

Научная статья

УДК 636.5:636.087.8

doi: 10.33284/2658-3135-109-3-195

Влияние пробиотических препаратов в комбинации с микрочастицами микроэлементов и микрокристаллической целлюлозы на зоотехнические показатели цыплят-бройлеров

Александр Андреевич Тишин¹, Дмитрий Алексеевич Силин²

^{1,2}Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, Оренбург, Россия

¹alex.vet7787@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3808-4275>

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

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментального исследования, направленные на оценку влияния комплексной кормовой добавки, включающей пробиотический препарат (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* 40 мг/кг и *Streptococcus thermophilus* 40 мг/кг), микрочастицы металлов (МКЧ) (Fe, Cu, Zn) и микрокристаллическую целлюлозу (МКЦ), на продуктивные показатели, переваримость питательных веществ и химический состав тела цыплят-бройлеров кросса «Росс 308». Эксперимент проведен на 180 цыплятах-бройлерах в период 8-35 суток, из которых были сформированы 6 групп: контрольная и пять опытных, получавших различные комбинации изучаемых компонентов. Установлено, что наибольший положительный эффект наблюдался в группе, получавшей полный комплекс добавок (МКЦ+пробиотик+ МКЧ Cu, Fe, Zn). В данной группе зафиксировано снижение затрат корма на 1 кг прироста на 8 %, повышение переваримости сырого протеина на 6,1 % в стартовый период и на 5,3 % – в ростовой, а также увеличение живой массы к 35-суточному возрасту на 5,6 % по сравнению с контролем. Химический состав тела характеризовался максимальным накоплением сухого вещества (32,7 %) и протеина (22,1 %) при умеренном содержании жира, что соответствует критериям качества мясной продукции. Коэффициент трансформации протеина корма в теле составил 41,9 %, конверсия энергии достигла 37,3 %. Полученные результаты свидетельствуют о синергическом эффекте совместного применения пробиотика, микрочастиц металлов и микрокристаллической целлюлозы, что обеспечивает оптимизацию пищеварительных процессов, повышение биодоступности питательных веществ и эффективности их трансформации в мясную продукцию. Выявлена дифференцированная реакция на введение моновариантов микроэлементов, подтверждающая преимущество комплексного подхода.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, переваримость, рацион, продуктивность, микрокристаллическая целлюлоза, пробиотик, микрочастицы

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке гранта на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (№ 075-15-2024-550).

Для цитирования: Тишин А.А., Силин Д.А. Влияние пробиотических препаратов в комбинации с микрочастицами микроэлементов и микрокристаллической целлюлозы на зоотехнические показатели цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 195-211. [Tishin AA, Silin DA. The effect of probiotics in combination with microparticles of microelements and microcrystalline cellulose on the zootechnical indicators of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(3):195-211. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-195>

Original article

The effect of probiotics in combination with microparticles of microelements and microcrystalline cellulose on the zootechnical indicators of broiler chickens

Alexander A Tishin¹, Dmitriy A Silin²

^{1,2}Orenburg State University named after VA Bondarenko

¹alex.vet7787@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3808-4275>

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

Abstract. The paper presents the results of an experimental study aimed at assessing the effect of a complex feed additive, which includes a probiotic preparation (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* 40 mg/kg and *Streptococcus thermophilus* 40 mg/kg), metal microparticles (MMP) (Fe, Cu, Zn), and microcrystalline cellulose (MCC), on the productive traits, digestibility of nutrients, and chemical composition of the body of broiler chickens of the “Ross 308” cross. The experiment was conducted on 180 broiler chickens for a period of 8-35 days, of which 6 groups were formed: a control group and five experimental groups receiving various combinations of the studied components. It was found that the greatest positive effect was observed in the group, which received a full range of supplements (MCC + probiotic + MMP Cu, Fe, Zn). In this group, there was a decrease in feed costs per 1 kg of gain by 8%, an increase in the digestibility of crude protein by 6.1% in the initial period and by 5.3% in the growth period, as well as an increase in body weight by 5.6% by the age of 35 days compared with the control. The chemical composition of the body was characterized by a maximum accumulation of dry matter (32.7%) and protein (22.1%) with a moderate fat content, which meets the quality criteria of meat products. The transformation coefficient of the feed protein in the body was 41.9%, the energy conversion reached 37.3%. The results obtained indicate the synergistic effect of the combined use of probiotics, micro metal particles and microcrystalline cellulose, which optimizes digestive processes, increases the bioavailability of nutrients and the effectiveness of their transformation into meat products. A differentiated reaction to the introduction of monovalents of trace elements was revealed, confirming the advantage of an integrated approach.

Keywords: broiler chickens, feeding, digestibility, diet, productivity, microcrystalline cellulose, probiotic, microparticles

Acknowledgments: the research was carried out with the support of a grant for major scientific projects in priority areas of scientific and technological development (No. 075-15-2024-550).

For citation: Tishin AA, Silin DA. The effect of probiotics in combination with microparticles of microelements and microcrystalline cellulose on the zootechnical indicators of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(3):195-211. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-195>

Введение.

В декабре 2025 года президиумом Совета по стратегическому развитию и нацпроектам при Президенте РФ был утвержден новый национальный проект «Технологическое обеспечение биоэкономики», который встроен в контур достижения технологического суверенитета к 2030 году и технологического лидерства к 2036 году в сфере биоэкономики.

Россия в этом вопросе делает акцент на обеспечении независимости в агропромышленном комплексе. Эпоха простого экспорта зерна трансформируется, и будущее аграрных регионов России напрямую зависит от успешной реализации национальной стратегии глубокой переработки сельхозпродукции и, в частности, использования отходов отрасли растениеводства в кормлении сельскохозяйственной птицы. Не исключением является применение пищевых волокон, способствующих модуляции процессов пищеварения путем создания оптимальной среды для развития микробиома и стимуляции обменных процессов (Фисинин В.И., 2009).

В настоящее время клетчатка привлекает особое внимание в связи с ее функциональной ценностью (Jha R and Berrocso JFD, 2016) и рассматривается в качестве пребиотика за счет потенциальной пользы при коррекции пищеварения (Jha R and Berrocso JD, 2015). Польза пищевых волокон зависит от типа и химической структуры, популяции кишечной микрофлоры, pH толстой кишки и время прохождения по желудочно-кишечному тракту (Zijlstra RT et al., 2012; Hooda S et al., 2011). В связи существующей конкуренции кишечного микробиома с организмом хозяина за использование микроэлементов, необходимо установить влияние симбиоза вводимых биологически активных веществ (клетчатка, пробиотик, химический элемент) на формирование физиолого-биохимических параметров и обменных процессов в живом организме (Becker KW and Skaar EP, 2014). В частности, дефицит железа в раннем возрасте изменяет состав определенных родов бактерий, способствуя росту железнезависимых бактериальных сообществ (Knight LC et al., 2019), дефицит марганца провоцирует колит (Choi EK et al., 2020). Цинк снижает количество энтеробактерий и клостридий, повышая уровень ацетата и бутирата и функциональность кишечника (Pieper R et al., 2012), изменяет энергетический и белковый метаболизм, а также биосинтез аминокислот (Satessa GD et al., 2020). Хотя медь важна для поддержания физиологических функций, она также проявляет антимикробную активность, поскольку внутриклеточное накопление меди может вызывать повреждение белков и клеток у бактерий (Dalecki AG et al., 2017; Pontin KP et al., 2021).

Ультрадисперсные, наночастицы и микроаэрозоли микроэлементов показали лучшую биодоступность по сравнению с используемыми в текущих премиксах неорганических формах (Singh P and Prasad SA, 2023), что позволит использовать их в меньших количествах и снизить загрязнение окружающей среды неорганическими формами микроэлементов, а также повысить продуктивность птицы за счет их лучшей активности в организме и выраженного стимулирующего действия на микробиом кишечника (Кван О.В. и др., 2024).

Совместное использование пробиотиков с МКЧ микроэлементов обладает выраженным синергетическим эффектом, таким как увеличение антибактериальной активности, массы тела птицы, качества мяса, а также стимуляцию микробиома (Alqahtani AN, 2025).

Как показано в исследовании Tejeda OJ и Kim WK (2021), пищевые волокна способствуют снижению скорости прохождения корма через желудочно-кишечный тракт, повышая тем самым эффективность переваривания и усвояемость питательных веществ и микроэлементов, что при совместном применении с пробиотиками и МКЧ микроэлементов даст наибольший положительный эффект.

Цель исследования.

Оценка действия пробиотических препаратов в комбинации с микроаэрозолями Fe, Cu, Zn на основе микрокристаллической целлюлозы на зоотехнические показатели выращивания, переваримость питательных веществ и химический состав тела цыплят-бройлеров

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса «Росс 308».

Экспериментальные исследования на животных и экспериментальные исследования выполнены в соответствии с инструкциями Russian Regulations и The Guide for Care and Use of Laboratory Animals. Межгосударственный стандарт ГОСТ 34088-2017 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за сельскохозяйственными животными». При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН (протокол № 4 от 30.09.2024 г.) в связи с проведением исследований на базе лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН.

Схема эксперимента. Для проведения экспериментальных исследований было сформировано 6 групп 8-суточных цыплят-бройлеров кросса Росс-308: одна контрольная и 5 опытных групп по 30 голов в каждой группе.

Питательность основного рациона (ОР) соответствовала рекомендациям по кормлению сельскохозяйственной птицы Егорова И.А. и др. (2021) методическим рекомендациям по кормлению и содержанию кросса РОСС 308. Контрольная группа в период с 1 до 35 суток содержалась на основном рационе в соответствии с периодами выращивания (с 1 по 28 сутки – стартовый и с 29 по 35 сутки – ростовой рационы).

Содержание вводимых микроэлементов стартового рациона составило: Cu – 11,75 мг/кг корма, Fe – 26,9 мг/кг корма, Zn – 52,34 мг/кг корма, ростового: Cu – 10,81 мг/кг корма, Fe – 27,7 мг/кг корма, Zn – 58,1 мг/кг корма, при соотношении: Zn:Cu – 4,45-5,37, Zn:Fe – 1,95-2,1, Fe:Cu – 2,29-2,56.

Вариации вводимых в рацион комплексов опытным группам состоял из: микрокристаллической целлюлозы (МКЦ), пробиотиков (П) *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* 40 мг/кг корма и *Streptococcus thermophilus* 40 мг/кг корма, микрочастиц микроэлементов в форме МКЧ (МКЧ): Cu (70-90 нм) 0,625 мг/кг корма, Fe₃O₄ (60-90 нм) 6,25 мг/кг корма и ZnO (212 нм) 17,5 мг/кг корма путем замены 3 % зерновой части (пшеница, кукуруза) на соответствующее количество компонентов. Таким образом, I опытная группа (МКЦ+П) получала комплекс микрокристаллической целлюлозы с пробиотиком, II опытная (МКЦ+П+МКЧ) дополнительно получала комплекс со всеми микрочастицами (МКЧ), III опытная (МКЦ+П+Cu) – дополнительно микрочастицы меди, IV опытная (МКЦ+П+Fe) – микрочастицы железа и V опытная (МКЦ+П+Zn) – микрочастицы цинка.

В качестве источника клетчатки в составе добавки был использован препарат микрокристаллическая целлюлоза Е460 (древесная целлюлоза с длиной волокон от 1 до 20 мкм).

МКЧ производились в «Лаборатории синтеза наноструктур» Оренбургского государственного университета им. В.А. Бондаренко.

МКЧ вводили после диспергирования в физиологическом растворе с помощью УЗДН-2Т, (НПП «Академприбор», Россия) (35 кГц, 300 Вт, 10 мкА, 30 мин).

МКЧ ZnO синтезировался методом осаждения и термического разложения. Осаждение гидроксида цинка из раствора нитрата цинка гидроксидом калия при комнатной температуре и давлении. Осадок промывался 3 раза деионизированной водой. Термическое разложение гидроксида цинка при +500 °С в течение 3 часов при атмосфере воздуха и атмосферном давлении.

МКЧ Cu получали восстановлением из хлорида меди (2) гидразин гидратом в щелочном (гидроксид калия) растворе этилового спирта (92 %). Чистота реагентов хлорид меди – 99,1 %, гидроксид калия – 99,99 %, гидразин гидрат – 99,99 %. Синтез проводили при +25 °С в атмосфере азота и атмосферном давлении. Осадок промывался 4 раза деионизированной водой и один раз этанолом.

МКЧ Fe₃O₄ синтезировался методом соосаждения. Восстановление из хлорида железа (2) и (3) – водным раствором аммиака. Чистота реагентов – 99,88 % и 99,99 %. Синтез проводился при +25 °С в атмосфере азота при атмосферном давлении. Осадок промывался 4 раза деионизированной водой и один раз ацетоном.

Кормление подопытной птицы осуществлялось 2 раза в сутки, поение – групповым методом согласно рекомендациям ВНИТИП 2021 г. Температурный режим соответствовал рекомендациям выращивания кросса. Режим освещения – 12 часов свет/12 часов темнота. Микроклимат в помещении соответствовал требованиям ВНИТИП (2021). Для исследования использовались специализированные клетки для выращивания бройлеров площадью 4050 см² (90×45×45 см).

Ростовые характеристики бройлеров оценивались на протяжении всего эксперимента путем еженедельного взвешивания (±1 г) утром перед кормлением, затем рассчитывался среднесуточный привес. Поедаемость и расход корма учитывался ежедневно, затем рассчитывалась конверсия корма.

Изучение переваримости питательных веществ в процессе балансового опыта проводилось в соответствии с «Методическими рекомендациями по проведению научных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы» и методикой ВНИТИП (Егоров И.А. и др., 2013).

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы Центра коллективного пользования БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>). Хими-

ческий состав помета, кормов и тканей тела определялся по стандартизированным методикам: корма (ГОСТ 31640-2012– методы определения содержания сухого вещества, ГОСТ 32044.1.2012– определение азота и доли сырого протеина), мясо и мясные продукты (ГОСТ 13496.15-97– методы определения содержания сырого жира), ГОСТ 51479-99– метод определения массовой доли влаги, ГОСТ 23042-86 – методы определения жира, ГОСТ 25011-81– методы определения белка, ГОСТ Р 53642-2009– метод определения массовой доли общей золы).

Статистическая обработка. Основные данные анализировались с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» («Microsoft», США) с применением «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («StatSoft Inc.», США). Различия считались значительными при уровне значимости $P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$; $P \leq 0,001$. Данные в таблицах представлены в виде $M \pm m$, где M – среднее арифметическое, m – ошибка среднего арифметического. В случае нормального распределения, когда разница между средней арифметической (M) и медианой (Me) сравниваемых групп составляла менее 10 %, статистическую значимость различий между группами оценивали с помощью t-теста Стьюдента.

Результаты исследования.

Оценка поедаемости кормов подопытной птицей демонстрирует снижение общего потребления корма в I, II и IV опытных группах по сравнению с контрольной на 5,89 %, 2,35 % и 3,77 % соответственно (табл. 1).

Обращает внимание увеличение на 24,6 % потребления корма бройлерами II группы в стартовый период при снижении в ростовой на 4,6 % относительно контроля. Такая выраженная динамика может свидетельствовать об адаптации и биологическом эффекте при совместном использовании микроэлементов в структуре исследуемого комплекса, что сопровождалось снижением затрат корма на 1 кг прироста на 8 %, и подтверждает целесообразность совместного применения пробиотических добавок и пищевых волокон как симбиотического комплекса для стимуляции обменных процессов и формирования продуктивных качеств.

Таблица 1. Эффективность использования кормов цыплятами бройлерами, г/гол.

Table 1. The effectiveness of feed consumption by broiler chickens, g/head

Показатель / Indicator	Группа / Group					
	контроль- ная / control	I опыт- ная группа / I experi- mental group	II опыт- ная груп- па / II ex- perimental group	III опыт- ная груп- па / III experi- mental group	IV опыт- ная груп- па / IV experi- mental group	V опыт- ная груп- па / V ex- perimental group
Стартовый рацион, г / Starting ration, g	1782	1699	2363	1839	1722	1821
Ростовой рацион, г / Growth ration, g	1241	1146	1185	1327	1187	1206
Всего за экспери- мент, г / Total for the experiment, g	3023	2845	2952	3166	2909	3027
Затраты корма на 1 кг прироста жи- вой массы / Feed costs per 1 kg of live weight gain	1,77	1,64	1,63	1,81	1,67	1,74

Анализ коэффициентов переваримости питательных веществ стартового рациона (табл. 2) установил интенсивность белкового и жирового обменов во II опытной группе на 6,1 % ($P \leq 0,05$) и 1,4 % соответственно. Наибольший уровень переваримости клетчатки соответствовал значениям IV группы, отличающейся введением железа в пробиотико-целлюлозный комплекс.

Таблица 2. Коэффициенты переваримости питательных веществ кормов, %
Table 2. Coefficients of digestibility of feed nutrients, %

Группа / Group	Органическое вещество / Organic matter	Сырой жир / Raw fat	Сырой протеин / Crude protein	Сырая клетчатка / Raw fiber	Углеводы / Carbohydrates
Стартовый рацион / Starting ration					
Контроль / Control	78,9±0,81	90,1±0,38	73,3±1,02	20,9±3,02	79,3±0,79
I опытная группа / I experimental group	78,4±0,25	88,8±0,13	70,3±0,34*	25,7±0,85*	80,3±0,23
II опытная группа / II experimental group	82,8±0,48*	91,5±0,24	79,4±0,58*	25,1±2,09*	82,8±0,48*
III опытная группа / III experimental group	79,7±0,40	88,1±0,23	69,9±0,59*	24,5±1,47*	82,8±0,34*
IV опытная группа / IV experimental group	79,4±0,80	87,4±0,49	74,4±0,99	27,0±2,83*	80,15±0,77
V опытная группа / V experimental group	80,9±0,47	90,6±0,23	76,8±0,57*	26,3±1,80	81,35±0,46
Ростовой рацион / Growth ration					
Контроль / Control	73,4±1,98	87,5±0,93	65,6±2,55	23,2±5,71	74,3±1,91
I опытная группа / I experimental group	69,9±4,24	88,9±1,56	65,9±4,81	20,8±11,18	65,9±4,81
II опытная группа / II experimental group	76,5±0,53	90,2±0,22*	70,9±0,66	28,4±1,63	76,2±0,54
III опытная группа / III experimental group	76,9±3,22	89,8±1,43	71,8±4,07	28,1±3,03	76,6±3,27
IV опытная группа / IV experimental group	74,1±4,00	88,6±1,75	67,6±5,00	24,1±2,70	73,7±4,05
V опытная группа / V experimental group	68,6±5,70	90,3±1,76*	57,1±7,77	26,0±13,42	67,8±5,84

Примечание: * – $P \leq 0,05$ при сравнении опытных групп с контрольной

Note: * – $P \leq 0.05$ comparing the experimental groups with the control group

Полученные данные по улучшению переваримости питательных веществ в стартовый период выращивания имеют особое значение, поскольку именно в этот период закладывается основа для последующей продуктивности птицы. Применение микроэлементов в моноварианте не оказывало негативного влияния на переваримость питательных веществ (кроме варианта с включением Zn – увеличение переваримости протеина на 3,5 % ($P \leq 0,05$)). Это подтверждает предположение о синергическом эффекте при совместном применении пробиотика и микрочастиц микроэлементов. Улучшение использования питательных веществ корма на ранних этапах выращивания может способствовать более эффективному развитию пищеварительной системы и последующей лучшей продуктивности в ростовой период.

В ростовой период комбинированные добавки обеспечивали более эффективное использование питательных веществ по сравнению с отдельными компонентами. Это подтверждали статистически значимые различия по переваримости сырого протеина и жира. В группах МКЦ+П+МКЧ и МКЦ+П+Си переваримость сырого протеина была выше на 5,3 и 6,2 % соответственно, а жира – на 2,7 % ($P \leq 0,05$) и 1,4 %.

Иная картина наблюдалась в группе МКЦ+П+Zn. Несмотря на повышение переваримости жира на 2,8 % ($P \leq 0,05$), переваримость сырого протеина снизилась на 8,5 %. Это указывает на угнетение белкового обмена при одновременной активации жирового обмена.

Наибольшая живая масса к 35-суточному возрасту наблюдалась во II опытной группе, получавшей комплекс микрочастиц меди, железа и цинка с пробиотиком и целлюлозой, с превосходством над контрольной группой 5,6 % ($P \leq 0,05$). В остальных опытных группах разница с контрольной составила 1,55-2,35 % (табл. 3).

Таблица 3. Динамика живой массы птиц и абсолютный прирост живой массы за период эксперимента, г

Table 3. Dynamics of live weight of birds and absolute gain in live weight during the experiment period, g

Возраст, сут / Age, day	Контроль / Control	I опытная группа / I experi- mental group	II опытная группа / II experi- mental group	III опыт- ная груп- па / III experi- mental group	IV опытная группа / IV experi- mental group	V опытная группа / V experi- mental group
7	167±5,1	166±4	166±4,3	166±3,7	166±3,7	166±3,5
14	382±14,7	395±8,6	408±9,7	387±9,3	394±6,7	397±8,4
21	739±29	765±16,1	786±21,9	756±19,9	768±17,4	741±33,4
28	1193±55,4	1226±38,7	1260±27,8	1202±29,1	1228±29,1	1227±29,9
35	1875±99,1	1904±131	1980±67,1	1919±64,5	1905±70,80	1911±113
Абсолютный прирост за пе- риод опыта (35 суток) / Ab- solute gain dur- ing the experi- ment period (35 days)	1708±97,1	1737±128	1809±66,5*	1751±63,2	1736±71,9	1740±110
Среднесуточ- ный прирост за период опыта, г / Average daily gain over the period of exper- iment, g	61,07±3,5	62,0±4,6	64,6±2,4*	62,5±2,3	62,0±2,6	62,2±3,9

Примечание: * – $P \leq 0,05$ при сравнении опытных групп с контрольной

Note: * – $P \leq 0.05$ comparing the experimental groups with the control group

Анализ абсолютного прироста за период эксперимента показал, превосходство группы с МКЦ+П+МКЧ на 6,5 % ($P \leq 0,05$), что сформировало лучший среднесуточный прирост 64,6 г

($P \leq 0,05$). Остальные опытные группы по окончании экспериментального периода по среднесуточному приросту находились на уровне 62,0-62,5 г.

Наименьший абсолютный прирост (1736 г) отмечен в группе, где применялась комбинация МКЦ+П+Cu с соответствующим среднесуточным приростом 62,0 г.

Согласно данным химического состава тела как зеркала метаболизма, по содержанию влаги в теле выявлена вариабельность от 67,6 % в группе МКЦ+П и до 69,14 % – в группах МКЦ+П+Fe и МКЦ+П+Zn. Обратную динамику демонстрировал показатель сухого вещества, достигший максимального уровня во II опытной группе (32,7 %), что статистически достоверно превышало значение контрольной группы на 2,1 % ($P \leq 0,05$) (табл. 4).

Таблица 4. Содержание химических веществ в теле цыплят-бройлеров, %

Table 4. Chemical content in the body of broiler chickens, %

Группа / Group	Показатели / Indicators				
	вода / Moisture	сухое вещество / Dry matter	жир / Fat	зола / Ash	протеин / Protein
Контроль / Control	69,41±0,98	30,60±0,45	10,15±0,33	0,90±0,01	20,87±0,66
I опытная группа / I experimental group	68,15±1,17	31,93±0,79	11,0±0,35	0,90±0,01	21,54±0,42
II опытная группа / II experimental group	67,33±0,62	32,71±0,63*	10,91±0,37	0,89±0,01	22,13±0,47
III опытная группа / III experimental group	69,16±0,94	30,95±0,42	9,93±0,57	0,90±0,01	21,77±0,58
IV опытная группа / IV experimental group	69,29±0,85	30,84±0,44	10,95±0,69	0,90±0,01	21,52±0,66
V опытная группа / V experimental group	69,23±0,85	30,83±0,44	10,97±0,69	0,90±0,01	21,58±0,66

Примечание: * – $P \leq 0,05$ при сравнении опытных групп с контрольной

Note: * – $P \leq 0.05$ comparing the experimental groups with the control group

Наибольшее содержание сырого жира (разница с контролем – 0,88 %) отмечено в I опытной групп (МКЦ+П), при минимальном отложении в III опытной (МКЦ+П+Cu) группе (9,97 %). Наибольшее содержание сырого протеина установлено во всех опытных группах с максимальной разницей во II на 1,3 %.

II опытная группа (МКЦ+П+МКЧ) показала наиболее благоприятный обменный профиль. У птицы этой группы отмечено максимальное накопление протеина и сухого вещества при умеренном содержании жира, что соответствует критериям качества мяса бройлеров. В I опытной группе обменные процессы были в большей степени ориентированы на липогенез. У птицы III опытной группы, напротив, признаки интенсивного жиросотложения были выражены слабее.

Эффективность использования питательных веществ служит одним из основных показателей продуктивности и экономической эффективности кормления. Анализ трансформации энергии и протеина корма в продукцию (табл. 5) позволяет оценить, насколько полно птица преобразует потреблённые питательные вещества в белок и энергию, накапливаемые в организме. Этот показатель отражает качество рациона и физиологическое состояние поголовья.

Наибольшее абсолютное отложение протеина в теле зарегистрировано во II (МКЦ+П+МКЧ) и III (МКЦ+П+Cu) опытных группах. Этот показатель статистически значимо превышал контроль и был выше контрольного значения (355 г) на 6,3 %. В остальных опытных группах величина отложения протеина оставалась на уровне контроля.

Таблица 5. Трансформация энергии и протеина корма в тело подопытных бройлеров за учетный период

Table 5. Transformation of feed energy and protein into the body of experimental broilers during the reference period

Показатель / Indicator	Группа / Group					
	контроль / control	I опытная группа / I experi- mental group	II опытная группа / II experi- mental group	III опытная группа / III experi- mental group	IV опытная группа / IV experi- mental group	V опытная группа / V experi- mental group
Отложилось / Postponed						
Протеин, г / Protein, g	355±25,3	347±25,55	377±21,7	377±22,56	359±25	359±25
Энергия, МДж / Energy, MJ	38,9±2,61	37,6±2,25	39,5±2,66	37,2±2,96	37,6±2,25	37,6±2,25
Коэффициент конверсии, % / Conversion rate, %						
Протеин / Protein	39,3±3,34	40,4±3	41,9±3,61	39,8±3,6	38,8±3,42	38,8±3,42
Энергия / Energy	35,3±0,44	36,2±1,61	37,3±1,53*	35,5±1,04*	35,71±1,38	35,7±1,38

Примечание: * – $P \leq 0,05$ при сравнении опытных групп с контрольнойNote: * – $P \leq 0.05$ comparing the experimental groups with the control group

Количество аккумулированной энергии в теле птиц колебалось в диапазоне от 37,2 МДж в III опытной группе до 39,5 МДж – во II опытной группе. Более репрезентативными являются относительные показатели эффективности конверсии. Коэффициент трансформации протеина корма находился в пределах 38,8 % (IV (МКЦ+П+Fe) и V (МКЦ+П+Zn) группы) при контрольном значении 39,3 %. Максимальное значение зафиксировано во II опытной группе 41,9 %, что свидетельствует о наиболее эффективном использовании аминокислот рациона для синтеза тканевого белка. Анализ энергетической конверсии выявил существенные межгрупповые различия: II опытная группа продемонстрировала наивысший коэффициент использования энергии корма (37,3 %), в то время как в III опытной группе этот показатель был статистически достоверно ниже контрольного на 1,8 % ($p \leq 0,05$). В остальных группах значения коэффициента энергетической конверсии находились на уровне контроля.

Таким образом, установлено, что модификация рационов кормления существенно влияет на химический состав тела бройлеров, изменяя баланс белкового и жирового компонентов, что необходимо учитывать при разработке рецептур комбикормов для получения продукции с заданными качественными показателями.

Обсуждение полученных результатов.

Применение нового комплекса, включающего пробиотик, микрочастицы металлов-микроэлементов и микрокристаллическую целлюлозу, обеспечило выраженный синергетический эффект по сравнению с использованием аналогичных композиций, содержащих только один из микроэлементов – медь, железо или цинк. Данный эффект достигался за счет общего действия каждого отдельного компонента, что в совокупности имело большее влияние, чем применение их по отдельности.

Снижение поедаемости корма с одновременным улучшением конверсии корма объясняется несколькими критически важными факторами. Так, микрокристаллическая целлюлоза делает пищевую ком, проходящий по желудочно-кишечному тракту более вязким, что позволяет бактериям в

кишечнике, в том числе и тем, что входят в состав пробиотического комплекса, дольше участвовать в расщеплении питательных веществ, а также лучше им усваиваться (Ismail H et al., 2023; Guo Z et al., 2026). На фоне этого микрочастицы микроэлементов, обладающие более высокой усвояемостью (Alqahtani AN, 2025), могут лучше стимулировать рост и развитие птицы, что в совокупности приводит к снижению потребления корма и увеличению живой массы опытной птицы.

Улучшение коэффициентов переваримости питательных веществ в ростовой период имеет не только физиологическое, но и экономическое значение, поскольку способствует более эффективному использованию корма в период наиболее интенсивного роста бройлеров и минимизацию затрат на выращивание.

Улучшение переваримости питательных веществ при введении исследуемого комплекса ученые объясняют тем, что пробиотики, в частности рода *Lactobacillus*, способствуют увеличению популяций бактерий, синтезирующих ферменты, которые улучшают переваримость нутриентов (Liu C et al., 2023). Микрокристаллическая целлюлоза, в свою очередь, как источник клетчатки стимулирует развитие пищеварительной системы птицы, увеличивая общую площадь и глубину ворсинок кишечника, что также улучшает переваримость питательных веществ (Tejeda OJ and Kim WK, 2020).

Улучшение переваримости протеина возможно связано с оптимизацией деятельности аминотрансфераз (Сизова Е.А. и др., 2020) под влиянием применяемых добавок, а также с улучшением состояния слизистой оболочки кишечника, которую связывают с влиянием микроэлементов-катализаторов на повышение уровня экспрессии мРНК белка окклюдина в слизистой тощего отдела кишечника и белков клаудина-1 и ZO-1, являющимися ключевыми компонентами плотных контактов между клетками эпителия, укрепляющими кишечный барьер (Chen C et al., 2022).

Цинк является кофактором фосфолипазы A2 (Broom LJ et al., 2021), что согласуется с данными других исследователей, которые пришли к выводу о влиянии цинка на повышение активности и экспрессии мРНК липопротеинлипазы и малатдигидрогеназы (Liu ZH et al., 2015), что подтверждает увеличение переваримости сырого жира в группах с комплексом микрочастиц и цинком отдельно.

Улучшение переваримости сырой клетчатки ученые связывают с ключевыми биологическими механизмами. Одним из них является синергетическое воздействие биологически активных веществ. Так, в одном из исследований использование мультиэнзимной кормовой добавки увеличивало переваримость сырой клетчатки на 17 % по сравнению с контролем. Авторы исследования связывают данный эффект с тем, что бактерии, входящие в состав пробиотика активизируют ферментативные процессы в желудочно-кишечном тракте, способствуя расщеплению структурных полисахаридов, а дополнительные компоненты добавки создают благоприятные условия для работы этой микрофлоры, что в совокупности приводит к положительному эффекту (Нечитайло К.С. и Сизова Е.А., 2021).

Благодаря оптимизации пищеварения пробиотиками и источниками клетчатки увеличивается количество всасываемых ворсинками кишечника аминокислот и жирных кислот, что ведет к лучшему отложению белка в мышечной ткани, которое дополнительно стимулируется ферментативными процессами, в которых непосредственное участие принимают микрочастицы микроэлементов. Так, в исследовании по введению в рацион цыплят-бройлеров *Bacillus subtilis* отмечалось увеличение процента грудных мышц и содержания незаменимых аминокислот в мясе, что подтверждает лучшее отложение белка в организме (Tang X et al., 2021). В другом исследовании при введении комплекса ультрадисперсных частиц и хитозана наблюдалось увеличение отложения жира в теле птицы, что авторы обуславливают более высокой биодоступностью МКЧ и действием их как катализаторов обменных процессов (Иванищева А.П. и др., 2021).

Отложение протеина и энергии в организме птицы служит интегральным показателем, который отражает совокупный эффект переваривания, усвоения и конверсии питательных веществ. Использование пробиотиков в сочетании с микрокристаллической целлюлозой и микрочастицами микроэлементов способствует более эффективному синтезу белка.

Полученные результаты показывают, что исследуемые рационы по-разному влияют на эффективность обменных процессов. Наиболее сбалансированные показатели отмечены при использовании микрокристаллической целлюлозы (древесной клетчатки), пробиотического комплекса и микрочастиц металлов Fe, Zn и Cu. Такое сочетание обеспечивало наиболее эффективную трансформацию протеина и энергии корма, что свидетельствует о высокой биоактивности применяемого рациона.

Вместе с тем результаты III опытной группы (МКЦ+П+Cu) оказались неоднозначными. При высоком уровне отложения протеина отмечалась низкая конверсия энергии. Такое сочетание может указывать на нарушение энергопротеинового баланса и увеличение метаболических затрат. Вероятно, этот эффект связан с комплексным влиянием меди на кишечную микробиоту и активность пищеварительных ферментов. Так, показано, что введение наночастиц меди повышает активность липазы, протеазы и амилазы у цыплят-бройлеров (Al-Ruwad SH et al., 2024). По данным другого исследования, наночастицы меди также способны изменять состав кишечной микрофлоры, увеличивая численность полезных микроорганизмов и стимулируя образование короткоцепочечных жирных кислот (Bhanja SK and Verma SVS, 2021). Это позволяет предположить, что часть энергии перераспределяется на поддержание микробной ферментации, а не используется непосредственно организмом птицы.

Сходные закономерности описаны и при использовании *Bacillus coagulans* в составе рациона. Установлено (Zainuddin Z et al., 2020) улучшение ретенции протеина и жира, а также повышение истинной и скорректированной по азоту метаболизируемой энергии. Авторы связывают эти изменения с более эффективным использованием питательных веществ и энергии корма, что в конечном итоге обеспечивает более высокую продуктивность птицы.

Заключение.

Включение в рацион цыплят-бройлеров с 8- до 35-суточного возраста комплекса пробиотика, микрочастиц (Cu, Fe, Zn) и микрокристаллической целлюлозы обеспечивало выраженный синергетический эффект добавки. Он проявлялся в эффективном использовании питательных веществ корма уже на ранних этапах выращивания, что в дальнейшем положительно влияло на продуктивность птицы в ростовой период.

Наибольший прирост живой массы по сравнению с контрольной группой зарегистрирован к концу учетного периода на фоне введения комплекса пробиотика, микрочастиц (Cu, Fe, Zn) и микрокристаллической целлюлозы. Это указывает на кумулятивный характер действия сочетания пробиотика, микрочастиц минералов и пищевых волокон, а также подтверждает его высокую биологическую эффективность.

Используемый комплекс формировал оптимальный обменный профиль. У птицы отмечались максимальное накопление протеина и сухого вещества при умеренном содержании жира, что соответствует требованиям к качеству мяса бройлеров. Полученные результаты показывают, что изменение состава рационов существенно влияет на химический состав тела птицы, изменяя соотношение белкового и жирового компонентов. Этот эффект необходимо учитывать при разработке рецептур комбикормов, предназначенных для получения продукции с заданными качественными характеристиками.

Оценка биоэффективности рационов подтверждает, что использование биоактивных компонентов позволяет не только изменять уровень продуктивности, но и целенаправленно регулировать обмен питательных веществ в организме бройлеров.

Список источников

1. ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. Введ. 2013-07-01. М.: Стандартинформ, 2012. 12 с. [State Standard 31640-2012. Feeds. Methods for determination of dry matter content. Introduced 2013-07-01. Moscow: Standartinform; 2012:12 p. (In Russ.).]

2. ГОСТ 32044.1-2012. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Часть 1. Метод Кьельдаля. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с. [State Standard 32044.1-2012. Feeds, compound feeds, feed raw materials. Determination of mass fraction of nitrogen and calculation of mass fraction of crude protein. Part 1. Kjeldahl method. Introduced 2014-07-01. Moscow: Standartinform; 2014:15 p. (*In Russ.*)].
3. ГОСТ 13496.15-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания сырого жира. Введ. 1999-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. 12 с. [State Standard 13496.15-97. Forages, compound feeds, raw materials for compound feeds. Methods for determination of crude fat content. Introduced 1999-01-01. Moscow: IPK Publishing House of Standards; 1998:12 p. (*In Russ.*)].
4. ГОСТ Р 51479-99. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли влаги. Введ. 2001-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. 6 с. [State Standard R 51479-99. Meat and meat products. Method for determination of moisture content. Introduced 2001-01-01. Moscow: IPK Publishing House of Standards; 2000:6 p. (*In Russ.*)].
5. ГОСТ 23042-86. Мясо и мясные продукты. Методы определения жира. Введ. 1988-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2010. 6 с. [State Standard 23042-86. Meat and meat products. Methods for determination of fat. Introduced 1988-01-01. Moscow: IPK Publishing House of Standards; 2010:6 p. (*In Russ.*)].
6. ГОСТ 25011-81. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. Введ. 1983-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2010. 8 с. [State Standard 25011-81. Meat and meat products. Methods for determination of protein. Introduced 1983-01-01. Moscow: IPK Publishing House of Standards; 2010:8 p. (*In Russ.*)].
7. ГОСТ Р 53642-2009. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общей золы. Введ. 2011-01-01. М.: Стандартинформ, 2010. 12 с. [State Standard R 53642-2009. Meat and meat products. Method for determination of total ash content. Introduced 2011-01-01. Moscow: Standartinform; 2010:12 p. (*In Russ.*)].
8. Иванищева А.П., Сизова Е.А., Нечитайло К.С. Переваримость питательных веществ при использовании в рационе цыплят-бройлеров органоминеральной добавки // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 4. С. 22-31. [Ivanischeva AP, Sizova EA, Nechitailo KS. Digestibility of nutrients after using an organic mineral supplement in the diet of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):22-31. (*In Russ.*)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-22>
9. Изучение влияния ультрадисперсных частиц на микробиоценоз слепого отдела кишечника цыплят-бройлеров / О.В. Кван, Е.В. Шейда, Е.П. Мирошникова, А.В. Быков, О.В. Баранова, Т.А. Курякова // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2024. Т. 27. № 11. С. 56-64. [Kvan OV, Sheida EV, Miroshnikova EP, Bykov AV, Baranova OV, Kuryakova TA. Study of the effect of ultrafine particles on microbiocenosis of the blind intestine of broiler chickens. *Problems of Biological Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2024;27(11):56-64. (*In Russ.*)]. doi: 10.29296/25877313-2024-11-07
10. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-генетические методы определения микрофлоры кишечника / И.А. Егоров и др. Сергиев Посад: Весь Сергиев Посад, 2013. 51 с. [Egorov IA et al. The methodology of scientific and industrial research on poultry feeding. *Molecular genetic methods for the determination of intestinal microflora*. Sergiev Posad: Ves' Sergiev Posad; 2013:51 p. (*In Russ.*)].
11. Методическое пособие по кормлению сельскохозяйственной птицы / И.А. Егоров, Т.Н. Ленкова [и др.]; под общ. ред. В.И. Фисинина, И.А. Егорова. – Сергиев Посад: ВНИТИП, 2021. 360 с. [Egorov IA, Lenkova TN et al.; under general ed. VI Fisinin, IA Egorov. *Methodical manual on feeding of agricultural poultry* Sergiev Posad: VNITIP, 2021:360 p. (*In Russ.*)].
12. Нечитайло К.С., Сизова Е.А. Влияние мультиэнзимной кормовой добавки на продуктивные показатели, переваримость и химический состав тела цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 4. С. 148-157. [Nechitailo KS, Sizova EA.

Effect of a multi-enzyme feed additive on productivity, digestibility and body chemistry of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):148-157. (*In Russ.*)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-148>

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

14. Фисинин В.И. Птицеводство России – стратегия инновационного развития. М.: Российская акад. с.-х. наук, 2009. 147 с. [Fisinin VI. Poultry farming in Russia – strategy of innovative development. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences; 2009:147 p. (*In Russ.*)].

15. Alqahtani AN. Impact of dietary zinc nanoparticles and probiotics on broiler health and productivity. *J Adv Vet Anim Res*. 2025;12(1):19-32. doi: 10.5455/javar.2025.1868

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

17. Becker KW, Skaar EP. Metal limitation and toxicity at the interface between host and pathogen. *FEMS Microbiol Rev*. 2014;38(6):1235-49. doi: 10.1111/1574-6976.12087

18. Bhanja SK, Verma SVS. Prospects of nano minerals in poultry nutrition. *Indian Journal of Poultry Science*. 2021;56(1):1-8. doi: 10.5958/0974-8180.2021.00006.4

19. Broom LJ, Monteiro A, Piñon A. Recent advances in understanding the influence of zinc, copper, and manganese on the gastrointestinal environment of pigs and poultry. *Animals (Basel)*. 2021;11(5):1276. doi: 10.3390/ani11051276

20. Chen C, Qu M, Liang H, Ouyang K, Xiong Z, Zheng Y, Yan Q, Xu L. Gastrointestinal digestibility insights of different levels of coated complex trace minerals supplementation on growth performance of yellow-feathered broilers. *Front Vet Sci*. 2022;9:982699. doi: 10.3389/fvets.2022.982699

21. Choi EK, Aring L, Das NK, Solanki S, Inohara N, Iwase S, Samuelson LC, Shah YM, Seo YA. Impact of dietary manganese on experimental colitis in mice. *FASEB J*. 2020;34(2):2929-2943. doi: 10.1096/fj.201902396R

22. Dalecki AG, Crawford CL, Wolschendorf F. Copper and Antibiotics: Discovery, Modes of Action, and Opportunities for Medicinal Applications. *Adv Microb Physiol*. 2017;70:193-260. doi: 10.1016/bs.ampbs.2017.01.007

23. Guo Z, Zhang L, Lu W, Fang Z, Zhang C, Zhang Y, Chen L. Effect of early feeding of *Limosilactobacillus fermentum* on growth performance and intestinal development in broilers. *Poult Sci*. 2026;105(1):106040. doi: 10.1016/j.psj.2025.106040

24. Hooda S, Metzler-Zebeli BU, Vasanthan T, Zijlstra RT. Effects of viscosity and fermentability of dietary fibre on nutrient digestibility and digesta characteristics in ileal-cannulated grower pigs. *Br J Nutr*. 2011;106(5):664-674. doi: 10.1017/S0007114511000985

25. Ismail H, Ibrahim D, El Sayed S, Wahdan A, El-Tarabili RM, Rizk El-Ghareeb W, Abdullah Alhawas B, Alahmad BAY, Abdel-Raheem SM, El-Hamid MIA. Prospective application of nanoencapsulated *Bacillus amyloliquefaciens* on broiler chickens' performance and gut health with efficacy against *Campylobacter jejuni* colonization. *Animals (Basel)*. 2023;13(5):775. doi: 10.3390/ani13050775

26. Jha R, Berrocso JD. Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal*. 2015;9(9):1441-1452. doi: 10.1017/S1751731115000919

27. Jha R, Berrocso JFD. Dietary fiber and protein fermentation in the intestine of swine and their interactive effects on gut health and on the environment: a review. *Anim Feed Sci Technol*. 2016;212:18-26. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2015.12.002

28. Knight LC, Wang M, Donovan SM, Dilger RN. Early-life iron deficiency and subsequent repletion alters development of the colonic microbiota in the pig. *Front Nutr.* 2019;6:120. doi: 10.3389/fnut.2019.00120
29. Liu C, Ma N, Feng Y, Zhou M, Li H, Zhang X, et al. From probiotics to postbiotics: concepts and applications. *Anim Res One Health.* 2023;1(1):92-114. doi: 10.1002/aro2.7
30. Liu ZH, Lu L, Wang RL, Lei HL, Li SF, Zhang LY, Luo XG. Effects of supplemental zinc source and level on antioxidant ability and fat metabolism-related enzymes of broilers. *Poult Sci.* 2015;94(11):2686-94. doi: 10.3382/ps/pev251
31. Pieper R, Vahjen W, Neumann K, Van Kessel AG, Zentek J. Dose-dependent effects of dietary zinc oxide on bacterial communities and metabolic profiles in the ileum of weaned pigs. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 2012;96(5):825-33. doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01231.x
32. Pontin KP, Borges KA, Furian TQ, Carvalho D, Wilsmann DE, Cardoso HRP, Alves AK, Chitolina GZ, Salle CTP, Moraes HLS, do Nascimento VP. Antimicrobial activity of copper surfaces against biofilm formation by *Salmonella* Enteritidis and its potential application in the poultry industry. *Food Microbiol.* 2021;94:103645. doi: 10.1016/j.fm.2020.103645
33. Satessa GD, Kjeldsen NJ, Mansouryar M, Hansen HH, Bache JK, Nielsen MO. Effects of alternative feed additives to medicinal zinc oxide on productivity, diarrhoea incidence and gut development in weaned piglets. *Animal.* 2020;14(8):1638-1646. doi: 10.1017/S1751731120000154
34. Singh P, Prasad S. A review on iron, zinc and calcium biological significance and factors affecting their absorption and bioavailability. *J Food Compos Anal.* 2023;123:105529. doi: 10.1016/j.jfca.2023.105529
35. Tang X, Liu X and Liu H. Effects of dietary probiotic (*Bacillus subtilis*) supplementation on carcass traits, meat quality, amino acid, and fatty acid profile of broiler chickens. *Front Vet Sci.* 2021;8:767802. doi: 10.3389/fvets.2021.767802
36. Tejeda OJ, Kim WK. Role of dietary fiber in poultry nutrition. *Animals (Basel).* 2021;11(2):461. doi: 10.3390/ani11020461
37. Tejeda OJ, Kim WK. The effects of cellulose and soybean hulls as sources of dietary fiber on the growth performance, organ growth, gut histomorphology, and nutrient digestibility of broiler chickens. *Poult Sci.* 2020;99(12):6828-6836. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.081
38. Zainuddin Z et al. Effects of dietary *Bacillus coagulans* D3372 supplementation as probiotics on broiler performance, ileal microflora, meat quality, nutrient retention, and metabolizable energy. *Advances in Animal and Veterinary Sciences.* 2020;8(1):115-123. doi: 10.17582/JOURNAL.AAVS/2020/8.1.115.123
39. Zijlstra RT, Jha R, Woodward AD, Fohse J, van Kempen, TATG. Invited review: starch and fiber properties affect their kinetics of digestion and thereby digestive physiology in pigs. *J Anim Sci.* 2012;90(E-suppl. 4):49-58. doi: 10.2527/jas.53718

References

1. State Standard 31640-2012. Feeds. Methods for determination of dry matter content. Implementation date 2013-07-01. Moscow: Standartinform; 2012:12 p.
2. State Standard 32044.1-2012. Feeds, compound feeds, feed raw materials. Determination of mass fraction of nitrogen and calculation of mass fraction of crude protein. Part 1. Kjeldahl method. Implementation date 2014-07-01. Moscow: Standartinform; 2014:15 p.
3. State Standard 13496.15-97. Forages, compound feeds, raw materials for compound feeds. Methods for determination of crude fat content. Implementation date 1999-01-01. Moscow: IPK Publishing House of Standards; 1998:12 p.
4. State Standard R 51479-99. Meat and meat products. Method for determination of moisture content. Implementation date 2001-01-01. Moscow: IPK Publishing House of Standards; 2000:6 p.

5. State Standard 23042-86. Meat and meat products. Methods for determination of fat. Implementation date 1988-01-01. Moscow: IPK Publishing House of Standards; 2010:6 p.
6. State Standard 25011-81. Meat and meat products. Methods for determination of protein. Implementation date 1983-01-01. Moscow: IPK Publishing House of Standards; 2010:8 p.
7. State Standard R 53642-2009. Meat and meat products. Method for determination of total ash content. Implementation date 2011-01-01. Moscow: Standartinform; 2010:12 p.
8. Ivanischeva AP, Sizova EA, Nechitailo KS. Digestibility of nutrients after using an organic mineral supplement in the diet of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):22-31. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-22>
9. Kvan OV, Sheida EV, Miroshnikova EP, Bykov AV, Baranova OV, Kuryakova TA. Study of the effect of ultrafine particles on microbiocenosis of the blind intestine of broiler chickens. *Problems of Biological Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2024;27(11):56-64. doi: 10.29296/25877313-2024-11-07
10. Egorov IA et al. The methodology of scientific and industrial research on poultry feeding. Molecular genetic methods for the determination of intestinal microflora. Sergiev Posad: Ves' Sergiev Posad; 2013:51 p.
11. Egorov IA, Lenkova TN et al.; under general ed. VI Fisinin, IA Egorov. Methodical manual on feeding of agricultural poultry Sergiev Posad: VNITIP, 2021:360 p.
12. Nechitailo KS, Sizova EA. Effect of a multi-enzyme feed additive on productivity, digestibility and body chemistry of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):148-157. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-148>
13. Sizova EA, Nechitailo KS, Ivanischeva AP, Ryabov NI. The prospects of using ultra-dispersed forms of metals in animal feeding. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(3):177-189. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-177
14. Fisinin VI. Poultry farming in Russia – strategy of innovative development. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences; 2009:147 p.
15. Alqahtani AN. Impact of dietary zinc nanoparticles and probiotics on broiler health and productivity. *J Adv Vet Anim Res*. 2025;12(1):19-32. doi: 10.5455/javar.2025.l868
16. Al-Ruwad SH, Attia AI, Abdel Monem UM, Abdel-Maksoud A, Thagfan FA, Alqahtani HA, Alkahtani AM, Salah AS, Reda FM. Dietary supplementation with copper nanoparticles enhances broiler performance by improving growth, immunity, digestive enzymes, and gut microbiota. *Poult Sci*. 2024;103(10):104026. doi: 10.1016/j.psj.2024.104026
17. Becker KW, Skaar EP. Metal limitation and toxicity at the interface between host and pathogen. *FEMS Microbiol Rev*. 2014;38(6):1235-49. doi: 10.1111/1574-6976.12087
18. Bhanja SK, Verma SVS. Prospects of nano minerals in poultry nutrition. *Indian Journal of Poultry Science*. 2021;56(1):1-8. doi: 10.5958/0974-8180.2021.00006.4
19. Broom LJ, Monteiro A, Piñon A. Recent advances in understanding the influence of zinc, copper, and manganese on the gastrointestinal environment of pigs and poultry. *Animals (Basel)*. 2021;11(5):1276. doi: 10.3390/ani11051276
20. Chen C, Qu M, Liang H, Ouyang K, Xiong Z, Zheng Y, Yan Q, Xu L. Gastrointestinal digestibility insights of different levels of coated complex trace minerals supplementation on growth performance of yellow-feathered broilers. *Front Vet Sci*. 2022;9:982699. doi: 10.3389/fvets.2022.982699
21. Choi EK, Aring L, Das NK, Solanki S, Inohara N, Iwase S, Samuelson LC, Shah YM, Seo YA. Impact of dietary manganese on experimental colitis in mice. *FASEB J*. 2020;34(2):2929-2943. doi: 10.1096/fj.201902396R
22. Dalecki AG, Crawford CL, Wolschendorf F. Copper and Antibiotics: Discovery, Modes of Action, and Opportunities for Medicinal Applications. *Adv Microb Physiol*. 2017;70:193-260. doi: 10.1016/bs.ampbs.2017.01.007

23. Guo Z, Zhang L, Lu W, Fang Z, Zhang C, Zhang Y, Chen L. Effect of early feeding of *Limosilactobacillus fermentum* on growth performance and intestinal development in broilers. *Poult Sci.* 2026;105(1):106040. doi: 10.1016/j.psj.2025.106040
24. Hooda S, Metzler-Zebeli BU, Vasanthan T, Zijlstra RT. Effects of viscosity and fermentability of dietary fibre on nutrient digestibility and digesta characteristics in ileal-cannulated grower pigs. *Br J Nutr.* 2011;106(5):664-674. doi: 10.1017/S0007114511000985
25. Ismail H, Ibrahim D, El Sayed S, Wahdan A, El-Tarabili RM, Rizk El-Ghareeb W, Abdullah Alhawas B, Alahmad BAY, Abdel-Raheem SM, El-Hamid MIA. Prospective application of nanoencapsulated *Bacillus amyloliquefaciens* on broiler chickens' performance and gut health with efficacy against *Campylobacter jejuni* colonization. *Animals (Basel).* 2023;13(5):775. doi: 10.3390/ani13050775
26. Jha R, Berrocoso JD. Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal.* 2015;9(9):1441-1452. doi: 10.1017/S1751731115000919
27. Jha R, Berrocoso JFD. Dietary fiber and protein fermentation in the intestine of swine and their interactive effects on gut health and on the environment: a review. *Anim Feed Sci Technol.* 2016;212:18-26. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2015.12.002
28. Knight LC, Wang M, Donovan SM, Dilger RN. Early-life iron deficiency and subsequent repletion alters development of the colonic microbiota in the pig. *Front Nutr.* 2019;6:120. doi: 10.3389/fnut.2019.00120
29. Liu C, Ma N, Feng Y, Zhou M, Li H, Zhang X, et al. From probiotics to postbiotics: concepts and applications. *Anim Res One Health.* 2023;1(1):92-114. doi: 10.1002/aro2.7
30. Liu ZH, Lu L, Wang RL, Lei HL, Li SF, Zhang LY, Luo XG. Effects of supplemental zinc source and level on antioxidant ability and fat metabolism-related enzymes of broilers. *Poult Sci.* 2015;94(11):2686-94. doi: 10.3382/ps/pev251
31. Pieper R, Vahjen W, Neumann K, Van Kessel AG, Zentek J. Dose-dependent effects of dietary zinc oxide on bacterial communities and metabolic profiles in the ileum of weaned pigs. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 2012;96(5):825-33. doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01231.x
32. Pontin KP, Borges KA, Furian TQ, Carvalho D, Wilsman DE, Cardoso HRP, Alves AK, Chitolina GZ, Salle CTP, Moraes HLS, do Nascimento VP. Antimicrobial activity of copper surfaces against biofilm formation by *Salmonella Enteritidis* and its potential application in the poultry industry. *Food Microbiol.* 2021;94:103645. doi: 10.1016/j.fm.2020.103645
33. Satessa GD, Kjeldsen NJ, Mansouryar M, Hansen HH, Bache JK, Nielsen MO. Effects of alternative feed additives to medicinal zinc oxide on productivity, diarrhoea incidence and gut development in weaned piglets. *Animal.* 2020;14(8):1638-1646. doi: 10.1017/S1751731120000154
34. Singh P, Prasad S. A review on iron, zinc and calcium biological significance and factors affecting their absorption and bioavailability. *J Food Compos Anal.* 2023;123:105529. doi: 10.1016/j.jfca.2023.105529
35. Tang X, Liu X and Liu H. Effects of dietary probiotic (*Bacillus subtilis*) supplementation on carcass traits, meat quality, amino acid, and fatty acid profile of broiler chickens. *Front Vet Sci.* 2021;8:767802. doi: 10.3389/fvets.2021.767802
36. Tejeda OJ, Kim WK. Role of dietary fiber in poultry nutrition. *Animals (Basel).* 2021;11(2):461. doi: 10.3390/ani11020461
37. Tejeda OJ, Kim WK. The effects of cellulose and soybean hulls as sources of dietary fiber on the growth performance, organ growth, gut histomorphology, and nutrient digestibility of broiler chickens. *Poult Sci.* 2020;99(12):6828-6836. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.081
38. Zainuddin Z et al. Effects of dietary *Bacillus coagulans* D3372 supplementation as probiotics on broiler performance, ileal microflora, meat quality, nutrient retention, and metabolizable energy. *Advances in Animal and Veterinary Sciences.* 2020;8(1):115-123. doi: 10.17582/JOURNAL.AAVS/2020/8.1.115.123

39. Zijlstra RT, Jha R, Woodward AD, Fohse J, van Kempen, TATG. Invited review: starch and fiber properties affect their kinetics of digestion and thereby digestive physiology in pigs. J Anim Sci. 2012;90(E-suppl. 4):49-58. doi: 10.2527/jas.53718

Информация об авторах:

Александр Андреевич Тишин, лаборант-исследователь института биоэлементологии, Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: 89878886665.

Дмитрий Алексеевич Силин, кандидат биологических наук, лаборант-исследователь института биоэлементологии, Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: 89534575189.

Information about the authors:

Alexander A Tishin, Research Assistant at the Institute of Bioelementology, Orenburg State University named after VA Bondarenko, Russia, Orenburg, 13 Pobedy Ave., 460018, tel.: 89878886665.

Dmitriy A Silin, Cand. Sci. (Biology), Research Assistant at the Institute of Bioelementology, Orenburg State University named after VA Bondarenko, Russia, Orenburg, 13 Pobedy Ave., 460018, tel.: 89534575189.

Статья поступила в редакцию 20.07.2026; одобрена после рецензирования 25.08.2026; принята к публикации 14.09.2026.

The article was submitted 20.07.2026; approved after reviewing 25.08.2026; accepted for publication 14.09.2026.