиотеки ДНК были проверены с помощью ПЦР в реальном времени на приборе CFX Connect (BioRad, США). Высокопроизводительное парное секвенирование 2×250 пар оснований было выполнено на платформе Illumina MiSeq с использованием набора реагентов V.2 (Illumina, США).

Биоинформационический анализ необработанных данных проводился с помощью программного обеспечения USEARCH V.10.0.240 в соответствии с операционным протоколом, рекомендованным Р. Эдгаром. Протокол включал объединение считываний в контиги, фильтрацию контигов по длине (не менее 420 пар оснований) и качеству (maxee 1,0), удаление химер, дерепликацию и кластеризацию в отдельные операционные таксономические единицы (OTE). После очистки данных окончательная таксономическая классификация ОТЕ на уровне типа, класса, отряда, семейства и рода была проведена с использованием алгоритма RDP Classifier на основе базы данных SILVA. Приготовление ДНК-библиотек, секвенирование и биоинформационическая обработка были выполнены в ЦКП «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН (г. Оренбург, Россия).

Статистическая обработка. Различия в численности типов бактерий и родов в контрольной и экспериментальной группах определяли с помощью критерия Манна-Уитни (U). Богатство микробиома, альфа-разнообразие и равномерность оценивали с помощью индексов ЧАО-1, Шеннона и Симпсона. Оценку значимости различий между группами проводили по результатам расчетов

методом PERMANOVA (с поправкой False Discovery Rate). Рассматриваемыми уровнями статистической значимости являлись значения $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Таксономический анализ показал, что микробиомом контрольной и опытных групп представлены 10 таксонами (табл. 1). Сравнительный анализ микробного сообщества слепого отдела кишечника контрольной и опытных групп показал ряд существенных изменений. На уровне высшего таксономического ранга во всех группах доминировали два основных филума – *Bacillota* и *Bacteroidota*. При введении в рацион кормления фитохимических веществ их относительное содержание изменялось разнонаправленно: *Bacillota* достигали наибольшей численности (79,23 %) в III опытной группе и наименьшей (47,11 %) – во II опытной группе. В свою очередь в данных опытных группах относительное присутствие филума *Bacteroidota*, напротив, уменьшалось с 50,94 % до 14,86 %. Дополнительной особенностью действия используемых веществ являлось увеличение представителей филума *Campylobacterota* в I опытной группе относительно контрольной группы в 1,9 раз.

Таблица 1. Сравнительная оценка микробиомов кишечника птицы на уровне филума (% от общего состава микробиома)

Table 1. Comparative assessment of the poultry gut microbiomes at the phylum level (% of the total microbiome composition)

Филум / Phylum	Группа / Group				
	контрольная/ control	I опытная / I experimental	II опытная/ II experi- mental	III опытная / III experi- mental	IV опытная / IV experi- mental
<i>Actinomycetota</i>	0,09	0,09	0,40	0,53	0,10
<i>Bacillota</i>	50,48	60,44	47,11	79,23	61,35
<i>Bacteroidota</i>	42,76	31,37	50,94	14,86	33,74
<i>Campylobacterota</i>	2,55	4,81	0,03	0	1,16
<i>Candidatus</i>					
<i>Melanabacteria</i>	1,57	1,77	0,32	1,25	1,46
<i>Candidatus</i>					
<i>Saccharibacteria</i>	0,07	0	0	0,01	0,02
<i>Pseudomonadota</i>	1,06	1,13	0,90	3,63	0,82
<i>Thermodesulfobacteriota</i>	0,48	0,29	0,25	0,47	0,30
<i>Verrucomicrobiota</i>	0,29	0	0	0	0,11
<i>unclassified_Bacteria</i>	0,65	0,10	0,05	0,02	0,94

Филумы *Candidatus Saccharibacteria* и *Verrucomicrobiota* имели относительно низкие уровни во всех группах, с наибольшими значениями в контрольной группе. Это может свидетельствовать о том, что кверцетин, ванилин и умбеллиферон уменьшают релевантность этих таксонов в составе микробиома.

Максимальное содержание *unclassified Bacteria* было отмечено в группе с добавлением в рацион умбеллиферона (0,94 %), при этом уровень снижался в других опытных группах и в контроле. Это может указывать на то, что введение новых добавок влияет на разнообразие и классификацию микробной популяции.

Анализ более низких таксономических рангов позволил выделить 20 основных родов, которые доминировали по относительной представленности в каждой из анализируемых групп (рис. 1).

Так, в контрольной группе основными являлись представители родов *Alistipes* (14 %), *Barnesiella* (14 %), *unclassified Oscillospiraceae* (14 %), *Coprobacter* (9 %), *Faecalibacterium* (9 %) и *unclassified Lachnospiraceae* (8 %). Относительное количество представителей остальных родов находилось в диапазоне от 1 % до 3 %.



Рисунок 1. Сравнительная оценка микробиомов кишечника птицы на уровне рода
 Figure 1. Comparative assessment of the poultry gut microbiomes at the genus level

Введение в рацион кормления кверцетина (I опытная группа) приводило к изменению микробиома на уровне рода. Так, в этой опытной группе основными родами были *Barnesiella* (12 %), *Alistipes* (11 %), *unclassified Oscillospiraceae* (15 %) и *unclassified Lachnospiraceae* (6 %). Категория «Другие» составляла до 11 %.

Во II опытной группе (с добавлением ванилина) доминирующими родами являлись *Barnesiella* (14 %), *Alistipes* (14 %), *unclassified Oscillospiraceae* (14 %), *Faecalibacterium* (9 %), *Coprobacter* (9 %) и *unclassified Lachnospiracea* (8 %). Относительное количество представителей остальных родов составляло до 10 %.

В III опытной группе (с добавлением комбинации кверцетина с ванилином) отмечалось доминирование представителей *unclassified Oscillospiraceae* (19 %), *Faecalibacterium* (16 %) и *unclassified Lachnospiraceae* (8 %). Доля категории «Другие» составляла 14 %.

В IV опытной группе доминирующими родами также были *Alistipes* (14%), *Barnesiella* (14 %), *unclassified Oscillospiraceae* (11 %), *Coprobacter* (9 %) и *unclassified Lachnospiracea* (8 %).

При межгрупповом сравнении отмечены следующие явные изменения: при добавлении кверцетина увеличивается количество представителей рода *Helicobacter* в 1,2 раза в сравнении с контролем, а комбинация кверцетина с ванилином, напротив, приводит снижению количества представителей данного рода до минимума. Наиболее заметным является ситуация с родом *Subdoligranulum*, его содержание также отмечается в двух опытных группах (I и III), в остальных опытных группах и в контроле данный род отсутствует.

Анализ показателей альфа-разнообразия микробиома (индекс Chao1, Шеннона и Симпсона) показал, что в исследуемых микробных сообществах наблюдаются ряд различий (табл. 2).

Индекс Чо1 отражает богатство видов, учитывающее как частые, так и редкие таксоны. Контрольная группа показала наиболее высокие значения ($263,25 \pm 7,64$), что свидетельствует о наибольшем разнообразии микробиоты. II опытная группа, напротив, имела наименьшие значения ($239,25 \pm 52,32$), что может указывать на снижение богатства видов в ответ на использование в рационе птиц ванилина. Значительное стандартное отклонение в I и II, III группах вероятнее всего связано с нестабильностью или большой изменчивостью микробиома.

Таблица 2. Статистический анализ показателей альфа-разнообразия
 Table 2. Statistical analysis of alpha diversity indices

Показатель / Indicator	Группа / Group				
	контрольная/ control	I опытная/ I experimen-tal	II опытная/ II experi-mental	III опытная/ III experi-mental	IV опытная/ IV experimen-tal
Индекс ЧАО1 / <i>Chao1 Index</i>	263,25±7,64	249,75±37,44	239,25±52,32	249,75±28,78	257,00±13,80
Индекс Шеннона / <i>Shannon Index</i>	3,78±0,61	3,87±0,50	3,29±0,41*	4,02±0,14*	3,91±0,45
Индекс Симпсона / <i>Simpson Index</i>	0,91±0,07	0,94±0,04	0,86±0,07*	0,98±0,04*	0,93±0,04

Примечание: * – $P \leq 0,05$

Note: * – at $P \leq 0.05$

Индекс Шеннона учитывает как обилие таксонов, так и богатство видов в микробиоте. III опытная группа продемонстрировала наивысшее значение индекса Шеннона ($4,02 \pm 0,14$), что говорит о высоком уровне разнообразия и равновесия среди таксонов. Напротив, II опытная группа имела наименьшее значение ($3,29 \pm 0,41$), что может указывать на меньший уровень разнообразия видов или доминирование одного или нескольких видов в микробиоме.

Индекс Симпсона фокусируется на доле доминирующих таксонов и, вероятно, показывает, как сильно доминирование одного или нескольких видов влияет на общую структуру сообщества. Наивысший индекс Симпсона был рассчитан для III опытной группы ($0,98 \pm 0,04$), что свидетельствует о более равномерном распределении видов в данной группе. При этом во II опытной группе (с наименьшим значением индекса Симпсона) отмечена высокая вероятность доминирования отдельных видов.

Бета-разнообразие микробиома позволяет оценивать различия в составе микробных сообществ между различными образцами или группами. В данном анализе представлены результаты сравнений бета-разнообразия между различными группами.

Тесты PERMANOVA, проведенные с использованием показателей бета-разнообразия Дженсена-Шеннона, показали статистически значимые ($P=0,05$) различия в структуре микробного сообщества между группами II и III (табл. 3).

Таблица 3. Статистический анализ показателей бета-разнообразия
 Table 3. Statistical analysis of beta diversity indices

Показатель / Indicator	Сравниваемые группы / Comparison groups									
	I и к/ I vs. c	II и к/ II vs. c	III и к/ III vs. c	IV и к/ IV vs. c	I и II/ I vs. II	I и III/ I vs. III	I и IV/ I vs. IV	II и III/ II vs. III	II и IV/ II vs. IV	III и IV/ III vs. IV
F-value / <i>F-value</i>	0,91	2,49	1,86	1,01	5,02	1,76	2,55	6,03	5,17	3,59
P-value / <i>P-value</i>	0,59	0,06	0,03	0,38	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
FDR / <i>FDR</i>	0,59	0,07	0,05	0,43	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Примечание: FDR (false discovery rate) – ожидаемая доля ложных отклонений

Note: FDR (false discovery rate) – is the expected proportion of false rejections

Сравнения с контролем показывают различные уровни бета-разнообразия. Например, сравнение контрольной группы с I опытной группой показывает высокое значение индекса ($F=0,91$) и высокое Р-значение (0,59), что указывает на отсутствие значительных различий в составе микробиоты. Сравнение I и II опытных групп показывает наивысшее значение бета-разнообразия ($F=5,02$) с Р-значением (0,04) и свидетельствует о статистически значимых различиях между этими двумя группами. Подобная тенденция наблюдается и для других сравнений между группами, таких как III и IV, которые имеют более низкие Р-значения ($P=0,03$), что может указывать на более высокие различия и возможное влияние на состав микробиоты.

Таким образом, сравнение бета-разнообразия для микробиома кишечника показывает, что определенные добавки (кверцетин и ванилин) оказывают значительное влияние на состав микробного сообщества. Результаты с низкими Р-значениями подчеркивают важность дальнейшего изучения влияния этих факторов на микробиом. Это может иметь значительные последствия для понимания взаимодействия состава корма и микробиоты, а также ее влияния на здоровье животных.

Обсуждение полученных результатов.

По мере углубления данных о микробиоме желудочно-кишечного тракта появилась возможность связать состав микробиоты с такими показателями продуктивности бройлеров, как скорость роста и эффективность конверсии корма (Dittoe DK et al., 2022). В связи с расширением знаний о микробиоте необходимость изучения модуляции микробиома с целью изменения метаболических продуктов в организме птицы возрастает.

Интересны в этом отношении фитохимические вещества, рассматриваемые в последние годы (Chen X et al., 2024; Song B et al., 2022; Yausheva E et al., 2019) в качестве вероятных аналогов кормовых антибиотических веществ (Рязанов В.А. и др., 2021).

Введение кверцетина в рацион цыплят-бройлеров увеличивает количество представителей *Firmicutes* в слепом кишечнике (Dong Y et al., 2020), что подтвердилось в нашем исследовании. Отмечено снижение бактерий рода *Alistipes* относительно нового рода в подтипе *Bacteroidetes*, который обычно ассоциируется с хроническим воспалением кишечника (Parker BJ et al., 2020). Заметным отличием (на наличие рода *Subdoligranulum*) характеризовались группы с добавлением в рацион кверцетина. Род *Subdoligranulum* является одним из ключевых родов бактерий в изучении взаимодействия между микроорганизмами и иммунитетом хозяина (Shen L et al., 2025). Описано увеличение бактерий рода *Lactobacillus* и снижение *Clostridium perfringens* при добавлении в рацион цыплят-бройлеров кверцетина (Abdel-Latif MA et al., 2021; Dong Y et al., 2020).

В доступной литературе немногочисленны исследования, оценивающие влияние ванилина на микробиом кишечника птицы. Известно, что кормовая добавка, содержащая ванилин, вызывает более выраженный противовоспалительный эффект и снижает передачу сигналов в тощей кишке, одновременно усиливая иммунометаболические реакции в подвздошной кишке (Johnson CN et al., 2023). Иммобилизованный ванилин приводил к значительному увеличению представителей *Bacteroidetes* (род *Bacteroides*) и *Verrucomicrobia* (род *Akkermansia*) и уменьшению *Firmicutes* (Ruiz-Rico M et al., 2023), что подтверждалось и в нашем исследовании. Воздействие свободного ванилина приводило к незначительному сокращению количества представителей родов *Acidaminococcus*, *Eubacterium*, *Lachnoclostridium*, *Ruthenibacterium* и *Sutterella* при увеличении относительной численности *Eggerthella* (Ruiz-Rico M et al., 2023). В нашем эксперименте доминировали бактерии рода *Barnesiella*, *Alistipes*, *Faecalibacterium*, *Coprobacter*, *unclassified Oscillospiraceae* и *unclassified Lachnospiraceae*.

В III опытной группе (комбинация кверцетина с ванилином) заметно увеличивалось содержание представителей *unclassified Lachnospiraceae*. В большей степени это трактуется как положительный момент в связи с тем, что эти бактерии участвуют в выработке ацетата и бутиратов, которые связаны с усилением иммунной функции и поддержанием здоровья кишечника (Su Y et al., 2024).

Что касается умбеллиферона, то его влияние на микробиом птицы слабо изучено и публикации по данной теме немногочисленны. Имеются сведения, что производные данного вещества являются эффективными антибактериальными средствами, которые минимизируют вызванное патогенами воспаление кишечника и аномальную модуляцию микробиома кишечника за счёт своей антибактериальной активности (Jung HS et al., 2024). Кумарины активируют сигнальный путь Nrf2/keap и оказывают противовоспалительное действие на кишечник (Di Stasi LC, 2023).

Производные кумарина в составе рациона форели увеличивали количество представителей филума *Bacillota* (Parra M et al., 2024), что отмечалось и в нашем исследовании на птице.

В целом, согласно анализу обзора литературы, вероятным механизмом действия фитохимических веществ является улучшение здоровья кишечника за счёт сокращения популяции бактериальных колоний, уменьшения количества продуктов брожения, включая аммиак и биогенные амины, снижения активности лимфатической системы, связанной с кишечником, и улучшения пищеварения в подвздошной кишке (Ayalew H et al., 2022; Phillips CJC et al., 2023).

Отмечается, что фитохимические вещества (в том числе и ванилин), могут уменьшать воспаление и окислительный стресс в кишечнике (Gopalsamy RG et al., 2025). Однако для подтверждения их полного потенциала в улучшении функций кишечника необходимы дополнительные исследования.

Заключение.

Проведенное исследование выявило, что фитохимические вещества оказывают влияние на микробное разнообразие кишечника цыплят-бройлеров, что может являться инструментом для его управления, в том числе контролируя патогенную микрофлору.

Список источников

1. Атландерова К.Н., Власенко Л.В. Анализ показателей крови бычков казахской белоголовой породы при включении в рацион комбинации фитохимических веществ // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 2. С. 8-18. [Atlanderova KN, Vlasenko LV. Analysis of blood parameters of the Kazakh white-headed bulls after a combination of phytochemicals added to the diet. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(2):8-18. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-108-2-8
2. Власенко Л.В., Атландерова К.Н., Дускаев Г.К. Анализ микробиома рубца крупного рогатого скота и степени переваримости корма под действием умбеллиферона // Ветеринария и кормление. 2024а. № 5. С. 19-21. [Vlasenko LV, Atlanderova KN, Duskaev GK. Analysis of the microbiome of the rumen of cattle and the degree of digestibility of feed under the influence of umbelliferone. Veterinaria i kormlenie. 2024a;5:19-21. (In Russ.)]. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-5-4
3. Власенко Л.В., Атландерова К.Н., Дускаев Г.К. Оценка воздействия ванилина и кверцетина на степень переваримости корма и микробиом рубца крупного рогатого скота // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024б. Т. 16. № 6. С. 52-65. [Vlasenko LV, Atlanderova KN, Duskaev GK. Assessment of the impact of vanillin and quercetin on the degree of feed digestability and the rumen microbiome of cattle. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024b;16(6):52-65. (In Russ.)]. doi: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1013
4. Спецификации бройлерных рационов корма Arbor Acres. Aviagen. 2022. URL: https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/AA_BroilerNutritionSpecifications2022_RU.pdf (дата обращения: 04.08.2025). [Spetsifikatsii broylernykh ratsionov korma Arbor Acres. Aviagen. 2022. URL: https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/AA_BroilerNutritionSpecifications2022_RU.pdf (data obrashcheniya: 04.08.2025)]. (In Russ.)].
5. Фитобиотики как альтернатива антибиотикам в животноводстве (обзор) / В.А. Рязанов, М.Я. Курилкина, Г.К. Дускаев, В.М. Габидулин // Животноводство и кормопроизводство.

2021. Т. 104. № 4. С. 108-123. [Ryazanov V, Kurilkina M, Duskaev G, Gabidulin V. Phytobiotics as an alternative to antibiotics in animal husbandry (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):108-123. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-4-108
6. Abdel-Latif MA, Elbestawy AR, El-Far AH, Noreldin AE, Emam M, Baty RS, Albadra-ni GM, Abdel-Daim MM, Abd El-Hamid HS. Quercetin dietary supplementation advances growth performance, gut microbiota, and intestinal mRNA expression genes in broiler chickens. *Animals* (Basel). 2021;11(8):2302. doi: 10.3390/ani11082302
7. Agarwal N, Kolba N, Khen N, Even C, Turjeman S, Koren O, Tako E. Quinoa soluble fiber and quercetin alter the composition of the gut microbiome and improve brush border membrane morphology *In vivo* (*Gallus gallus*). *Nutrients*. 2022;14(3):448. doi: 10.3390/nu14030448
8. Ayalew H, Zhang H, Wang J, Wu S, Qiu K, Qi G, Tekeste A, Wassie T, Chanie D. Potential feed additives as antibiotic alternatives in broiler production. *Front Vet Sci*. 2022;9:916473. doi: 10.3389/fvets.2022.916473
9. Chen X, Li F, Xu X, Wang L, Yu Y, Yan J, Shan X, Zhang R, Xing H, Zhang T, Du M, Pan S. Dietary curcumin supplementation enhances growth performance and anti-inflammatory functions by modulating gut microbiota, microbiota-derived metabolites, and expression of inflammation-related genes in broilers. *J Anim Sci*. 2024;102:skae296. doi: 10.1093/jas/skae296
10. Deryabin DG, Kosyan DB, Inchagova KS, Duskaev GK. Plant-derived quorum sensing inhibitors (quercetin, vanillin and umbelliferon) modulate cecal microbiome, reduces inflammation and affect production efficiency in broiler chickens. *Microorganisms*. 2023;11(5):1326. doi: 10.3390/microorganisms11051326
11. Di Stasi LC. Natural coumarin derivatives activating Nrf2 signaling pathway as lead compounds for the design and synthesis of intestinal anti-inflammatory drugs. *Pharmaceuticals* (Basel). 2023;16(4):511. doi: 10.3390/ph16040511
12. Dittoe DK, Olson EG, Ricke SC. Impact of the gastrointestinal microbiome and fermentation metabolites on broiler performance. *Poult Sci*. 2022;101(5):101786. doi: 10.1016/j.psj.2022.101786
13. Dong Y, Lei J, Zhang B. Effects of dietary quercetin on the antioxidative status and cecal microbiota in broiler chickens fed with oxidized oil. *Poult Sci*. 2020;99(10):4892-4903. doi: 10.1016/j.psj.2020.06.028
14. Feng J, Li Z, Ma H, Yue Y, Hao K, Li J, Xiang Y, Min Y. Quercetin alleviates intestinal inflammation and improves intestinal functions via modulating gut microbiota composition in LPS-challenged laying hens. *Poult Sci*. 2023;102(3):102433. doi: 10.1016/j.psj.2022.102433
15. Gopalsamy RG, Antony PJ, Athesh K, Hillary VE, Montalvão MM, Hariharan G, Santa-na LADM, Borges LP, Gurgel RQ. Dietary essential oil components: a systematic review of pre-clinical studies on the management of gastrointestinal diseases. *Phytomedicine*. 2025;140:156630. doi: 10.1016/j.phymed.2025.156630
16. Guo J, Han X, Zhan J, You Y, Huang W. Vanillin alleviates high fat diet-induced obesity and improves the gut microbiota composition. *Front Microbiol*. 2018;9:2733. doi: 10.3389/fmicb.2018.02733
17. Johnson CN, Arsenault RJ, Piva A, Grilli E, Swaggerty CL. A microencapsulated feed additive containing organic acids and botanicals has a distinct effect on proliferative and metabolic related signaling in the jejunum and ileum of broiler chickens. *Front Physiol*. 2023;14:1147483. doi: 10.3389/fphys.2023.1147483
18. Jung HS, Park YJ, Gu BH, Han G, Ji W, Hwang SM, Kim M. Coumarin derivatives ameliorate the intestinal inflammation and pathogenic gut microbiome changes in the model of infectious colitis through antibacterial activity. *Front Cell Infect Microbiol*. 2024;14:1362773. doi: 10.3389/fcimb.2024.1362773
19. Mao Y, Yang Q, Liu J, Fu Y, Zhou S, Liu J, Ying L, Li Y. Quercetin increases growth performance and decreases incidence of diarrhea and mechanism of action in weaned piglets. *Oxid Med Cell Longev*. 2024;2024(1):5632260. doi: 10.1155/2024/5632260

20. Parker BJ, Wearsch PA, Veloo ACM, Rodriguez-Palacios A. The Genus *Alistipes*: gut bacteria with emerging implications to inflammation, cancer, and mental health. *Front Immunol.* 2020;11:906. doi: 10.3389/fimmu.2020.00906
21. Parra M, Aldabaldetrecu M, Arce P, Soto-Aguilera S, Vargas R, Guerrero J, Tello M, Modak B. Oral administration of a new copper (I) complex with coumarin as ligand: modulation of the immune response and the composition of the intestinal microbiota in *Onchorhynchus mykiss*. *Front Chem.* 2024;12:1338614. doi: 10.3389/fchem.2024.1338614
22. Phillips CJC, Hosseintabar-Ghasemabad B, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Mosolov AA, Seidavi A. Immunomodulatory effects of natural feed additives for meat chickens. *Life (Basel).* 2023;13(6):1287. doi: 10.3390/life13061287
23. Rana A, Samtiya M, Dhewa T, Mishra V, Aluko RE. Health benefits of polyphenols: A concise review. *J Food Biochem.* 2022;46(10):e14264. doi: 10.1111/jfbc.14264
24. Ruiz-Rico M, Renwick S, Vancuren SJ, Robinson AV, Gianetto-Hill C, Allen-Vercoe E, Barat JM. Impact of food preservatives based on immobilized phenolic compounds on an *in vitro* model of human gut microbiota. *Food Chem.* 2023;403:134363. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134363
25. Shabbir U, Rubab M, Daliri EB, Chelliah R, Javed A, Oh DH. Curcumin, quercetin, catechins and metabolic diseases: the role of gut microbiota. *Nutrients.* 2021;13(1):206. doi: 10.3390/nu13010206
26. Shen L, Zhao Y, Liu S, Li S, Li Q, Tung TH, Shen B. Changes in the *Subdoligranulum* genus in patients with autoimmune disease: a systematic review and meta-analysis. *Front Immunol.* 2025;16:1619160. doi: 10.3389/fimmu.2025.1619160
27. Song B, Li P, Yan S, Liu Y, Gao M, Lv H, Lv Z, Guo Y. Effects of dietary astragalus polysaccharide supplementation on the Th17/Treg balance and the gut microbiota of broiler chickens challenged with necrotic enteritis. *Front Immunol.* 2022;13:781934. doi: 10.3389/fimmu.2022.781934
28. Su Y, Chang G, Liu J, Huang P, Zeng J. Dietary sanguinarine supplementation improves the growth performance and intestinal immunity of broilers. *Anim Nutr.* 2024;19:76-89. doi: 10.1016/j.aninu.2024.05.009
29. Sun L, Guo L, Xu G, Li Z, Appiah MO, Yang L, Lu W. Quercetin reduces inflammation and protects gut microbiota in broilers. *Molecules.* 2022;27(10):3269. doi: 10.3390/molecules27103269
30. Wu H, Ji C, Wang R, Gao L, Luo W, Liu J. Dietary quercetin regulates gut microbiome diversity and abundance in *Apis cerana* (Hymenoptera Apidae). *Insects.* 2024;16(1):20. doi: 10.3390/insects16010020
31. Yadav M, Pandey R, Chauhan NS. Catabolic machinery of the human gut microbes bestow resilience against vanillin antimicrobial nature. *Front Microbiol.* 2020;11:588545. doi: 10.3389/fmicb.2020.588545
32. Yausheva E, Kosyan D, Duskaev G, Kvan O, Rakhmatullin S. Evaluation of the impact of plant extracts in different concentrations on the ecosystem of broilers' intestine. *Biointerface Research in Applied Chemistry.* 2019;9(4):4168-4171. doi: 10.33263/BRIAC94.168171
33. Zhang X, Li Y, Zhu K, Li C, Zhao Q, Gu F, Xu F, Chu Z. Microbiome-metabolomic analysis revealed the immunoprotective effects of the extract of *Vanilla planifolia* Andrew (EVPA) on immuno-suppressed mice. *Foods.* 2024;13(5):701. doi: 10.3390/foods13050701
34. Zhu X, Dai X, Zhao L, Li J, Zhu Y, He W, Guan X, Wu T, Liu L, Song H, Lei L. Quercetin activates energy expenditure to combat metabolic syndrome through modulating gut microbiota-bile acids crosstalk in mice. *Gut Microbes.* 2024;16(1):2390136. doi: 10.1080/19490976.2024.2390136. Erratum in: *Gut Microbes.* 2025;17(1):2471120. doi: 10.1080/19490976.2025.2471120

References

1. Atlanderova KN, Vlasenko LV. Analysis of blood parameters of the Kazakh white-headed bulls after a combination of phytochemicals added to the diet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(2):8-18. doi: 10.33284/2658-3135-108-2-8
2. Vlasenko LV, Atlanderova KN, Duskaev GK. Analysis of the microbiome of the rumen of cattle and the degree of digestibility of feed under the influence of umbelliferone. *Veterinary Science and Feeding*. 2024a;5:19-21. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-5-4
3. Vlasenko LV, Atlanderova KN, Duskaev GK. Assessment of the impact of vanillin and quercetin on the degree of feed digestibility and the rumen microbiome of cattle. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024b;16(6):52-65. doi: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1013
4. Arbor Acres Broiler Diet Specifications. Aviagen. 2022. P [Internet] Available from: URL: https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/AA_Broiler_Nutrition_Specifications2022_RU.pdf (cited: 04.08.2025).
5. Ryazanov V, Kurilkina M, Duskaev G, Gabidulin V. Phytobiotics as an alternative to antibiotics in animal husbandry (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):108-123. doi: 10.33284/2658-3135-104-4-108
6. Abdel-Latif MA, Elbestawy AR, El-Far AH, Noreldin AE, Emam M, Baty RS, Albadrani GM, Abdel-Daim MM, Abd El-Hamid HS. Quercetin dietary supplementation advances growth performance, gut microbiota, and intestinal mRNA expression genes in broiler chickens. *Animals (Basel)*. 2021;11(8):2302. doi: 10.3390/ani11082302
7. Agarwal N, Kolba N, Khen N, Even C, Turjeman S, Koren O, Tako E. Quinoa soluble fiber and quercetin alter the composition of the gut microbiome and improve brush border membrane morphology *In vivo (Gallus gallus)*. *Nutrients*. 2022;14(3):448. doi: 10.3390/nu14030448
8. Ayalew H, Zhang H, Wang J, Wu S, Qiu K, Qi G, Tekeste A, Wassie T, Chanie D. Potential feed additives as antibiotic alternatives in broiler production. *Front Vet Sci*. 2022;9:916473. doi: 10.3389/fvets.2022.916473
9. Chen X, Li F, Xu X, Wang L, Yu Y, Yan J, Shan X, Zhang R, Xing H, Zhang T, Du M, Pan S. Dietary curcumin supplementation enhances growth performance and anti-inflammatory functions by modulating gut microbiota, microbiota-derived metabolites, and expression of inflammation-related genes in broilers. *J Anim Sci*. 2024;102:skae296. doi: 10.1093/jas/skae296
10. Deryabin DG, Kosyan DB, Inchagova KS, Duskaev GK. Plant-derived quorum sensing inhibitors (quercetin, vanillin and umbelliferon) modulate cecal microbiome, reduces inflammation and affect production efficiency in broiler chickens. *Microorganisms*. 2023;11(5):1326. doi: 10.3390/microorganisms11051326
11. Di Stasi LC. Natural coumarin derivatives activating Nrf2 signaling pathway as lead compounds for the design and synthesis of intestinal anti-inflammatory drugs. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2023;16(4):511. doi: 10.3390/ph16040511
12. Dittoe DK, Olson EG, Ricke SC. Impact of the gastrointestinal microbiome and fermentation metabolites on broiler performance. *Poult Sci*. 2022;101(5):101786. doi: 10.1016/j.psj.2022.101786
13. Dong Y, Lei J, Zhang B. Effects of dietary quercetin on the antioxidative status and cecal microbiota in broiler chickens fed with oxidized oil. *Poult Sci*. 2020;99(10):4892-4903. doi: 10.1016/j.psj.2020.06.028
14. Feng J, Li Z, Ma H, Yue Y, Hao K, Li J, Xiang Y, Min Y. Quercetin alleviates intestinal inflammation and improves intestinal functions via modulating gut microbiota composition in LPS-challenged laying hens. *Poult Sci*. 2023;102(3):102433. doi: 10.1016/j.psj.2022.102433

15. Gopalsamy RG, Antony PJ, Athesh K, Hillary VE, Montalvão MM, Hariharan G, Santana LADM, Borges LP, Gurgel RQ. Dietary essential oil components: a systematic review of pre-clinical studies on the management of gastrointestinal diseases. *Phytomedicine*. 2025;140:156630. doi: 10.1016/j.phymed.2025.156630
16. Guo J, Han X, Zhan J, You Y, Huang W. Vanillin alleviates high fat diet-induced obesity and improves the gut microbiota composition. *Front Microbiol*. 2018;9:2733. doi: 10.3389/fmicb.2018.02733
17. Johnson CN, Arsenault RJ, Piva A, Grilli E, Swaggerty CL. A microencapsulated feed additive containing organic acids and botanicals has a distinct effect on proliferative and metabolic related signaling in the jejunum and ileum of broiler chickens. *Front Physiol*. 2023;14:1147483. doi: 10.3389/fphys.2023.1147483
18. Jung HS, Park YJ, Gu BH, Han G, Ji W, Hwang SM, Kim M. Coumarin derivatives ameliorate the intestinal inflammation and pathogenic gut microbiome changes in the model of infectious colitis through antibacterial activity. *Front Cell Infect Microbiol*. 2024;14:1362773. doi: 10.3389/fcimb.2024.1362773
19. Mao Y, Yang Q, Liu J, Fu Y, Zhou S, Liu J, Ying L, Li Y. Quercetin increases growth performance and decreases incidence of diarrhea and mechanism of action in weaned piglets. *Oxid Med Cell Longev*. 2024;2024(1):5632260. doi: 10.1155/2024/5632260
20. Parker BJ, Wearsch PA, Veloo ACM, Rodriguez-Palacios A. The Genus *Alistipes*: gut bacteria with emerging implications to inflammation, cancer, and mental health. *Front Immunol*. 2020;11:906. doi: 10.3389/fimmu.2020.00906
21. Parra M, Aldabaldetrecu M, Arce P, Soto-Aguilera S, Vargas R, Guerrero J, Tello M, Modak B. Oral administration of a new copper (I) complex with coumarin as ligand: modulation of the immune response and the composition of the intestinal microbiota in *Onchorhynchus mykiss*. *Front Chem*. 2024;12:1338614. doi: 10.3389/fchem.2024.1338614
22. Phillips CJC, Hosseintabar-Ghasemabad B, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Mosolov AA, Seidavi A. Immunomodulatory effects of natural feed additives for meat chickens. *Life (Basel)*. 2023;13(6):1287. doi: 10.3390/life13061287
23. Rana A, Samtiya M, Dhewa T, Mishra V, Aluko RE. Health benefits of polyphenols: A concise review. *J Food Biochem*. 2022;46(10):e14264. doi: 10.1111/jfbc.14264
24. Ruiz-Rico M, Renwick S, Vancuren SJ, Robinson AV, Gianetto-Hill C, Allen-Vercoe E, Barat JM. Impact of food preservatives based on immobilized phenolic compounds on an *in vitro* model of human gut microbiota. *Food Chem*. 2023;403:134363. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134363
25. Shabbir U, Rubab M, Daliri EB, Chelliah R, Javed A, Oh DH. Curcumin, quercetin, catechins and metabolic diseases: the role of gut microbiota. *Nutrients*. 2021;13(1):206. doi: 10.3390/nu13010206
26. Shen L, Zhao Y, Liu S, Li S, Li Q, Tung TH, Shen B. Changes in the *Subdoligranulum* genus in patients with autoimmune disease: a systematic review and meta-analysis. *Front Immunol*. 2025;16:1619160. doi: 10.3389/fimmu.2025.1619160
27. Song B, Li P, Yan S, Liu Y, Gao M, Lv H, Lv Z, Guo Y. Effects of dietary astragalus polysaccharide supplementation on the Th17/Treg balance and the gut microbiota of broiler chickens challenged with necrotic enteritis. *Front Immunol*. 2022;13:781934. doi: 10.3389/fimmu.2022.781934
28. Su Y, Chang G, Liu J, Huang P, Zeng J. Dietary sanguinarine supplementation improves the growth performance and intestinal immunity of broilers. *Anim Nutr*. 2024;19:76-89. doi: 10.1016/j.aninu.2024.05.009
29. Sun L, Guo L, Xu G, Li Z, Appiah MO, Yang L, Lu W. Quercetin reduces inflammation and protects gut microbiota in broilers. *Molecules*. 2022;27(10):3269. doi: 10.3390/molecules27103269
30. Wu H, Ji C, Wang R, Gao L, Luo W, Liu J. Dietary quercetin regulates gut microbiome diversity and abundance in *Apis cerana* (Hymenoptera Apidae). *Insects*. 2024;16(1):20. doi: 10.3390/insects16010020

31. Yadav M, Pandey R, Chauhan NS. Catabolic machinery of the human gut microbes bestow resilience against vanillin antimicrobial nature. *Front Microbiol.* 2020;11:588545. doi: 10.3389/fmicb.2020.588545
32. Yausheva E, Kosyan D, Duskaev G, Kvan O, Rakhmatullin S. Evaluation of the impact of plant extracts in different concentrations on the ecosystem of broilers' intestine. *Biointerface Research in Applied Chemistry.* 2019;9(4):4168-4171. doi: 10.33263/BRIAC94.168171
33. Zhang X, Li Y, Zhu K, Li C, Zhao Q, Gu F, Xu F, Chu Z. Microbiome-metabolomic analysis revealed the immunoprotective effects of the extract of *Vanilla planifolia* Andrew (EVPA) on immunosuppressed mice. *Foods.* 2024;13(5):701. doi: 10.3390/foods13050701
34. Zhu X, Dai X, Zhao L, Li J, Zhu Y, He W, Guan X, Wu T, Liu L, Song H, Lei L. Quercetin activates energy expenditure to combat metabolic syndrome through modulating gut microbiota-bile acids crosstalk in mice. *Gut Microbes.* 2024;16(1):2390136. doi: 10.1080/19490976.2024.2390136. Erratum in: *Gut Microbes.* 2025;17(1):2471120. doi: 10.1080/19490976.2025.2471120

Информация об авторах:

Галимжан Калиханович Дускаев, доктор биологических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушиной, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29.

Дмитрий Геннадьевич Дерябин, доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29.

Людмила Викторовна Власенко, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29.

Information about the authors:

Galimzhan K Duskaev, Dr. Sci. (Biology), Professor RAS, Leading Research Assistant Department of Feeding for Farm Animals and Feed Technology named after S.G. Leushin, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Dmitry G Deryabin, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Leading Research Assistant, Laboratory of Breeding and Genetic Research in Animal Husbandry, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Lyudmila V Vlasenko, Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Laboratory of Breeding and Genetic Research in Animal Husbandry, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Статья поступила в редакцию 20.10.2025; одобрена после рецензирования 30.10.2025; принятая к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 20.10.2025; approved after reviewing 30.10.2025; accepted for publication 15.12.2025.