

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И
АГРОТЕХНОЛОГИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

Силин Дмитрий Алексеевич

**Обмен веществ и продуктивность кур-несушек при использовании в
рационе пробиотико-минерального комплекса**

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и
производства продукции животноводства

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
член-корреспондент РАН
С.В. Лебедев

Оренбург, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	10
1.1 Общая характеристика и виды пробиотиков.....	10
1.2 Влияние пробиотиков на обмен веществ и продуктивные показатели птицы	14
1.3 Общая характеристика и влияние фитогенетиков на организм птицы.....	21
1.4 Хелатные формы микроэлементов и их влияние на организм птицы..	27
1.5 Наночастицы микроэлементов и их влияние на организм птицы.....	39
2 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	49
2.1 Материалы и методы исследования	49
2.2 Результаты первого экспериментального исследования	58
2.2.1 Корма и зоотехнические показатели кур-несушек.....	58
2.2.2 Переваримость питательных веществ рациона	60
2.2.3 Качественные показатели яиц кур-несушек.....	61
2.2.4 Морфологические показатели крови кур-несушек.....	63
2.2.5 Биохимические показатели крови кур-несушек.....	64
2.2.6 Элементный состав биосубстратов кур-несушек	69
2.2.7 Микробиальный профиль кишечника кур-несушек	72
2.3 Результаты второго экспериментального исследования.....	77
2.3.1 Корма и зоотехнические показатели кур-несушек.....	77
2.3.2 Переваримость питательных веществ рациона	79
2.3.3 Качественные показатели яиц кур-несушек.....	82
2.3.4 Морфологические показатели крови кур-несушек.....	89
2.3.5 Биохимические показатели крови кур-несушек.....	90
2.3.6 Содержание химических веществ и энергии в организме птицы.	92
2.3.7 Элементный состав биосубстратов кур-несушек	93
2.3.8 Содержание химических элементов в яйце.....	102

2.3.9 Состав микробиома кишечника кур-несушек.....	106
2.4 Результаты третьего экспериментального исследования.....	113
2.4.1 Корма и зоотехнические показатели кур-несушек.....	113
2.4.2 Переваримость питательных веществ рациона	115
2.4.3 Качественные показатели яиц кур-несушек.....	117
2.4.4 Морфологические показатели крови кур-несушек.....	120
2.4.5 Биохимические показатели крови кур-несушек.....	121
2.4.6 Содержание химических веществ и энергии в организме птицы.	123
2.4.7 Элементный состав биосубстратов кур-несушек	124
2.4.8 Содержание химических элементов в яйце.....	129
2.4.9 Состав микробиома кишечника кур-несушек.....	130
2.5 Результаты производственной проверки на курах-несушках	136
ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	154
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ.....	157
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	158
ПРИЛОЖЕНИЯ	191

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

Совершенствование отрасли птицеводства направлено на разработку и реализацию стратегии повышения продуктивности яичных кур, сохранности, снижения себестоимости и безопасности производимых продуктов, что достигается путем обеспечения организма комплексами активных веществ, повышающих иммунитет и продуктивные показатели (Wongsuvan G. et al., 2018). Повышение риска развития устойчивости патогенных микроорганизмов к антибиотикам привело к постепенному отказу от их использования в лечебных и профилактических целях у сельскохозяйственных животных (Klein E. et al., 2018). В птицеводстве используется широкий спектр препаратов: фитовещества (эфирные масла, органические кислоты и т.д.), пробиотики и пребиотики, химические вещества, такие как альдегиды, бактериофаги, микроэлементы и экзогенные ферменты (Kogut, M.H., Swaggerty C.L., 2011). Благоприятное влияние фитогенных кормовых добавок на здоровье и функционирование кишечника за счет содержания биоактивных соединений, такие как полифенолы, с противомикробными, антиоксидантными, иммуномодуляционными и противовоспалительными свойствами (Murugesan G.R. et al., 2015). Пробиотики улучшают здоровье кишечника, повышают стабильность кишечной флоры и подавляют колонизацию патогенов, повышают яйценоскость за счет конверсии корма и качество скорлупы за счет регуляции колонизации симбиотических бактерий, количества кишечных бокаловидных клеток и стимулирования кишечного Т-клеточного иммунитета (Jadhav K. et al., 2015).

Включение биоактивных веществ выражается в стимулировании метаболизма, активности микроорганизмов кишечника на фоне повышения потребности организма в микронутриентах. Предполагается, что совместное применение пробиотиков и комплекса микроэлементов в хелатной и ультрадисперсной форме позволит повысить роль пробиотических веществ,

нивелировать погрешности в кормлении, тем самым оказывая благоприятное влияние на продуктивность, обменные процессы в организме птицы, формирование минерального и метагеномного профиля в кишечнике, что в дальнейшем может повысить рентабельность отрасли птицеводства.

Степень разработанности темы

На современном этапе проводятся комплексные исследования для разработки отечественных форм и рецептов премиксов и их ингредиентов, оказывающих стимулирующее действие на продуктивность и сохранность животных. К альтернативным веществам можно отнести пробиотики, пребиотики, синбиотики, лекарственные растения и органические кислоты, имеющие направленное действие на иммунитет и устойчивость к патогенным бактериям (Alsherify S.M., Hassanabadi A., 2024).

Минеральный состав является неотъемлемой частью рациона, которая влияет на благополучие и продуктивность птицы. Некоторые минералы являются компонентами ферментов, катализирующих биохимические реакции, включая производство энергии, обмен веществ, передачу нервных импульсов, сокращение мышц и проницаемость клеток (Ghosh A et al., 2016). Хорошо известно, что в корма для сельскохозяйственной птицы добавляют неорганическую форму микроэлементов (сульфатные или оксидные соли), которые в больших количествах выводятся в окружающую среду в связи с их низкой биодоступностью и усвояемостью. Новые соединения минералов – хелатные комплексы, ультрадисперстные формы и наночастицы показали более высокую биодоступность в рационах птицы.

Хелатные комплексы минералов содержат центральный атом вместе с лигандом (белки, углеводы, жиры или аминокислоты), содержащим минимум один атом лиганда (серы, кислорода или азота) с парой свободных электронов. Атом лиганда связан с атомом металла координатной связью путем передачи электронной пары от лиганда к акцептору электронов (Pacheco V.N. et al., 2017). Включение низких уровней органических минералов широко практикуется благодаря их физиологическому вкладу (Sheoran V.N., 2015).

УДЧ представляют собой частицу металла с измененными свойствами, меньшим размером и большей площадью поверхности (Joshua PP et al., 2016). За последние несколько десятилетий нанотехнологии стали перспективной технологией для нескольких полезных применений в химии, физике, биологии и медицине, включая биомедицину, упаковку пищевых продуктов и применение в питании (Scrinis G, Lyons K, 2007). Они обладают огромным потенциалом для революции в животноводстве для различных целей, таких как терапия, диагностика, антимикробные кормовые добавки и минеральные добавки (Gopi M et al., 2017).

Наноминералы могут быть более биодоступными благодаря большей площади поверхности, меньшему размеру и измененным свойствам. Антагонизм минералов в кишечнике или на клеточном уровне может вызвать изменения в поглощении, транспортировке и выведении различных минералов, что приводит к минеральному дисбалансу (Joshua PP et al., 2016).

В связи с вышесказанным, требуется более подробное изучение влияния биологически активных веществ и различных форм микроэлементов на продуктивность и обмен веществ птицы.

Цель и задачи исследования. Целью исследования, выполняемого в соответствии с «Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы (Постановление правительства РФ от 25 августа 2017 года N 996)», тематического плана научно-исследовательских работ (FNWZ-2024-0003, №124100900282-5) Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН по программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 годы) при поддержке РНФ «Разработка системной диагностики и коррекции элементозов в зависимости от генетических ресурсов сельскохозяйственных животных» (2021-2023 годы, №21-16-00009) и грантом на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (№ 075-15-2024-550) являлось изучение влияния пробиотических и минеральных веществ в составе рациона кур-несушек на

обмен веществ, продуктивность, элементный состав организма и микробиом кишечника.

В соответствии с указанной целью были поставлены следующие задачи:

1. Оценить влияние биологически активных веществ на зоотехнические и гематологические показатели кур-несушек.
2. Изучить влияние биологически активных веществ на обмен веществ, яичную продуктивность, качество яиц и микробиом кишечника кур-несушек
3. Оценить влияние пробиотика в комплексе с различными формами микроэлементов на обмен веществ, морфо-биохимические и продуктивные качества яичных кур.
4. Изучить экономическую эффективность использования в составе рациона пробиотико-минерального комплекса в условиях промышленного птицеводства.

Научная новизна. Впервые исследовано совместное применение пробиотика в составе рациона кур-несушек с хелатными и ультрадисперсными формами металлов, в качестве катализаторов морфо-биохимических процессов и продуктивных качеств яичных кур, получены новых знаний об особенностях влияния биоминерального комплекса на метаболизм и метагеномный состав кишечника. Дана производственная оценка и рассчитана экономическая эффективность введения комплекса пробиотика и микроэлементов в хелатной и ультрадисперсной форме в рацион сельскохозяйственной птицы.

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании использования в рационе яичных кур пробиотико-минерального комплекса. Установлена определяющая роль пробиотических и различных форм минеральных веществ в формировании элементного состава и метагеномного профиля кишечника кур. Подтверждена гипотеза о модулирующем действии нутриентов-катализаторов обменных процессов на формирование продуктивных качеств за счет оптимизации качественного состава микробиоты желудочно-кишечного тракта кур-несушек.

Практическая значимость состоит в выявлении оптимальной дозировки

пробиотика с комплексом микроэлементов в рационе кур-несушек для повышения продуктивных показателей птицы, рентабельности производства за счет оптимизации обмена веществ и качества получаемой продукции.

Методология и методы исследования. Теоретическая часть работы состояла в анализе литературных источников по проблеме исследований, подборке и реализации методик, проведения комплексных исследований, получения результатов с использованием методов зоотехнического, биохимического анализов на современном оборудовании. Математическая обработка данных проводилась с использованием приложения «Excel 2019» и программного пакета «Microsoft Word 2019», «Statistica 10.0».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Использование в составе рациона пробиотического препарата «Лактобифадол-Форте» в оптимальной дозировке оказывает стимулирующее действие на обмен веществ, морфологические показатели и биологическую ценность продукции.

2. Формирование продуктивных качеств кур-несушек зависит от дозы и комплекса вспомогательных минеральных компонентов рациона.

3. Совместное применение пробиотика и минерального комплекса в хелатной и ультрадисперстной форме имеют разнополярное влияние на обмен веществ, физиолого-биохимические показатели и яичную продуктивность кур-несушек.

4. Использование биоминерального комплекса в рационе кур-несушек проявляется в увеличении яичной продуктивности и рентабельности производства птицеводческой продукции.

Степень достоверности и апробации полученных результатов подтверждаются результатами комплексных исследований на достаточном поголовье птицы, включающего лабораторный анализ на современном оборудовании и стандартизированных методик, материалов и методов. Цифровой материал обработан с применением методов статистики, что обеспечило достоверность выводов и предложений производству. Основные

результаты доложены и обсуждены на расширенном заседании лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве ФНЦ БСТ РАН. Результаты работы доложены в материалах Всероссийской молодежной научно-практической конференции (Оренбург, 2022), на всероссийской научно-практической конференции «БЕЗОПАСНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ-2022» (Москва, 2022), в материалах международной научно-практической конференции «Перспективы устойчивого развития аграрно-пищевых систем на основе рационального использования региональных генетических и сырьевых ресурсов» (Волгоград, 2023), в материалах II Всероссийской молодежной научно-практической конференции "Наука будущего – наука молодых" (Орбург, 2023), в материалах всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы и инновации в животноводстве» (Оренбург, 2024), в материалах международной научно-практической конференции «Зоотехния сегодня - приоритеты и перспективы развития» (Оренбург, 2025), в материалах XIX международной научно-практической конференции «Научные основы повышения продуктивности, здоровья животных и продовольственной безопасности» (Краснодар, 2025).

Реализация результатов исследований. Апробация полученных результатов исследований проведена на базе ЗАО «Птицефабрика Оренбургская» Оренбургской области.

Публикация результатов исследований. По теме диссертационной работы опубликовано 13 научных работ, из них 4 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура работы. Диссертация представлена на 193 страницах печатного текста, содержит 49 таблиц, 23 рисунка. Состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов исследований, глав с изложением основных результатов, обсуждения полученных результатов, выводов, предложений производству.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Общая характеристика и виды пробиотиков

Пробиотики — это живые микроорганизмы, при введении в адекватных количествах оказывают влияние на функциональные группы микроорганизмов кишечника хозяина, обеспечивая благоприятный баланс между комменсальной и патогенной микрофлорой (Deng W. et al., 2020).

В качестве пробиотиков чаще всего используются бактерии следующих родов: *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Pediococcus* и *Streptococcus*. Пробиотики также производятся из отдельных видов грибов и дрожжей (например, *Saccharomyces*) (Kim H.W. et al., 2016).

Основные полезные эффекты пробиотиков связаны с повышением переваримости и биодоступности корма, стимулированием иммунной системы, улучшением здоровья, обеспечением превосходных органолептических свойств и химического состава получаемой продукции (Dhama K. et al., 2011).

Первым исследователем в области ферментации и пробиотиков был Илья Мечников, работавший в Институте Пастера в Париже. Он сообщил о существовании факта увеличения продолжительности жизни человека за счет употребления большого количества кислого молока крестьянами в Болгарии. Это укрепило веру Мечникова в то, что на нижний отдел кишечника и общее состояние здоровья влияют микробы из кислого молока. Осознав это, он протестировал культуры молока, ферментированные бактериями рода *Lactobacillus*. Например, *Lactobacillus bulgaricus* позже стал штаммом, популярным для заквашивания йогурта (Forkus B. et al., 2017; Ran T. et al., 2019). Morelli L. и Capurso L. (2012) описывали пробиотики как потребление достаточного количества живых микроорганизмов, обладающих способностью приносить пользу здоровью хозяина. Это позволило еще больше уточнить термин "пробиотик". Эффективность приема пробиотиков может быть обусловлена видами микроорганизмов и формой приема, например, влажной

или порошковой.

Термин "пробиотик" возник в результате наблюдаемого явления между совместно культивируемыми микроорганизмами, когда один из микроорганизмов вырабатывал вещества, которые стимулировали рост других микроорганизмов (Tannock G.W., 1997). Определение пробиотика относится к "живой микробной пищевой добавке, которая благотворно влияет на организм хозяина, улучшая его кишечный микробный баланс (Fuller R., 1989); это прямое уточнение предыдущих работ с акцентом на "живых клетках" компонента пробиотиков (Lilly D.M., Stillwell R.H., 1965). В последние годы некоторые из этих живых пробиотических культур стали называть общим термином "эубиотики", что связано с греческим словом "эубиоз", означающим оптимальный баланс микробиоты в пищеварительном тракте (Miniello V. et al., 2017; Yaşar S. et al., 2017). Хотя пробиотики применяются в широком спектре для улучшения и поддержания здоровья человека, в сельском хозяйстве для выращивания сельскохозяйственных животных в основном используются пробиотические добавки (известные как "микроорганизмы непосредственного действия") (De Preter V. et al., 2011). В сельском хозяйстве пробиотики используются для повышения эффективности корма, стимулирования роста и снижения количества пищевых патогенов (McAllister T.A. et al., 2011).

Антибиотики подавляют рост бактерий путем введения в организм химических веществ (Wang N. et al., 2019). Исторически сложилось так, что использование пробиотиков в птицеводстве рассматривалось как альтернатива антибиотикам, способствующая формированию "здоровой" кишечной микрофлоры (Katoch S. et al., 2013), ускорению роста, снижению заболеваемости животных и подавлению роста возбудителей болезней пищевого происхождения (Olnood C.G. et al., 2015). В настоящее время на рынке представлено огромное количество пробиотических продуктов, рекламируемых для повышения продуктивности, улучшения здоровья и безопасности птицеводства (Upadhaya S.D. et al., 2016).

Кроме того, научные эксперты пришли к выводу, что свойства, польза и

цели выделенных пробиотиков индивидуальны и специфичны для каждого штамма. Кроме того, уникальные штаммы, попавшие в организм хозяина, обладают индуцированными эффектами, которые могут вызывать другие ответные реакции в организме (Morelli L., Capurso L., 2012). Например, бифидобактерии могут выделять конечные продукты метаболизма, такие как ацетат и лактат, которые могут уменьшать количество как грамположительных, так и грамотрицательных патогенных микроорганизмов (Gibson G. R., Roberfroid M. B., 1995). Источниками пробиотиков могут быть различные бактерии, которые могут быть выделены из молока, ферментированных продуктов, фекалий или из кишечного содержимого различных животных (Fontana L. et al., 2013). Основными двумя источниками пробиотиков, выделенных из традиционных ферментированных продуктов, являются виды молочнокислых бактерий и бифидобактерии, но многие другие источники пробиотиков могут быть выявлены и использованы в коммерческих целях (Rap et al., 2019). Виды молочнокислых бактерий стали популярными для использования людьми, животными и птицей, поскольку они могут улучшить способность переваривать лактозу. Тем не менее, предполагаемые преимущества включают профилактику некоторых видов рака, уменьшение количества кишечных инфекций и снижение уровня холестерина в сыворотке крови (Viesco-Saiz N. et al., 2019). Кроме того, некоторые виды молочнокислых бактерий использовались для улучшения здоровья и роста сельскохозяйственных животных. Бифидобактерии обладают полезными для здоровья функциями, которые включают снижение уровня холестерина в крови, поражение злокачественных клеток, снижение уровня аммиака в крови и производство многих витаминов группы B, которые могут непосредственно влиять на метаболизм белков, углеводов и липидов. Технологическое использование ферментации для производства конечных пробиотических продуктов позволило производить их в больших количествах для коммерческих предприятий (Ghani M. et al., 2013). Штамм бактерий *Bacillus licheniformis* в аэробных условиях может производить природный полипептидный антибиотик

бацитрацин (Anthony T. et al., 2009). *Bacillus licheniformis* также способен производить бацитрацин в анаэробных условиях и может процветать при недостатке кислорода. Аэробные штаммы *Bacillus subtilis* могут размножаться анаэробно, если они используют нитрат в качестве акцептора электронов (Sanders M.E. et al., 2009).

Широкий спектр грибов, простейших и микроорганизмов был протестирован на пробиотические способности и использовался в полевых испытаниях, однако лишь некоторые из них достигли промышленного уровня доступности (Vasiljevic T., Shah N.P., 2008). Значительная часть ограничений при выборе пробиотических культур связана с требованием включения их в список общепризнанных и безопасных, чтобы уменьшить нормативные препятствия, возникающие при коммерциализации. Механизмы действия пробиотиков варьируются от культуры к культуре, но при этом попадают в относительно небольшое число категорий (Buntyn J. et al., 2016). Среди предложенных механизмов - выработка пробиотическими организмами короткоцепочечных жирных кислот, бактериоцинов и других ингибирующих веществ. Также одним из факторов может быть конкуренция пробиотиков за места адгезии на эпителии пищеварительного тракта, что препятствует физическому связыванию патогена. Кроме того, определенную роль может играть стимуляция иммунной системы хозяина (Wray C., Davies R.H., 2000, Schneitz C., 2005). Однако, учитывая сложность микробного сообщества в пищеварительном тракте птицы, способ действия пробиотиков, скорее всего, является комбинаторным эффектом всех ранее упомянутых способов действия, а также других менее определенных механизмов, а не единичным действием (Kogut M. H., Swaggerty C. L., 2011). Таким образом, большинство преимуществ введения пробиотиков (например, повышение эффективности роста и снижение количества пищевых патогенов) может быть результатом сложного комплекса механизмов.

1.2 Влияние пробиотиков на обмен веществ и продуктивные показатели птицы

Влияние на переваримость питательных веществ. Живые микробы используют питательные вещества и энергию для своего роста и распространения в организме хозяина.

B. subtilis DSM29784 привел к значительному увеличению ретенции питательных веществ и видимой метаболизируемой энергии рациона с поправкой на азот (AMEn) у кур-несушек в течение всего производственного цикла, где в общей сложности исследовались 336 несушек породы Шавер Уайт в возрасте от 19 до 48 недель (Neijat M. et al., 2019). Среди трех уровней включения (низкий, средний и высокий), высокий уровень включения бактерий увеличил видимое использование питательных веществ, таких как сухое вещество (СВ), органическое вещество (ОВ), сырой протеин (СП), нейтральная детергентная клетчатка (НДК), валовая энергия (ВЭ), кальций и общий фосфор, но видимая обменная энергия (ВОЭ) была самой высокой при среднем уровне включения. В целом, пробиотики улучшали все эти параметры по сравнению с контролем, не получавшим пробиотиков. Эта тенденция улучшения видимой общей переваримости в тракте СВ, ОВ, ВЭ и СП была также подтверждена в исследовании He T. et al., (2019). Повышенная переваримость и усвоение питательных веществ могут быть обусловлены выработкой внеклеточных ферментов вегетативной формой *B. subtilis* (Chen K.L. et al., 2009). В последующем исследовании (Cheng Y. et al., 2017) два других штамма, *B. licheniformis* и *L. bulgaricus*, повышали переваримость аминокислот, протеина и крахмала в подвздошной кишке и общую переваримость СВ и ОВ в кишечнике.

Влияние на показатели роста. Установленная роль пробиотиков в стимулировании ростовых показателей привело птицеводство к постепенному отказу от использования антибиотиков в кормах для птицы. Антибиотики действуют путем ингибирования производства и выделения катаболических медиаторов воспалительными клетками кишечника, что, в свою очередь,

приводит к снижению микрофлоры кишечника (Niewold T.A., 2007). Пробиотики, напротив, способствуют росту, модулируя микрофлору кишечника и улучшая барьерную функцию кишечника путем укрепления полезной микрофлоры кишечника, конкурентного исключения патогенов и стимуляции иммунной системы. После приема пробиотиков непатогенные бактерии из пробиотиков конкурируют с патогенными бактериями в кишечнике за питательные вещества; колонизируют кишечник, не оставляя места для обитания и развития опасных бактерий; выделяют пищеварительные ферменты (β -галактозидазу, α -амилазу и т.д.), что способствует лучшему усвоению питательных веществ и улучшает показатели роста животных (Jadhav K. et al., 2015). Таким образом, способ действия пробиотиков отличается от действия антибиотиков у птиц. Однако и те, и другие могут улучшить показатели роста. Улучшение прироста массы тела обычно ассоциируется с увеличением среднесуточного потребления корма и улучшением коэффициента конверсии корма.

Улучшение показателей роста и конверсии корма является результатом использования пробиотиков, однако использование пробиотиков не всегда увеличивает поедаемость кормов.

Влияние на показатели яйценоскости. В птицеводстве используется несколько стратегий для увеличения яйценоскости, массы яиц и улучшения их качества. Включение пробиотиков в рацион кур-несушек повышает продуктивность несушек за счет переваримости корма, повышения удержания азота и кальция и снижения длины кишечника. Предполагается, что пробиотики увеличивают скорость кишечной ферментации и производство короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК), которые обеспечивают питание клеток кишечного эпителия, что, в свою очередь, приводит к улучшению усвоения минералов (Alagawany M. et al., 2018). Качество яиц обычно включает в себя несколько показателей, таких как масса скорлупы, качество белка и желтка. Качество яиц имеет генетическую основу и варьируется между кроссами кур-несушек. Исследования показали, что добавка пробиотиков

влияет на яичную продуктивность (Mikulski D. et al., 2020). Для оценки эффективности производства яиц учитывались следующие переменные: среднесуточное потребление корма, коэффициент конверсии корма, количество снесенных яиц, масса яйца, относительная плотность, холестерин в сыворотке крови и желтке, триглицериды в сыворотке крови. В недавнем исследовании (Abd El-Hack M.E. et al., 2017) изучалось влияние коммерческих многоштаммовых пробиотиков на производственные показатели и качество яиц. Результаты показали, что добавка увеличила некоторые параметры, связанные с производством яиц, такие как масса и размер яиц, содержание альбумина и масса желтка, а также толщину и прочность скорлупы, по сравнению с контрольной группой.

Pan C. et al. (2011) провели 35-суточный эксперимент для оценки влияния обогащенных селеном пробиотиков на яйценоскость, качество яиц, содержание селена в яйцах и активность глутатионпероксидазы в яйцах. В общей сложности 500 кур-несушек в возрасте 58 недель были случайным образом распределены на один из пяти видов рациона. Добавка селена с пробиотиком увеличила количество снесенных яиц, средний вес яиц, содержание селена в яйцах и активность глутатионпероксидазы в яйцах. Одновременно она снижала коэффициент конверсии корма в яйцо и содержание холестерина в яйцах. Эти результаты позволили предположить, что содержание селена и активность глутатионпероксидазы в яйцах зависят от уровня селена в рационе. В отличие от этого, на яичную продуктивность и содержание холестерина в яйцах влияла добавка пробиотика. Был сделан вывод, что этот комплекс является эффективной добавкой для повышения производственных показателей кур-несушек.

Исследование Mazanko M.S. et al. (2018) было направлено на изучение влияния пробиотических препаратов *Bacillus* на физиологию кур-несушек и петухов. Пробиотические препараты были приготовлены в виде соевых продуктов, ферментированных *B. subtilis* KATMIRA1933 и *B. amyloliquefaciens* B-1895. В данном исследовании оба штамма улучшили показатели

яйценоскости, качества яиц и спермы петухов. Учитывая экономическую эффективность пробиотических препаратов на основе сои, эти добавки показали многообещающие результаты для современного птицеводства.

Помимо пробиотических препаратов на основе сои, в качестве альтернативного корма в рационе птицы широко используется сухая кормовая пшеничная барда, которая является не только источником питательных веществ, но и может обеспечить некоторые функциональные преимущества для животных благодаря высокому содержанию клетчатки. В исследовании Abd El-Hack M.E. et al. (2017) *Bacillus subtilis* использовали для оценки влияния различных уровней барды и пробиотика на яйценоскость, качество яиц, содержание метаболитов в крови и выделение азота и фосфора в помете. В общей сложности 216 кур-несушек породы хайсекс браун в возрасте 22 недель были случайным образом разделены на восемь групп и получали четыре дозировки барды и две пробиотика *B. subtilis*. Результаты показали улучшение поедаемости корма, индекса формы яйца и цвета желтка у птиц, получавших пробиотика, по сравнению с контролем. Включение пробиотика *B. subtilis* повысило общую эффективность использования корма, вес яиц и массу яиц. Neijat M. et al. (2019) также показали, что включение *B. subtilis* способствовало улучшению уровня альбумина и единицы Хау яиц на протяжении всего производственного цикла с 19 до 48-недельного возраста. Самая низкая прочность скорлупы на разрыв, обнаруженная на 20-й неделе, была недостатком высокой дозы пробиотика. За исключением разницы в возрасте, на толщину скорлупы и прочность скорлупы на разрыв не было выявлено никакого эффекта от применения препаратов. Xiang Q. et al. (2019) в своем исследовании оценивали использование пробиотиков, содержащих *C. butyricum* и комбинацию *S. boulardii* и *P. acidilactici*, на продуктивность несушек. Они обнаружили, что добавление в рацион *C. butyricum* значительно повлияло на производительность кур-несушек и улучшило морфологию кишечника.

Влияние на гистоморфологию кишечника. Морфологические показатели кишечника, такие как увеличение высоты ворсинок, уменьшение глубины

крипт, увеличение соотношения высоты ворсинок и глубины крипт и т.д., указывают на увеличение всасывания питательных веществ за счет повышения доступной площади поверхности для всасывания питательных веществ. Аналогичным образом, количество бокаловидных клеток в кишечных ворсинках и криптах является еще одним показателем здоровья кишечника, поскольку эти клетки вырабатывают муцин и препятствуют адгезии вредных патогенов к кишечному эпителию (Shroyer N.F., Kocoshis S.A., 2011).

Определение гистологических и морфологических показателей слизистой оболочки кишечника птиц крайне важно для определения характеристик и способов применения штаммов. Было установлено, что включение пробиотиков в корм изменяет гистоморфологию кишечника, хотя степень изменений была различной для разных штаммов. Alagawany M. et al. (2018) сообщили, что пробиотик, содержащий *L. casei*, *L. acidophilus*, *Bifidobacterium thermophilum* и *Enterococcus faecium*, способствовал увеличению высоты ворсинок тощей кишки при уменьшении глубины крипт ворсинок. Более длинные ворсинки указывают на улучшение эффективности корма и стимулирования роста. Эти результаты были подтверждены Jin L.Z. et al. (2000), когда изучалось влияние *L. acidophilus* и смеси из 12 штаммов *Lactobacillus* на массу органов и микробиоту кишечника 180-дневных цыплят породы Arbor Acres. Добавки *L. salivarius* и *L. reuteri* (Messaoudi S. et al., 2013); *Pediococcus acidilactici* (Jazi V. et al., 2018); смесь *L. casei*, *L. acidophilus*, *Bifidobacterium thermophilum* и *Enterococcus faecium* (Chichlowski M. et al., 2007); смесь *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis* и *Saccharomyces cerevisiae* (He T. et al., 2019); *B. coagulans* (Zhen W. et al., 2018); и *Propionibacterium acidipropionici* (Martínez E.A. et al., 2016) установлено положительное влияние на гистоморфологические показатели ворсинок тонкого кишечника, с увеличением высоты ворсинок и отношения высоты ворсинок к глубине крипт. Этот результат позволил предположить, что добавление *L. salivarius* и *L. reuteri* может улучшить всасывание питательных веществ в кишечнике и его архитектуру.

Эпителий кишечника избирательно обеспечивает всасывание

питательных веществ, но препятствует проникновению патогенов в кровоток (Buckley A., Turner J.R., 2018). *Lactobacillus plantarum* и *L. reuteri*, добавленные в корм птице, повышали целостность этого барьера и подавляли проникновение некоторых условно-патогенных или патогенных бактерий (Meyer M.M. et al., 2020).

В другом исследовании (Song J. et al., 2014) было показано, что пробиотическая смесь из *B. licheniformis*, *B. subtilis* и *L. plantarum* способна устранить вызванное тепловым стрессом нарушение микрофлоры кишечника, гистоморфологии и целостности барьера у птиц. Добавка изменила и увеличила количество лактобактерий и бифидобактерий в тонком кишечнике, а также увеличила высоту ворсинок тощей кишки.

Forte C. et al. (2016) провели эксперимент на 180 гибридах Ну-Line 16-недельных кур-несушек. Они вводили в рацион *L. acidophilus* и *B. subtilis* и оценивали влияние на микрофлору, морфологию и морфометрию кишечника. Результат не показал существенных различий между разными группами и методами лечения в морфологических и морфометрических изменениях.

Чтобы проникнуть в кишечный тракт и вызвать инфекцию, патогенные микроорганизмы должны преодолеть множество препятствий. Физические препятствия, такие как низкий уровень pH в желудке и быстрое время прохождения по тонкому кишечнику играют существенную роль. Кроме того, патогены должны преодолеть ингибирующее воздействие кишечной микробиоты, физический барьер эпителия и реакцию иммунной системы хозяина, чтобы успешно вызвать инфекцию. Недавние публикации показывают, что некоторые виды непатогенной кишечной флоры взаимодействуют с эпителием и иммунной системой, модулируя физиологию тканей и способность реагировать на инфекцию. Модуляция кишечной среды считается важным эффектом пробиотиков и рассматривается как основа прочих преимуществ пробиотиков. Эпителиальные клетки и дендритные клетки кишечника действуют как клетки слизистой оболочки в ассоциированной с кишечником лимфоидной ткани. Связанные с микроорганизмами молекулярные паттерны

пробиотиков, связываясь с Toll-подобными рецепторами дозорных клеток, активируют пути NF-κB и MAP-киназы (Bai S.P. et al., 2013). Эта активация вызывает повышение или подавление генов, регулирующих воспалительную реакцию, а также цитопротекторный эффект за счет иммунной активации, представления антигенов и экспрессии антимикробных факторов (Kemgang T.S. et al., 2014). Кроме того, преимущества включают усиление эпителиального барьера, увеличение адгезии полезных бактерий к слизистой оболочке кишечника и одновременное ингибирование адгезии патогенов (Broom L.J., Kogut M.H., 2018).

Пробиотические бактерии также способствуют целостности кишечного барьера, модулируя выработку муцинов. Пробиотики нормализуют целостность кишечника путем восстановления слоя слизи, регулируя состав моносахаридов муцина, толщину слоя слизи и экспрессию генов муцина (Aliakbarpour H.R. et al., 2012).

Oakley B.B. и Kogut M.H. (2016) сообщили, что последовательность изменений в микрофлоре кишечника коррелирует с изменениями в цитокиновом профиле, выражаемом кишечными клетками хозяина в ответ на различные группы бактерий. Согласно их результатам, чем выше относительная численность различных представителей филума Firmicutes (таких как *Bacillus*, *Listeria*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus* и т.д.), тем ниже транскрипция провоспалительных цитокинов; а для Proteobacteria (таких как *Escherichia*, *Salmonella*, *Shigella*, *Brucella* и т.д.) связь обратная.

Разнообразная микрофлора кишечника играет важную роль в обмене веществ хозяина, показателях роста, усвоении питательных веществ и общем состоянии здоровья птицы (Yadav S., Jha R., 2019). Состав микрофлоры кишечника кур зависит от возраста, особенно на ранних этапах жизни, генотипа, условий выращивания/окружающей среды и рациона/кормовых добавок (Diaz Carrasco J.M. et al., 2019). Иногда состав кишечной флоры может быть сильно изменен под воздействием неинфекционных или инфекционных стрессовых факторов. Следовательно, такой дисбиоз может повлиять на

морфологию и деятельность кишечника (например, повысить проницаемость кишечника, увеличить риск бактериальной инфекции, сепсиса, воспаления и ухудшить пищеварение) (Shang Y. et al., 2018).

Пробиотические бактерии могут инициировать обмен генами с микробиомом кишечника и передавать генетические признаки окружающим бактериям. Их тесный межклеточный контакт с другими бактериальными обитателями кишечной экосистемы повышает вероятность генетического обмена плазмидами (Jeong H. et al., 2019). Этот процесс конъюгации передает гены, ответственные за приобретенную устойчивость пробиотического микроба к антибиотикам, естественным комменсальным микробам кишечника (Das D.J. et al., 2020). Исследования, связанные с пробиотиками человека, выявили различные детерминанты устойчивости к антибиотикам в геноме пробиотических видов родов *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* и *Bacillus*, которые потенциально могут передавать гены устойчивости другим бактериям (Gueimonde M. et al., 2013). Однако не было отмечено достаточной озабоченности по поводу передачи генов устойчивости к антибиотикам у домашней птицы при добавлении пробиотиков.

1.3 Общая характеристика и влияние фитогенетиков на организм птицы

Фитогенные кормовые добавки классифицируются как сенсорные и вкусовые соединения в соответствии с законодательством Европейского Союза (ЕС 1831/2003). Предполагается, что они повышают показатели роста (Isabel B., Santos Y., 2009), переваримость питательных веществ (Jamroz D. et al., 2005) и здоровье кишечника у птицы (Murugesan G.R. et al., 2015). В настоящее время они используются в программах кормления птицы. Количество бактерий *Lactobacillus* spp. в кишечнике увеличивалось, когда в качестве кормовой добавки добавляли 75 мг/кг порошка корня красного женьшеня (Yener Y. et al., 2020). Несколько коммерческих продуктов основаны на травах, таких как

семена аниса (*Pimpinella anisum*), семена тмина (*Carum carvi*), кора корицы (*Cinnamomum verum*), цветы ромашки (*Matricaria recutita*), кожура цитрусовых (*Citrus sp*), бутоны гвоздики (*Syzygium aromaticum*), семена фенхеля (*Foeniculum vulgare*), луковицы чеснока (*Allium sativum*), корневище имбиря (*Zingiber officinale*), листья мелиссы (*Melissa officinalis*), луковицы лука (*Allium cepa*), листья душицы (*Origanum vulgare*), листья мяты перечной (*Mentha piperita*), листья розмарина (*Rosmarinus officinalis*), листья шалфея (*Salvia officinalis*), листья тимьяна (*Thymus vulgaris*) и корень/корневище валерианы (*Valeriana officinalis*) (Mathe A., 2007).

Эти фитогенные вещества продвигаются благодаря их безопасности и свойствам улучшать производительность и здоровье животных посредством следующих эффектов: улучшение переваримости, противомикробная активность, противовоспалительное и антиоксидантное действие, стабилизация кишечной микрофлоры и снижение выбросов в окружающую среду. В дополнение к фармакологическим эффектам, недавние исследования показали, что фитогенные вещества модулируют микрофлору кишечника, а именно увеличивают количество бактерий рода Firmicutes (Salaheen S. et al., 2017), Clostridiales, Ruminococcaceae и Lachnospiraceae (Díaz Carrasco J.M. et al., 2018).

Несколько факторов могут модулировать кишечную микрофлору, оказывая положительное или отрицательное воздействие на хозяина (Jha R., Berrocoso J.D., 2015). Также было установлено, что переход с рациона на основе кукурузы на рацион на основе пшеницы и ячменя привел к увеличению количества *Lactobacillus* (Mathlouthi N. et al., 2002). Водорастворимые некрахмальные полисахариды увеличивали вязкость пищеварительного содержимого и выработку, что благоприятно регулировало моторику подвздошной кишки (Cherbut C., 2003).

Влияние добавок фитогенетиков к рациону на перевариваемость

Оценка переваримости очень важна, поскольку она напрямую влияет на эффективность кормления животных. Однако улучшение переваримости имеет решающее значение не только для повышения эффективности корма, но и для

уменьшения количества непереваренного корма в кишечнике, что может способствовать возникновению кишечного дисбаланса. Эти дисбалансы могут привести к воспалительным процессам и ускоренному обороту тканей кишечника, что приводит к снижению производительности.

У кур-несушек добавление в рацион масла мяты перечной в дозах 0, 74, 148, 222 и 296 мг/кг линейно увеличивало переваримость сырого протеина и жира, а также фосфора с 32 до 44 недельного возраста (Abdel-Wareth A.A.A., Lohakare J.D., 2020), а 100 мг/кг ЭО, включающего тимол 13,5% и циннамальдегид 4,5% в качестве основных активных компонентов, значительно увеличивало переваримость белка и жира с 54 до 65 недельного возраста (Ding X. et al., 2017).

Возможные механизмы улучшения переваримости питательных веществ при добавлении ПФА могут быть связаны со способностью этих кормовых добавок стимулировать аппетит, секрецию слюны, выработку слизи в кишечнике, секрецию желчных кислот и активность пищеварительных ферментов, таких как трипсин и амилаза, а также положительно влиять на морфологию кишечника (Oso A.O. et al., 2019) или обладать перекрывающимся способом действия, включающим локальные эффекты на границе кишечника и системные изменения метаболизма макроэлементов под действием этих кормовых добавок (Reyer H. et al., 2017).

Влияние фитогенетиков в рацион на кишечную микрофлору. Известно, что производительность сельскохозяйственных животных напрямую связана с функционированием и здоровьем кишечника, которое определяется непрерывным взаимодействием между рационом, состоянием кишечника, микробиомом кишечника и иммунной системой кур (Kers J.G. et al., 2018). Результаты показали, что эти эффекты зависят как от фитогенного состава, так и от уровня включения (Mountzouris K.C. et al., 2011), а также могут варьироваться от нейтрального эффекта (Hashemipour H. et al., 2014) до благоприятного воздействия (Perricone V. et al., 2020).

Было показано, что добавление в рацион фитогеников, содержащих

карвакрол в качестве основного активного соединения (Paraskeuas V.V., Mountzouris K.C., 2019), модулирует кишечную микробиоту скорее на уровне слепой кишки, чем подвздошной, повышая уровень *Bacteroides* spp., *Clostridium* cluster IV и *Clostridium* cluster XIVa, ассоциированных со слизистой оболочкой кишечника. Это увеличение можно считать полезным, поскольку *Clostridia* не только доминируют слизистой слепой кишки (Lan Y. et al., 2005), но, кроме того, они способствуют поддержанию общей функции кишечника, особенно за счет выработки бутирата (Lopetuso L.R. et al., 2013). Количество *Deinococcus*, *Bacillaceae* и *Caulobacteriales* было увеличено в пищеварительном тракте кур-несушек, получавших рацион с добавлением эфирных масел, что способствовало повышению активности пищеварительных ферментов, которое привело к улучшению эффективности использования корма (Feng J. et al., 2021). Более того несмотря на то, что некоторые авторы сообщили о снижении относительной численности полезных комменсальных бактерий, таких как *Lactobacillus*, при добавлении растительных экстрактов (Zhu N. et al., 2019), другие авторы обнаружили, что *Clostridiales* и/или *Lactobacillales* были выше у бройлеров, получавших добавки с эфирными маслами карвакрола и тимола (Yin D. et al., 2017) или тимола, эвгенола и пиперина (Park J.H., Kim I.H., 2018). Точнее, добавление тимола и карвакрола в рацион изменяет динамику микробной популяции кишечника бройлеров за счет увеличения численности *L. crispatus* и *L. agilis* и уменьшения *L. salivarius* и *L. johnsonii* (Yin D. et al., 2017). Известно, что *L. crispatus* является палочковидным представителем рода *Lactobacillus* и относится к полезным микроорганизмам, продуцирующим перекись водорода, которая играет ключевую роль в защите хозяина от инфекции (Shipitsyna E. et al., 2013). Исследование, проведенное Gudiña E.J. et al. (2015), показало, что биосурфактант, продуцируемый штаммом *L. agilis*, проявляет значительную антиадгезивную активность против *S. aureus*, а также антимикробную активность против *P. aeruginosa*, *S. aureus* и *S. agalactiae*. Кроме того, было доказано, что зеленый чай и плоды граната модулируют микробиоту кишечника (Chen Y. et al., 2019), в частности, способствуя развитию полезных

бактерий в кишечном тракте (Saeed M. et al., 2019). В недавнем исследовании, проведенном Perricone V. et al. (2020), бройлеры, получавшие растительный экстракт, состоящий из листьев зеленого чая (*Camellia sinensis*) и кожуры граната (*Punica granatum*), способствовали увеличению относительной численности молочнокислых бактерий по сравнению с контрольной группой. Эти результаты представляют особый интерес, поскольку признано, что молочнокислые бактерии оказывают положительное влияние на кишечник, регулируя состав кишечной микрофлоры, развивая кишечный иммунитет и способствуя здоровью кишечника (Muir W.I. et al., 2000).

Влияние добавления фитогеников на иммунитет. Все больше исследований показывают, что фитохимические вещества обладают способностью улучшать защиту организма от микробной инфекции (Lillehoj H. et al., 2018). Активирующие иммунитет свойства ряда фитопрепаратов, таких как одуванчик (*Taraxacum officinale*), горчица (*Brassica juncea*) и сафлор (*Carthamus tinctorius*) (Lee S.H. et al., 2007), а также расторопша (*Silybum marianum*), куркума (*Curcuma longa*), гриб рейши (*Ganoderma lucidum*) и гриб шиитакэ (*Lentinus edodes*) (Lee S.H. et al., 2010), были оценены *in vitro* с использованием лимфоцитов и макрофагов птиц. В обоих исследованиях все экстракты подавляли рост опухолевых клеток и стимулировали врожденный иммунитет у сельскохозяйственной птицы. Эти результаты были подтверждены несколькими исследованиями *in vivo*, которые дают все больше доказательств того, что, взаимодействуя с иммунной системой, фитогеники могут модулировать иммунные реакции через различные механизмы. Рацион способствует повышению продуктивности и сохранности иммунной системы сельскохозяйственных животных, выращиваемых в условиях отсутствия антибиотиков (Kumar S. et al., 2011). Одним из таких механизмов является модуляция экспрессии цитокинов, играющих ключевую роль как в адаптивной, так и во врожденной иммунной системе (Lillehoj H.S., 2011).

Влияние добавления фитогенетиков в рацион на биохимические параметры крови и оксидантный статус.

Несколько авторов изучали влияние фитогенетиков на биохимические показатели сыворотки крови, которые помогают отобразить метаболизм питательных веществ и физиологическое состояние организма (Toghyani M. et al., 2012). Уровень холестерина в сыворотке крови был снижен у кур-несушек, получавших добавки с эфирным маслом черного тмина или жгучего красного перца (Abou-Elkhair R. et al., 2018), масла мяты перечной (Abdel-Wareth A.A.A., Lohakare J.D., 2020) или крапивы *Urtica cannabina* (Zhang J. et al., 2020).

Механизмы, объясняющие гипохолестеринемический эффект фитогенетиков, могут быть связаны со снижением активности ферментов, участвующих в липидном обмене, включая 3-гидрокси-3-метилглутарил-СоА редуктазу (фермент, связанный с синтезом холестерина), холестерин-7 гидроксилазу, синтез жирных кислот (Chowdhury S. et al., 2018).

Влияние добавления в рацион фитогенетиков на качество яиц. Было показано, что добавление фитогенетиков влияет на качество яиц. Толщина скорлупы яиц увеличивалась при добавлении смеси растительных эфирных масел (Mousavi A. et al., 2017), масла мяты перечной (Abdel-Wareth A.A.A., Lohakare J.D., 2020) и крапивы *Urtica cannabina* (Zhang J. et al., 2020). Возможный механизм, лежащий в основе этих положительных эффектов, заключается в способности фитогенетиков, таких как эфирные масла, улучшать здоровье матки и увеличивать запасы кальция, а также секрецию поджелудочной железы, что приводит к улучшению переваривания питательных веществ и, следовательно, к улучшению скорлупы и качества яиц (Abdel-Wareth A.A.A., Lohakare J.D., 2020).

Добавление таких фитогенетиков, как черный тмин или красный перец (Abou-Elkhair R. et al., 2018), анис звездчатый (Yu C. et al., 2018), мука из виноградных косточек и куркумин (da Rosa G. et al., 2020), снижает уровень перекисного окисления липидов и повышает уровень антиоксидантов, тем самым повышая внутреннюю стабильность яиц и способствуя увеличению срока их хранения. Показатель индикатора свежести яиц, связанный со сроком хранения, также был увеличен добавлением фитогенетиков (Sharma M.K. et al.,

2020). Как и в мясе, содержание холестерина в яичном желтке снижается под воздействием добавок фитогенетиков (Zhang J. et al., 2020). Хотя в желтках яиц кур-несушек, получавших добавки с эфирными маслами *Citrullus lanatus*, наблюдалось увеличение общего количества полиненасыщенных жирных кислот и снижение количества жирных кислот, добавка крапивы *Urtica cannabina* также увеличивала общую концентрацию полиненасыщенных жирных кислот (Marume U. et al., 2020).

1.4 Хелатные формы микроэлементов и их влияние на организм птицы

Минералы жизненно важны для физического благополучия. Они являются компонентами всех клеток, включая кровь, гормоны, нервы, мышцы, кости, зубы и мягкие ткани. Некоторые минералы являются неотъемлемыми компонентами ферментов, катализирующих биохимические реакции, включая производство энергии, обмен веществ, передачу нервных импульсов, сокращение мышц и проницаемость клеток (Ghosh A et al., 2016). Хорошо известно, что в корма для сельскохозяйственной птицы добавляют неорганическую форму микроэлементов (сульфатные или оксидные соли) в дозах, в десять раз превышающих рекомендации Национального исследовательского совета (NRC, США) из-за их низкой усвояемости (De Marco m et al., 2017). Выведение из организма неусвоенных неорганических микроэлементов приводит к загрязнению окружающей среды (Mwangi S et al., 2017). Органические микроминералы имеют более высокую биодоступность, чем неорганические. Следовательно, добавление органически сложных/хелатированных микроэлементов может помочь избежать использования более высоких доз неорганических микроэлементов в кормах для птицы и предотвратить загрязнение окружающей среды, поскольку они имеют более низкую скорость включения и уменьшенную экскрецию (Бао Y.M. et al., 2007).

Хелатные комплексы минералов содержат центральный атом вместе с лигандом (белки, углеводы, жиры или аминокислоты), содержащим минимум один атом лиганда (серы, кислорода или азота) с парой свободных электронов. Атом лиганда связан с атомом металла координатной связью путем передачи электронной пары от лиганда к акцептору электронов (Pacheco V.H. et al., 2017).

Включение низких уровней органических минералов широко практикуется благодаря их физиологическому вкладу (Sheoran V.N., 2015).

Существует два основных недостатка использования неорганических микроэлементов в рационе птицы. Во-первых, фактор загрязнения: Сульфат меди и оксид цинка являются распространенными неорганическими источниками меди и цинка, используемыми в рационе птицы, но эти два источника получены из сталелитейной промышленности и содержат большое количество загрязняющих веществ, таких как фтор и кадмий, которые попадают в рацион птицы (Lopes M et al., 2017). Во-вторых, антагонистические эффекты между неорганическими микроэлементами могут снизить их метаболизм и скорость поглощения. Хелатные комплексы металлов с аминокислотами инертны из-за ионной и ковалентной связи между лигандом и минералом. Таким образом, эти формы остаются незатронутыми факторами, которые приводят к выпадению осадка, подобно тому, как это происходит с неорганическими минералами после растворения соли (Bao Y.M. et al., 2009). Кроме того, размер и стабильность улучшения благодаря хелатированию микроэлементов может защитить микроэлементы, пока они проходят через желудочно-кишечный тракт и всасываются в неповрежденной форме, без какого-либо разрушения аминокислот (Meshreky S.Z. et al., 2015).

В отличие от жвачных животных, птица не имеет естественной бактериальной флоры, способной разлагать все питательные вещества.

После поступления органических микроэлементов из рациона птицы всасывание минералов происходит в любом отделе кишечника, однако металлы всасываются в двенадцатиперстной кишке. Инертные минеральные комплексы подвергаются гидролизу в желудке и поступают в просвет кишечника, где

происходит связывание между лигандом и минералом. Лиганд-транспортёр обеспечивает взаимодействие минералов с пищевыми антагонистами, такими как щавелевая кислота, фитиновая кислота и госсипол. В кишечнике лиганд-минеральные комплексы всасываются через клетки кишечной стенки. Неорганические минералы выводятся с калом из-за отсутствия транспортера неорганических металлов (Rao S.R. et al., 2016).

В литературе сообщается, что добавление хелатных микроэлементов в рацион птицы улучшает показатели продуктивности, здоровья птицы и качества мяса. Продуктивность кур-несушек и качество скорлупы яиц улучшились после добавки метионина меди по сравнению с птицами, получавшими добавку сульфата меди (Yenice E et al., 2015).

Включение органических и неорганических форм микроэлементов (цинка, железа и селена), минералов (хелатов), органических кислот и витаминов в рацион кур-несушек, как сообщается, по-разному влияет на качество белка. Микроэлементы и неорганические минералы, такие как оксиды и сульфаты (Miao LP et al., 2019), традиционно добавляемые в корма для кур-несушек, в настоящее время заменяются органическими микроэлементами, особенно минеральными аминокислотными хелатами и комплексами, благодаря их влиянию на качество яиц (Li LL et al., 2019). Такие проблемы, как выделение в окружающую среду, низкая биодоступность, высокая степень окисления и разрушения питательных веществ (Shengfeng C et al., 1999), ограничивают использование неорганических форм, которые также производят свободные радикалы, что может негативно сказаться на здоровье животных (Miao LP et al., 2019). Предпочтение органической минеральной форме отдается из-за легкости усвоения, высокой биологической ценности, экологичности, нетоксичности и безопасности (Liu T et al., 2020). Исследование Yu Q et al. (2020) не выявило существенной разницы между органическим и неорганическим цинком на качество яиц. Органические формы микроэлементов включают селеновые дрожжи (Pan C et al., 2011), цинк-метионин (Behjatian Esfahani M et al., 2021) и железо-глициновый хелат (Zie C et al., 2019), которые в

большей степени метаболизируются, чем неорганические формы. Это говорит о более высокой биодоступности органической формы по сравнению с неорганической, и такая биофортификация микроэлементами улучшает питательную ценность и повышает биологическую функцию яиц.

Влияние хелатов цинка на организм кур-несушек. Цинк выполняет множество функций в формировании скелета, регуляции метаболических процессов, поддержании антиоксидантных систем и усилении иммунного ответа у птицы, а также в процессе образования яиц (Alagawany M et al., 2021). Цинк входит в состав нескольких металлоферментов, например, карбоновой ангидразы, которая играет важнейшую роль в формировании скорлупы (Zarghi H, Hassanabadi A, Barzegar N, 2023), где на кристаллическую и текстурную морфологию скорлупы влияет катализ карбоновой ангидразы двуокиси углерода в бикарбонатные ионы (Li L et al., 2019). Цинк является жизненно важным микроэлементом, необходимым для формирования яичной скорлупы, и может способствовать процессу образования кальция, а также влиять на структуру и физические свойства скорлупы (Min YN et al., 2018). Zn служит важным кофактором фермента карбоновой ангидразы, который отвечает за гидратацию циркулирующего CO_2 в HCO_3^- и является предшественником карбонатов яичной скорлупы (Zhu Y et al., 2018). Цинк важен во время формирования альбумина в магнуме, образования мембраны скорлупы в перешейке и формирования скорлупы в матке (Bahakaim A et al., 2014). Повышенное содержание Zn в рационе может снизить уровень брака яиц из-за разрывов и трещин. Ряд исследований показал большую толщину и прочность скорлупы, а также меньшую вероятность боя яиц у птиц, получавших Zn в органической форме или в сочетании неорганическими формами (Ogbuewu IP, Mbajiorgu SA, 2022). Добавление метионин-хелата цинка в рацион несушек рекомендуется, поскольку он приводит к улучшению качества костей без ухудшения качества скорлупы в конце цикла яйцекладки, что указывает на его положительное влияние на общее поддержание запасов минералов в костях до конца цикла яйцекладки (Noh HJ et al., 2017).

Смешивание $ZnSO_4$ и комплекса Zn -аминокислот ($ZnAA$) в кормах для бройлеров уменьшило процент разбитых яиц и улучшило качество скорлупы по сравнению с базовым рационом, содержащим $ZnSO_4$ (Stefanello C et al., 2014). Swiatkiewicz S и Korelski J (2008) показали, что 50 и 100% замена оксида Zn на комплекс $ZnAA$ увеличила прочность скорлупы на разрыв у взрослых кур (62-70 недель), которые получали базовый рацион, обогащенный 30 мг/кг Zn . Более того, Manangi MK et al. (2015) показали, что использование Zn - Cu - Mn , хелатированного гидрокси-аналогом метионина (20-5-20 и 40-10-40 мг/кг) в качестве органической добавки Zn увеличило прочность скорлупы и толщину скорлупы у несушек (в возрасте от 44 до 80 недель) по сравнению с теми, кто получал только базовый рацион или базовый рацион, обогащенный сульфатной солью Zn - Cu - Mn (20-5-20, 40-10-40 и 80-10-80 мг/кг). Таким образом, Zn может ослаблять негативное влияние возрастного фактора на качество скорлупы яиц.

Li LL et al. (2019) заявили, что добавление Zn -метионина (Zn -Met) в основной рацион на уровне 100 мг/кг увеличило единицы Хау и высоту белка яйца по сравнению с контрольной группой, которая получала основной рацион с добавлением 80 миллионных долей Zn в виде сульфатной соли. Abd El-Hack ME et al. (2018) показали, что добавление в рацион 50, 75 или 100 мг/кг Zn -метионина оказало значительное положительное влияние на единицы Хау по сравнению с контролем без добавок Zn -Met. Эти улучшения могут быть обусловлены значимостью функции Zn в формировании яиц. Кроме того, Amen MH и Al-Daraji HJ (2011) отметили, что недостаток Zn влияет на качество клеток эпителия из-за его роли в синтезе белка.

Как уже упоминалось ранее, цинк оказывает косвенное влияние на секрецию эпителиального слоя, изменяя его структуру или непосредственно влияя на синтез мембран яичной скорлупы. Кроме того, он играет важную роль в магнуме и перешейке во время образования яичного альбумина и мембран скорлупы, соответственно. Tabatabaie MM et al. (2007) обнаружили, что единицы Хау и процент содержания белка в яйцах повысились при введении в рацион 25 или 50 мг/кг Zn в органической форме, по сравнению с контролем, в

рацион которого Zn не вводили. Тем не менее, Idowu OMO et al. (2011) заявили об отсутствии каких-либо существенных изменений в показателях качества яиц, кроме единиц Хау, когда несушки потребляли рационы, обогащенные Zn-протеинатом, Zn-карбонатом, Zn-оксидом и Zn-сульфатом на уровне 140 мг/кг. Кроме того, цинк может улучшать сохранность яиц благодаря своей способности активировать ферментативную антиоксидантную систему в яйце. Органический цинк в концентрации от 60 до 80 мг/кг оказывал более выраженное влияние в этом отношении по сравнению с неорганическими формами цинка в концентрации 80 мг/кг (Li LL et al., 2019). Согласно данным Bai S et al. (2017), цинк обладает антиокислительной функцией, которая повышает устойчивость птиц к определенным окислительным стрессам. Кроме того, Zn может использоваться в качестве кормовой добавки для борьбы с негативными эффектами, вызываемыми различными агентами, такими как афлатоксикоз, а также в качестве источника питательных веществ для птиц (Mughal MJ et al., 2017). В целом, показатели качества скорлупы яиц кур-несушек могут быть повышены за счет замены неорганического Zn на органический, особенно у взрослых птиц, однако механизм этого процесса остается неясным.

Влияние хелатов селена на организм кур-несушек. Селен оказывает сильное биологическое и физиологическое влияние на организм и продуктивность птицы (Bartolini D et al., 2017), которое в первую очередь опосредовано активностью селенопротеинов (Sun B et al., 2011). Потребность в селене для кур-несушек сравнительно низкая - около 0,3 мг/кг (Qiu K et al., 2021). Избыточное потребление Se токсично (Trindade Neto MAD et al., 2010), а его неорганическая форма имеет ограниченную биологическую доступность, поэтому включение в рацион высоких доз ограничивает его использование в кормлении птицы (Zhang X et al., 2020), а также его выделение в окружающую среду выше, чем у органических форм (Zhang KK et al., 2021). Микроорганизмы поглощают неорганический селен и превращают его в органическую форму (Sun X et al., 2020). Обогащенная селеном дрожжевая культура, бактериальный

Se, Se-метионин, гидрокси-Se-метионин, Se-цистеин и Se-метил L-селеноцистеин являются примерами органических источников селена. Органическая форма селена может быть транспортирована в яйца (Dong Y et al., 2022) с большей скоростью, чем неорганический Se, путем добавления его в рацион кур-несушек. В дополнение к повышенной эффективности перехода в яйца, было зафиксировано улучшение качества яиц (например, единиц Хау) в результате стимуляции селенопротеина, фермента метионин-сульфоксид-редуктазы В, который необходим для предотвращения окисления белка и поддержания водоудерживающей способности белка (Umar YM et al., 2020).

Уровень диетической добавки дрожжей Se (0,21, 0,36 и 0,43 мг/кг) повышал уровень Se в целом яйце, белке и желтке уток по сравнению с контрольным рационом, содержащим Se на уровне 0,15 мг/кг (Zhang LY et al., 2016). Положительная корреляция (линейная и квадратичная) наблюдалась между концентрацией Se в яйце и уровнем обогащенных Se дрожжей в рационе (0,3, 1,5 и 3 мг/кг) 30-недельных кур-несушек (Lu J et al., 2019). Однако после 12-недельного периода кормления не было отмечено существенных различий в критериях качества свежих яиц (внешних и внутренних) между курами, получавшими дрожжевой рацион, обогащенный Se, и курами, которым скармливали базовый рацион без добавок Se.

Селен является жизненно важным компонентом многих антиоксидантных ферментных систем; следовательно, добавление Se может повысить активность Глутатион-пероксидазы (Woods SL et al., 2020) и общий антиоксидантный статус яиц по сравнению с контролем без добавления Se (Qiu K et al., 2021).

Селен может быть использован для продления срока хранения яиц благодаря его антиоксидантному действию. Saldanha ESPB et al. (2009) заявили, что более высокое содержание Se в яйцах позволяет сохранить внутреннее качество яиц во время производства. Обогащение рационов кур-несушек селеном заметно повышало его концентрацию в яйце, жирнокислотный состав, окислительную устойчивость и сохраняло качество хранящихся яиц, например, индекс желтка (Dos Reis JH et al., 2019). Наибольший эффект в отношении

окислительной стабильности яиц был отмечен при добавлении органического селена в рационы с высоким содержанием окисленных жиров.

В исследованиях Wang Y et al. (2011) были изучены различия между органическим (дрожжевым и бактериальным) и неорганическим Se в экспрессии генов GPX1, GPX4, DIO1, DIO2 и SELW1 и объяснили это большей биодоступностью органических форм, которые стимулируют экспрессию большего количества генов селенопротеинов. Примечательно, что преимущества органического Se выходят за рамки простого улучшения абсорбции. Например, хелатированный Se до аминокислот значительно удерживается и встраивается в ткани животных, что может служить аналогом аминокислот для создания неспецифических белков. Кроме того, поглощение и транспортировка селена в расщепленной форме может осуществляться тканями полностью, что в конечном итоге приводит к более высокой биодоступности по сравнению с неорганическим селеном (Bartolini D et al., 2017). Однако органический Se из разных источников обладает различной биодоступностью в организме. Поэтому следует тщательно изучить влияние источника и уровня органического Se на продуктивность кур-несушек и качество яиц.

Учитывая, что столовые яйца кур-несушек используются в качестве продуктов питания с высоким содержанием селена или сырья для производства продуктов, обогащенных селеном (Lu J et al., 2020), из этого следует, что добавление органического селена в рационы кур-несушек имеет важное практическое значение для потребителей.

По сравнению со своим неорганическим аналогом органический селен менее токсичен, имеет более высокую биодоступность, скорость удержания и накопления в тканях, а также обладает антиоксидантными свойствами. Однако при избыточном потреблении Se может возникнуть нестабильность генетического аппарата из-за окислительного повреждения (Jlali M et al., 2013). Поэтому в дальнейшем должны дополнительно исследоваться клинические и физиологические параметры безопасности органических источников Se и их уровни в организме здоровых кур-несушек.

Влияние марганца на организм кур-несушек. Марганец играет важную роль в развитии костей кур-несушек, необходим для формирования скорлупы и может положительно влиять на качество скорлупы (Olgun O, 2017). Марганец повышает прочность скорлупы яиц, усиливая процесс биосинтеза гликозаминогликана (ГАГ) (Zhang YN et al., 2017), который регулирует отложение минералов в скорлупе и, следовательно, определяет ее качество (Chien YC et al., 2008). Добавление в рацион Mn способно улучшить качество скорлупы яиц за счет увеличения содержания ГАГ и урсонических кислот в мембране скорлупы (Xiao JF et al., 2014). Введение Mn может влиять на механические свойства скорлупы яиц, способствуя образованию кристаллов кальцита и улучшению структуры скорлупы (Swiatkiewicz S, Koreleski J, 2008). Mn служит стимулятором ферментов, участвующих в синтезе мукополисахаридов и гликопротеинов, которые играют решающую роль в создании органической матрицы, формирующей скорлупу (Saleh AA et al., 2020). В обзоре Olgun O (2017) показано, что при введении неорганической формы Mn в дозировке 200 мг/кг отсутствовало влияние на продуктивность кур-несушек, но при более низких дозах качество скорлупы улучшалось. Было определено, что курам-несушкам необходимо около 90 мг/кг Mn в корме, а сульфат Mn более доступен, чем другие формы неорганического Mn, но ниже, чем его органические формы. Mn способен активировать ферменты, участвующие в создании гликопротеинов и гликозаминогликанов, которые участвуют в формировании органического вещества скорлупы (Stefanello C et al., 2014). Sazzad HM et al. (1994) обнаружили, что толщина скорлупы яиц увеличивается с увеличением добавки пищевого Mn до 105 мг/кг (80 мг/кг MnO + 25 мг/кг основного рациона). Fassani EJ et al. (2000) отметили, что увеличение дозы введения Mn (от 40 до 200 мг/кг) во второй фазе продуктивности линейно увеличивало толщину скорлупы и процент выбраковки яиц у кур-несушек. Дефицит Mn вызывает снижение яйценоскости, увеличивает образование яиц с тонкой скорлупой с полупрозрачными участками и проявляет аномальную ультраструктуру скорлупы (Gheisari AA et al., 2011).

Xiao JF et al. (2014) отметили, что добавление 100 мг/кг Mn в рацион кур-несушек повышает характеристики скорлупы (прочность на разрыв, жесткость на излом и толщину), увеличивает образование уроновой кислоты и гликозаминогликанов в матке и, следовательно, улучшает ультраструктуру скорлупы по сравнению с базовым рационом без добавок Mn. Использование Mn-Bioplex (органическая форма) при различных уровнях в рационе (15, 30, 45, 60 и 75 мг/кг) в течение 12 недель для кур-несушек привело к увеличению массы яиц и снижению % битых яиц, по сравнению с неорганической формой (Yıldız AÖ, Cufadar Y, Olgun O, 2011). Li LL et al. (2018) изучили влияние MnSO₄ (60 мг/кг) в качестве контрольной группы и Mn-метионина (Mn-Met) (20, 40, 60 и 80 мг/кг) на качество яиц у кур-несушек и обнаружили, что использование Mn-Met улучшает внутренние показатели яиц (цвет желтка, высоту белка и единицы Хау), а также ультраструктуру скорлупы. Уровень Mn в скорлупе яиц значительно увеличивался при добавлении Mn-Met, что указывает на то, что содержание Mn распределялось в основном в скорлупе. Эти исследования показывают, что использование в рационе Mn улучшает механические свойства скорлупы яиц.

Предыдущие исследования показали, что введение в рацион Mn в органической или неорганической форме может повысить яйценоскость и качество скорлупы у взрослых кур-несушек, а дефицит Mn может привести к снижению содержания гексозамина и гексуроновой кислоты в матрице скорлупы (Zarghi H, Hassanabadi A, Barzegar N, 2023). Дефицит Mn вызывает заметное снижение уровня ГАГ и уроновых кислот в мембранах скорлупы, но не в кальцинированной скорлупе. Кроме того, дефицит марганца в рационе приводил к снижению экспрессии мРНК GlcAT-I и ингибированию синтеза ГАГ в матке (Xiao JF et al., 2014). В будущем, вероятно, появится необходимость повторной оценки содержания Mn в рационе кур-несушек для достижения оптимальных показателей качества скорлупы.

Влияние меди на организм кур-несушек. Медь играет важную роль в формировании мембран скорлупы, которые влияют на текстуру, форму и

структуру яичной скорлупы (Gou Z et al., 2021). Медь была обнаружена в высоких концентрациях в яичной скорлупе и ее мембранах. Дефицит меди в рационе может повлиять на структуру, текстуру и форму мембран скорлупы, а также на пигменты скорлупы (Palanisamy V et al., 2021). Медь способна влиять на качество скорлупы, стимулируя ферменты, участвующие в процессах формирования скорлупы и ее мембраны, а также взаимодействуя с кристаллами кальцита в процессе формирования скорлупы (Gheisari AA et al., 2011). Медь является жизненно важным элементом фермента лизилоксидазы, который играет важную роль в формировании коллагена мембраны скорлупы. Ион меди является активным кофактором в центре супероксиддисмутазы - фермента, ингибирующего свободнорадикальные реакции. Кроме того, медь снижает содержание холестерина в желтке (Lim KS et al., 2006) и повышает прочность скорлупы (Pekel AY, Alp M, 2011). Dobrzański Z et al. (2008) подтвердили, что использование органической меди значительно увеличило содержание меди в яйцах и скорлупе, что указывает на более высокую доступность органической меди по сравнению с CuSO_4 . Lim HS и Paik IK (2006) пришли к выводу, что добавление в рацион 100 мг/кг хелата метионина-Cu может улучшить качество скорлупы яиц по сравнению с контрольным рационом с 20 мг/кг Cu. Olgun O et al. (2012) показали, что у птиц, получавших добавки Cu (от 75 до 300 мг/кг корма), был меньший процент битых яиц, более тяжелая и толстая скорлупа, чем без добавок Cu. Pekel AY и Alp M (2011) заявили, что введение органической меди в рацион не привело к статистическим изменениям качественных характеристик яиц и холестерина в желтке. Однако прочность скорлупы была снижена у яиц от кур-несушек, получавших добавки с микроэлементами, включая неорганические и органические формы меди. Добавка хелата Cu-лизина в питьевую воду (30 мг/л) кур-несушек увеличила массу яиц, массу и высоту белка, не изменив при этом параметров прочности скорлупы по сравнению с контрольной птицей, не получавшей добавок (Brodacki A et al., 2018).

Дефицит меди в рационе кур приводит к возникновению аномалий в

скорлупе яиц (Palanisamy V et al., 2023). Скорлупа яиц кур, страдающих от дефицита меди, демонстрирует нетрадиционное расположение волокон мембраны скорлупы из-за изменений в поперечных связях, полученных из лизина. В конечном итоге это приводит к нарушениям формы и физических свойств яйца (El-Husseiny O et al., 2009). Кроме того, недостаток меди как микроэлемента, который является компонентом многочисленных ферментов и их активаторов, может снизить яйценоскость и увеличить частоту появления яиц с аномалиями размера и формы. Поэтому для достижения наилучшей яйценоскости и качества яиц рекомендуется определить минимальную эффективную дозу, форму и источник меди, а также сроки ее введения.

Влияние железа на организм кур-несушек. Железо является важным кофактором многих ферментов и участвует в переносе и хранении кислорода. Оно участвует в белковом и энергетическом обмене, повышает антиоксидантный статус и иммунитет (Andejekovic M et al., 2006). Железо участвует в нескольких важных реакциях, таких как перенос и хранение кислорода, а также энергообеспечение и белковый обмен, которые контролируют яйценоскость (Xie C et al., 2019). Seo YM et al. (2010) заявили, что обеспечение рациона железом в количестве 100 мг/кг усиливает образование и распад эритроцитов, а также влияет на цвет яиц у кур коричневого типа благодаря его роли в производстве протопорфирина (основного коричневого пигмента скорлупы). По сравнению с группой, получавшей недостаток Fe перед началом опыта, Fe повышает яйценоскость и гемоглобин крови без изменения цвета скорлупы и состава яиц (Noh HJ et al., 2017). Xie C et al. (2019) показали, что применение в рационе Fe-глицина (Gly) (20, 40, 60 и 80 мг/кг) улучшило показатели яиц (высота белка и единицы Хау) по сравнению с контролем, который получал 60 мг/кг Fe в виде FeSO₄. Тем не менее, добавление Fe-Gly в рацион не оказало значительного влияния на ультраструктуру скорлупы. Содержание Fe в скорлупе, желтке и белке повышалось в зависимости от уровня Fe-Gly в рационе, где содержание Fe-Gly (60 или 80 мг/кг) в белке и желтке было выше, чем в контроле. Bertechini AG et

al. (2000) отметили более высокую концентрацию железа в яйце, когда основной рацион был обогащен 80 мг/кг Fe в виде FeSO₄. Кроме того, Paik IK (2001) обнаружил, что использование хелатного Fe увеличивает содержание железа в желтке на 20%.

Обогащение яиц минералами может быть достигнуто за счет введения в рацион микроэлементов. Кроме того, железо является одним из наиболее значимых микроэлементов для домашней птицы, играя важную роль в производстве и качестве яиц. Поэтому для повышения этих параметров необходимо обеспечить подходящую концентрацию Fe.

1.5 Наночастицы микроэлементов и их влияние на организм птицы

За последние несколько десятилетий нанотехнологии стали перспективной технологией для нескольких полезных применений в химии, физике, биологии и медицине, включая биомедицину, упаковку пищевых продуктов и применение в питании (Scrinis G, Lyons K, 2007). Они обладают огромным потенциалом для революции в животноводстве для различных целей, таких как терапия, диагностика, антимикробные кормовые добавки и минеральные добавки (Gopi M et al., 2017). Нанокормовые вещества могут помочь в повышении эффективности кормов, снижении их стоимости, увеличении выхода и ценности животноводческой продукции (Grodzik M et al., 2013). Среди нескольких наноматериалов использование минеральных НЧ в качестве минеральных добавок в питании сельскохозяйственных и водных животных для эффективного усвоения минералов с целью улучшения их использования и повышения продуктивности (Cholewińska E et al., 2018). Наноминералы могут быть более биодоступными благодаря большей площади поверхности, меньшему размеру и измененным свойствам. Антагонизм минералов в кишечнике или на клеточном уровне может вызвать изменения в поглощении, транспортировке и выведении различных минералов, что приводит к минеральному дисбалансу (Joshua PP et al., 2016). Кроме того,

поскольку минеральные НЧ имеют различные механизмы поглощения, они могут обладать большей биодоступностью за счет снижения антагонистических эффектов между двухвалентными катионами (Ruenraroengsak P et al., 2010). В связи с этим в последнее время было проведено несколько исследований по оценке минеральных НЧ в качестве минеральных добавок для улучшения роста и других показателей питательности у свиней (Hung AT et al., 2014), овец и коз (Shi L et al., 2011), но в большинстве из них изучалась реакция минеральных НЧ на птицу.

Многие минеральные НЧ, включая НЧ серебра, золота и титана, изучались как антимикробные агенты в кишечнике и иммуномодулирующие эффекты у животных. НЧ серебра, например, показали антимикробный эффект в кишечнике и иммуностимуляцию у животных (Pineda L et al., 2012). Рационы, содержащие НЧ серебра в дозах от 2 до 10 мг/кг, увеличивали прирост массы тела и общий антиоксидантный статус сыворотки крови у птиц (28). Птицы, получавшие НЧ серебра в дозе 4 мг/кг, демонстрировали лучшие показатели роста и эффективности кормления по сравнению с цыплятами-бройлерами, получавшими высокую дозу (10 мг/кг). В этом исследовании НЧ серебра снижало количество кишечной палочки, но не влияло на лактобактерии (Elkloub K et al., 2015). Использование НЧ серебра в питьевой воде в дозах 5, 15 и 25 мг/л не повлияло на рост и количество микроорганизмов в кишечнике, но увеличило количество лактобацилл и антиоксидантную активность. Более того, эти дозы не вызывали повреждающего действия на энтероциты ворсинок (Sawosz E et al., 2007). Kulak E et al. (2018) сообщили, что НЧ серебра (5-40 нм) в питьевой воде в дозах 2,9 и 12 мг/л улучшали иммунный и антиоксидантный статус, но уменьшали высоту кишечных ворсинок. Кроме того, сообщалось, что НЧ серебра (3,5 нм) в питьевой воде (50 мг/л) снижали прирост массы тела, ухудшали иммунные функции и не оказывали антибактериального действия на различные группы кишечных бактерий (Vadalasetty KPCL et al., 2018).

НЧ золота в малых дозах (<1 мг/кг рациона) стимулировали врожденный иммунитет, в то время как большие дозы вызывали воспалительные реакции у

цыпляют (Sembratowicz I, Ognik K, 2018). Использование наноминералов, например, минеральных НЧ меди (Cu), селена (Se) или цинка (Zn), в качестве минеральных добавок может улучшить продуктивность сельскохозяйственных животных, и они могут быть использованы в кормах в больших концентрациях по сравнению с неорганическими солями и органическими хелатированными минералами. Некоторые из основных минеральных НЧ обладают сильным антибактериальным действием по сравнению с другими формами минералов. Антибактериальные эффекты минеральных НЧ в кишечнике сельскохозяйственных животных и птицы были рассмотрены в работах (Gangadoo S et al., 2016).

Влияние наночастиц цинка на организм кур-несушек. Цинк - один из самых важных микроэлементов, необходимых для многочисленных метаболических и химических процессов, а также различных физиологических функций. Он участвует в деятельности более 200 ферментов всех шести энзимных типов, которые связаны с метаболизмом углеводов, липидов, белков и нуклеиновых кислот, гормональной секрецией и иммунной защитой (Park SY et al., 2004).

Цинк обычно добавляют в рационы птицы для оптимального роста, развития костей, оперения и иммунитета в количестве 0,12-0,18 г/кг. Неорганические кормовые источники Zn - оксид цинка (ZnO) и сульфат цинка (ZnSO₄) - широко используются в кормах для птицы. Из дополнительного Zn 80-90% используется в виде ZnO, который менее биодоступен и реактивен, чем сульфат Zn (Sandoval M et al., 1997). С другой стороны, сульфат обладает высокой реакционной способностью, способствуя образованию свободных радикалов из реактивных ионов металлов, которые могут участвовать в реакциях, разрушающих витамины, жиры и масла, снижая питательную ценность рационов (Batal AB et al., 2001).

Mishra A et al. (2014) сообщили, что добавка НЧ ZnO на уровне 1/500 от базового уровня в рационе несушек увеличила скорость роста, концентрацию глюкозы в сыворотке крови и активность щелочной фосфатазы, а также снизила

активность аланин-аминотрансферазы.

Zn является кофактором фермента карбоновой ангидразы, который необходим для синтеза карбонатных ионов во время формирования скорлупы, а дефицит Zn снижает качество скорлупы. Поэтому предполагается, что введение Zn в рацион улучшит продуктивность и качество яиц. Abedini M et al. (2018) сравнили четыре дозы (0, 40, 80, 120 мг/кг) НЧ ZnO (10-30 нм) на курах-несушках и сообщили о значительном улучшении конверсии корма, массы яиц, яйценоскости, толщины и прочности скорлупы, а также прочности костей голени при дозах 40 и 80 мг/кг. Улучшение качества скорлупы может быть связано с каталитическими свойствами Zn, входящего в состав важных ферментов, участвующих в формировании оболочки и скорлупы, или взаимодействием с кристаллами Ca в процессе синтеза скорлупы. В другом исследовании, проведенном той же исследовательской группой (Abedini M et al., 2017), сравнивались три формы добавок Zn с 80 мг Zn/кг рациона из НЧ ZnO (20 нм), неорганической формы цинка и Zn-метионин хелата, в результате чего было установлено, что добавки Zn в рацион не влияют на потребление корма, коэффициент конверсии корма, яйценоскость, прочность и вес скорлупы, вес желтка и альбумина, цвет желтка и морфометрию голеней. Аналогичным образом, такие источники Zn, как ZnO, Zn-протеинат и НЧ ZnO (30 нм), не оказывали существенного влияния на продуктивность, массу яиц, вес яиц, вес скорлупы, прочность скорлупы на разрыв и параметры костей голени (Cufadar Y et al., 2019). Однако, введение НЧ ZnO оказывало противоречивое действие на концентрацию минералов и другие параметры скорлупы яиц. Наночастицы ZnO в рационе увеличивали массу яйца, толщину скорлупы, прочность костей голени, содержание Zn в голени, печени и желтке по сравнению с обычным ZnO, в то время как в данном исследовании содержание Ca и P в скорлупе снизилось, хотя содержание Zn в сыворотке, голени и печени не изменилось. Содержание малондиальдегида в желтке после индукции окисления было ниже для наночастиц ZnO, чем для ZnO (Abedini M et al., 2017). Противоречивые результаты трех вышеупомянутых исследований

(Olgun O, Yildiz AO, 2017) не ясны, хотя исследование минерального баланса показало, что содержание Zn в экскрементах уменьшилось, когда курам скармливали наночастицы ZnO по сравнению с органическим и неорганическим Zn (Cufadar Y et al., 2019).

Существуют противоречивые результаты по изменению показателей крови под влиянием добавки НЧ Zn. Abedini et al. (2018) отметили, что добавка наночастиц ZnO в дозах 40, 80 и 120 мг/кг повышает активность супероксиддисмутазы в печени, поджелудочной железе и плазме крови. Кроме того, содержание малондиальдегида в яйцах было снижено в группах, получавших добавку этих НЧ. Активность супероксиддисмутазы в печени увеличилась, а содержание малондиальдегида в яйцах уменьшилось при той же дозе (80 мг Zn/кг диеты) под действием НЧ ZnO по сравнению с крупными частицами ZnO. Mohammadi F et al. (2015) наблюдали, что добавление в рацион наночастиц ZnO (100 и 200 мг/кг рациона) увеличило относительный вес желудочка (содержащего 200 мг НЧ ZnO) и относительный вес поджелудочной железы (содержащей 100 мг НЧ ZnO) по сравнению с другими видами лечения.

Влияние наночастиц селена на организм кур-несушек. Селен (Se) является составной частью более 25 селенопротеинов, включая многие важные ферменты. Дефицит Se повышает риск развития дистрофии поджелудочной железы, миопатии, иммунодефицита, алиментарной мышечной дистрофии и снижения продуктивности птицы (Habibian M et al., 2015). Потребность в Se составляет от 0,1 до 0,15 мг/кг в различных рационах для птицы. Неорганический селенит натрия и селенат натрия, а также органический селен-метионин и дрожжи Se обычно используются в качестве добавки Se в рационах птицы. Как правило, органические формы Se лучше всасываются из желудочно-кишечного тракта, чем неорганические формы (в частности, селенит), причем всасывание селен-метионина составляет более 90% по сравнению с селенитом на уровне 60%. Кроме того, селен-метионин удерживается в тканях более эффективно, чем селенит или селенат (Fairweather-Tait S, 1997).

Введение в рацион кур-несушек НЧ Se в дозе 0,5 мг/кг улучшило

показатели яйценоскости, активности GPx и общего антиоксидантного статуса, а также значительно снизило количество яиц с мягкой скорлупой или трещинами (Qu W et al., 2017). Однако показатели качества яиц, такие как масса яйца, единицы Хау, цвет желтка, толщина скорлупы и прочность скорлупы, не имели значительных различий в группах в вышеуказанном исследовании. Mohapatra P et al. (2014) использовали два источника Se (наночастицы Se и селенит натрия) в дозе 0,30 мг/кг в виде селенита натрия и 0,075, 0,15, 0,30 и 0,60 мг/кг в виде наночастиц для выращивания несушек и сообщили об увеличении прироста массы тела и снижении отношения корма к приросту во всех группах, обработанных НЧ Se (до дозы 0,3 мг/кг рациона), по сравнению с селенитом натрия и контрольной группой. Кишечный транспорт НЧ Se из просвета кишечника в организм был выше, чем у других источников Se. Однако, использование НЧ Se более 2 мг/кг является токсичным, так как активность GPx, содержание IgM, глутатиона и малондиальдегида, ингибирование свободных радикалов в сыворотке крови, печени и мышцах было лучше у птиц, получавших 0,3 мг/кг НЧ Se, в то время как птицы, получавшие 2,0 мг/кг НЧ Se, показали отрицательный эффект на эти параметры (Hu CH et al., 2012). Это свидетельствует о антиоксидантной активностью НЧ Se в широком диапазоне концентраций НЧ Se по сравнению с селенитом натрия. Предполагается, что токсичность НЧ Se может быть ниже, чем у селен-метионина (Cai C et al., 2013).

Таким образом НЧ Se оказывают различное влияние на производственные показатели кур-несушек по сравнению с основными источниками Se, что, вероятно, связано с различным количеством Se, присутствующего в основных рационах. Тем не менее, наночастицы Se оказывают очевидное влияние на удержание Se в тканях и активность GPx у птицы при меньшем токсическом воздействии.

Влияние наночастиц марганца на организм кур-несушек. Марганец (Mn) - важнейший микроэлемент, необходимый для правильного функционирования антиоксидантной и иммунной систем.

Крупные частицы оксида Mn (MnO) в сравнении с формами НЧ Mn (размер 203 нм; Mn_2O_3) в трех дозировках (10, 50 и 100 мг/кг рациона) были изучены на индейках (Ognik K et al., 2018). Обе этих формы Mn не влияли на потребление корма, прирост массы тела и коэффициент конверсии корма, а кроме того, на общее содержание глутатиона и малондиальдегида, активность GPx и супероксиддисмутазы в крови (Ognik K et al., 2018), активность аминопептидазы в грудных и бедренных мышцах (Jozwik A et al., 2018), но повышали общий антиоксидантный статус при дозе 50 мг/кг и снижали содержание церулоплазмينا при дозе 100 мг/кг. Аналогично, Jankowski J et al. (2018) сравнивали оксид Mn с НЧ оксида Mn (40-60 нм) в дозах 10, 50 и 100 мг/кг рациона и не наблюдали влияния на потребление корма и суточный прирост массы тела, но коэффициент конверсии корма был ниже. Кроме того, НЧ Mn не влияли на уровень супероксиддисмутазы, GPx, общий антиоксидантный статус, содержание малондиальдегида и перекисное окисление липидов в крови/печени, концентрацию IgA, IgY и IL-6 в крови, хотя уровень Mn в сыворотке крови имел тенденцию к повышению. Высокая доза НЧ Mn, по-видимому, усиливает апоптоз, поскольку повышает уровень каспазы-3. Lotfi L et al. (2014) сообщили об увеличении массы большеберцовой кости благодаря добавлению НЧ Mn, а также отметили, что НЧ сульфата Mn увеличивали длину, объем, прочность на разрыв и диаметр большеберцовой кости по сравнению с крупными частицами сульфата Mn, но оксид Mn по сравнению с НЧ оксида Mn и карбонат Mn по сравнению с НЧ карбоната Mn не влияли на характеристики костной ткани. В целом, эти исследования позволяют предположить, что НЧ Mn незначительно влияют на показатели роста, но могут улучшать антиоксидантный статус и некоторые характеристики костей птицы в зависимости от химической формы и размера.

Влияние наночастиц меди на организм кур-несушек. Медь необходима для различных биохимических реакций и физиологических функций, таких как составляющие и кофакторы нескольких ферментных систем, иммунный ответ, развитие соединительной ткани и костей, развитие плода и раннее

постнатальное развитие, а также для правильной работы нервной системы (Pineda L et al., 2013), и улучшает продуктивность домашней птицы. Потребность в меди в рационе обычно удовлетворяется с помощью неорганического сульфата меди (Karimi A et al., 2011). В последнее время стали изучаться НЧ Cu благодаря лучшей абсорбции в кишечнике и функционированию на молекулярном уровне (Ognik K et al., 2016), что может снизить дозы Cu и уменьшить ее выброс в окружающую среду.

Исследования показали, что наночастицы CuO более эффективны в повышении продуктивности и иммунитета по сравнению с традиционными источниками Cu с большими размерами частиц (Lianqin Z et al., 2007). Ramesh J (2014) в своем исследовании вводил НЧ сульфата Cu (50 и 25%) в основной рацион с минеральной смесью для кур-несушек. Группы с НЧ Cu содержали на 50 и 75 % меньше сульфата меди по сравнению с контролем. Несмотря на снижение потребления НЧ Cu, это не оказало негативного влияния на массу тела, яйценоскость, массу яиц и качество скорлупы. Более того, концентрация повторно активных веществ тиобарбитуровой кислоты и 8-гидрокси-2'-дезоксигуанозина в печени снизилась при 25 и 50%-ном уровне НЧ Cu по сравнению со стандартной дозой (7,5 мг/кг) CuSO₄, что может указывать на защитную роль наночастиц против перекисного окисления липидов и окислительного повреждения ДНК (Sawosz E et al., 2018). В заключение, эти исследования показывают, что потребность в Cu для домашней птицы должна быть пересмотрена при использовании НЧ Cu.

Во многих исследованиях изучалось введение НЧ Cu птице *in ovo*. Pineda L et al. (2013) сообщили, что введение наночастиц Cu *in ovo* в дни 1 и 10 во время инкубации снизило потребление кислорода и выделение тепла по сравнению с контрольной группой. Кроме того, введение наночастиц снижало окисление липидов. Помимо этого, вес органов (кишечника, сердца и печени) по отношению к весу тела без желтка у эмбрионов, которым вводили наночастицы был ниже. Mroczek-Sosnowska N et al. (2015; 2016; 2017) опубликовали ряд работ о наночастицах Cu для введения птице *in ovo*.

Введение 50 мг НЧ Cu и CuSO₄ in ovo во время инкубации и последующего 42-дневного выращивания птиц показало увеличение уровня эритроцитов и лейкоцитов в крови. Введение наночастиц (0,3 мл с содержанием 50 мг/л) in ovo не повлияло на эмбриональное развитие, такое как вес тела, сердца, печени или селезенки, на 20-й день по сравнению с НЧ CuO, но НЧ Cu действовали более эффективно на молекулярном уровне, изменяя мРНК-концентрацию и экспрессию генов про-ангиогенных и про-пролиферативных генов. Наряду с этим наблюдалось снижение концентрации глюкозы и холестерина в сыворотке крови, повышение уровня отдельных микроэлементов, включая Ca, P и железо.

Предполагается, что НЧ CuO быстро транспортируются в клетки по сравнению с CuSO₄ и микрочастицами CuO, а затем взаимодействуют с транспортными белками меди (Gao C et al., 2014). Кроме того, отсутствие антагонизма наночастиц CuO с Zn (Na P et al., 2011) может указывать на то, что эти наночастицы могут поглощаться по другому пути, чем источники Cu с более крупными размерами частиц.

Влияние наночастиц железа на организм кур-несушек. Железо (Fe) необходимо для синтеза гемоглобина и миоглобина, которые переносят кислород в организме. Кроме того, оно необходимо для активности пероксидаз, гидроксилаз и каталазы. Исследования показали, что введение Fe в рацион повышает прирост массы тела, снижает коэффициент конверсии корма, улучшает гематологический и биохимический профиль, яйценоскость и продуктивность птицы (Miroshnikov SA et al., 2017). Лишь в нескольких исследованиях изучалось использование НЧ Fe в птицеводстве для улучшения показателей роста, гематологических характеристик и иммунитета при сопоставимых дозах (Chegeni MM et al., 2019). При разведении перепелов НЧ Fe в сравнении с Fe-сульфатом в дозе 60 мг/кг рациона не влияло на потребление корма, массу яиц, яйценоскость и качество яиц, но коэффициент конверсии корма снижался. Помимо этого, в данном исследовании не было отмечено влияния на продуктивность, выводимость и рост цыплят (Mohammadi N. et al., 2017). В другом исследовании увеличение прироста массы и снижение

коэффициента конверсии корма наблюдалось при добавлении НЧ Fe по сравнению с Fe-сульфатом в дозе 120 мг/кг рациона у перепелов (Rahmatollah DA et al., 2017) и в дозе 7 мг/кг рациона у цыплят-бройлеров (Sizova EA et al., 2016), хотя на гематологические и биохимические показатели это не повлияло. Yausheva EV et al. (2016) отметили улучшение роста массы тела, удержания Fe в тканях и гематологических показателей у цыплят-бройлеров, которым внутримышечно вводили наночастицы Fe в дозе 2 мг/кг массы тела. Введение НЧ Fe *in ovo* не повлияло на выводимость, вес цыплят, содержание гемоглобина и концентрацию Fe в крови и печени при сопоставимых дозах Fe с более крупным размером частиц (Saki AA, Abbasinezhad RAA, 2014). Однако высокие дозы наночастиц железа могут вызвать замедление эмбрионального роста и повреждение нервов у цыплят (Patel S et al., 2017).

Сравнение цистеинового покрытия НЧ Fe (0,6, 6 и 60 мг/кг) с неорганическим оксидом железа (60 мг/кг) показало более высокий процент яичной массы и яйценоскости у птиц, получавших 6 мг/кг цистеинового покрытия нано-Fe, чем при других обработках. Тем не менее, у птиц, получавших 60 мг/кг цистеина, покрытого нано Fe, наблюдалась более высокая недельная масса яиц по сравнению с другими экспериментальными группами (Mohammadi H. et al., 2017). Нано Fe также значительно улучшил плодовитость птиц по сравнению с оксидом железа. Наибольшая масса суточных цыплят наблюдалась у птиц, которым скормливали наночастицы Fe. При сочетании с аргинином, лизином и метионином повысилась эффективность использования железа и рост цыплят (Rahmatollah DA et al., 2017).

Таким образом, проведенный анализ указывает на возможность использования комплекса минеральных и биоактивных веществ в рационе сельскохозяйственных птиц для нивелирования погрешностей кормления, активации метаболических функций, путем создания благоприятной среды для развития положительного бактериального фона в кишечнике.

2 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Материалы и методы исследования

Исследования проводились в период с 2022 по 2025 год на базе лаборатории биологических испытаний и экспертиз и лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве с использованием современной лабораторной базы Испытательного центра «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук». Производственная проверка проводилась на производственной площадке ЗАО «Птицефабрика Оренбургская, www.pfo56.ru).

Объектом исследований являются куры-несушки кросса Хайсекс Браун (ЗАО «Птицефабрика Оренбургская, www.pfo56.ru).

Целью первой серии исследований является сравнительное изучение биологических эффектов, связанных с включением пробиотических и фитобиотических препаратов в рацион кур-несушек и оценка элементного статуса организма с целью дальнейшей его корректировки. Схема исследований представлена в таблице 1.

Таблица 1. Схема I экспериментального исследования

Объект исследования	Группа	Период опыта	
		подготовительный (90-110 сут.)	учетный (110-210 сут.)
Куры-несушки кросса «Хайсекс Браун» (n=120)	контрольная	Основной рацион (ОР)	ОР
	I опытная		ОР ₁
	II опытная		ОР ₂
	III опытная		ОР ₃

Примечание:

ОР – основной рацион ПК-1 по рекомендациям ВНИТИП, 2015; ОР₁ – рацион с содержанием препарата «Лактобифадол-Форте»; ОР₂ – рацион с содержанием препарата «Ветом 1.1»; ОР₃ – рацион с содержанием препарата «Дигестаром П.Е.П. 1000».

Для проведения исследований методом групп-аналогов из 110-суточных кур-несушек массой 1200-1300 г. сформировали 4 группы по 30 голов в каждой.

Контрольная группа в период со 110 по 210 сутки получала основной рацион, состоящий из пшеницы, отрубей, соевого и подсолнечного шротов, мясной муки, подсолнечного масла и витаминно-минерального премикса, состав которого представлен в приложении 1.

Курам-несушкам I опытной группы в период со 110 по 210 сутки в рацион включали препарат «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1,5 г/кг корма, II опытной препарат «Ветом 1.1» в дозировке 1,5 г/кг корма, а III опытная группа получала препарат «Дигестаром® П.Е.П. 1000» в дозировке 1 г/кг корма.

Характеристики вводимых биологически активных добавок:

1. Лактобифадол-Форте (производства биотехнологической фирмы «Компонент» (г. Бугуруслан, Оренбургская область)) содержит смесь живых ацидофильных и бифидобактерий, высушенных сорбционным методом на естественных носителях (отруби) растительного происхождения (в 1 г не менее 80 млн. живых клеток бифидобактерий и 1 млн. живых клеток лактобактерий).

2. Ветом 1.1 (производства ООО НПФ «Исследовательский центр», Новосибирская область, п. Кольцово) содержит в своем составе на 5 г порошка: экстракт кукурузный – 2000 мг; крахмал картофельный – 1500 мг; сахароза (сахарная пудра) – 1000 мг; сухая культура пробиотических микроорганизмов *Bacillus subtilis* рекомбинантный штамм ВКПМ В-10641 (DSM 24613), 1×10^8 КОЕ/г – 500 мг.

3. Дигестаром® П.Е.П. 1000 (производства компании «Биомин», Москва) содержит в своем составе на 1 г препарата: анетол 0,2 г/кг, карвакрол 13,7 г/кг, лимонен 0,7 г/кг на неорганическом силикатном носителе с компонентом для предотвращения слеживания.

На основании результатов первого экспериментального исследования были определены микроэлементы, которые принимают активное участие в обменных процессах организма птицы. Комплекс данных микроэлементов вводился совместно с пробиотическим препаратом для оценки их сочетанного действия на организм птицы. Для проведения II экспериментального

исследования методом групп-аналогов из 120-суточных кур-несушек были сформированы 5 групп по 30 голов в каждой. Продолжительность эксперимента составила 180 суток (табл. 2)

Таблица 2. Схема II экспериментального исследования

Объект исследования	Группа	Период опыта	
		подготовительный (90-120 сут.)	учетный (120-300 сут.)
Куры-несушки кросса «Хайсекс Браун» (n=150)	контрольная	Основной рацион (ОР)	ОР
	I опытная		ОР ₁ +МЭ
	II опытная		ОР ₂ +МЭ
	III опытная		ОР ₃ +МЭ
	IV опытная		ОР+МЭ

Примечание: ОР – основной рацион ПК-1 по рекомендациям ВНИТИП, 2015;

ОР_{1,2,3}+МЭ – основной рацион с пробиотиком «Лактобифадол-Форте» в различных дозировках и комплекс хелатных форм микроэлементов;

ОР+МЭ – основной рацион с комплексом хелатных форм микроэлементов.

Кормление кур-несушек всех групп осуществлялось в соответствии с рекомендациями ВНИТИП (2015), рацион замешивался самостоятельно путем ступенчатого смешивания из компонентов, представленных в приложении 1. Опытные группы в учетный период получали рацион с заменой зерновой части на пробиотик и хелатные формы микроэлементов (МЭ) с заменой на неорганические формы. I опытная группа - пробиотик «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1,5 г/кг корма и МЭ, II опытная группа «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1 г/кг корма и МЭ, III опытная группа получала пробиотик «Лактобифадол-Форте» в дозировке 0,5 г/кг корма и МЭ, а IV опытная группа получала основной рацион с и МЭ.

Комплекс хелатных форм микроэлементов состоял из глицината меди в дозировке 20 мг/кг корма, глицината железа в дозировке 200 мг/кг корма, глицината марганца в дозировке 90 мг/кг корма, селена метионина в дозировке 40 мг на кг корма и цитрата цинка в дозировке 200 мг на кг корма. Характеристики вводимых хелатных форм представлен в таблице 3.

Таблица 3. Характеристики вводимых хелатных микроэлементов

Название МЭ	Производитель	Форма МЭ, наполнитель	Чистота МЭ	Доза введения на кг корма	Чистого вещества на кг корма
Cu	Rancosma S.A., Швейцария	Глицинат меди (90%), вода (10%)	24%	20 мг	4,8 мг
Fe	Rancosma S.A., Швейцария	Глицинат железа (89%), вода (11%)	22%	200 мг	44 мг
Mn	Rancosma S.A., Швейцария	Глицинат марганца (97%), вода (3%)	22%	90 мг	19,8 мг
Se	Vitascience, Россия	Селена аминокислотный хелатный комплекс (метионин), микрокристаллическая целлюлоза - носитель, крахмал кукурузный - стабилизатор, тальк – агент антислеживающий.	0,3%	40 мг	120 мкг
Zn	Vitascience, Россия	микрокристаллическая целлюлоза E460 (i), декстроза; цинка цитрат; антислеживающие агенты: стеарат магния E470, диоксид кремния аморфный E551; носитель: кроскармеллоза натрия E468; антислеживающий агент: тальк E553 (iii).	10%	200 мг	20 мг

Для проведения III экспериментального исследования по оценке влияния комплекса Ультрадисперстных частиц (УДЧ) микроэлементов Cu, Fe, Mn, Zn и селенита натрия совместно с пробиотиком «Лактобифадол-Форте» методом групп-аналогов из 180-суточных кур-несушек были сформированы 5 групп по 30 голов в каждой. Продолжительность эксперимента составила 60 суток (табл. 4)

Таблица 4. Схема III экспериментального исследования

Объект исследования	Группа	Период опыта	
		подготовительный (150-180 сут.)	учетный (180-240 сут.)
Куры-несушки кросса «Хайсекс Браун» (n=150)	контрольная	Основной рацион (ОР)	ОР
	I опытная		ОР ₁ +МЭ
	II опытная		ОР ₂ +МЭ
	III опытная		ОР ₃ +МЭ
	IV опытная		ОР+МЭ

Примечание: ОР – основной рацион ПК-1 по рекомендациям ВНИТИП, 2015;

ОР_{1,2,3}+МЭ – основной рацион с пробиотиком «Лактобифадол-Форте» в различных дозировках и комплекс ультрадисперсных частиц микроэлементов;
ОР+МЭ – основной рацион с комплексом ультрадисперсных частиц микроэлементов.

Кормление кур-несушек всех групп осуществлялось в соответствии с рекомендациями ВНИТИП (2015), рацион замешивался самостоятельно из компонентов, представленных в приложении 1. Опытные группы в учетный период получали рацион с заменой зерновой части на пробиотик и неорганических форм микроэлементов премикса на эти же микроэлементы в форме УДЧ. I опытная группа получала пробиотик «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1,5 г/кг корма и МЭ, II опытная группа получала пробиотик «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1 г/кг корма и МЭ, III опытная группа получала пробиотик «Лактобифадол-Форте» в дозировке 0,5 г/кг корма и МЭ, а IV опытная группа получала основной рацион с добавлением комплекса микроэлементов.

Комплекс УДЧ микроэлементов состоял из меди (50 нм) в дозировке 4,8 мг/кг корма, УДЧ железа Fe₃O₄ (80 нм) в дозировке 44 мг/кг корма, УДЧ марганца (50 нм) в дозировке 19,8 мг/кг корма, селенит натрия в дозировке 260 мкг на кг корма и УДЧ цинка ZnO (40 нм) в дозировке 20 мг/кг корма.

Используемые в экспериментальных исследованиях УДЧ производились в «Лаборатории синтеза наноструктур» ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

Металлическую медь 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°C в атмосфере азота и атмосферном давлении. Осадок промывался 4 раза деионизированной водой и один раз этанолом.

УДЧ железа синтезировался методом соосаждения. Восстановление из хлорида железа (2) и (3) водным раствором аммиака. Чистота реагентов 99.88% и 99.99%. Синтез проводился при 25°C в атмосфере азота при атмосферном

давлении. Осадок промывался 4 раза деионизированной водой и один раз ацетоном.

УДЧ марганца синтезировались способом растворения металлоорганического прекурсора марганца в сверхкритическом диоксиде углерода в реакторе высокого давления в присутствии в качестве окислителя чистого кислорода, термическую обработку полученного раствора при температуре, превышающей температуру разложения металлоорганического прекурсора и последующую декомпрессию реактора.

Селенит натрия является смесью соли натрия и селенистой кислоты. Представляет собой белый кристаллический порошок. Содержит не менее 98% основного вещества Na_2SeO_3 и чистого селена 46%.

УДЧ цинка получался методом осаждения и термического разложения. Осаждение гидроксида цинка из раствора нитрата цинка гидроксидом калия при комнатной температуре и давлении. Чистота реагентов 99.95% и 99.99%. Осадок промывался 3 раза деионизированной водой. Термическое разложение гидроксида цинка при 500°C в течении 3 часов при атмосфере воздуха и атмосферном давлении.

Для приготовления комбикорма использовали метод ступенчатого смешивания. Содержание птицы проводилось согласно «Руководство по работе с птицей кросса Хайсекс Браун» (2007). Кормление осуществлялось 1 раз в сутки, поение осуществлялось групповым методом согласно рекомендациям ВНИТИП 2015 г.

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 (Фисинин В.И. и др., 2013). Птица содержалась в типовых клетках для кур-несушек БН-1 производства компании «Стимул-Инк». Микроклимат в помещении соответствовал требованиям ОНТП-4-88.

Динамика ростовых показателей оценивалась путем индивидуального взвешивания до кормления (± 1 г) каждые 50-60 суток. Поедаемость, расход

корма и яичная продуктивность фиксировались ежедневно.

Для проведения балансового опыта учитывалось количество помёта (ежесуточный сбор и взвешивания в течение 5 дней), в частности 20-50 % гомогенизированной массы помёта помещалось в пластиковые контейнеры. Фиксация азота помёта производилась 0,1н. раствором щавелевой кислоты из расчета: 4 мл – на 100 г помета. Пробы помета высушивались при температуре 60-70°C, размалывались и помещались в банку с притёртой пробкой.

Морфологические показатели яиц определялись по общепринятым методикам. Взвешивание яиц проводилось индивидуально ($\pm 0,01$ г), плотность яиц определялась на основании двухкратного взвешивания в воздухе и воде и рассчитывалась по формуле:

$$P = m/(m-m_1),$$

где P – плотность яйца; m – масса яйца в воздухе; m_1 – масса яйца в воде.

Малый и большой диаметр яйца, высоту и диаметр белка и желтка отдельно определяли с помощью штангенциркуля и затем рассчитывали индекс формы яйца, белка и желтка по формулам:

$Иф = D/d \times 100$, где $Иф$ – индекс формы яйца, %, D – большой диаметр яйца, мм, d – малый диаметр яйца, мм.

$Иб = H/((D+d)/2) \times 100$, где $Иб$ – индекс белка, %, H – высота белка, мм, D – большой диаметр белка, мм, d – малый диаметр белка, мм.

$Иж = H/((D+d)/2) \times 100$, $Иж$ – индекс желтка, %, H – высота желтка, мм, D – большой диаметр желтка, мм, d – малый диаметр желтка, мм.

Толщина скорлупы определялась штангенциркулем ($\pm 0,001$ мм) после измерения массы составных частей яйца – белка, желтка и скорлупы.

Единицы Хау (EX) рассчитывали по формуле:

$EX = 100 \times \log (H - 1,7M \times 0,37 + 7,6)$, где EX – единица Хау; H – высота белка, мм; M – масса яйца, г; 1,7; 0,37; 7,6 — постоянные коэффициенты.

Энергетический обмен организма характеризовался путем определения значения валовой, обменной энергии по уравнениям регрессий, предложенных А.П. Калашниковым и др. (1985). Анатомическая разделка и оценка

химического состава проводилась по методике ВНИТИП (2004).

Химический состав помета, кормов, тканей тела и яиц кур-несушек 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), ГОСТ 31469-2012 (Методы физико-химического анализа яиц).

Элементный анализ в корме, теле, помете и яйцах, а также усвоение химических элементов организмом исследовалось методами атомно-эмиссионной спектromетрии и масс спектromетрии с индуктивно связанной плазмой (Optima 2000 V, «Perkin Elmer», США) и масс-спектротометрии (Elan 9000, «Perkin Elmer», США) в лаборатории АНО «Центра биотической медицины», г. Москва. Озоление проводили с использованием микроволновой системы разложения Multiwave-3000 («Anton Paar», Австрия).

Отбор крови у птиц для морфо-биохимических исследований осуществлялся утром из подкрыльцовой вены. Морфологические показатели крови определялись на гематологическом анализаторе URIT-2900 Vet Plus, (URIT Medial Electronic Co., Китай). Биохимический анализ на анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием наборов ДиаВетТест (Россия). Определение перекисей липидов (малонового диальдегида (МДА)) проводится в тесте с тиобарбитуровой кислотой (Андреева Л.И., Кожемякин Л.А., Кишкун А.А., 1988). Определение активности супероксиддисмутазы, каталазы и малонового диальдегида в плазме крови проводится спектрофотометрическим методом на Stat fax 1904 Plus. Определение перекисей липидов (малонового диальдегида (МДА)) проводилось в тесте с тиобарбитуровой кислотой (Андреева Л.И., Кожемякин Л.А., Кишкун А.А., 1988). Определение активности супероксиддисмутазы, каталазы и малонового

диальдегида в плазме крови проводилось спектрофотометрическим методом на Stat fax 1904 Plus.

Для метагеномного секвенирования образцы полостного содержимого слепого кишечника кур-несушек помещались в стерильные микропробирки с типа «эппендорф» («Nuova Aptaca S.R.L.», Италия), ДНК выделялась и очищалась по модифицированной методике (Андронов Е.Е., Пинаев А.Г., Першина Е.В., Чижевская Е.П., 2011). Для построения спектров оптической плотности (OD) и оценки чистоты препарата ДНК (по OD260/OD280) использовался спектрофотометр NanoDrop («Thermo Scientific», США), для измерения концентрации (нг/мкл) — флуориметр Qubit 2.0 («Invitrogen/Life Technologies», США). Анализ микрофлоры осуществлялся методом метагеномного секвенирования (Illumina MiSeq, «Illumina», США) с набором реагентов MiSeq® Reagent Kit v3 (600 cycle). Для биоинформатической обработки результатов используется программа PEAR (Pair-End AssembleR, PEAR v0.9.8) (Zhang J., Kobert K., Flouri T., Stamatakis A. PEAR: A fast and accurate Illumina Paired-End reAd merger. *Bioinformatics*, 2014, 30(5): 614-620 (doi: 10.1093/bioinformatics/btt593).). Фильтрация, дерепликация, удаление химерных последовательностей, кластеризация, сортировка (отсечка singletons), удаление контаминации выполнялось в программе USEARCH (usearch v8.0.1623_i86linux32, <http://drive5.com/usearch>).

Статистический анализ выполняли с использованием программного пакета Statistica 10.0 («StatSoftInc.», США) и Microsoft Excel. Статистическая обработка включала расчет среднего значения (M) и стандартные ошибки среднего ($\pm$ SEM). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на $p \leq 0,05$.

2.2 Результаты первого экспериментального исследования

2.2.1 Корма и зоотехнические показатели кур-несушек

Состав рациона был сбалансирован по основным показателям согласно рекомендациям ВНИТИП (2013 г), в соответствии со структурой рациона, применяемых на птицефабриках (прил. 1). Содержание химических элементов в корме представлено в приложении 2.

На основании оценки зоотехнических показателей выращивания кур-несушек (табл. 5) к 50 суткам эксперимента наибольшее снижение живой массы наблюдалось в I опытной группе на 1,9% относительно контрольной, а к 100 суткам разница составила 1,1%, в то же время в III опытной группе отмечался рост на 1,7% относительно контрольной группы.

Таблица 5. Зоотехнические показатели выращивания кур-несушек (110-210 сутки) при включении в рацион биологических активных веществ

Показатель	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Живая масса, г:				
Начало опыта	1760±60,0	1761±35,8	1761±64,2	1762±45,6
50 сутки	1873±74,0	1837±33,3	1870±76,9	1868±59,4
100 сутки	1866±61,0	1846±33,5	1860±78,1	1898±59,7
Поедаемость, кг/гол/опыт	13,3±0,49	12,6±0,57	13,4±0,50*	13,7±0,43
Яйценоскость, шт/гол/сут	0,90±0,04	0,98±0,08	0,90±0,04	0,97±0,02
Интенсивность яйценоскости, %	90	98	90	97
Средняя масса яйца, г	51,61±0,43	54,65±0,46*	53,76±0,57*	55,52±0,45*
Конверсия, кг корма на 10 яиц	1,48	1,28	1,49	1,41
Конверсия, кг корма на 1 кг яичной массы	2,86	2,35	2,76	2,54

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

Были установлены групповые различия, основанные на снижении

поедаемости корма на 5,42% в I опытной группе, на фоне увеличения во II опытной группе на 0,7% при сравнении с контрольной группой.

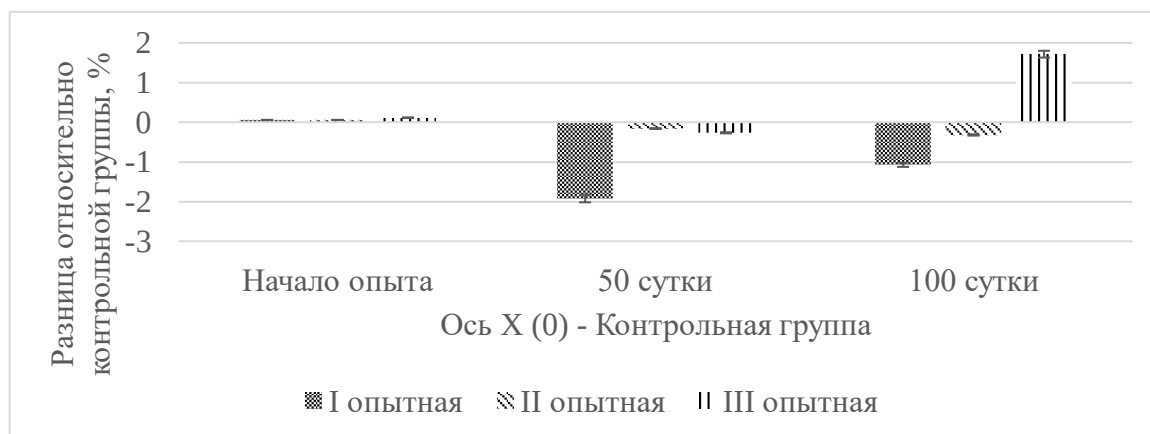


Рисунок 2. Разница в динамике живой массы кур-несушек опытных групп относительно контрольной, %

Средняя масса яиц (рис. 3) была достоверно выше по сравнению с контрольной на 5,9% ($p \leq 0,05$), 4,16% ($p \leq 0,05$) и 7,6% ($p \leq 0,05$) в I, II и III опытных группах соответственно.

Показатель яйценоскости во II опытной группе был на уровне показателей контрольной группы, а I и III опытные группы показали рост на 8,9% и 7,8% соответственно.

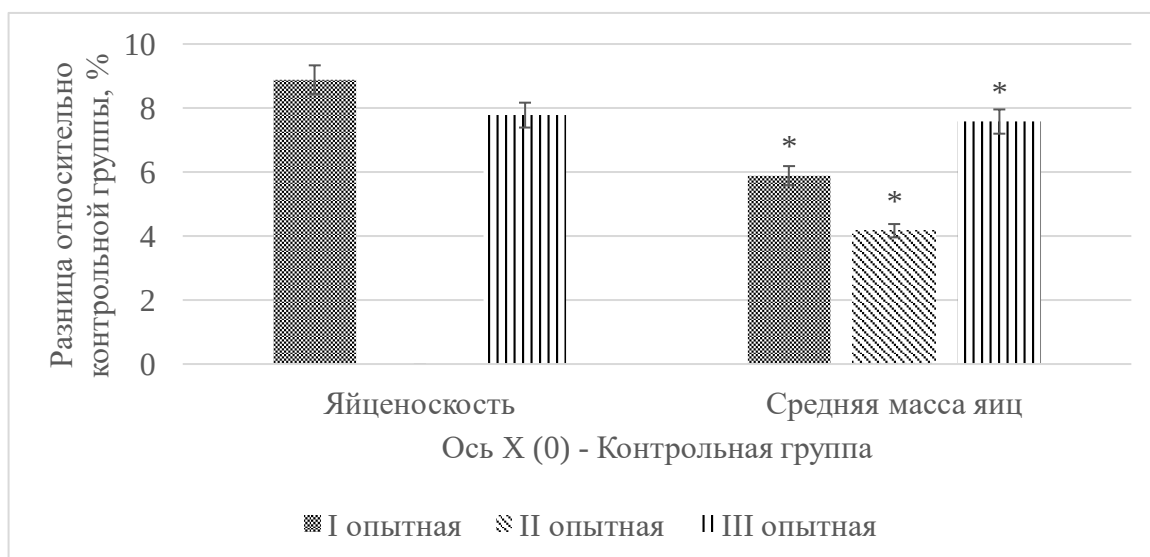


Рисунок 3. Разница в яйценоскости и массе яиц кур-несушек опытных групп относительно контрольной, %

Оценка конверсии корма на единицу продукции установила снижение

данного показателя в I и III опытных группах на 13,5% и 4,7% соответственно, тогда как во II опытной группе конверсия была выше на 0,67%. При пересчете на 1 кг яичной массы в I, II и III опытных группах установлено снижение конверсии относительно контрольной группы на 17,8%, 3,5% и 11,2% соответственно. Данная разница в показателях объясняется более высокой средней массой яйца и увеличением яйценоскости в опытных группах.

Таким образом, по большинству оцениваемых зоотехнических показателей положительным действием характеризовался препарат «Лактобифадол-Форте», на фоне снижения эффекта во II опытной группе, получавшей препарат «Ветом».

2.2.2 Переваримость питательных веществ рациона

Оценка переваримости питательных веществ (табл. 6) проводилась в конце учетного периода.

Таблица 6. Коэффициенты переваримости питательных веществ в организме кур-несушек при включении в рацион биологических активных веществ, %

Группа	Показатель				
	Сухое вещество	Органическое вещество	Сырой жир	Сырой протеин	Сырая клетчатка
контрольная	69,62±1,20	76,19±1,10	82,89±0,36	64,13±4,73	19,22±0,91
I опытная	73,99±0,05*	76,27±1,21	85,27±0,03*	66,27±3,07	19,98±1,06*
II опытная	66,80±1,16	74,72±1,09	83,80±0,57	66,75±6,89	18,6±0,90
III опытная	70,90±0,96	78,10±0,96	87,20±0,42*	72,79±5,72	18,98±0,80

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

В I опытной группе было отмечено достоверное увеличение переваримости сухого вещества на 4,4% ($p \leq 0,05$), сырого жира на 2,38% ($p \leq$

0,05) и углеводов на 3,03% ($p \leq 0,05$) и сырого протеина на 3,34% (рис. 4).

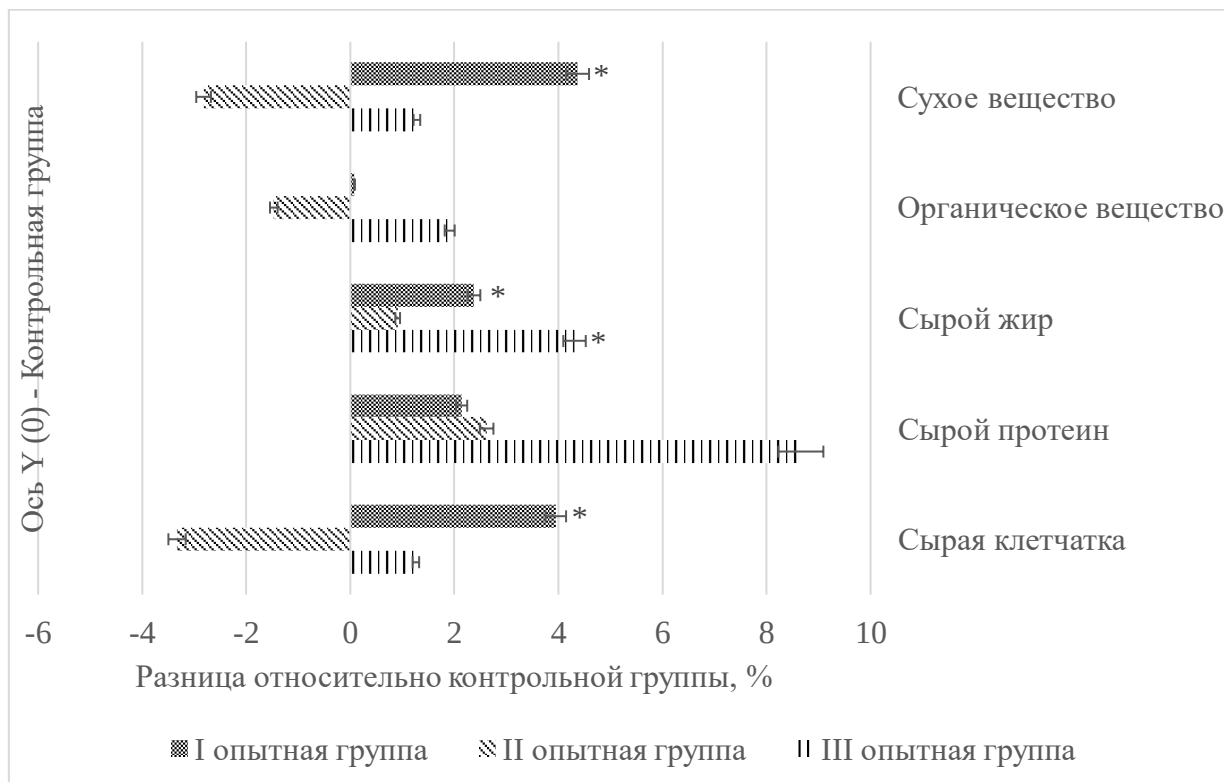


Рисунок 4. Разница в переваримости питательных веществ корма между опытными и контрольной группами, %

Во II опытной группе относительно контрольных значений снижение переваримости сухого вещества составило 2,8%, органического -1,5%, сырого протеина - 3,4% и углеводов 2,5%, а III опытная группа превосходила контрольную по переваримости сырого жира на 4,3% ($p \leq 0,05$).

2.2.3 Качественные показатели яиц кур-несушек

Для оценки качественных показателей яиц использовался индекс составных частей яйца, и толщину скорлупы, индекс формы яйца и единицы Хау (табл. 7). Масса яиц в учетном периоде с 201 по 210 сутки была выше значений в контрольной группе в I опытной на 9,67% ($p \leq 0,05$) и в III опытной на 7,33% ($p \leq 0,05$), в то время как во II опытной группе данный показатель был ниже на 0,74%.

Таблица 7. Морфологические показатели яиц (201-210 сутки).

Показатель	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Масса яиц, г	52,95±0,43	58,07±0,46*	52,56±0,57	56,83±0,45*
Плотность яиц, г/см ³	1,09±0,02	1,08±0,02	1,09±0,02	1,10±0,03
Масса составных частей яиц, г: белка	29,32±0,67	31,96±0,35*	30,11±0,41	30,98±0,38*
Желтка	17,55±0,24	19,67±0,31*	16,67±0,36	18,88±0,26*
Скорлупы	6,12±0,13	6,41±0,09	5,83±0,16	7,03±0,18*
Индекс формы яйца	79,28±0,71	81,94±0,86*	79,16±0,81	79,45±0,75
Индекс белка	6,32±0,07	6,52±0,05*	6,44±0,09	6,35±0,15
Индекс желтка	42,35±0,76	44,87±0,65*	43,26±0,87	42,73±0,69
Толщина скорлупы, мм	0,331±0,002	0,346±0,004*	0,341±0,003*	0,351±0,005*
Единицы Хау	77,71±5,12	80,82±6,47	78,35±5,64	79,14±6,39

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

Таким образом, I и III опытные группы достоверно превосходили контрольную группу по массе белка (рис. 5) на 9% ($p \leq 0,05$) и 5,7% ($p \leq 0,05$), массе желтка на 12,1% ($p \leq 0,05$) и 7,6% ($p \leq 0,05$) соответственно. Превосходством по массе скорлупы на 14,9% ($p \leq 0,05$) характеризовалась III опытная группа.

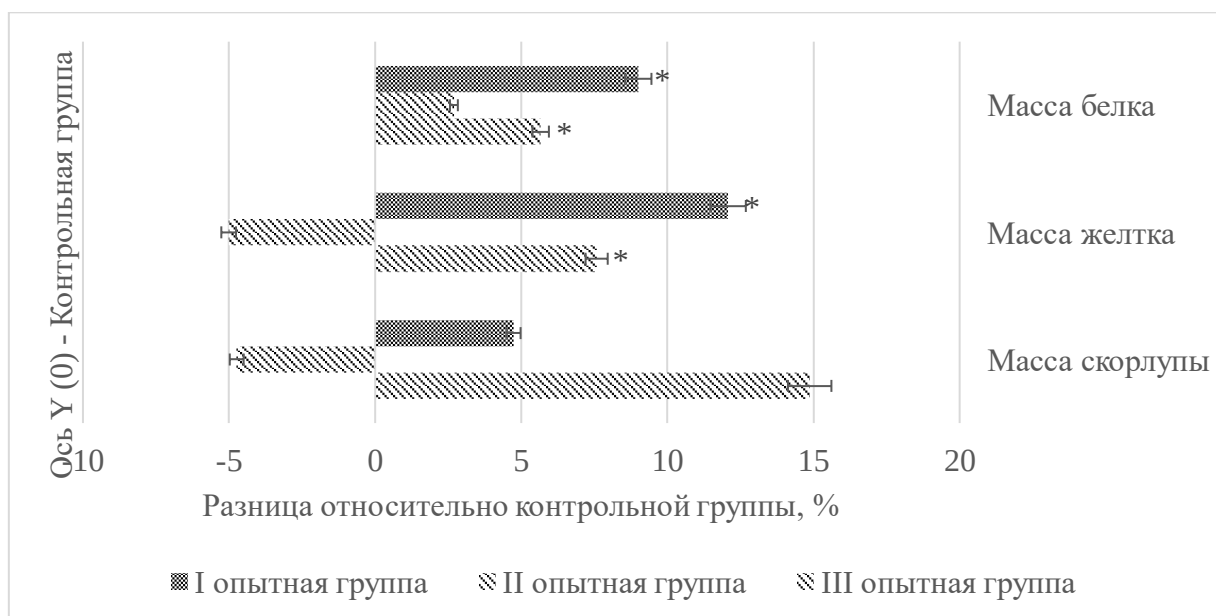


Рисунок 5. Разница в массе белка, желтка и скорлупы яиц кур-несушек опытных групп относительно контрольной, %

Однако, II опытная группа не показала достоверных различий при

снижении массы желтка и скорлупы относительно контрольной группы на 5% и 4,7% соответственно.

Согласно расчетам, индекс формы яйца, белка и желтка в I опытной группе достоверно превышал показатели контрольной группы на 3,35% ($p \leq 0,05$), 3,2% ($p \leq 0,05$) и 5,95% ($p \leq 0,05$) соответственно. Тогда как II и III опытные группы не показали достоверных различий в этих показателях.

Толщина скорлупы была достоверно выше относительно контрольной группы на 4,5% ($p \leq 0,05$) в I опытной группе, на 3% ($p \leq 0,05$) во II опытной группе и на 6% ($p \leq 0,05$) в III опытной группе соответственно.

Разница по единице Хау были выше во всех опытных группах в диапазоне от 0,8% до 4% относительно контрольной группы.

2.2.4 Морфологические показатели крови кур-несушек

Показатели крови всех исследуемых групп находились в границах физиологической нормы. Количество лейкоцитов в крови I и II опытной групп было ниже контрольной на 0,07% и 8,5%, а в III опытной группе превышало показатель контрольной на 6,5% (табл. 8).

При оценке относительного количества нейтрофилов установлено снижение в I и II опытных группах на 4,33% и 7,11% ($p \leq 0,05$) соответственно относительно контрольной группы.

Количество лимфоцитов было выше в I и III опытных группах на 3,11% и 7,86% ($p \leq 0,05$) соответственно при их снижении во II опытной группе на 11,33% ($p \leq 0,05$).

Число эритроцитов было выше в I и III опытных группах на 29,5% и 2,7% ($p \leq 0,05$) соответственно, а во II группе это значение было ниже на 5,4%.

Однако, во всех опытных группах происходило незначительно снижение количества гемоглобина на 1,6-9,6%, что может быть связано с замедлением процессов окисления и восстановления в организме птицы.

Таблица 8. Морфологические показатели крови кур-несушек при включении в рацион биологических активных веществ в 210 суточном возрасте

Показатель	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Количество лейкоцитов, $10^9/\text{л}$	39,67±0,43	39,64±4,83	36,30±2,63	42,27±1,73
Доля нейтрофилов, %	53,50±0,46	51,20±0,55*	54,30±0,17	52,90±0,72
Доля лимфоцитов, %	41,40±0,29	42,70±0,16*	40,10±0,31*	41,90±0,88
Доля моноцитов, %	1,83±0,88	1,95±0,49	2,10±0,51	1,91±0,26
Доля эозинофилов, %	2,31±0,15	2,28±0,07	2,43±0,32	2,17±0,96
Доля базофилов, %	0,96±0,03	1,21±0,08*	1,08±0,12	1,12±0,12
Количество нейтрофилов, $10^9/\text{л}$	21,22±0,27	20,30±0,44	19,71±0,60*	22,36±0,70
Количество лимфоцитов, $10^9/\text{л}$	16,42±0,10	16,93±0,36	14,56±0,75*	17,71±0,28*
Количество моноцитов, $10^9/\text{л}$	0,73±0,37	0,77±0,93	0,76±0,99	0,81±0,11
Количество эозинофилов, $10^9/\text{л}$	0,92±0,07	0,90±0,14	0,88±0,21	0,92±0,54
Количество базофилов, $10^9/\text{л}$	0,38±0,02	0,48±0,15	0,39±0,03	0,47±0,06
количество эритроцитов, $10^{12}/\text{л}$	2,24±0,01	2,90±1,26	2,12±0,07	2,30±0,01*
Количество гемоглобина, г/л	127,67±0,33	116,00±4,04	115,33±3,18	125,67±1,76
Гематокрит, %	26,97±0,09	29,13±0,12	24,40±0,66	26,87±0,62
Ширина распределения красных кровяных тел, %	8,50±0,06	8,80±0,25	8,87±0,07	8,77±0,20

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

Введение пробиотиков и фитогеника не оказало негативного влияния на морфологические показатели крови кур-несушек.

2.2.5 Биохимические показатели крови кур-несушек

Основной целью введения биологически активных веществ в рацион птицы является оптимизация обменных процессов (табл. 9) с эффектом увеличения продуктивных показателей.

Наиболее важным показателем углеводного обмена в организме является содержание глюкозы, количество которой было выше в I опытной группе на 27% ($p \leq 0,05$), во II опытной на 19% ($p \leq 0,05$) и в III опытной на 4% (рис. 6).

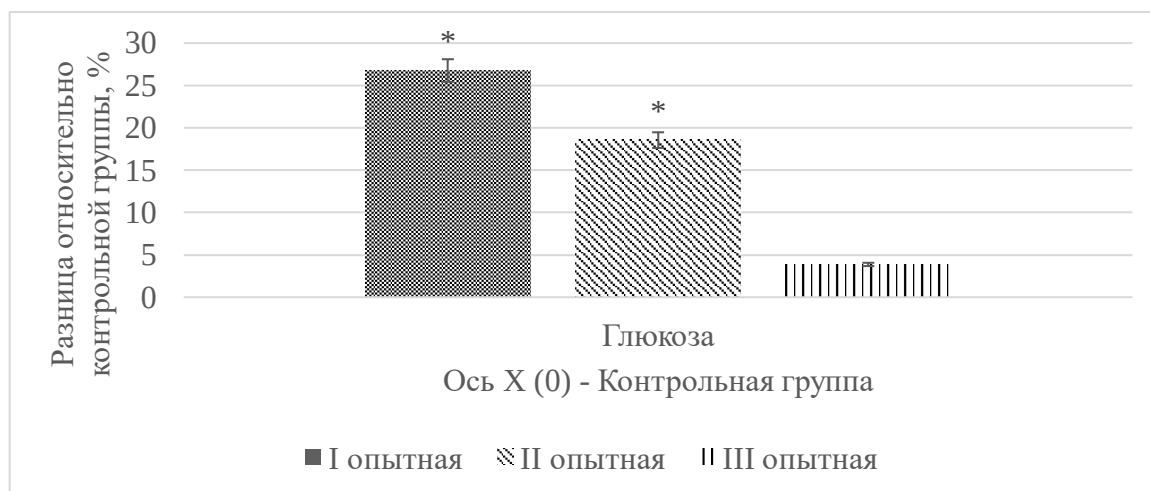


Рисунок 6. Разница в показателях углеводного обмена крови кур-несушек опытных групп относительно контрольной, %

Количество общего белка (рис. 7) в I, II и III опытных группах превышало контрольные значения на 2,9%, 11,1 ($p \leq 0,05$) и 11,6% ($p \leq 0,05$). Количество альбумина неразрывно связано с содержанием общего белка и также было выше в опытных группах на 19,3%-46,1%, что коррелировало с продуктивностью в опытных группах.

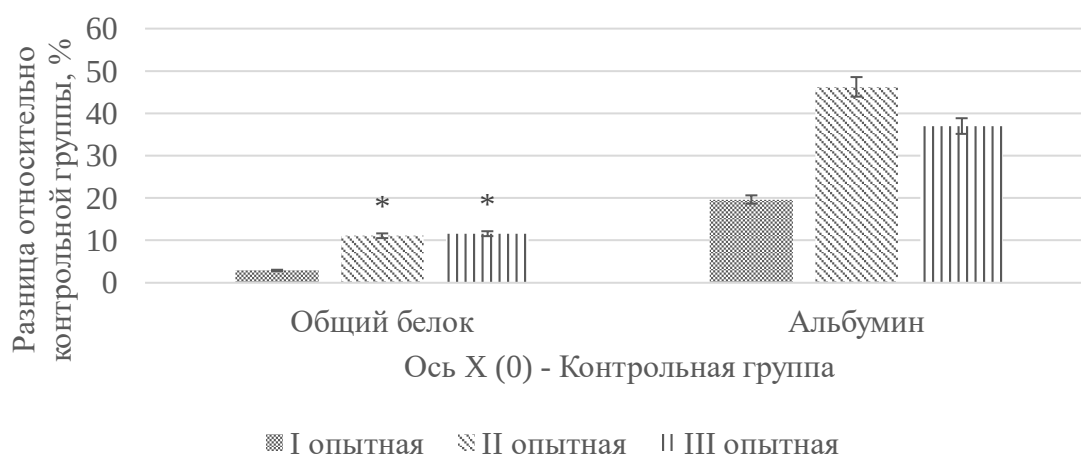


Рисунок 7. Разница в показателях белкового обмена крови кур-несушек опытных групп относительно контрольной, %

Состояние печени оценивают по содержанию таких ферментов как АЛТ, АСТ и билирубина. Повышение аланинаминотрансферазы и

аспартатаминотрансферазы в крови птиц контрольной группы может свидетельствовать о повышенной нагрузке на печень, тогда как включение в рацион биологически активных веществ – пробиотиков и фитогеника нивелировало нагрузку при снижении количества АЛТ во II опытной группе на 52% ($p \leq 0,05$).

Таблица 9. Биохимические показатели кур-несушек в возрасте 210 суток при включении в рацион биологических активных веществ.

Показатель	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Глюкоза, ммоль/л	12,35±0,31	15,66±0,37*	14,65±0,40*	12,83±1,63
Общий белок, г/л	56,55±1,41	58,21±0,53	62,83±0,32*	63,10±0,43*
Альбумин, г/л	17,3±4,63	20,7±0,88	25,3±0,67	23,7±0,67
АЛТ, Ед/л	15,7±0,23	10,8±1,47	7,53±0,77*	7,63±2,73
АСТ, Ед/л	321±9,77	248±11,20	205±1,52	250±9,52
Коэффициент де Ритиса	20,5	22,97	27,29	32,81
Билирубин общий, мкмоль/л	0,72±0,21	1,22±0,15	1,10±0,17	1,01±0,15
Билирубин прямой, мкмоль/л	1,09±0,16	1,32±0,07	1,17±0,04	1,49±0,09
Билирубиновый индекс	1,51	1,08	1,06	1,47
Холестерин, ммоль/л	2,03±0,95	3,18±0,69	2,42±0,30	3,12±0,27
Триглицериды, ммоль/л	10,2±5,20	14,2±2,37	9,93±1,94	15,8±2,05
Мочевина, ммоль/л	0,30±0,15	0,30±0,10	0,37±0,22	0,20±0,12
Креатинин, мкмоль/л	16,5±3,77	24,1±4,04	24,4±1,00	21,0±0,97
α-Амилаза, Ед/л	82,7±6,2	110±6,23	125±4,25	160±3,05
Мочевая кислота, мкмоль/л	109±27,46	112±7,06	163±3,65*	113±5,96
Железо, мкмоль/л	11,77±0,75	18,0±0,72	19,3±0,81	13,2±0,39
Магний, ммоль/л	1,53±0,02	1,57±0,12	1,52±0,03	1,82±0,11
Кальций, ммоль/л	5,48±1,59	8,03±1,25	6,94±0,37	8,09±0,24
Фосфор, ммоль/л	3,25±0,12	4,04±0,32	3,65±0,17	3,66±0,11
Са/Р	1,69	1,99	1,9	2,21
Липаза, Ед/л	8,30±1,00	6,83±1,27	12,00±1,29	13,13±2,13

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

Несмотря, на повышенный уровень общего билирубина в опытных группах по сравнению с контрольной на 40-70% и прямого билирубина на 7-36% в опытных группах, нормально содержание в крови АЛТ и АСТ говорит об успешной его переработке в печени и отсутствии токсического эффекта в организме, за счет повышения гепатопротекторной функции вводимыми биологически активными веществами.

Состояние жирового обмена (рис. 8) в организме птицы оценивается по двум показателям крови – холестерин, содержание которого было выше в опытных группах на 56,6%, 19,2% и 53,7% соответственно, а также триглицериды, количество которых повышалось в I и III опытной группе на

39,1% и 55%, а во II группе снижалось на 2,9%.



Рисунок 8. Разница в показателях липидного обмена крови кур-несушек опытных групп относительно контрольной, %

Увеличение количества холестерина и триглицеридов относительно контрольной группы в рамках физиологической нормы доказывает стимулирующее действие биоактивных веществ на обменные процессы в организме. Увеличение креатинина наблюдалось в I, II и III опытных группах на 46%, 48% и 27% соответственно. Данный показатель возрастает при увеличении уровня продуктивности и связан с повышенным количеством, а, соответственно, и распадом белка, что также подтверждается продуктивностью опытных групп при сравнении с контрольной.

Соотношение Са к Р в контрольной группе был ниже оптимального значения и составлял 1,69 к 1, а наиболее близким к оптимальному значению был показатель в группе, получавшей препарат «Лактобифадол-Форте» – 1,99 к 1; незначительно сниженным был показатель в группе с пробиотиком «Ветом» – 1,9:1, а наиболее высоким был в группе с препаратом «Дигестаром» – 2,21:1, что может свидетельствовать о нарушении усвояемости этих элементов в организме птицы.

Содержание Fe было выше во всех опытных группах, и наибольшая разница с контрольной группой была зафиксирована во II опытной группе – 63,7%. Однако, в этой же группе количество марганца было ниже контрольной группы на 0,6%, а наиболее высокой разница была в III опытной группе – 18,9%.

Оценка активности ферментов антиоксидантной защиты имеют важную роль в общей оценке состояния организма птицы (табл. 10).

Таблица 10. Активность ферментов антиоксидантного статуса у кур-несушек при включении в рацион биологических активных веществ в 210 суточном возрасте

Показатель	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Малоновый альдегид, нмоль/мл	1,28±0,18	1,26±0,03	1,04±0,02	1,67±0,18
Супероксид-дисмутаза, %	23,4±4,33	14,3±0,06	18,1±0,215*	21,5±0,18*
Каталаза, нмоль/л	14,4±0,52	13,2±0,14*	13,7±0,17	15,3±0,27

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

Содержание МДА показывает уровень перекисного окисления жиров в организме и значительное снижение данного показателя является маркером снижения липидного обмена, что и было отмечено во II опытной группе, показатель которой был ниже относительно значений контрольной группы на 23,1%.

Супероксиддисмутаза является ферментом, защищающим клетки организма, которые могут повреждаться в результате перекисного окисления липидов и сопровождающимся при этом выделением свободных радикалов. Данный показатель в контрольной группе был выше, чем во II опытной группе на 22,6% ($p \leq 0,05$) и в III опытной на 8,1% ($p \leq 0,05$), однако, стоит отметить, что значительного повышения не было отмечено ни в одной группе, что может говорить о нормальной работе антиоксидантной системы.

Перекись водорода негативно влияет на клетки, в связи с этим организм защищает свои клетки выделением каталазы. Количество данного фермента в I и II опытной группе было ниже на 8,33% ($p \leq 0,05$) и 4,86%, тогда как в III опытной группе наблюдалось незначительное превышение на 6,25% относительно контрольной группы.

Подводя итог, оценка морфологических и биохимических показателей

крови, а также ферментов антиоксидантной системы показала, что различия некоторых параметров были статистически значимы, однако, по большинству показателей положительный эффект демонстрировала I опытная группа, получавшая рацион с пробиотиком «Лактобифадол-Форте».

2.2.6 Элементный состав биосубстратов кур-несушек

Одним из важных показателей элементного состава является определение содержания химических элементов в теле (табл. 11), которое позволяет установить степень использования и отложения в организме птицы.

Таблица 11. Содержание химических элементов в теле кур-несушек

Показатель	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Макроэлементы, г/кг				
Ca	35,22±1,59	36,91±1,40	30,03±1,83*	41,74±1,28*
K	6,88±0,44	7,67±0,24	14,72±0,60*	12,22±0,33*
Mg	1,50±0,25	1,08±0,39	2,46±0,12*	2,47±0,09*
Na	3,77±0,38	2,77±0,89	6,99±0,26*	6,33±0,30*
P	18,30±6,63	22,26±2,12	16,39±1,12	25,58±2,69
Микроэлементы, мг/кг				
Co	0,2±0,03	0,11±0,01*	0,24±0,01	0,26±0,01
Cr	19,30±3,22	17,35±0,31	30,80±0,89*	32,17±1,28*
Cu	5,50±0,43	14,21±0,64*	7,20±0,36*	7,54±0,53*
Fe	74,10±79,93	64,62±7,57	74,19±5,41	66,03±3,83
Mn	7,00±1,44	4,25±0,15	8,47±0,40	7,12±0,21
Ni	4,90±0,85	1,11±0,08*	6,96±0,39*	7,97±0,46*
Se	1,5±0,03	1,29±0,22	1,04±0,04*	0,88±0,03*
Zn	110,60±11,99	90,88±3,54	187,69±9,25*	179,86±4,85*
Al	4,85±0,54	12,1±0,42*	9,3±0,79*	11,1±0,94*
Cd	0,09±0,03	0,08±0,02	0,06±0,01	0,10±0,01
Pb	0,11±0,01	0,15±0,01*	0,14±0,01*	0,17±0,02*
Sr	31,40±6,26	22,25±0,80	53,49±2,83*	61,23±3,16*

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

Содержание элементов в теле кур-несушек отражает общее их поступление в организм с кормом, а снижение их содержания может быть

связано с дефицитом или преддефицитом для обменных процессов, связанным с увеличением продуктивности и транслокацией их в яйцо.

Многие из исследованных микроэлементов влияют не только на физиологические процессы в организме, но и принимают непосредственное участие в процессе формирования яиц и качестве получаемых яиц.

На основании проведенного исследования элементного состава были сформированы следующие элементные профили в теле птицы для опытных групп:

Для I группы	$\frac{\uparrow Cu, Al, Pb}{\downarrow Co, Ni}$
Для II группы	$\frac{\uparrow K, Mg, Na, Cr, Cu, Ni, Zn, Al, Pb, Sr}{\downarrow Ca, Se}$
Для III группы	$\frac{\uparrow Ca, K, Mg, Na, Cr, Cu, Ni, Zn, Al, Pb, Sr}{\downarrow Se}$

Как показывают элементные профили, содержание большинства химических элементов во II и III опытных группах по сравнению с I опытной группой и контрольной были выше. Данная разница в накоплении элементов может быть связана с наиболее высокой продуктивностью в I опытной группе, а, соответственно повышенным расходом элементов из пула организма, что подтверждается зоотехническими показателями, морфологическим составом яиц, морфологическими и биохимическими анализами крови.

Содержание химических элементов в помете (табл. 12) свидетельствует о степени обмена химических элементов в организме кур-несушек.

Оценка содержания макроэлементов в помете птицы показала снижение концентрации кальция в I, II и III опытных групп на 7,5%, 34,8% ($p \leq 0,05$) и 36,4% ($p \leq 0,05$) соответственно. Количество калия и магния снижалось лишь в I опытной группе на 6,4% и 0,9%, в то время как во II и III опытных группах они выводились на 10-30% больше.

Количество натрия достоверно снижалось по сравнению с контрольной группой в I опытной на 24,6% ($p \leq 0,05$), во II опытной на 26,6% ($p \leq 0,05$) и в III опытной на 47,6% ($p \leq 0,05$).

Содержание фосфора снижалось лишь в I опытной группе на 5,1%, в то время как во II опытной группе достоверно возрастало на 49,7% ($p \leq 0,05$).

Наибольшее число достоверных различий в содержании микроэлементов наблюдалось в I опытной группе. Так, в помете птиц этой группы увеличивалась концентрация Co на 63% ($p \leq 0,05$), Cr на 69% ($p \leq 0,05$), Cu на 26% ($p \leq 0,05$), Mn на 38% ($p \leq 0,05$), Cd на 100% ($p \leq 0,05$), Pb в 1,7 раза ($p \leq 0,05$).

Таблица 12. Концентрация химических элементов в помете кур-несушек

Показатель	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Макроэлементы, г/кг				
Ca	71,09±7,11	65,77±4,01	46,35±4,64*	45,24±4,52*
K	16,9±1,70	15,87±0,90	22,08±2,21	18,60±1,86
Mg	6,41±0,64	6,35±0,34	7,47±0,75	7,94±0,79
Na	2,48±0,25	1,87±0,11*	1,82±0,18*	1,30±0,13*
P	9,65±0,97	9,16±0,49	14,45±1,45*	12,52±1,25
Микроэлементы, мг/кг				
Co	0,89±0,11	1,45±0,08*	0,61±0,07*	0,76±0,09
Cr	10,65±1,07	17,99±0,95*	9,12±0,91	8,03±0,80
Cu	44,84±4,48	56,49±2,99*	34,55±3,46	40,79±4,08
Fe	541,00±54,00	596,59±49,31	535,00±53,00	493,00±49,00
Mn	336,00±34,00	464,43±24,61*	344,00±34,00	354,00±35,00
Se	0,54±0,07	0,72±0,10	0,41±0,05	0,38±0,05
Zn	314,00±31,00	271,87±15,50	390,00±39,00	409,00±41,00
Cd	0,49±0,06	0,99±0,06*	0,42±0,05	0,46±0,06
Pb	0,31±0,04	0,83±0,05*	0,34±0,04	0,32±0,04

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

К основным микроэлементам, влияющим на яйценоскость и продуктивность кур-несушек, являются медь, железо, марганец, селен и цинк, концентрация в помете которых возрастала в большинстве опытных групп, что позволяет судить о необходимости корректировки содержания данных элементов в рационе птицы.

На основании полученных данных были сформированы следующие элементные профили для опытных групп:

Для I группы $\frac{\uparrow Co, Cr, Cu, Mn, Cd, Pb}{\downarrow Na}$

Для II группы $\frac{\uparrow P}{\downarrow Ca, Na, Co}$

Для III группы $\frac{\uparrow K, Mg, P}{\downarrow Ca, Na}$

2.2.7 Микробиальный профиль кишечника кур-несушек

Исследование микробиома слепого отдела кишечника кур-несушек контрольной группы (рис. 9) показало, что доминирующими таксонами были филумы *Bacillota* (78,9%), *Pseudomonadota* (9,7%) и *Actinomycetota* (5,9 %), в основном представленные бактериями классов *Bacilli*, *Gamma proteobacteria* и *Actinomycetes*, соответственно.

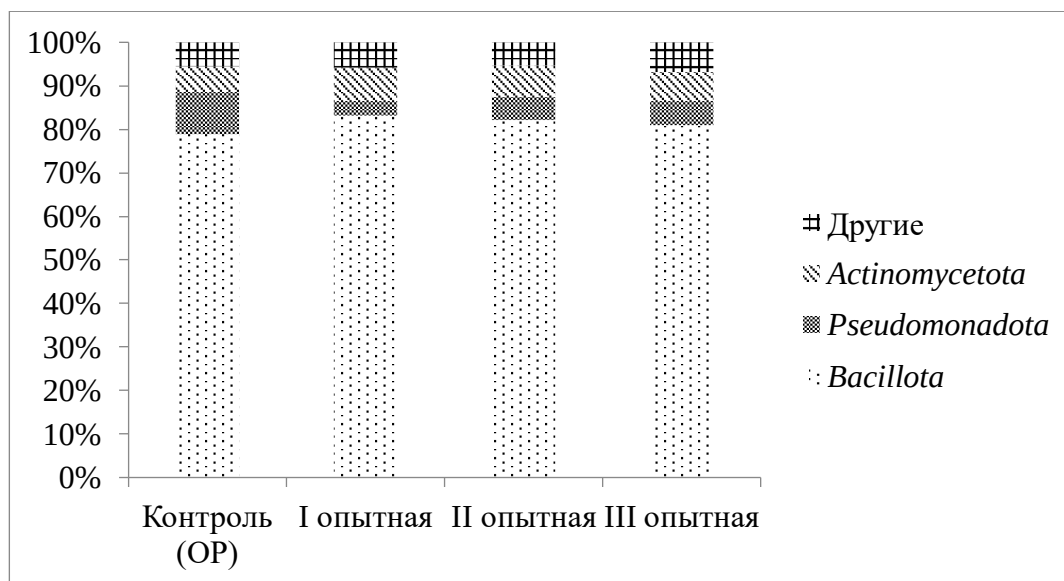


Рисунок 9. Таксономический состав филума бактерий в слепой кишке кур-несушек

Включение в рацион кур-несушек пробиотика «Лактобифадол-Форте» оказывало влияние на уровне филума на численность представителей *Bacillota*, которая была выше контрольных значений на 5,4 %, *Actinomycetota* – на 28,8 %. В тоже время содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшилось, по сравнению с контролем, на 65,0 %.

Использование кормовой добавки «Ветом» приводило к изменению количественного соотношения основных таксономических групп микроорганизмов в микробиоте слепого отдела кишечника. Так, на уровне филума, численность представителей *Bacillota* была выше контрольных

значений на 4,2 %, *Actinomycetota* – на 20,4 %. В тоже время содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшилось, по сравнению с контролем, на 45,4 %.

Введение в рацион фитогеника «Дигестаром» на уровне филума влияло на численность представителей *Bacillota*, превосходящих контрольные значения на 2,5 %, *Actinomycetota* – на 11,7%. В тоже время содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшилось, по сравнению с контролем, на 41,2 %.

Для более подробного изучения данных изменений был проведен анализ состава микробиоты кишечника кур-несушек на уровне семейства (рис. 10).

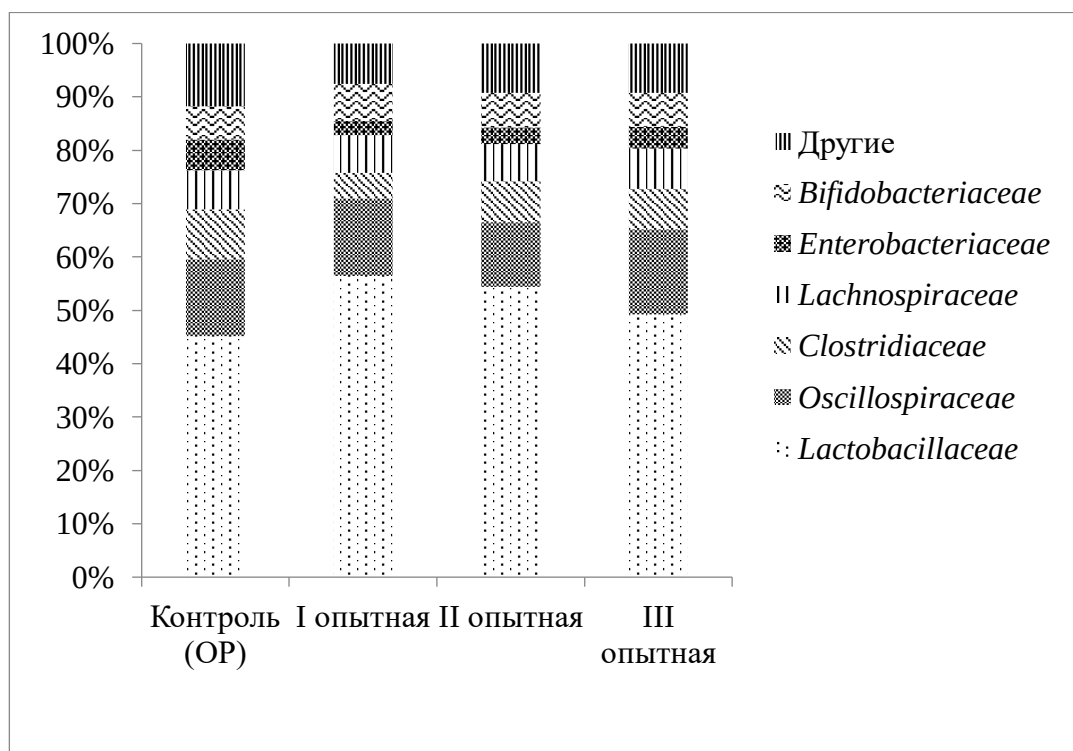


Рисунок 10. Таксономический состав семейств бактерий в слепой кишке кур-несушек

В контрольной группе на уровне семейства доминировали представители семейства *Lactobacillaceae*, чья численность составила 45,2 %. Таксоны, чья численность превосходила 3 %, на уровне семейства были представлены *Oscillospiraceae* (14,4%), *Clostridiaceae* (9,3%), *Lachnospiraceae* (7,3%), *Bifidobacteriaceae* (6,2%) и *Enterobacteriaceae* (5,8%).

Основным таксоном микроорганизмов в кишечнике кур-несушек на

уровне рода были представители р. *Lactobacillus*, на долю которых приходилось 43,8% от общего количества микроорганизмов.

Так, было показано, что численность семейств в I опытной группе, входящих в филум *Bacillota*, изменялась разнонаправленно. Так, содержание бактерий *Lactobacillaceae* увеличилось по сравнению с контролем, на 25 %, с одновременным уменьшением численности бактерий семейства *Clostridiaceae* (на 49,4 %). Таким образом, численность представителей семейств *Lactobacillaceae* и *Clostridiaceae* составила 56,5 % и 4,7 %, соответственно, при даче Лактобифадола-Форте. Содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшалось, преимущественно, за счет снижения числа бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (до 2,7 %, что на 53,3 % ниже контроля). Увеличение бактерий филума *Actinomycetota*, по сравнению с контролем, происходило, главным образом, за счет увеличения численности в образцах бактерий *Bifidobacteriaceae* (на 11,3 %).

Было показано, что численность семейств, определяемых во II опытной группе, входящих в филум *Bacillota*, изменялась разнонаправленно. Так, содержание бактерий *Lactobacillaceae* увеличилось по сравнению с контролем, на 20,3 %, с одновременным уменьшением численности бактерий семейства *Clostridiaceae* (на 17,2 %), *Oscillospiraceae* (15,9 %), *Lachnospiraceae* (5,5 %). Таким образом, численность представителей семейств *Lactobacillaceae* и *Clostridiaceae* составила 54,4 % и 7,7 %, соответственно, при даче препарата Ветом. Содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшалось, преимущественно, за счет снижения числа бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (до 3,2 %, что на 44,8 % ниже контроля). Увеличение бактерий филума *Actinomycetota*, по сравнению с контролем, происходило, главным образом, за счет увеличения численности в образцах бактерий *Bifidobacteriaceae* (на 3,2 %).

Численность семейств в III опытной группе, входящих в филум *Bacillota*, изменялась разнонаправленно. Так, содержание бактерий *Lactobacillaceae* увеличилось по сравнению с контролем, на 8,5 %, *Oscillospiraceae* - на 11,1 %, *Lachnospiraceae* - на 11,1 %, *Clostridiaceae* - на 11,1 %, *Bifidobacteriaceae* - на 11,1 %, *Actinomycetota* - на 11,1 %.

с одновременным уменьшением численности бактерий семейства *Clostridiaceae* (на 18,3 %). Таким образом, численность представителей семейств *Lactobacillaceae* и *Clostridiaceae* составила 49,2 % и 7,6 %, соответственно, при даче препарата Дигестаром. Содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшалось, преимущественно, за счет снижения числа бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (до 4,1 %, что на 29,3 % ниже контроля). Увеличение бактерий филума *Actinomycetota*, по сравнению с контролем, происходило, главным образом, за счет увеличения численности в образцах бактерий *Bifidobacteriaceae* (до 6,3 %).

Заключение по первому экспериментальному исследованию:

1. Наибольшим эффектом на продуктивность и конверсию корма обладал препарат «Лактобифадол-Форте», который снижал поедаемость кормов на 5,42%, одновременно увеличивая массу яиц на 5,9% ($p \leq 0,05$) и имел лучшую конверсию корма как на 10 яиц, так и на 1 кг корма среди всех групп. Напротив, препарат «Ветом 1.1» увеличивал поедаемость корма на 0,7% ($p \leq 0,05$), не влиял на яйценоскость, а конверсия корма в данной группе была выше, чем в контрольной и опытных группах.

2. Введение пробиотика «Лактобифадол-Форте» и фитогеника «Дигестаром П.Е.П.» оказывало наибольшее влияние на морфологические показатели яиц за счет увеличения как самой массы яиц, так и составных частей яиц – белка на 9% ($p \leq 0,05$) и 5,7% ($p \leq 0,05$) и желтка на 12,1% ($p \leq 0,05$) и 7,6% ($p \leq 0,05$), одновременно снижая массу скорлупы и увеличивая ее толщину за счет влияния на ее структуру, увеличивая расстояние между кристаллами кальция на белковой матрице, что также повышает и прочность самой скорлупы. Единицы Хау как основной показатель качества яиц также были наиболее высокими в данных группах.

3. Вводимые добавки в I и III опытных группах оказывали положительное влияние на усиление эритропоеза за счет увеличения числа эритроцитов и

гематокрита, углеводного и белкового обмена на фоне увеличения глюкозы, общего белка и альбумина, а также снижение Аланинаминотрансферазы и Аспартатаминотрансферазы.

4. Пробиотики и фитогеник имеют влияние на усвоение химических элементов в корме и их накопление в организме, проявляющееся в ретенции Са, К, Mg, Na и P в I опытной группе на фоне выведения с пометом медь, железо, марганец, селен и цинк.

5. В ходе анализа микробиома слепого отдела кишечника отмечались положительные изменения в группе, получавшей «Лактобифадол-Форте» – увеличилось содержание облигатной микрофлоры желудочно-кишечного тракта птицы (*Lactobacillaceae* и *Bifidobacteriaceae*) одновременно с уменьшением численности бактерий патогенной и условно-патогенной группы (*Clostridiaceae* и *Enterobacteriaceae*). Введение Ветом 1.1 сопровождалось увеличением содержания облигатной микрофлоры желудочно-кишечного тракта птицы (*Lactobacillaceae* и *Bifidobacteriaceae*) и уменьшением численности бактерий патогенной и условно-патогенной группы (*Clostridiaceae* и *Enterobacteriaceae*), а также целлюлозоразрушающих бактерий (*Oscillospiraceae* и *Lachnospiraceae*). Введение препарата Дигестаром вело к увеличению содержания облигатной микрофлоры желудочно-кишечного тракта птицы (*Lactobacillaceae*, *Oscillospiraceae* и *Bifidobacteriaceae*) и уменьшению численности бактерий патогенной и условно-патогенной группы (*Clostridiaceae* и *Enterobacteriaceae*).

2.3 Результаты второго экспериментального исследования

2.3.1 Корма и зоотехнические показатели кур-несушек

Структура рациона и его химический состав во втором экспериментальном исследовании соответствовал составу первому.

Оценка зоотехнических показателей (табл. 13) за учетный период 120-300 сутки показала, что поедаемость основного рациона на голову в сутки в I опытной группе была ниже на 0,9%, а во II опытной выше на 7,1% ($p \leq 0,05$).

Яйценоскость за весь период эксперимента в I опытной группе была выше контрольной группы на 3,7% ($p \leq 0,05$) и в IV опытной группе на 1,6%.

Средняя масса яиц достоверно превышала значения контрольной группы в I опытной на 2,9% ($p \leq 0,05$) и в III опытной на 2,15% ($p \leq 0,05$) (рис. 11).

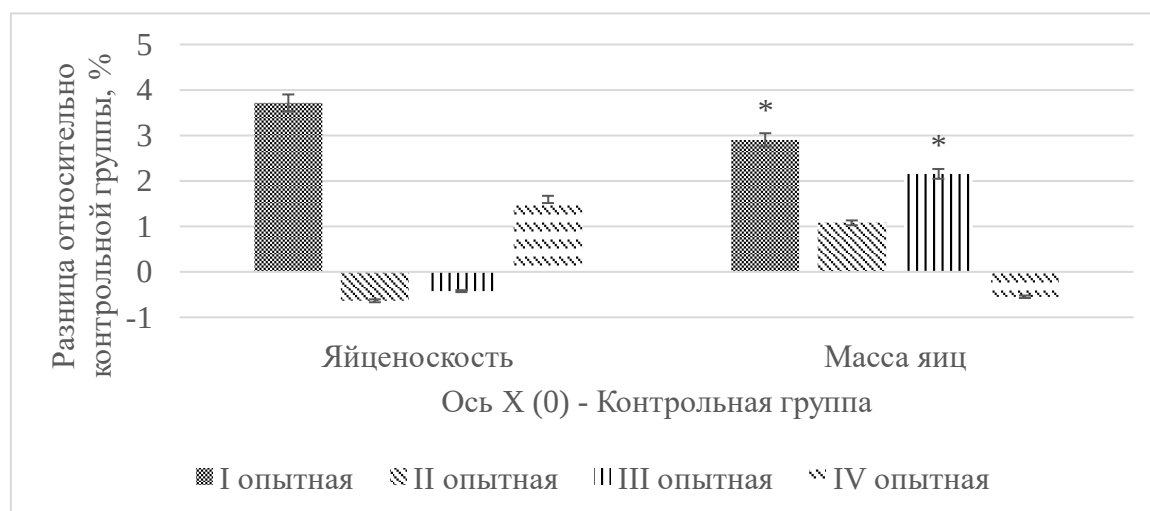


Рисунок 11. Разница в яйценоскости и массе яиц кур-несушек опытных групп относительно контрольной, %

Одним из важнейших показателей оценки продуктивности кур-несушек является конверсия корма, выражающаяся в соотношении количества съеденного корма на единицу полученной продукции. Так, самая низкая конверсия корма на 1 кг яйцемассы была в I и IV опытных группах, которая составила 2,27 кг корма на 1 кг яйцемассы в обеих группах, что превосходило

значения контрольной группы 7,3%, а на 10 яиц в I опытной группе требовалось 1,28 кг, что было выше, чем в контрольной группе на 4,5%.

Таблица 13. Зоотехнические показатели выращивания кур-несушек (120-300 суток)

Показатели	Группа				
	контроль ная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Живая масса, г:					
120 суток	1351±6,69	1340±6,76	1346±2,41	1352±6,3	1353±6,56
180 суток	1850±25,7	1796±107	1795±25,1	1709±74,3	1820±67,0
240 суток	1873±21,2	1823±87,2	1878±29,5	1847±66,4	1882±69,4
300 суток	1921±17,6	1780±75,3	1906±19,7	1854±23,5	1970±104
Поедаемость, г/гол/сут	126±0,99	125±0,96	135±1,24*	128±1,11	123±1,00
Интенсивность яйценокости, %	94,2	97,7	93,6	93,8	95,7
Яйценокость на начальную несушку, шт.	170	176	168	169	172
Средняя масса яйца, г	54,7±0,36	56,3±0,35*	55,3±0,34	55,9±0,36*	54,5±0,34
Конверсия, кг корма на 1 кг яйцемассы/ 10 шт. яиц	2,45 / 1,34	2,27 / 1,28	2,49 / 1,44	2,35 / 1,37	2,27 / 1,30

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

Живая масса кур-несушек (рис. 12) в возрасте 120 суток имела различия между опытными и контрольной группами $\pm 5\%$.

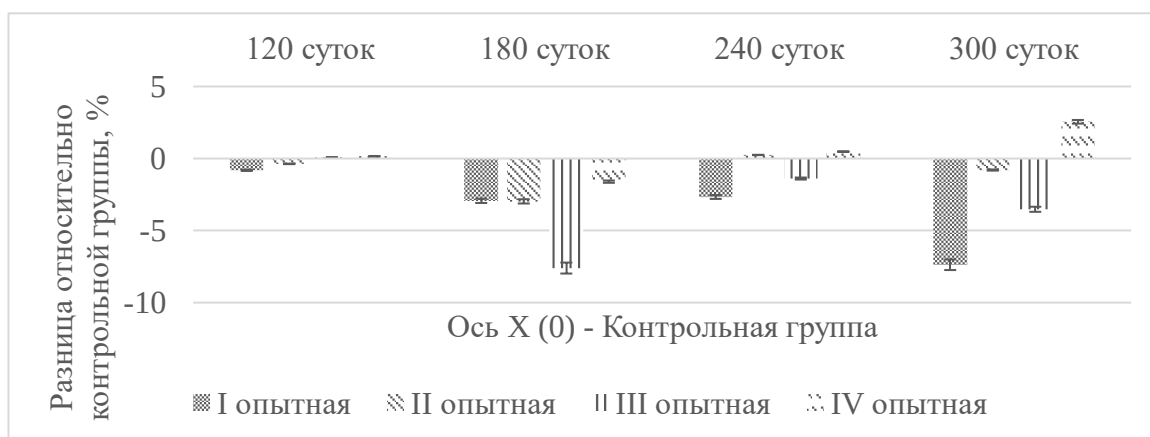


Рисунок 12. Разница в динамике живой массы кур-несушек опытных групп относительно контрольной, %

В возрасте 180 суток живая масса птиц опытных групп снижалась относительно значений контрольной группы на 1,6%-3%. К 240 суткам живая масса в I и III опытных группах была ниже контрольной на 2,7% и 1,4% соответственно, однако, во II и IV значения живой массы были выше относительно контрольной на 0,2% и 0,5%. В 300-суточном возрасте лишь IV опытная группа превосходила контрольную на 2,5%, в то время как в I, II и III группе наблюдалось снижение живой массы на 7,4%, 0,8% и 3,5% соответственно.

Оценка зоотехнических показателей показала превосходство по яйценоскости, массе яиц и конверсии корма в I опытной группе, получавшей в рацион 1,5 г/кг пробиотика «Лактобифадол-Форте» совместно с комплексом хелатных микроэлементов.

2.3.2 Переваримость питательных веществ рациона

Для оценки динамики коэффициентов переваримости при введении в рацион пробиотико-минерального комплекса были проведены три балансовых эксперимента в возрасте 180 (табл. 14), 240 (табл. 15) и 300 (табл. 16) суток.

Таблица 14. Коэффициенты переваримости питательных веществ кур-несушек в возрасте 180 суток

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
сухое вещество	71,8±0,77	76,5±0,32*	73,3±0,53	74,1±0,18*	74,8±0,96*
органическое вещество	76,6±0,64	80,1±0,27*	78,1±0,44	77,5±0,15	77,6±0,85
сырой протеин	77,7±0,61	77,3±0,31	84,9±0,30*	76,6±0,16	75,5±0,93
сырая клетчатка	12,9±2,39	14,7±1,15	21,1±1,57*	30,0±0,47*	23,6±2,91*
сырой жир	87,5±0,34	84,2±0,21*	89,9±0,20*	83,2±0,11*	88,4±0,44

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

Переваримость сухого вещества в I опытной группе была достоверно выше значений контрольной группы на 4,7% ($p \leq 0,05$), органического вещества

на 3,56% ($p \leq 0,05$), при снижении сырого жира на 3,29% ($p \leq 0,05$).

Во II опытной группе было отмечено достоверное повышение переваримости сырого протеина на 7,3% ($p \leq 0,05$), сырой клетчатки на 8,15% ($p \leq 0,05$) и сырого жира на 2,46% ($p \leq 0,05$). Снижение дозы пробиотика в совокупности с минеральным комплексом проявлялось увеличением переваримости сухого вещества в III опытной группе на 2,31% ($p \leq 0,05$), сырой клетчатки на 17% ($p \leq 0,05$) и снижением переваримости сырого жира на 4,2% ($p \leq 0,05$).

В IV опытной группе отмечалось достоверное увеличение переваримости сухого вещества и сырой клетчатки на 2,94% ($p \leq 0,05$) и 10,6% ($p \leq 0,05$) соответственно.

Таблица 15. Коэффициенты переваримости питательных веществ кур-несушек в возрасте 240 суток

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
сухое вещество	67,5±0,84	69,6±0,29*	67,8±0,81	67,8±0,74	69,5±0,54
органическое вещество	71,8±0,72	73,4±0,25	71,7±0,72	72,8±0,63	72,8±0,48
сырой протеин	76,9±0,59	84,6±0,15*	82,3±0,45*	79,2±0,48*	84,5±0,27*
сырая клетчатка	28,7±1,83	23,9±0,73*	17,3±2,09*	27,1±1,68	25,4±1,32
сырой жир	84,6±0,39	88,9±0,11*	92,6±0,19*	94,8±0,12*	75,7±0,43*

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

По результатам второго балансового опыта (возраст 240 суток) отмечалось достоверное увеличение переваримости сухого вещества в I опытной группе на 2,11%. Переваримость сырого протеина в I опытной группе превосходила контрольную на 7,6% ($p \leq 0,05$), II опытная на 5,38% ($p \leq 0,05$), III опытная на 2,22% ($p \leq 0,05$), IV опытная на 7,58% ($p \leq 0,05$).

Тогда как в I и II опытных группах снижение переваримости сырой клетчатки было на 4,8% ($p \leq 0,05$) и 11,4% ($p \leq 0,05$), сырого жира в IV опытной группе на 8,95% ($p \leq 0,05$), однако, в I, II и III опытных группах переваримость сырого жира увеличилась на 4,28% ($p \leq 0,05$), 8% ($p \leq 0,05$) и 10,2% ($p \leq 0,05$) соответственно.

Таблица 16. Коэффициенты переваримости питательных веществ кур-несушек в возрасте 300 суток

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
сухое вещество	77,9±0,22	75,9±0,17*	74,7±1,07*	78,0±0,35	78,3±0,30
органическое вещество	80,3±0,20	78,1±0,16*	77,1±0,97*	80,6±0,31	79,5±0,29*
сырой протеин	81,8±0,18	80,8±0,14	85,4±0,62*	85,2±0,24*	79,7±0,28
сырая клетчатка	28,7±0,71	33,0±0,48*	29,9±2,97	33,0±1,07*	30,4±0,97
сырой жир	94,6±0,05	89,3±0,08*	91,4±0,36*	93,8±0,10*	92,7±0,10*

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

Оценка переваримости основного рациона в возрасте 300 суток показала достоверное снижение переваримости сухого вещества в I и II опытной группах на 2,1% ($p \leq 0,05$) и 3,3% ($p \leq 0,05$), органического в I, II и IV опытных группах на 2,2% ($p \leq 0,05$), 3,2% ($p \leq 0,05$) и 0,8% ($p \leq 0,05$) соответственно.

При небольшом снижении переваримости сырого протеина в I и IV опытных группах, во II и III группах зафиксировано повышение данного показателя на 3,6% ($p \leq 0,05$) и 3,4% ($p \leq 0,05$). Переваримость сырой клетчатки достоверно повышалась в I и III опытных группах на 4,3% ($p \leq 0,05$) и 4,31% ($p \leq 0,05$) соответственно. Переваримость сырого жира в I опытной снизилась на 5,4% ($p \leq 0,05$), на 3,2% ($p \leq 0,05$) во II опытной, на 0,8% ($p \leq 0,05$) в III опытной и на 2% ($p \leq 0,05$) в IV опытной группах (рис. 13).

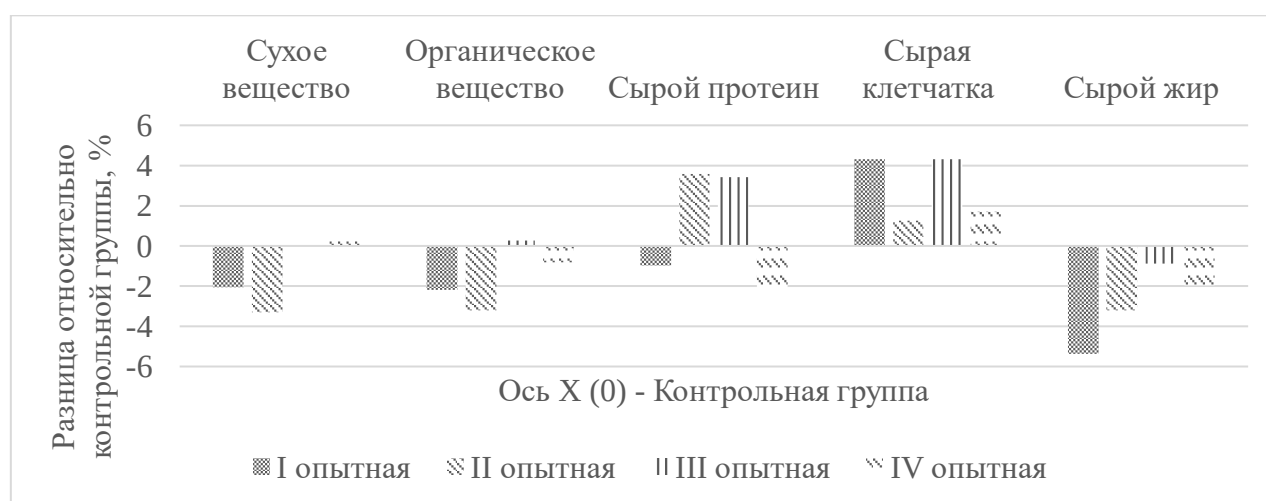


Рисунок 13. Разница в переваримости питательных веществ корма между

опытными и контрольной группами в возрасте 300 суток, %

Таким образом, эффективность использования пробиотико-минерального комплекса в рационе кур-несушек проявляется в стимуляции обменных процессов и обладает пролонгирующим эффектом, выраженный количественными и качественными показателями продукции. Оптимальными значениями характеризовались I и III опытные группы, в рацион которых включались 1,5 г/кг и 0,5 г/кг пробиотика Лактобифадол-Форте и комплекса хелатных микроэлементов соответственно.

2.3.3 Качественные показатели яиц кур-несушек

Мониторинг качественных показателей яиц показывает, что в 180-суточном возрасте масса яйца в I и II опытных группах была выше, чем в контрольной на 4% ($p \leq 0,05$) и 6,5% ($p \leq 0,05$) соответственно при сохранении его плотности. Это подтверждалось превосходством I и II опытных групп по массе белка на 5,5% ($p \leq 0,05$) и во на 8,8% ($p \leq 0,05$) и желтка на 7,1% ($p \leq 0,05$) и 7,9% ($p \leq 0,05$) соответственно, при снижении массы желтка на 4,8% ($p \leq 0,05$) в IV опытной группе (табл. 17).

Толщина скорлупы наиболее низкой была в контрольной группе, в то время как в I, III и IV опытных группах данный показатель был выше на 6,1% ($p \leq 0,05$), 5,6% ($p \leq 0,05$) и 5,6% ($p \leq 0,05$) соответственно, что возможно связано с разницей в ультраструктуре скорлупы, которая при более плотном расположении кристаллов карбоната кальция может иметь больший вес и меньшую толщину, что и наблюдалось в контрольной группе, однако, при этом, ее прочность может снижаться за счет избыточного уплотнения.

На основании расчёта индекса формы яйца, белка и желтка установлено превосходство в I и II опытных группах над контрольными показателями. Разница по Единицам Хау составила на 5,1% и 8% в пользу I и II опытных групп.

Таблица 17. Морфологические показатели яиц кур-несушек в возрасте 180 суток

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Масса яиц, г	47,6±0,59	49,5±0,50*	50,7±1,20*	46,8±1,08	46,6±0,71
Плотность яиц, г/см ³	1,09±0,02	1,08±0,02	1,09±0,02	1,10±0,03	1,09±0,02
Масса составных частей яиц, г:					
белка	26,5±0,33	27,9±0,28*	28,8±0,68*	26,3±0,61	26,7±0,41
желтка	14,3±0,18	15,4±0,15*	15,5±0,37*	13,9±0,32	13,6±0,21*
скорлупы	6,81±0,08	6,24±0,06*	6,44±0,15*	6,66±0,15	6,20±0,09*
Индекс, %:					
формы	79,9±0,75	80,0±0,89	80,0±0,84	79,8±0,73	79,6±0,47
белка	6,46±0,46	7,08±0,43	7,57±0,57	6,05±0,40	5,93±0,40
желтка	45,2±1,32	45,7±1,13	45,5±1,50	45,8±1,86	44,5±1,33
Толщина скорлупы, мм	0,36±0,003	0,38±0,007*	0,37±0,006	0,38±0,006*	0,38±0,005*
Единицы Хау	68,3±2,76	71,7±2,48	73,7±3,81	65,8±2,94	65,3±2,36

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

Оценка химического состава яйца установила превосходство по содержанию жира в I опытной на 3,8% ($p \leq 0,05$), во II опытной на 21% ($p \leq 0,05$), и на 46% ($p \leq 0,05$) в III опытной и на 21,6% ($p \leq 0,05$) в IV опытной группах (табл. 18) на фоне снижения протеина от 6,2 до 17,5%.

Таблица 18. Химический состав яиц кур-несушек в возрасте 180 суток

Содержание	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
жира, г/яйцо	3,66±0,05	3,80±0,04*	4,43±0,10*	5,34±0,12*	4,45±0,07*
Концентрация жира, %	7,69±0,09	7,66±0,08	8,73±0,21*	11,39±0,26*	9,56±0,15*
протеина, г/яйцо	6,15±0,08	6,53±0,07*	7,23±0,17*	7,11±0,16*	6,53±0,10*
Концентрация протеина, %	12,90±0,16	13,18±0,13	14,25±0,34*	15,17±0,35*	14,01±0,21*
в желтке, мкг/г:					
Витамина А	6,20±0,06	5,60±0,13*	6,10±0,09	7,80±0,14*	5,80±0,24
Витамина Е	77,3±3,67	109±4,92*	94,5±4,65*	79,7±4,10	111±4,92*

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

Содержание витамина А в желтке достоверно снижалось в I опытной группе на 9,7% ($p \leq 0,05$) и возрастало в III опытной на 5,6% ($p \leq 0,05$).

Количество витамина Е увеличилось, превосходя контрольную группу на 41% ($p \leq 0,05$) в I опытной группе, на 22% ($p \leq 0,05$) во II опытной группе и на

45% ($p \leq 0,05$) в IV опытной группе.

В возрасте 240 суток масса яиц увеличилась по сравнению с показателем в 180 сутки на 18,3%, 16,8%, 13,6%, 23,4% и 20,5% в контрольной, I, II, III и IV опытных группах соответственно (табл. 19).

В сравнении с контрольной группой только в I, II и III опытных группах отмечалось превосходство по массе яиц на 2,64% ($p \leq 0,05$), 2,25% ($p \leq 0,05$) и 2,57% ($p \leq 0,05$) соответственно.

Таблица 19. Морфологические показатели яиц кур-несушек в возрасте 240 суток

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Масса яиц, г	56,4±0,27	57,8±0,54*	57,6±0,53*	57,8±0,63*	56,1±0,28
Плотность яиц, г/см ³	1,08±0,01	1,07±0,01	1,08±0,01	1,06±0,01	1,07±0,01
Масса составных частей яиц, г:					
белка	30,8±0,15	31,8±0,30*	32,5±0,30*	31,5±0,34	31,0±0,16
желтка	16,7±0,08	18,1±0,17*	17,6±0,16*	18,5±0,20*	16,3±0,08*
скорлупы	8,80±0,04	7,87±0,07*	7,55±0,07*	7,87±0,09*	8,76±0,04
Индекс, %:					
формы	77,6±0,68	79,1±0,66	78,7±0,96	79,1±0,47	78,8±0,45
белка	7,75±1,01	9,02±0,95	7,87±0,76	9,72±1,03	7,73±0,84
желтка	40,6±1,85	50,3±1,85*	43,9±1,38	46,3±1,99	49,5±2,22*
Толщина скорлупы, мм	0,34±0,022	0,35±0,020	0,36±0,014	0,37±0,014	0,37±0,026
Единицы Хау	73,5±6,37	81,5±3,94	76,3±5,42	82,3±6,16	78,3±4,51

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

Масса желтка в I опытной группе на 3,4% ($p \leq 0,05$), а во II опытной на 5,4% ($p \leq 0,05$) была выше контрольных значений. По массе белка опытные группы превосходили контрольную с максимальной разницей в III опытной группе 10,5% ($p \leq 0,05$).

Масса скорлупы снижалась во всех опытных группах на 0,5%-14%, однако толщина ее была выше, чем в контрольной группе на 2%-10,6%.

Индекс формы яйца имел незначительные отличия между контрольной и опытными группами в сторону последних на 1,1%-1,5%. Аналогичная ситуация была и с индексом белка, где разница в первых трех опытных группах с контрольной составила 0,1-1,3%. Наибольшие различия наблюдались в индексе

желтка, где опытные группы достоверно превосходили контрольную на 9,6% ($p \leq 0,05$) в I опытной и 8,8% ($p \leq 0,05$) в IV опытной. Улучшение показателей качества яиц подтверждается превосходством опытных групп по критерию - Единицы Хау, увеличение составило до 11,9%.

С возрастом (240 суток) химический состав яиц показал положительную динамику выраженную в большем отложении жира на 17,5% ($p \leq 0,05$) в I опытной, 20,8% ($p \leq 0,05$) во II опытной, 23,3% ($p \leq 0,05$) в III опытной и 31,7% ($p \leq 0,05$) в IV опытной (табл. 20).

Количество протеина в яйце было выше в I и II опытных группах по сравнению с контрольной на 5,5% ($p \leq 0,05$) и 26,8% ($p \leq 0,05$) соответственно, при снижении в IV опытной группе на 4,3% ($p \leq 0,05$).

Концентрация витамина А в желтке увеличилась в I опытной группе на 7,1%, а во II, III и IV опытных группах на 21,4% ($p \leq 0,05$), 25,6% ($p \leq 0,05$) и 33,4% ($p \leq 0,05$) соответственно. Количество витамина Е увеличилось на 17,9% ($p \leq 0,05$) в I опытной группе, на 21,5% ($p \leq 0,05$) во II опытной группе, на 10,6% ($p \leq 0,05$) в III опытной и на 29,1% ($p \leq 0,05$) в IV опытной группе.

Таблица 20. Химический состав яиц кур-несушек в возрасте 240 суток

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
жира, г/яйцо	3,94±0,02	4,63±0,04*	4,76±0,04*	4,86±0,05*	5,19±0,03*
Концентрация жира, %	6,98±0,03	8,00±0,07*	8,26±0,08*	8,41±0,09*	9,24±0,05*
протеина, г/яйцо	6,75±0,03	7,12±0,07*	8,56±0,08*	6,88±0,07	6,46±0,03*
Концентрация протеина, %	11,98±0,06	12,31±0,11*	14,85±0,14*	11,89±0,13	11,50±0,06*
в желтке, мкг/г:					
Витамина А	7,00±0,51	7,50±0,55	8,90±0,57*	9,40±0,79*	10,5±0,74*
Витамина Е	78,8±5,15	95,9±2,57*	115±4,68*	99,2±5,62*	111±7,57*

Примечание: $p \leq 0,05$, при сравнении опытных групп с контрольной

К 300 суточному возрасту масса яиц кур-несушек (табл. 21) опытных групп была выше в I опытной группе на 1,6% ($p \leq 0,05$) и III опытной группе на 0,2%. В то же время во II и IV опытных группах масса яиц снижалась на 2,3% ($p \leq 0,05$) и 2,1% ($p \leq 0,05$).

Таблица 21. Морфологические показатели яиц кур-несушек в возрасте 300 суток

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Масса яиц, г	59,47±0,26	60,40±0,33*	58,11±0,59*	59,57±0,58	58,20±0,54*
Плотность яиц, г/см ³	1,07±0,01	1,07±0,01	1,06±0,01	1,06±0,01	1,07±0,01
Масса составных частей яиц, г: белка	33,42±0,14	34,55±0,19*	32,77±0,33	33,06±0,32	32,59±0,30*
Желтка	15,70±0,55	16,19±0,09	15,92±0,16	15,96±0,15	15,19±0,14
Скорлупы	10,35±0,04	9,66±0,05	9,41±0,09	10,54±0,10	10,42±0,10
Индекс, %: формы	78,34±0,42	76,90±0,56	76,65±1,66	76,28±0,79*	77,37±0,55
Белка	8,71±0,71	9,35±0,68	10,61±0,60	7,85±0,41	9,23±0,63
желтка	44,65±1,62	46,97±1,71	40,51±1,93	46,65±2,14	42,11±2,57
Толщина скорлупы, мм	0,320±0,011	0,356±0,020	0,349±0,022	0,340±0,016	0,352±0,015
Единицы Хау	80,42±3,93	83,38±2,85	87,36±2,19	76,80±2,99	83,42±2,81

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

Масса белка в I опытной группе достоверно была выше, чем в контрольной на 3,4% ($p \leq 0,05$), а в IV опытной группе снижалась на 2,5% ($p \leq 0,05$).

Наибольшая масса желтка была в I опытной группе превышала показатель в контрольной группе на 3,12%, а меньшая на 3,2% масса была в IV опытной группе.

Индекс формы яйца достоверно снижался в III опытной группе на 2,1% ($p \leq 0,05$). В остальных опытных группах данный показатель снижался относительно контрольной группы на 1%-1,7%.

Индекс белка относительно контрольной группы был наиболее высоким во II опытной группе на 1,9%, а наиболее низким в III опытной – на 0,86% ниже показателя контрольной группы.

Показатель индекса желтка снижался во II и IV опытных группах на 4,1% и 2,5%, в то же время в I и III опытной группе данный показатель был выше контрольной группы на 2,3 и 2%.

Единицы Хау как основной показатель качества яиц был ниже значений контрольной группы в III опытной группе на 4,5%, когда в I, II и IV опытных группах был выше от 3,7% до 8,6%. Толщина скорлупы была самой низкой в контрольной группе, которую превосходили опытные группы на 6,2%-11,2%.

На основании химического анализа состава яиц (табл. 22) дозозависимый эффект проявлялся снижением жира в I опытной группе на 12,1% ($p \leq 0,05$), при увеличении в III и IV опытных группах на 8% ($p \leq 0,05$) и 12% ($p \leq 0,05$) соответственно. Содержание протеина в яйце достоверно было выше в I, II и IV опытных группах по сравнению с контрольной на 2,1% ($p \leq 0,05$), 5% ($p \leq 0,05$) и 25,5% ($p \leq 0,05$).

В III и IV опытные группы имели достоверно большее количество витамина А на 23,2% ($p \leq 0,05$) и 35,4% ($p \leq 0,05$), а витамина Е на 24% ($p \leq 0,05$) и 27,4% ($p \leq 0,05$) соответственно.

Таблица 22. Химический состав яиц кур-несушек в возрасте 300 суток

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Содержание жира, г/яйцо	5,35±0,02	4,70±0,03*	5,33±0,05	5,78±0,06*	5,99±0,06*
Концентрация жира, %	9,00±0,04	7,78±0,04*	9,17±0,09	9,70±0,09*	10,30±0,10*
Содержание протеина, г/яйцо	6,78±0,03	6,92±0,04*	7,12±0,07*	6,68±0,06	8,51±0,08*
Концентрация протеина, %	11,40±0,05	11,46±0,06	12,25±0,12*	11,21±0,11	14,63±0,14*
Содержание в желтке, мкг/г: Витамин А	8,20±0,42	9,50±0,83	9,20±0,89	10,10±0,64*	11,10±0,81*
Витамин Е	92,0±7,00	107±2,84	108±7,79	114±6,59*	117±7,46*

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

Подводя итог морфологическим исследованиям яиц (рис. 14) и их химического состава, установлено увеличение определяемых показателей как с возрастом, так и с количеством пробиотического препарата, которая выражалась в увеличении содержания жира, протеина и витаминов при снижении количества вводимого пробиотика в составе комплекса.

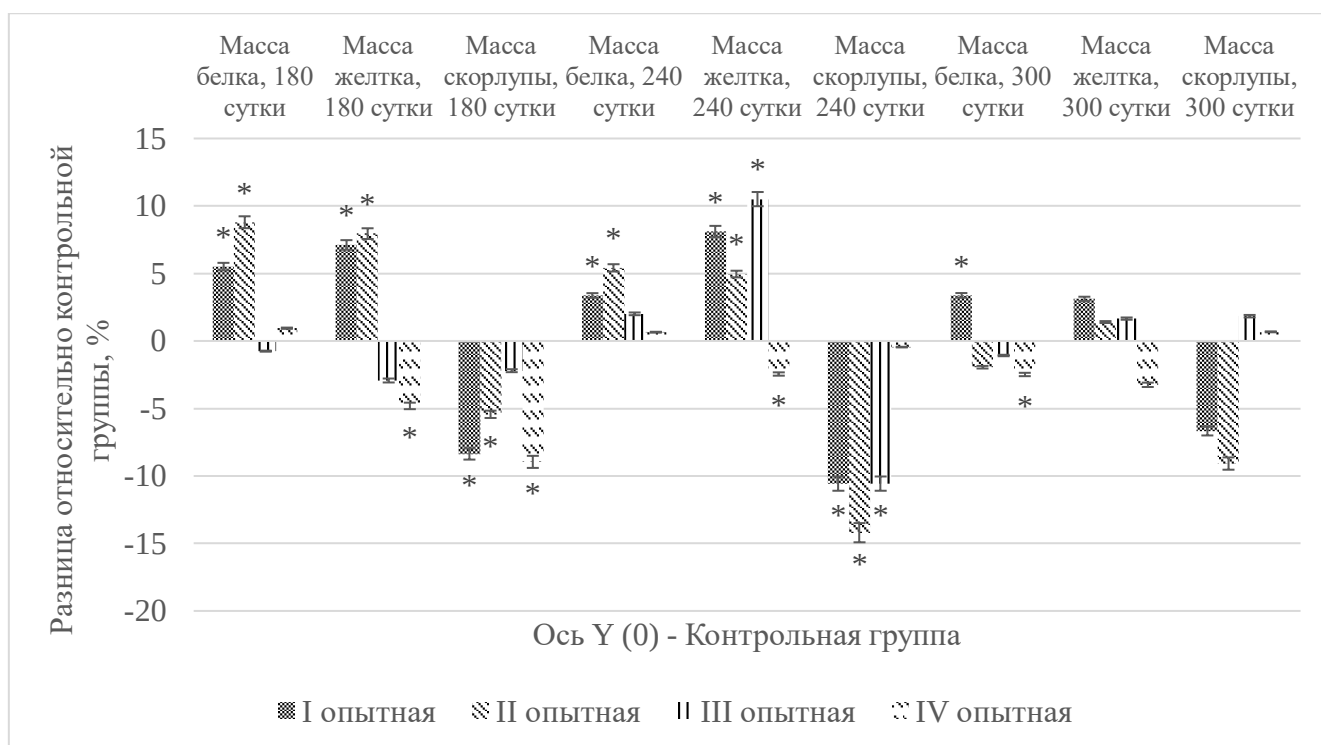


Рисунок 14. Разница в массе белка, желтка и скорлупы яиц кур-несушек опытных групп относительно контрольной в разные периоды яйценоскости, %

Установленные эффекты выражались в качественных показателях яиц.

Таблица 23. Качественные показатели яиц

Группа	Категорийность яиц									
	Отборная		I		II		III		Насечка и бой	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
контрольная	1280	25,2	2384	46,8	769	15,1	598	11,7	54,4	1,07
I	1447	27,4	2464	46,7	777	14,7	533	10,1	53,3	1,01
II	1427	28,2	2230	44,1	784	15,5	562	11,1	49,0	0,97
III	1349	26,6	2364	46,7	751	14,8	546	10,8	53,2	1,05
IV	1328	25,7	2387	46,2	792	15,3	601	11,6	57,8	1,12

Наибольшее количество яиц отборной категории было во II опытной группе и составило 28,25%, а наименьшее в контрольной группе 25,17%. Количество брака в яйцах – насечки и боя было наименьшим также во II опытной группе – 0,97%, в то время как наибольшее было в IV опытной группе и составило 1,12% от общего числа снесенных яиц за период эксперимента.

Таким образом, введение пробиотико-минерального комплекса позволило повысить сохранность яиц и процент яиц отборной категории.

2.3.4 Морфологические показатели крови кур-несушек

Оценка морфологических показателей крови (табл. 24) позволяет оценить влияние вводимой добавки на физиологические показатели организма и выявить возможно патологические состояния.

Таблица 24. Морфологические показатели крови кур-несушек

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Количество лейкоцитов, $10^9/\text{л}$	39,8±0,43	45,5±0,69*	43,3±0,83*	39,8±0,60	44,5±0,73*
Доля нейтрофилов, %	50,4±0,95	58,8±0,41*	56,2±0,47*	50,9±0,59	52,5±0,60
Доля лимфоцитов, %	45,2±1,17	36,6±0,46	39,9±0,57	43,7±0,61	42,2±0,64
Доля моноцитов, %	1,67±0,38	1,90±0,25	1,47±0,20	2,20±0,06	2,27±0,03
Доля эозинофилов, %	1,80±0,15	1,67±0,27	1,60±0,10	2,13±0,35	2,03±0,38
Доля базофилов, %	0,93±0,09	1,03±0,03	0,85±0,17	1,07±0,03	0,99±0,07
Количество нейтрофилов, $10^9/\text{л}$	20,1±1,52	26,7±1,70*	24,3±1,77	20,3±2,43	23,4±1,31
Количество лимфоцитов, $10^9/\text{л}$	18,0±7,98	16,7±3,78	17,3±2,96	17,4±3,45	18,8±7,06
Количество моноцитов, $10^9/\text{л}$	0,66±0,14	0,86±0,10	0,64±0,09	0,88±0,02	1,01±0,02*
Количество эозинофилов, $10^9/\text{л}$	0,72±0,69	0,76±0,06	0,69±0,43	0,85±0,08	0,90±0,08
Количество базофилов, $10^9/\text{л}$	0,37±0,04	0,47±0,02*	0,37±0,07	0,43±0,01	0,44±0,02
Количество эритроцитов, $10^{12}/\text{л}$	2,27±0,10	2,47±0,09	2,40±0,01	2,32±0,05	2,39±0,22
Количество гемоглобина, г/л	123±5,17	136±6,69	134±3,21	126±1,76	133±12,14
Гематокрит, %	26,7±1,22	29,1±1,44	28,8±0,60	27,1±0,59	28,7±2,72
Ширина распределения красных кровяных тел, %	9,10±0,25	9,00±0,29	8,80±0,21	8,93±0,13	8,93±0,24
Количество тромбоцитов, $10^9/\text{л}$	22,0±2,08	26,7±4,26	21,33±1,20	34,33±0,33*	25,67±3,18

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

Так, количество лейкоцитов повышалось относительно значений контрольной группы в I опытной группе на 14,3% ($p \leq 0,05$), во II опытной

группе на 8,8% ($p \leq 0,05$) и в IV опытной группе на 11,8% ($p \leq 0,05$). Лейкоцитарная формула во всех группах находилась в границах физиологических значений, что свидетельствует об отсутствии негативного эффекта на лейкогенез птицы.

Количество эритроцитов также стимулировалось с введением пробиотико-минерального комплекса и комплекса хелатных микроэлементов. В I опытной группе оно было выше на 8,8%, во II опытной на 5,7%, в III опытной на 2,2%, а в IV опытной на 5,3%.

Количество гемоглобина, как показатель, который напрямую связан с количеством эритроцитов также был выше в опытных группах на 2,4%-10,2%.

Число тромбоцитов достоверно было выше в III опытной группе на 56% ($p \leq 0,05$), в то время как в I и IV опытных группах он был выше на 21,2% и 16,7%, а во II опытной группе был ниже на 3%.

Введение пробиотико-минерального комплекса не имело негативного влияния на морфологические показатели крови, а также стимулировало лейкогенез, эритропоэз и гемопоэз.

2.3.5 Биохимические показатели крови кур-несушек

Введение в рацион комплекса пробиотика и хелатных форм микроэлементов сопровождалось стимуляцией углеводного обмена, выраженной в увеличении количества глюкозы (табл. 25) во всех опытных группах на 6,5%-13% по сравнению с контрольной.

Количество общего белка достоверно снижалось в I, II, III и IV опытных группах на 12,7% ($p \leq 0,05$), 7,75% ($p \leq 0,05$), 17,9% ($p \leq 0,05$) и 11,6% ($p \leq 0,05$).

Альбумин в I опытной группе также снижался на 9% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем, что возможно связано с усилением обмена, синтезом и перераспределением белка в яйцо.

Таблица 25. Биохимические показатели крови

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Глюкоза, ммоль/л	13,50±0,29	14,75±0,84	14,50±0,29*	15,25±0,66*	14,38±0,11*
Общий белок г/л	61,29±1,90	53,50±1,11*	56,54±1,23*	50,29±1,66*	54,14±1,88*
Альбумин, г/л	22,3±0,88	20,3±0,33*	22,0±1,00	20,7±0,33	20,3±0,88
АЛТ, Ед/л	10,4±1,00	10,5±2,02	9,13±1,99	7,93±0,62	10,3±0,30
АСТ, Ед/л	308±31,49	228±17,68*	251±6,78	222±15,94*	240±23,34
Билирубин общий, мкмоль/л	1,50±0,35	1,39±0,20	1,17±0,26	1,11±0,06	1,61±0,15
Холестерин, ммоль/л	5,84±1,31	4,31±0,38	4,17±0,30	4,26±0,62	5,76±0,52
Триглицериды, ммоль/л	14,7±2,33	14,48±0,81	13,7±1,01	14,5±1,93	16,31±0,41
Мочевина, ммоль/л	0,67±0,47	0,20±0,05	0,27±0,17	0,50±0,21	0,70±0,15
Креатинин, мкмоль/л	42,2±3,71	39,93±0,84	43,1±1,29	38,9±2,52	36,13±2,49
а-Амилаза, ед/л	1083±38,8	1101±23,86	1134±17,9	1084±21,07	1087±34,43
Мочевая кислота, мкмоль/л	368±51,2	290±4,24	259±30,4	364±32,74	399±130,03
Железо, мкмоль/л	10,7±2,29	22,8±1,74*	19,3±0,72*	19,5±1,16*	16,2±3,20
Магний, ммоль/л	1,92±0,23	1,73±0,06	1,83±0,07	1,47±0,04	1,71±0,21
Кальций, ммоль/л	9,05±0,44	9,13±0,59	8,46±0,44	8,54±0,37	8,02±1,98
Фосфор, ммоль/л	3,86±0,42	4,29±0,28	3,46±0,08	3,76±0,34	3,47±1,66
Са/Р	2,34	2,13	2,44	2,27	2,31
Липаза, Ед/л	4,97±1,50	4,60±0,80	5,50±0,61	7,53±4,65	9,10±1,35*

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

Количество АСТ достоверно снижалось в I и III опытных группах на 25,9% ($p \leq 0,05$) и 28,1% ($p \leq 0,05$) соответственно. Подтверждением стимуляции углеводного обмена являлось увеличение а-Амилазы во всех опытных группах от 0,1% до 4,8%. Количество липазы, участвующей в расщеплении жиров, было выше в III и IV опытных группах более чем на 50%.

Содержание железа в крови достоверно возрастало в I, II и III опытных группах более в 1,8-2 раза ($p \leq 0,05$). Количество магния на этом фоне снижалось на 9,9% в I опытной, 4,7% во II опытной, 23,4% в III опытной и 10,9% в IV опытной группах. Содержания кальция и фосфора находилось в границах нормы во всех группах. В свою же очередь их соотношение было близким к оптимальному в I опытной группе – 2,13 к 1, в то же время наибольшее отклонение от нормы наблюдалось во II опытной и контрольной

группах, где соотношение было 2,34 к 1 и 2,44 к 1 соответственно.

При оценке биохимических показателей крови не было отмечено негативного влияния пробиотико-минерального комплекса. После применения данной добавки был установлен стимулирующий эффект на углеводный и жировой обмен, а также снижение токсического воздействия на печень птицы. Наибольший эффект получен в группе, получавшей 0,5 г/кг пробиотика совместно с комплексом хелатных форм Cu, Fe, Mn, Se и Zn.

2.3.6 Содержание химических веществ и энергии в организме птицы

В результате анализа химического состава организма птицы было установлено накопление протеина во II, III и IV опытной группе на 7,6-12,8%. Количество жира достоверно увеличивалось в I, II и III опытных группах на 29,9% ($p \leq 0,05$), 20,4% ($p \leq 0,05$) и 42,3% ($p \leq 0,05$) соответственно (табл. 26).

Таблица 26. Химический состав тела и содержание энергии в организме кур-несушек в возрасте 300 суток

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Сухое вещество, г	402±30,7	422±32,2	448±2,16	484±12,3*	455±22,4
Протеин, г	250±19,1	229±17,5	269±1,29	274±6,94	282±13,9
Жир, г	137±10,4	178±13,6*	165±0,79*	195±4,93*	158±7,77
Зола, г	15,06±1,15	14,32±1,09	14,94±0,07	15,10±0,38	15,14±0,75
Энергия, МДж/гол	9,61±0,73	10,88±0,83	11,02±0,05	12,28±0,31*	10,98±0,54
Концентрация энергии, Мдж/ кг СВ	23,9±1,83	25,8±1,97	24,6±0,12	25,4±0,64	24,2±1,19

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

Количество энергии по сравнению с контрольной на 13,2% в I опытной, 14,7% во II опытной, 27,8% ($p \leq 0,05$) в III опытной и 14,3% в IV опытной группе было большим чем в контрольной группе.

2.3.7 Элементный состав биосубстратов кур-несушек

В возрасте 180 суток наблюдалось снижение содержания химических элементов (табл. 27) в помете птиц I, II, III и IV опытных групп относительно контрольной – кальция на 23,6% ($p \leq 0,05$), 18,3% ($p \leq 0,05$), 32% ($p \leq 0,05$) и 33% ($p \leq 0,05$), магния на 0,4%-12,4%), натрия на 12,9%, 1,6%, 22,3% ($p \leq 0,05$) и 31,1% ($p \leq 0,05$) и фосфора на 18,9% ($p \leq 0,05$), 22,7% ($p \leq 0,05$), 12,3% и 13,4% ($p \leq 0,05$). Однако, на фоне этого, во всех опытных группах наблюдалось повышенное содержания калия на 3,9%-11,6% относительно контрольной группы, что может объясняться физиологическим антагонизмом между калием и другими макроэлементами, число которых в помете снижалось.

Таблица 27. Содержание химических элементов в помете кур-несушек в возрасте 180 суток

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Макроэлементы, г/кг					
Ca	75,2±3,84	57,5±3,33*	61,5±3,50*	51,2±2,71*	50,4±2,97*
K	15,2±0,81	17,0±0,87	16,6±0,85	15,8±0,85	16,1±0,95
Mg	6,69±0,38	6,66±0,35	6,17±0,33	5,86±0,34	5,92±0,30
Na	4,34±0,25	3,78±0,21	4,27±0,23	3,37±0,19*	2,99±0,17*
P	14,2±0,75	11,5±0,71*	10,9±0,57*	12,4±0,65	12,3±0,48*
Микроэлементы, мг/кг					
Co	1,60±0,08	1,60±0,08	1,51±0,08	1,53±0,08	1,52±0,09
Cr	2,09±0,11	1,95±0,10	1,87±0,10	1,73±0,10*	1,71±0,11*
Cu	50,7±3,05	69,4±4,31*	63,3±4,56*	61,6±3,45*	63,8±3,96*
Fe	994±53,7	1031±51,6	1045±55,4	875±51,68	952±59,9
Mn	564±28,8	617±38,9	572±35,5	484±27,6	497±31,3
Ni	10,2±0,77	9,88±0,66	8,35±0,58	9,00±0,50	9,24±0,70
Se	0,33±0,04	0,50±0,15	0,34±0,03	0,20±0,08	0,31±0,12
Zn	309±16,4	339±21,4	356±18,2	313±21,29	317±21,9
Al	51,8±2,59	47,2±3,21	46,4±2,83	42,4±2,25*	42,5±2,76*
Cd	0,087±0,005	0,089±0,005	0,084±0,005	0,088±0,005	0,088±0,005
Pb	0,077±0,004	0,073±0,004	0,063±0,003*	0,072±0,005	0,057±0,004*
Sr	55,2±2,92	45,7±2,56*	47,3±3,07	40,1±2,04*	39,5±2,53*

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

На основании достоверных различий опытных групп с контрольной

группой были сформированы элементные профили:

$$\text{Для I группы} \quad \frac{\uparrow Cu}{\downarrow Ca, P, Sr}$$

$$\text{Для II группы} \quad \frac{\uparrow Cu}{\downarrow Ca, P, Pb}$$

$$\text{Для III группы} \quad \frac{\uparrow Cu}{\downarrow Ca, Na, Cr, Al, Sr}$$

$$\text{Для IV группы} \quad \frac{\uparrow Cu}{\downarrow Ca, Na, P, Cr, Al, Pb, Sr}$$

Одним из наиболее важных показателей для оценки влияния вводимого пробиотико-минерального комплекса на минеральный обмен является расчет коэффициентов переваримости (табл. 28).

Таблица 28. Коэффициенты переваримости химических элементов в организме кур-несушек в возрасте 180 суток

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Макроэлементы, %					
Ca	43,2±1,56	63,8±0,49*	56,1±0,88*	64,6±0,24*	65,9±1,30*
K	68,3±0,87	70,6±0,40*	67,3±0,65	69,8±0,20	70,1±1,14
Mg	65,3±0,95	71,2±0,39*	69,7±0,60*	72,1±0,19*	72,5±1,05*
Na	68,1±0,88	76,8±0,31*	70,3±0,59	77,2±0,15*	80,3±0,75*
P	71,5±0,78	80,7±0,26*	79,1±0,42*	77,0±0,16*	77,8±0,84*
Микроэлементы, %					
Co	32,0±1,87	43,2±0,77*	39,1±1,21*	40,2±0,41*	42,0±2,21*
Cr	92,8±0,20	94,4±0,08*	93,9±0,12*	94,5±0,04*	94,7±0,20*
Cu	63,5±1,00	58,4±0,56*	56,9±0,86*	59,4±0,28*	58,9±1,56*
Fe	57,3±1,18	63,1±0,50*	57,5±0,85	65,4±0,23*	63,4±1,40*
Mn	70,6±0,81	73,2±0,36*	71,8±0,56	76,8±0,16*	76,8±0,88*
Ni	55,9±1,21	64,6±0,48*	66,0±0,68*	64,5±0,24*	64,4±1,35*
Se	87,8±0,33	84,6±0,21*	88,1±0,24	93,1±0,05*	89,9±0,38*
Zn	69,1±0,85	71,7±0,38*	66,3±0,67*	71,3±0,19*	71,6±1,08
Al	68,4±0,87	76,0±0,32*	73,2±0,53*	76,3±0,16*	76,7±0,88*
Cd	87,0±0,36	89,0±0,15*	88,1±0,24*	87,9±0,08*	88,3±0,45
Pb	82,5±0,48	86,2±0,19*	86,5±0,27*	84,9±0,10*	88,3±0,45*
Sr	65,8±0,94	76,3±0,32*	72,2±0,55*	77,2±0,15*	78,1±0,84*

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

В ходе оценки результатов было отмечено достоверное повышение переваримости большинства макроэлементов – кальция, калия, магния, натрия

и фосфора, а также ряда микроэлементов.

Построение элементных профилей оценки переваримости химических элементов в опытных группах позволяет наглядно оценить вариабельность каждого достоверного показателя:

Для I группы	$\frac{\uparrow Ca, K, Mg, Na, P, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn, Al, Cd, Pb, Sr}{\downarrow Cu, Se}$
Для II группы	$\frac{\uparrow Ca, Mg, P, Co, Cr, Ni, Al, Cd, Pb, Sr}{\downarrow Cu, Zn}$
Для III группы	$\frac{\uparrow Ca, Mg, Na, P, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Se, Zn, Al, Cd, Pb, Sr}{\downarrow Cu}$
Для IV группы	$\frac{\uparrow Ca, Mg, Na, P, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Se, Al, Pb, Sr}{\downarrow Cu}$

Элементный состав помета в возрасте 240 суток отражен во таблице 29.

Таблица 29. Содержание химических элементов в помете кур-несушек в возрасте 240 суток

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Макроэлементы, г/кг					
Ca	31,7±2,50	33,6±1,65	31,50±1,29	24,8±1,74*	24,9±1,07*
K	16,4±0,49	13,1±0,49*	16,4±0,54	13,3±0,47*	16,4±1,00
Mg	7,37±0,24	5,89±0,19*	6,29±0,21*	5,19±0,20*	6,74±0,35
Na	4,43±0,18	3,51±0,12*	3,82±0,12*	3,80±0,14*	4,25±0,22
P	11,9±0,85	12,5±0,54	14,5±0,54*	12,12±0,81	12,6±0,49
Микроэлементы, мг/кг					
Co	1,12±0,04	1,14±0,06	0,97±0,03*	0,78±0,03*	1,15±0,04
Cr	2,56±0,09	1,82±0,06*	1,79±0,07*	0,96±0,04*	1,96±0,07*
Cu	61,8±2,35	62,71±2,32	58,7±2,23	43,5±1,74*	68,1±3,81
Fe	557±17,8	624±20,6*	725±30,5*	316±12,6*	690±22,10*
Mn	463±17,6	473±14,2	498±18,4	409±14,7*	558±31,3*
Ni	14,2±0,44	10,3±0,37*	9,07±0,29*	6,95±0,22*	9,97±0,38*
Se	0,96±0,40	1,57±0,24	1,44±0,24	1,11±0,07	1,47±0,08
Zn	300±9,90	311±9,96	345±14,1*	325±15,6	384±12,67*
Al	29,9±1,05	27,9±0,92	31,3±1,19	22,2±0,80*	36,49±1,93*
Cd	0,041±0,002	0,035±0,001*	0,035±0,001*	0,024±0,001*	0,036±0,002*
Pb	0,04±0,001	0,042±0,002	0,041±0,001	0,028±0,001*	0,051±0,002*
Sr	44,8±1,75	51,7±1,65*	42,3±1,69	34,7±1,56*	46,09±2,12

Примечание: *p≤ 0,05, при сравнении опытных групп с контрольной

При оценке содержания химических элементов установлена ретенция кальция на 6,3% в I опытной группе при большем выведении фосфора во II опытной группе на 21,4% (табл. 29).

На основании отличий опытных групп с контрольной был сформирован элементный профиль характеризующий характер выведения химических элементов с пометом у кур несушек:

$$\begin{array}{l} \text{Для I группы} \quad \frac{\uparrow Fe, Sr}{\downarrow K, Mg, Na, Cr, Ni, Cd} \\ \text{Для II группы} \quad \frac{\uparrow P, Fe}{\downarrow Mg, Na, Co, Cr, Ni, Zn, Cd} \\ \text{Для III группы} \quad \frac{\uparrow}{\downarrow Ca, K, Mg, Na, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Al, Cd, Pb, Sr} \\ \text{Для IV группы} \quad \frac{\uparrow Fe, Mn, Zn, Al, Pb}{\downarrow Ca, Cr, Ni, Cd} \end{array}$$

Как видно из полученных профилей, наибольшее выведение наблюдалось в IV опытной группе, а наибольшее число элементов, количество которых накапливалось в организме относительно контрольной группы было в III опытной группе.

На основании полученных данных, установлены дозозависимые различия, при которых с увеличением дозы пробиотика меньше химических элементов выводится с пометом. Наибольшее количество микроэлементов выводились в группе получавшие препарат в моноварианте (без пробиотика).

На основании расчета переваримости установлено снижение фосфора и железа во II опытной на 5,6% ($p \leq 0,05$) и 7,9% ($p \leq 0,05$), селена до 21,6% ($p \leq 0,05$) (I опытная), 19,9% ($p \leq 0,05$) (II опытная), 5,6% ($p \leq 0,05$) (III опытная) и 18,1% ($p \leq 0,05$) (IV опытная) и цинка во II и IV опытных группах на 4,7% ($p \leq 0,05$) и 7% ($p \leq 0,05$) соответственно. Среди тяжелых металлов достоверное снижение наблюдалось в переваримости стронция в I опытной группе на 2,5% ($p \leq 0,05$) (табл. 30).

Таблица 30. Коэффициенты переваримости химических элементов в организме кур-несушек в возрасте 240 суток

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Макроэлементы, %					
Ca	72,3±0,71	72,4±0,26	72,8±0,69	78,5±0,49*	79,5±0,36*
K	60,4±1,02	70,5±0,28*	61,1±0,98	68,3±0,73*	62,94±0,66
Mg	55,7±1,14	66,9±0,32*	62,7±0,94*	69,1±0,71*	62,0±0,67*
Na	62,3±0,97	72,0±0,27*	67,91±0,81*	67,9±0,74*	66,0±0,60*
P	72,1±0,72	72,7±0,26	66,5±0,85*	72,1±0,64	72,5±0,49
Микроэлементы, %					
Co	45,3±1,40	47,7±0,50	52,9±1,19*	62,3±0,87*	46,8±0,94
Cr	89,8±0,26	93,2±0,06*	92,9±0,18*	96,2±0,09*	92,6±0,13*
Cu	48,6±1,32	51,2±0,47	51,7±1,22	64,2±0,82*	46,8±0,94
Fe	72,2±0,71	70,9±0,28	64,3±0,90*	84,4±0,36*	67,7±0,57*
Mn	72,0±0,72	73,3±0,26	70,3±0,75	75,6±0,56*	68,3±0,56*
Ni	29,2±1,82	52,1±0,46*	55,5±1,13*	65,8±0,79*	53,4±0,83*
Se	58,3±1,07	36,7±0,61*	38,4±1,56*	52,7±1,09*	40,2±1,06*
Zn	65,3±0,89	66,4±0,32	60,6±0,99*	62,8±0,86	58,3±0,74*
Al	78,8±0,54	81,5±0,18*	78,1±0,55	84,5±0,36*	75,7±0,43*
Cd	92,9±0,18	94,4±0,05*	94,1±0,15*	95,9±0,09*	94,2±0,10*
Pb	89,4±0,27	89,5±0,10	89,4±0,27	92,6±0,17*	87,5±0,22*
Sr	67,7±0,83	65,2±0,33*	69,9±0,76	75,3±0,57*	68,9±0,55

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

Основываясь на достоверных различиях переваримости относительно контрольной группы были сформированы элементные профили для опытных групп:

Для I группы $\frac{\uparrow K, Mg, Na, Cr, Ni, Al, Cd}{\downarrow Se, Sr}$

Для II группы $\frac{\uparrow Mg, Na, Co, Cr, Ni, Cd}{\downarrow P, Fe, Se, Zn}$

Для III группы $\frac{\uparrow Ca, K, Mg, Na, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Al, Cd, Pb, Sr}{\downarrow Se}$

Для IV группы $\frac{\uparrow Ca, Mg, Na, Cr, Cd}{\downarrow Fe, Mn, Ni, Se, Zn, Al, Pb}$

Аналогично результатам с содержанием химических элементов в помете, переваримость их имела дозозависимый эффект, выражающийся в улучшении

переваримости элементов на фоне снижения содержания пробиотика в рационе до 0,5 г/кг корма совместно с комплексом хелатных форм микроэлементов и наибольшим снижением переваримости элементов при введении в рацион комплекса хелатных микроэлементов без пробиотика в IV опытной группе.

В конце учетного периода в возрасте 300 суток имело снижение выведения элементов с пометом (табл. 31).

Таблица 31. Содержание химических элементов в помете кур-несушек в возрасте 300 суток

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Макроэлементы, г/кг					
Ca	21,5±1,70	21,5±0,65	14,87±0,57*	25,0±1,08	20,5±1,52
K	13,1±0,97	10,7±0,34*	10,36±0,42*	10,6±0,44*	10,8±0,80
Mg	3,29±0,20	3,24±0,11	2,68±0,10*	3,68±0,14	3,17±0,23
Na	1,71±0,10	1,86±0,06	1,60±0,06	1,75±0,06	1,44±0,09
P	10,0±0,57	10,4±0,34	10,37±0,39	9,17±0,37	10,2±0,65
Микроэлементы, мг/кг					
Co	0,84±0,03	0,90±0,04	0,66±0,02*	0,80±0,03	0,62±0,03*
Cr	1,55±0,05	0,62±0,02*	1,39±0,05	1,91±0,06*	1,31±0,05*
Cu	38,3±2,49	54,7±1,75*	37,84±1,44	43,1±1,72	31,4±2,17
Fe	449±15,7	272±9,00*	285±11,1*	421±16,0	294±9,73*
Mn	415±31,6	439±14,9	341±11,96*	366±13,2	352±25,06
Ni	7,68±0,33	7,60±0,28	6,02±0,21*	7,02±0,32	5,03±0,27*
Se	0,73±0,06	0,79±0,09	0,76±0,08	0,65±0,15	0,72±0,04
Zn	280±8,98	207±6,66*	269±10,24	274±10,4	258±8,79
Al	12,9±0,43	22,3±1,03*	2,01±0,34*	13,9±0,71	11,4±0,44*
Cd	0,032±0,002	0,035±0,001	0,031±0,001	0,032±0,003	0,029±0,002
Pb	0,059±0,002	0,039±0,002*	0,038±0,002*	0,033±0,002*	0,036±0,002*
Sr	36,1±2,60	28,02±0,87*	30,1±1,23	26,3±1,21*	27,45±1,92*

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

На основании полученных данных были сформированы элементные профили относительно различий опытных групп с контрольной:

Для I группы $\frac{\uparrow Cu, Al}{\downarrow K, Cr, Fe, Zn, Pb, Sr}$

Для II группы $\frac{\uparrow P}{\downarrow Ca, K, Mg, Co, Fe, Mn, Ni, Al, Pb}$

Для III группы $\frac{\uparrow Cr}{\downarrow K, Pb, Sr}$

Для IV группы $\frac{\uparrow P}{\downarrow Co, Cr, Fe, Ni, Al, Pb, Sr}$

На основании расчета переваримость меди увеличилась в IV опытной группе на 4,3% ($p \leq 0,05$), в то время как в I, II и III опытных снижалась 12,5% ($p \leq 0,05$), 3% ($p \leq 0,05$) и 2,8% ($p \leq 0,05$) (табл. 32).

Таблица 32. Коэффициенты переваримости химических элементов в организме кур-несушек в возрасте 300 суток

Элемент	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Макроэлементы, %					
Ca	86,8±0,13	85,6±0,10*	89,5±0,44*	84,7±0,24*	87,6±0,17*
K	77,9±0,22	80,2±0,14*	79,9±0,85	82,2±0,29*	82,1±0,25*
Mg	86,2±0,14	85,1±0,11*	87,0±0,55	84,5±0,25*	86,8±0,18*
Na	89,8±0,10	87,9±0,09*	89,0±0,47	89,6±0,17	91,5±0,12*
P	83,6±0,16	81,5±0,13*	80,6±0,82*	85,1±0,24*	83,7±0,23
Микроэлементы, %					
Co	71,1±0,29	66,1±0,25*	74,0±1,10*	72,6±0,44*	78,9±0,29*
Cr	95,7±0,04	98,1±0,01*	95,5±0,19	94,7±0,09*	96,4±0,05*
Cu	77,7±0,22	65,2±0,25*	74,7±1,07*	75,0±0,40*	82,0±0,25*
Fe	84,3±0,16	89,6±0,08*	88,6±0,48*	85,3±0,24*	89,9±0,14*
Mn	82,5±0,17	79,7±0,15*	83,4±0,70	84,6±0,25*	85,3±0,20*
Ni	73,3±0,27	71,1±0,21*	75,9±1,02*	75,6±0,39*	82,8±0,24*
Se	77,9±0,22	73,9±0,19*	73,5±1,12*	80,3±0,32*	78,6±0,30
Zn	77,3±0,23	81,6±0,13*	74,9±1,06	77,8±0,36	79,4±0,29*
Al	93,6±0,06	87,9±0,09*	98,9±0,05*	93,1±0,11*	94,5±0,08*
Cd	96,2±0,04	95,4±0,03*	95,7±0,18*	96,2±0,06	96,6±0,05*
Pb	89,5±0,10	92,4±0,06*	92,2±0,33*	94,0±0,10*	93,7±0,09*
Sr	81,8±0,18	84,6±0,11*	82,6±0,74	86,8±0,21*	86,4±0,19*

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

Переваримость железа в I опытной на 5,3% ($p \leq 0,05$), во II опытной на 4,22% ($p \leq 0,05$), в III опытной на 1%, а в IV опытной 5,5% ($p \leq 0,05$) больше контрольных значений, при снижении усвоения марганца в I опытной группе на 2,8% ($p \leq 0,05$), а в III и IV группе значения были выше на 2,1% ($p \leq 0,05$) и 2,9% ($p \leq 0,05$).

Переваримость селена была выше в III опытной группе на 2,43% ($p \leq 0,05$),

а значения в I и II опытных группах снижались на 4% ($p \leq 0,05$) и 4,4% ($p \leq 0,05$) соответственно.

Цинк усваивался на более высоком уровне в I опытной группе на 4,3% ($p \leq 0,05$), III опытной на 0,5%, а в IV опытной на 2,1% ($p \leq 0,05$).

Относительно вводимых микроэлементов наблюдается дозозависимый эффект в переваримости этих элементов – со снижением количества пробиотика возрастала переваримость данных элементов.

На основании расчета были составлены элементные профили, характеризующие отличия показатели опытных групп от контрольных:

Для I группы	$\frac{\uparrow K, Cr, Fe, Zn, Pb, Sr}{\downarrow Ca, Mg, Na, P, Co, Cu, Mn, Ni, Se, Al, Cd}$
Для II группы	$\frac{\uparrow Ca, Co, Fe, Ni, Al, Pb}{\downarrow P, Cu, Se, Cd}$
Для III группы	$\frac{\uparrow K, Mg, Co, Fe, Mn, Ni, Se, Zn, Pb, Sr}{\downarrow Ca, P, Cr, Cu, Al}$
Для IV группы	$\frac{\uparrow Ca, K, Mg, Na, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, Al, Cd, Pb, Sr}{\downarrow}$

Подводя итог оценке переваримости и содержания химических элементов в помете, можно сделать вывод, что введение пробиотико-минерального комплекса позволило увеличить переваримость многих макро- и микроэлементов. Также был выявлен дозозависимый эффект – при снижении количества пробиотика возрастала переваримость МЭ, а при введении хелатных форм микроэлементов в моноварианте наблюдалось значительное снижение переваримости химических элементов.

На финишном этапе испытания кормовых добавок установлено, что в теле птицы I опытной группы снизилось количество кальция на 17,3% ($p \leq 0,05$), во II опытной на 24,8% ($p \leq 0,05$), в III на 0,4% и на 48% ($p \leq 0,05$) в IV опытной. Аналогичным образом снижалось содержание магния во II, III и IV опытной группе на 23,5% ($p \leq 0,05$), 11,6% ($p \leq 0,05$) и 29,2% ($p \leq 0,05$), а фосфора в I, II и IV опытных группах на 21,8% ($p \leq 0,05$), 24% ($p \leq 0,05$) и 39,4% ($p \leq 0,05$) соответственно, что предопределяет разработку мероприятий по

дополнительной коррекции рациона по этим элементам (табл. 33).

Зафиксировано накопление меди во II опытной на 12,4% ($p \leq 0,05$), в III опытной на 23,2% ($p \leq 0,05$), а в IV опытной на 64% ($p \leq 0,05$).

Таблица 33. Содержание химических элементов в теле кур-несушек в возрасте 300 суток

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Макроэлементы, г/кг					
Ca	42,51±1,45	35,15±1,34*	31,95±1,28*	42,34±1,35	22,12±0,69*
K	7,94±0,28	7,87±0,25	7,04±0,25*	7,35±0,22	8,11±0,27
Mg	1,21±0,04	0,97±0,04*	0,92±0,03*	1,07±0,04*	0,85±0,03*
Na	2,83±0,10	2,79±0,09	2,36±0,11*	2,76±0,09	2,39±0,09*
P	24,36±0,83	19,04±0,63*	18,50±0,70*	23,67±0,71	14,76±0,44*
Микроэлементы, мг/кг					
Co	0,12±0,02	0,11±0,02	0,11±0,01	0,11±0,01	0,08±0,01
Cr	9,62±0,36	11,53±0,56*	4,12±0,13*	5,79±0,28*	7,12±0,31*
Cu	6,16±0,25	5,48±0,32	6,92±0,25*	7,59±0,33*	10,09±0,36*
Fe	108,01±3,24	110,30±3,42	80,18±2,73*	126,80±4,18*	125,45±4,52*
Mn	5,16±0,17	5,10±0,19	3,72±0,16*	4,59±0,17*	3,49±0,13*
Ni	1,15±0,04	1,33±0,08	1,16±0,10	1,52±0,07*	1,50±0,09*
Se	6,55±3,47	6,48±1,55	2,43±0,07	7,15±2,00	6,99±2,73
Zn	107,18±3,75	99,67±3,39	89,10±4,10*	112,60±3,60	93,79±4,50*
Al	7,80±0,37	20,62±0,62*	11,36±0,36*	19,58±0,61*	6,59±0,20*
Cd	0,079±0,004	0,060±0,004*	0,077±0,013	0,069±0,018	0,093±0,027
Pb	0,136±0,013	0,255±0,026*	0,120±0,005	0,142±0,005	0,119±0,012
Sr	21,59±0,93	17,07±0,61*	15,42±0,49*	22,50±0,81	11,93±0,62*

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

По результатам анализа содержания химических элементов в теле были составлены элементные профили:

Для I группы $\frac{\uparrow Cr, Al, Pb}{\downarrow Ca, Mg, P, Cd, Sr}$

Для II группы $\frac{\uparrow Cu, Al}{\downarrow Ca, K, Mg, Na, P, Cr, Fe, Mn, Zn, Sr}$

Для III группы $\frac{\uparrow Cu, Fe, Ni, Al}{\downarrow Mg, Cr, Mn}$

Для IV группы $\frac{\uparrow Cu, Fe, Ni}{\downarrow Ca, Mg, Na, P, Cr, Mn, Zn, Al, Sr}$

2.3.8 Содержание химических элементов в яйце

Оценка содержания химических элементов в яйце полученных за продуктивный период 180, 240 и 300 суток установил некоторые особенности и закономерности. В частности, в возрасте 180 суток достоверно увеличивалось содержание кальция в III и IV опытных группах на 17% ($p \leq 0,05$) и 25,8% ($p \leq 0,05$) соответственно, а также фосфора в III опытной на 16,3% ($p \leq 0,05$) (табл. 34). Накопительный эффект на фоне вводимого пробиотико-минерального комплекса проявился в увеличении содержания кобальта, хрома, меди, железа, никеля, алюминия, свинца и стронция, на фоне снижения содержания марганца и кадмия.

Таблица 34. Содержание химических элементов в яйце кур-несушек в возрасте 180 суток, мг/кг

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Макроэлементы, г/кг					
Ca	1,59±0,05	1,69±0,06	1,70±0,07	1,86±0,07*	2,00±0,06*
K	5,37±0,31	4,79±0,17	4,90±0,17	4,73±0,18	5,66±0,24
Mg	0,51±0,03	0,57±0,02	0,57±0,03	0,51±0,02	0,55±0,02
Na	5,80±0,32	5,81±0,23	6,01±0,21	5,23±0,24	5,69±0,23
P	6,64±0,34	6,59±0,22	6,75±0,33	7,72±0,37*	7,65±0,37
Микроэлементы, мг/кг					
Co	0,017±0,001	0,027±0,001*	0,030±0,002*	0,021±0,001*	0,021±0,001*
Cr	1,44±0,07	2,19±0,09*	1,70±0,08*	1,47±0,06	1,42±0,07
Cu	2,44±0,09	2,55±0,09	2,97±0,10*	3,31±0,11*	3,15±0,09*
Fe	74,1±3,78	80,8±2,59	83,7±2,51*	111±3,66*	110±4,60*
Mn	1,78±0,06	1,55±0,05*	1,55±0,05*	1,71±0,05	1,67±0,06
Ni	0,22±0,01	0,42±0,02*	0,33±0,02*	0,43±0,01*	0,26±0,01*
Se	1,63±0,31	2,38±0,26	1,82±0,24	2,39±0,28	1,78±0,05
Zn	42,5±2,51	40,9±1,27	41,6±1,70	50,3±2,01*	52,8±2,32*
Al	2,30±0,09	2,26±0,10	2,18±0,12	3,33±0,11*	2,52±0,09
Cd	0,0016±0,0002	0,0010±0,0007	0,0011±0,0002	0,0027±0,0001*	0,0009±0,0006
Pb	0,016±0,001	0,019±0,001*	0,018±0,001	0,022±0,002*	0,016±0,002
Sr	1,12±0,07	1,32±0,04*	1,18±0,04	1,42±0,06*	1,69±0,05*

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

На основании результатов содержания химических элементов в яйце

были сформированы минеральные профили:

Для I группы	$\frac{\uparrow Co, Cr, Ni, Pb, Sr}{\downarrow Mn}$
Для II группы	$\frac{\uparrow Co, Cr, Cu, Fe, Ni}{\downarrow Mn}$
Для III группы	$\frac{\uparrow Ca, P, Co, Cu, Fe, Ni, Zn, Al, Cd, Pb, Sr}{\downarrow}$
Для IV группы	$\frac{\uparrow Ca, Co, Cu, Fe, Ni, Zn, Sr}{\downarrow}$

Наибольшее содержание большинства элементов установлено в III опытной группе.

Анализ содержания химических элементов в яйце кур-несушек в возрасте 240 суток показал снижение в количестве многих макро- и микроэлементов в опытных группах по сравнению с контрольной (табл. 35).

Таблица 35. Содержание химических элементов в яйце кур-несушек в возрасте 240 суток, мг/кг

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Макроэлементы, г/кг					
Ca	2,04±0,11	2,16±0,07	1,92±0,11	1,81±0,12	1,89±0,15
K	5,63±0,28	4,83±0,19*	5,16±0,24	4,62±0,21*	4,74±0,17*
Mg	0,45±0,02	0,50±0,02	0,49±0,02	0,47±0,02	0,50±0,02
Na	4,75±0,26	4,70±0,16	5,01±0,27	4,99±0,20	4,21±0,15
P	7,63±0,38	7,90±0,30	7,46±0,34	7,30±0,29	8,04±0,31
Микроэлементы, мг/кг					
Co	0,015±0,002	0,017±0,001	0,014±0,002	0,013±0,001	0,013±0,001
Cr	1,85±0,11	1,28±0,05*	0,83±0,04*	1,17±0,05*	1,33±0,05*
Cu	2,47±0,12	2,85±0,10*	2,40±0,16	2,52±0,11	2,70±0,08
Fe	70,4±4,01	80,4±2,98	81,5±2,61*	78,7±2,68	84,2±3,28*
Mn	1,41±0,07	1,70±0,08*	1,86±0,09*	1,95±0,11*	1,74±0,07*
Ni	0,34±0,03	0,38±0,01	0,28±0,03	0,17±0,01*	0,19±0,01*
Se	1,61±0,25	1,70±0,31	1,52±0,39	1,83±0,11	1,69±0,34
Zn	48,9±2,25	51,9±1,92	50,2±1,71	47,3±1,61	51,5±1,86
Al	1,98±0,11	2,07±0,14	2,96±0,16*	1,84±0,10	1,30±0,07*
Cd	0,0047±0,0002	0,0066±0,0005*	0,0068±0,0003*	0,0074±0,0006*	0,0052±0,0006
Pb	0,015±0,002	0,025±0,001*	0,022±0,002*	0,012±0,001	0,015±0,001
Sr	1,23±0,05	1,78±0,08*	1,40±0,07	1,15±0,05	1,45±0,05*

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

Среди макроэлементов было отмечено достоверное снижение калия в I, III и IV опытных группах на 14,2% ($p \leq 0,05$), 17,9% ($p \leq 0,05$) и на 15,8% ($p \leq 0,05$) соответственно.

Все опытные группы показали достоверное снижение содержания хрома от 28,1% до 55,1% ($p \leq 0,05$) на фоне увеличения содержания марганца до 38,3% и железа на от 11,8% до 19,6%.

Для I группы $\frac{\uparrow Cu, Mn, Cd, Pb, Sr}{\downarrow K, Cr}$

Для II группы $\frac{\uparrow Fe, Mn, Al, Cd, Pb}{\downarrow Cr}$

Для III группы $\frac{\uparrow Mn, Cd}{\downarrow K, Cr, Ni}$

Для IV группы $\frac{\uparrow Fe, Mn, Sr}{\downarrow K, Cr, Ni, Al}$

Анализируя минеральные профили установлено снижение содержания многих элементов. Данный эффект можно связать с относительно резким ростом яйценоскости и массы яиц в данном возрасте в связи с выходом на пик яйценоскости у птиц.

В возрасте кур-несушек 300 суток (табл. 36) установлено накопление Ca, K и Na в яйце I опытной группы на 13,1% ($p \leq 0,05$), 17,2% ($p \leq 0,05$) и 23,7% ($p \leq 0,05$), а также натрия в III и IV опытных группах на 12,4% ($p \leq 0,05$) и 10,4% ($p \leq 0,05$).

Содержание меди достоверно было выше в III опытной группе на 24% ($p \leq 0,05$), железа в I опытной группе на 14% ($p \leq 0,05$), в то время как в III опытной количество железа было ниже на 13,4% ($p \leq 0,05$).

Количество марганца во всех опытных группах достоверно было выше, чем в контрольной группе в 1,9-2,3 раза ($p \leq 0,05$).

Таким образом, несмотря на небольшое снижение в содержании химических элементов в яйце в возрасте 240 суток, связанное с выходом на пик яйценоскости и значительными затратами организма птицы микроэлементами, к 300 суткам установлена стабилизация и перераспределение химических

элементов в продукцию.

Таблица 36. Содержание химических элементов в яйце кур-несушек в возрасте 300 суток, мг/кг

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Макроэлементы, г/кг					
Ca	1,76±0,06	1,99±0,07*	1,92±0,06	1,89±0,06	1,83±0,07
K	4,64±0,17	5,44±0,20*	4,97±0,22	4,40±0,19	4,94±0,15
Mg	0,50±0,02	0,52±0,02	0,45±0,02	0,51±0,02	0,51±0,02
Na	4,60±0,14	5,69±0,19*	5,11±0,21	5,17±0,15*	5,08±0,17*
P	7,22±0,30	7,41±0,25	7,79±0,32	7,72±0,31	7,30±0,27
Микроэлементы, мг/кг					
Co	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00*	0,01±0,00
Cr	0,73±0,03	0,74±0,03	1,34±0,09*	0,99±0,03*	1,06±0,06*
Cu	2,42±0,09	2,43±0,08	2,60±0,10	3,00±0,10*	2,40±0,09
Fe	69,3±2,29	79,0±3,71*	74,0±3,48	60,0±2,22*	74,2±2,97
Mn	0,84±0,05	1,61±0,06*	1,62±0,06*	1,94±0,06*	1,85±0,06*
Ni	0,11±0,01	0,14±0,01*	0,19±0,01*	0,20±0,01*	0,33±0,01*
Se	1,39±0,48	1,75±0,24	1,67±0,20	1,77±0,13	1,35±0,09
Zn	43,8±1,58	46,5±1,44	46,2±2,08	45,0±1,89	48,1±2,07
Al	1,34±0,05	2,05±0,10*	3,99±0,15*	1,71±0,06*	4,72±0,15*
Cd	0,004±0,0006	0,002±0,0002*	0,004±0,0005	0,005±0,0005	0,005±0,0006
Pb	0,011±0,001	0,014±0,001*	0,029±0,002*	0,014±0,001*	0,027±0,001*
Sr	1,55±0,05	1,65±0,06	1,32±0,04*	1,46±0,05	1,15±0,05*

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

На основании содержания химических элементов в яйце были составлены следующие элементные профили:

Для I группы $\frac{\uparrow Ca, K, Na, Fe, Mn, Al, Cd, Pb}{\downarrow}$

Для II группы $\frac{\uparrow Cr, Mn, Ni, Al, Pb}{\downarrow Sr}$

Для III группы $\frac{\uparrow Na, Cr, Cu, Mn, Ni, Al, Pb}{\downarrow Fe}$

Для IV группы $\frac{\uparrow Na, Cr, Mn, Ni, Al, Pb}{\downarrow Sr}$

По результатам элементного анализа биосубстратов были выявлены зависимости в содержании химических элементов в яйце кур несушек, и на основании этого сформированы элементные профили, характеризующие спектр

влияния оцениваемого пробиотико-минерального комплекса на организм птиц (рис. 15).

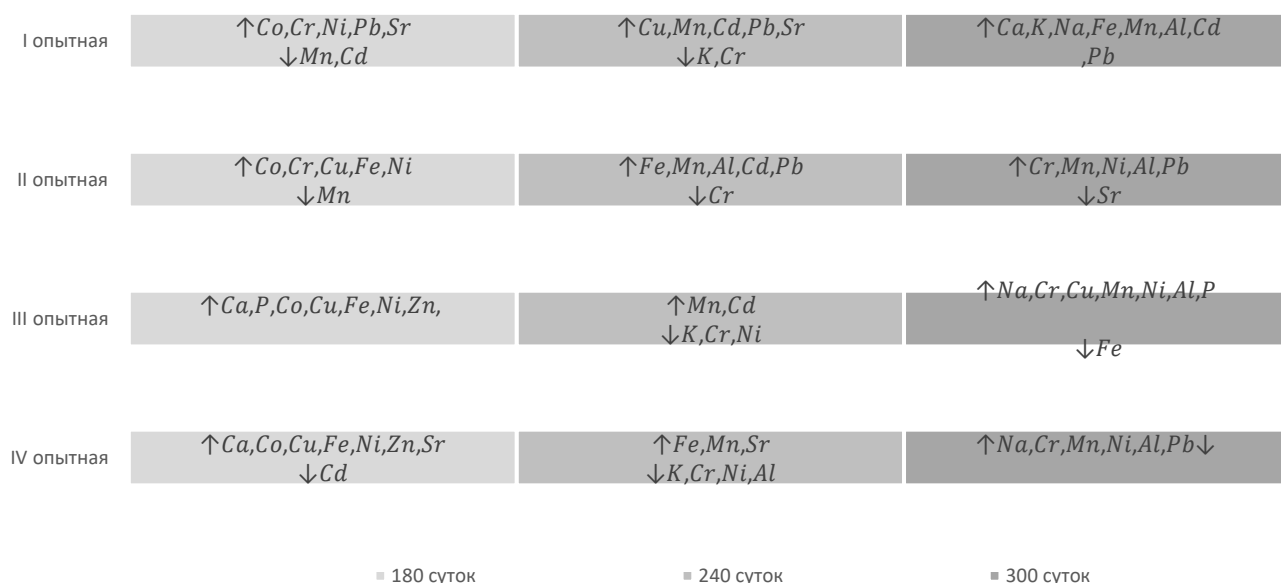


Рисунок 15. Разница в концентрации в яйце химических элементов на разных этапах яйценоскости

2.3.9 Состав микробиома кишечника кур-несушек

Предполагается, что пробиотики увеличивают скорость кишечной ферментации и производство короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК), которые обеспечивают питание клеток кишечного эпителия, что, в свою очередь, приводит к улучшению усвоения минералов. Благодаря изученному эффекту снижения эндогенных потерь элементов в организме за счет улучшенного обмена эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов стало возможным объединить их в комплексе с микроэлементами для повышения продуктивности, а также биологических показателей птицы

Исследование микробиома слепого отдела кишечника кур-несушек контрольной группы показало, что доминирующими таксонами были филумы (рис. 16) *Bacillota* (83,9%), *Pseudomonadota* (3,7%) и *Actinomycetota* (6,3 %), в

основном представлены бактериями классов *Bacilli*, *Gamma proteobacteria* и *Actinomycetes*, соответственно.

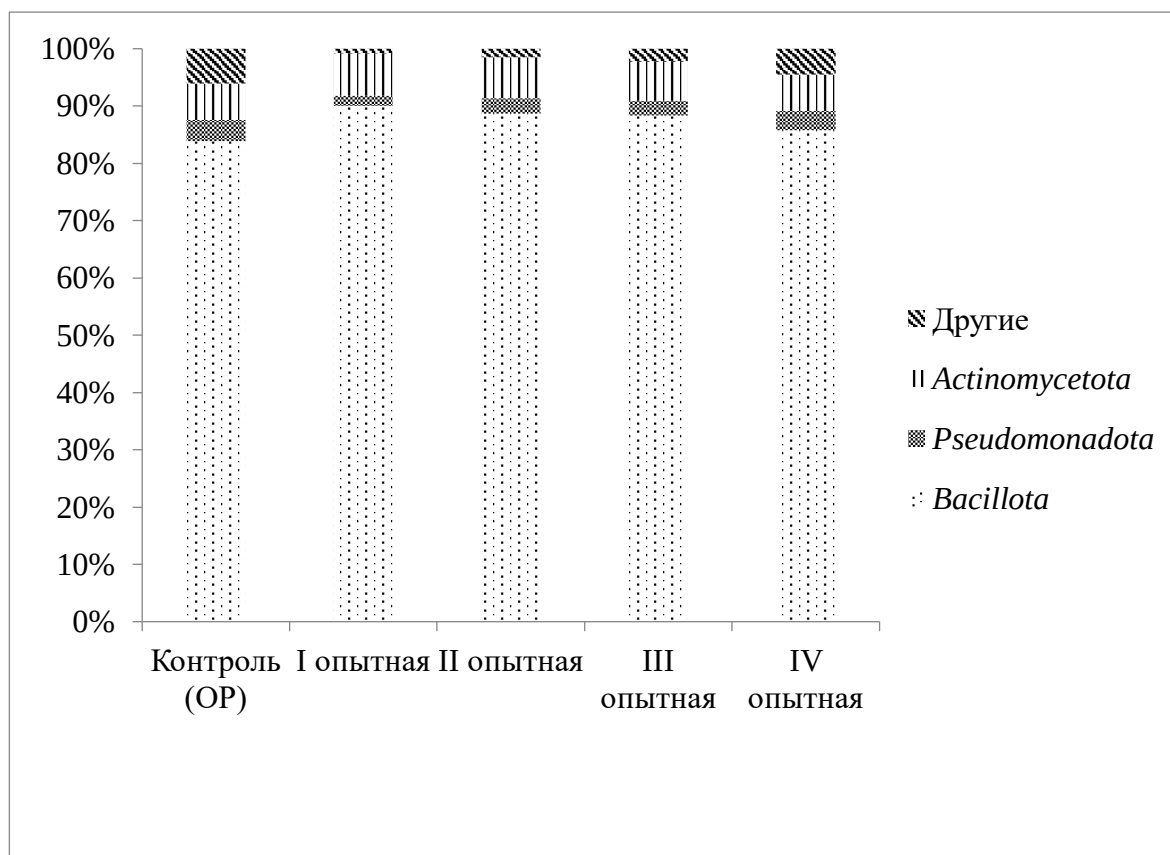


Рисунок 16. Таксономический состав флоры бактерий в слепой кишке кур-несушек

В контрольной группе на уровне семейства (рис. 17) доминировали представители семейства *Lactobacillaceae*, чья численность составила 60,5 %. Таксоны, чья численность превосходила 3 %, на уровне семейства были представлены *Oscillospiraceae* (8,2%), *Clostridiaceae* (7,1%), *Lachnospiraceae* (6,1%), *Bifidobacteriaceae* (3,6%) и *Enterobacteriaceae* (3,2%).

Основным таксоном микроорганизмов в кишечнике кур-несушек на уровне рода были представители р. *Lactobacillus*, на долю которых приходилось 54,2% от общего количества микроорганизмов.

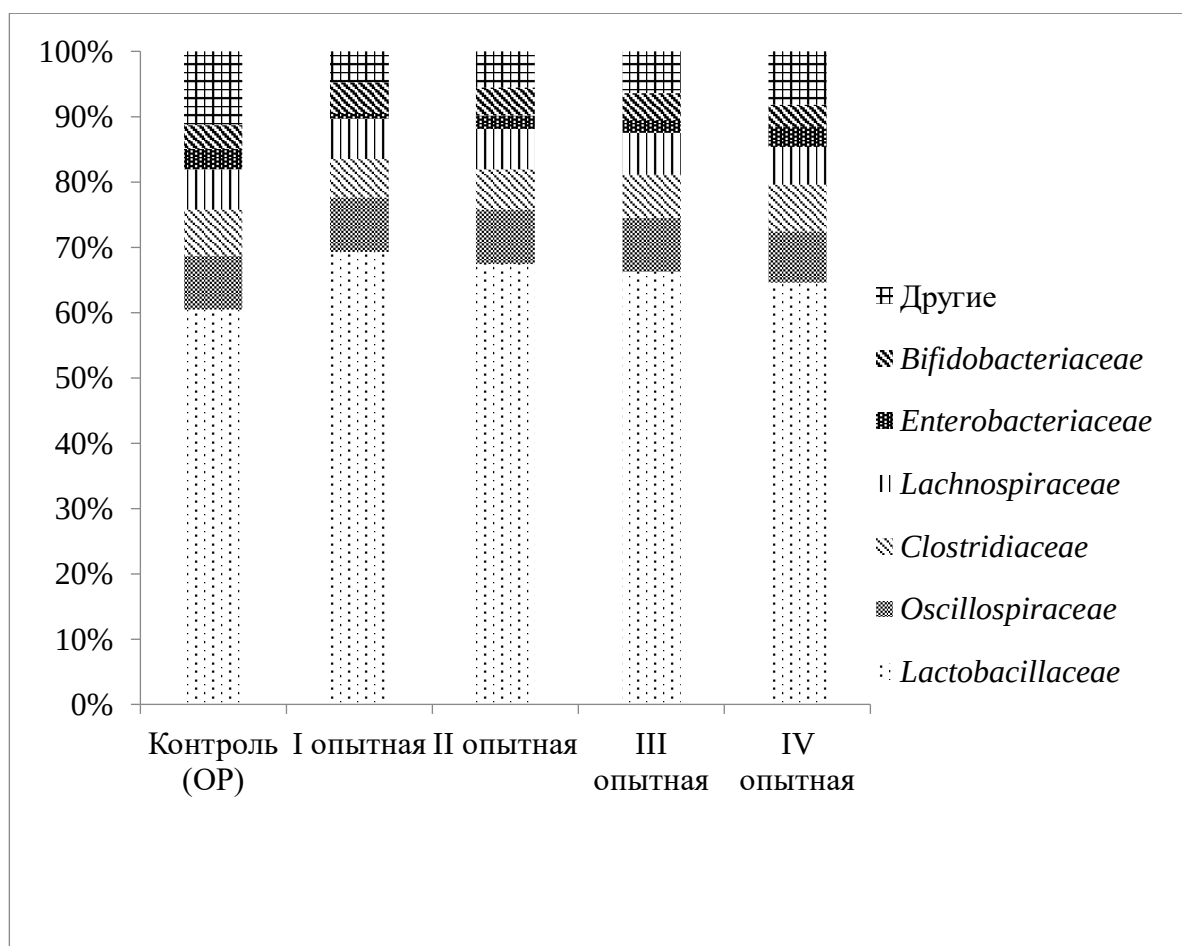


Рисунок 17. Таксономический состав семейств бактерий в слепой кишке кур-несушек

Введение в рацион кур-несушек пробиотика «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1,5 г/кг корма и МЭ на уровне филума увеличивало численность представителей *Bacillota* относительно контрольных значений на 7,2 %, *Actinomycetota* – на 17,5 %. В тоже время содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшилось, по сравнению с контролем, на 51,3 %. Для более подробного изучения данных изменений был проведен анализ состава микробиоты кишечника кур-несушек на уровне семейства. Так, было показано, что численность семейств, входящих в филум *Bacillota*, изменялась разнонаправленно. Содержание бактерий *Lactobacillaceae* увеличилось по сравнению с контролем, на 14,5 %, с одновременным уменьшением численности бактерий семейства *Clostridiaceae* (на 16,9 %). Таким образом, численность представителей семейств *Lactobacillaceae* и *Clostridiaceae* составила 69,3 % и 5,9 %, соответственно, при даче пробиотика

«Лактобифадол-Форте» в дозировке 1,5 г/кг корма и МЭ. Содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшалось, преимущественно, за счет снижения числа бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (до 0,9 %, что на 71,8 % ниже контроля). Увеличение бактерий филума *Actinomycetota*, по сравнению с контролем, происходило, главным образом, за счет увеличения численности в образцах бактерий *Bifidobacteriaceae* (на 30,5 %).

Комплекс пробиотика «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1,0 г/кг корма и МЭ на уровне филума влиял численность представителей *Bacillota*, которая была выше контрольных значений на 5,7 %, а *Actinomycetota* – на 12,6 %. В тоже время содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшилось, по сравнению с контролем, на 27,0 %. Для более подробного изучения данных изменений был проведен анализ состава микробиоты кишечника кур-несушек на уровне семейства. Так, было показано, что численность семейств, входящих в филум *Bacillota*, изменялась разнонаправленно. Содержание бактерий *Lactobacillaceae* увеличилось по сравнению с контролем, на 11,4 %, с одновременным уменьшением численности бактерий семейства *Clostridiaceae* (на 14,1 %). Таким образом, численность представителей семейств *Lactobacillaceae* и *Clostridiaceae* составила 67,4 % и 6,1 %, соответственно, при даче пробиотика «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1,0 г/кг корма и МЭ. Содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшалось, преимущественно, за счет снижения числа бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (до 2,1 %, что на 34,4 % ниже контроля). Увеличение бактерий филума *Actinomycetota*, по сравнению с контролем, происходило, главным образом, за счет увеличения численности в образцах бактерий *Bifidobacteriaceae* (на 19,4 %).

Оценка введения в рацион кур-несушек пробиотика «Лактобифадол-Форте» в дозировке 0,5 г/кг корма и МЭ показала, что на уровне филума численность представителей *Bacillota* была выше контрольных значений на 5,2 %, *Actinomycetota* – на 7,9 %. В тоже время содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшилось, по сравнению с контролем, на 29,7 %. Для более

подробного изучения данных изменений был проведен анализ состава микробиоты кишечника кур-несушек на уровне семейства. Так, было показано, что численность семейств, входящих в филум *Bacillota*, изменялась разнонаправленно. Содержание бактерий *Lactobacillaceae* увеличилось по сравнению с контролем, на 9,4 %, с одновременным уменьшением численности бактерий семейства *Clostridiaceae* (на 5,6 %). Таким образом, численность представителей семейств *Lactobacillaceae* и *Clostridiaceae* составила 66,2 % и 6,7 %, соответственно, при даче пробиотика «Лактобифадол-Форте» в дозировке 0,5 г/кг корма и МЭ. Содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшалось, преимущественно, за счет снижения числа бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (до 2,0 %, что на 37,5 % ниже контроля). Увеличение бактерий филума *Actinomycetota*, по сравнению с контролем, происходило, главным образом, за счет увеличения численности в образцах бактерий *Bifidobacteriaceae* (на 13,9 %).

При включении в рацион кур-несушек комплекса хелатных форм МЭ на уровне филума незначительно изменялась численность представителей *Bacillota* и *Actinomycetota*. В тоже время содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшилось, по сравнению с контролем, на 10,8 %. Для более подробного изучения данных изменений был проведен анализ состава микробиоты кишечника кур-несушек на уровне семейства. Так, было показано, что численность семейств, входящих в филум *Bacillota*, изменялась разнонаправленно. Содержание бактерий *Lactobacillaceae* увеличилось по сравнению с контролем, на 6,7 %, численность бактерий семейства *Clostridiaceae* изменялась незначительно. Таким образом, численность представителей семейств *Lactobacillaceae* и *Clostridiaceae* составила 64,6 % и 7,2 %, соответственно, при даче МЭ. Содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшалось, преимущественно, за счет снижения числа бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (до 3,0 %, что на 6,2 % ниже контроля). Численность в образцах бактерий *Bifidobacteriaceae* уменьшалась на 5,6 %, по сравнению с контролем.

Закключение по второму экспериментальному исследованию:

1. Введение пробиотико-минерального комплекса оказывало положительное влияние на расход корма, который снижался на 0,9% в I опытной группе, среднюю массу яиц, которая была выше I опытной группе на 2,9% ($p \leq 0,01$) и в III опытной группе на 2,15% ($p \leq 0,05$). Конверсия корма улучшалась в I и IV опытной группе на 7,3% при расчете на 1 кг яйцемассы.

2. Наибольший пик переваримости питательных веществ у кур несушек достигнут в возрасте 300 суток, с превосходством в I и III опытных группах по переваримости сырой клетчатки и сырого протеина на фоне незначительного снижения сырого жира в конце учетного периода.

3. Оценка влияние комплекса пробиотика «Лактобифадол-Форте» с комплексом хелатных форм микроэлементов (Cu, Fe, Mn, Se и Zn) на морфологические показатели показало наибольший рост массы яиц и составных частей яйца в I и III опытных группах, тогда как к концу учетного периода морфологические показатели яиц у птиц IV опытной группы, получавшей комплекс микроэлементов без пробиотика снижались относительно контрольной группы. Дозозависимый эффект от применения пробиотико-минерального комплекса выражался в увеличении содержания жира, протеина и витаминов в яйце при снижении вводимого пробиотика в составе комплекса. Качественные показатели яиц улучшались во всех опытных группах – повышалась сохранность яиц и процент яиц отборной категории.

4. Введение пробиотико-минерального комплекса не имело негативного влияния на морфологические показатели крови, а также стимулировало лейкогенез, эритропоз и гемопоз. Применение данной добавки сопровождалось стимулирующим эффектом на углеводный и жировой обмен, при снижении токсического воздействия на печень птицы, что подтверждалось оценкой химического состава тела птицы – увеличивалось содержание протеина, жира и энергии, которые непосредственно влияют и на продуктивные показатели кур-несушек.

5. Влияние пробиотико-минерального комплекса выразалось в

увеличении переваримости многих макро- и микроэлементов во всех учетных периодах, а также повышение их содержания в яйце к 300-суточному возрасту.

6. Пробиотико-минеральный комплекс оказал действие на состав филума микробиома слепой кишки кур-несушек, у которых увеличивалось содержание облигатной микрофлоры желудочно-кишечного тракта птицы (*Lactobacillaceae* и *Bifidobacteriaceae*), одновременно с уменьшением численности бактерий патогенной и условно-патогенной группы (*Clostridiaceae* и *Enterobacteriaceae*). При этом введение только МЭ сопровождалось увеличением содержания *Lactobacillaceae*, уменьшением – *Bifidobacteriaceae* и *Enterobacteriaceae*.

7. Применение пробиотико-минерального комплекса в дозировке 0,5 г/кг корма оказало наибольший эффект на совокупность определяемых зоотехнических и морфо-биохимических показателей.

2.4 Результаты третьего экспериментального исследования

2.4.1 Корма и зоотехнические показатели кур-несушек

С целью определения влияния комплекса УДЧ микроэлементов Cu, Fe, Mn, Zn и селенита натрия совместно с пробиотиком «Лактобифадол-Форте» методом групп-аналогов из 180-суточных кур-несушек были сформированы 5 групп по 30 голов в каждой. Продолжительность эксперимента составила 60 суток.

Наибольшей поедаемостью корма на 3,7% ($p \leq 0,05$) характеризовались курочки II опытной группы, что коррелировало с увеличением живой массы на 3,8% ($p \leq 0,05$) при снижении яйценоскости на 0,2% к концу учетного периода (табл. 37).

Таблица 37. Зоотехнические показатели выращивания кур-несушек (180-240 сутки)

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Живая масса, г: 180 суток	1778±3,18	1775±2,96	1779±4,10	1771±5,04	1770±5,13
240 суток	1898±33,31	1768±77,3	1904±55,6	1820±45,2	1864±52,9
Поедаемость, г/гол/сут	132±1,21	127±1,00*	137±1,72*	133±1,39	130±1,09
Яйценоскость, шт/гол/сут	0,969±0,012	0,984±0,013	0,967±0,017	0,973±0,017	0,971±0,012
Яйценоскость на начальную несушку, шт.	58,1	59	58	58,4	58,3
Средний вес яйца, г	57,5±0,33	59,4±0,48*	57,4±0,66	57,9±0,45	57,0±0,41
Конверсия, кг корма на 1 кг яйцемассы/ 10 шт. яиц	2,28 / 1,31	2,12 / 1,26	2,48 / 1,43	2,27 / 1,31	2,25 / 1,28

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

Разнонаправленное действие биоминерального комплекса в I, III опытных группах несколько отличалось по поедаемости, на фоне увеличения яйценоскости соответственно. В IV опытной группе при снижении потребления корма яйценоскость также снижалась относительно контрольной группы на 0,2%.

По оценочной массе яиц, превосходством характеризовались I и III опытные группы на 3,3% ($p \leq 0,05$) и 0,7%, при снижении II и IV группах на 0,2% и 0,9% (рис. 18).

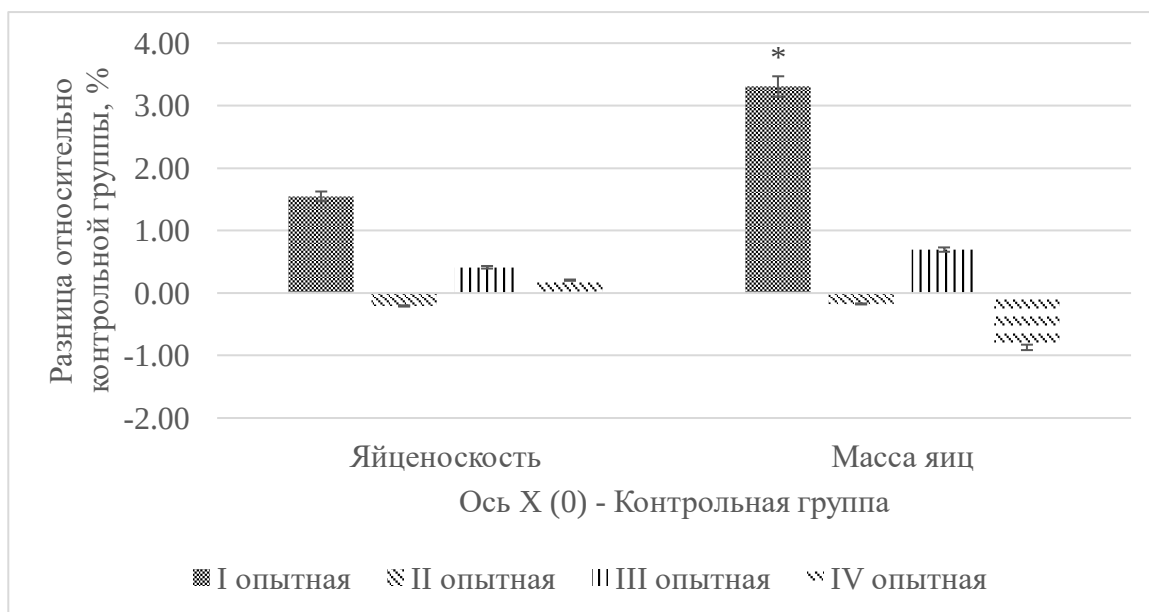


Рисунок 18. Разница в яйценоскости и массе яиц кур-несушек опытных групп относительно контрольной, %

При введении комплекса УДЧ микроэлементов и пробиотика (ПМК) в дозировке 1 г/кг корма во II опытной группе данный показатель увеличивался при расчете как на 1 кг яйцемассы (на 8,8%), так и на 10 яиц (на 9,2%), в то же время в остальных опытных группах показатель конверсии был ниже, чем в контрольной группе от 0,4% до 7%.

Динамика живой массы (рис. 19) при введении в рацион ПМК показала снижение живой массы к 240 суткам в I опытной группе на 6,8%, в III опытной на 4,1% и в IV опытной на 1,8%, в то же время II опытная группа превосходила контрольную на 0,3%.

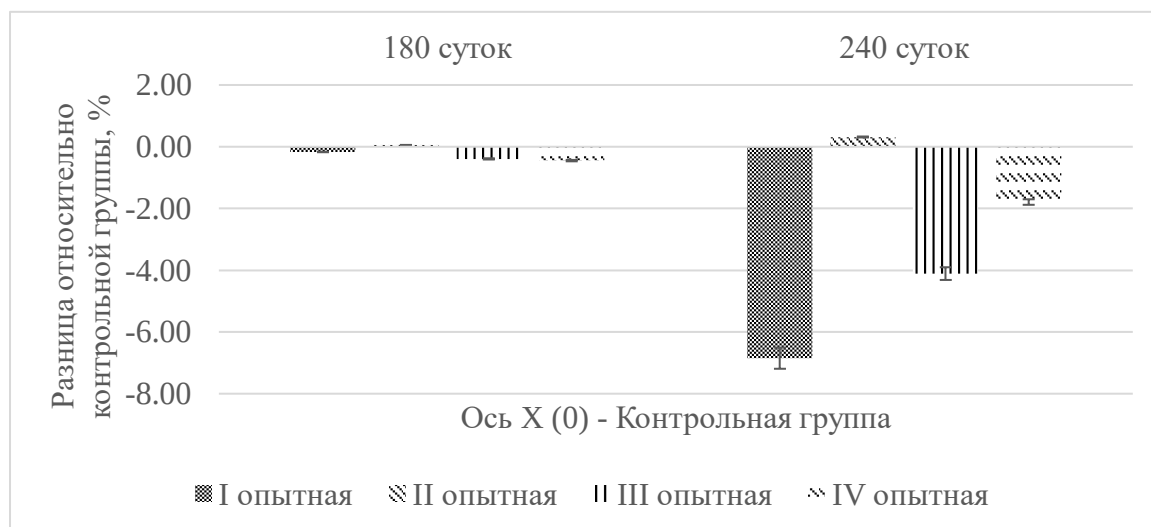


Рисунок 19. Разница в динамике живой массы кур-несушек опытных групп относительно контрольной, %.

Таким образом, при оценке зоотехнических параметров, наибольшим эффектом характеризовалась птица, получавшая в рацион 1,5 г/кг и 0,5 г/кг пробиотика «Лактобифадол-Форте» и ПМК, на основании увеличения средней массы яиц на 3,3% ($p \leq 0,05$) и 0,7%, яйценоскости на 1,55% и 0,41% соответственно.

2.4.2 Переваримость питательных веществ рациона

Среднесуточное потребление кормов на протяжении всего экспериментального исследования составило $132 \pm 1,21$ г в контрольной группе, $127 \pm 1,00$ в I опытной группе, $137 \pm 1,72$ во II опытной группе, $133 \pm 1,39$ в III опытной группе и $130 \pm 1,09$ в IV опытной группе.

В частности, переваримость сухого вещества у кур несушек II опытной группе снизилась на 2,4% ($p \leq 0,05$), при увеличении данного показателя в III опытной группе на 0,9% (табл. 38).

Переваримость органического вещества в III опытной группе было выше

на 1,2%, тогда как в I опытной на 2,4% ($p \leq 0,05$), а во II опытной на 2,7% ($p \leq 0,05$) было меньше чем в контрольной, за счет снижения переваримости клетчатки в этих группах. Переваримость сырого протеина в I опытной на 1,8%, во II опытной на 3,9% ($p \leq 0,05$) и в III опытной на 3,5% ($p \leq 0,05$) превышали контрольные значения.

Таблица 38. Коэффициенты переваримости питательных веществ кур-несушек в возрасте 240 суток

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
сухое вещество	73,2±0,58	72,0±0,16	70,8±0,62*	74,1±0,47	73,9±0,54
органическое вещество	76,9±0,50	74,5±0,15*	74,2±0,54*	78,1±0,40	76,6±0,48
сырой протеин	80,0±0,44	81,8±0,10*	83,9±0,34*	83,5±0,30*	81,2±0,39
сырая клетчатка	28,1±1,56	29,0±0,40	24,5±1,60	31,3±1,24	29,4±1,46
сырой жир	90,4±0,21	88,9±0,06*	91,5±0,18*	94,4±0,10*	85,1±0,31*

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

Переваримость сырого жира достоверно увеличивалась во II и III опытных группах на 1,1% ($p \leq 0,05$) и 4% ($p \leq 0,05$), а в I и IV опытных наоборот была меньше на 1,5% ($p \leq 0,05$) и 5,3% ($p \leq 0,05$) соответственно (рис. 20).

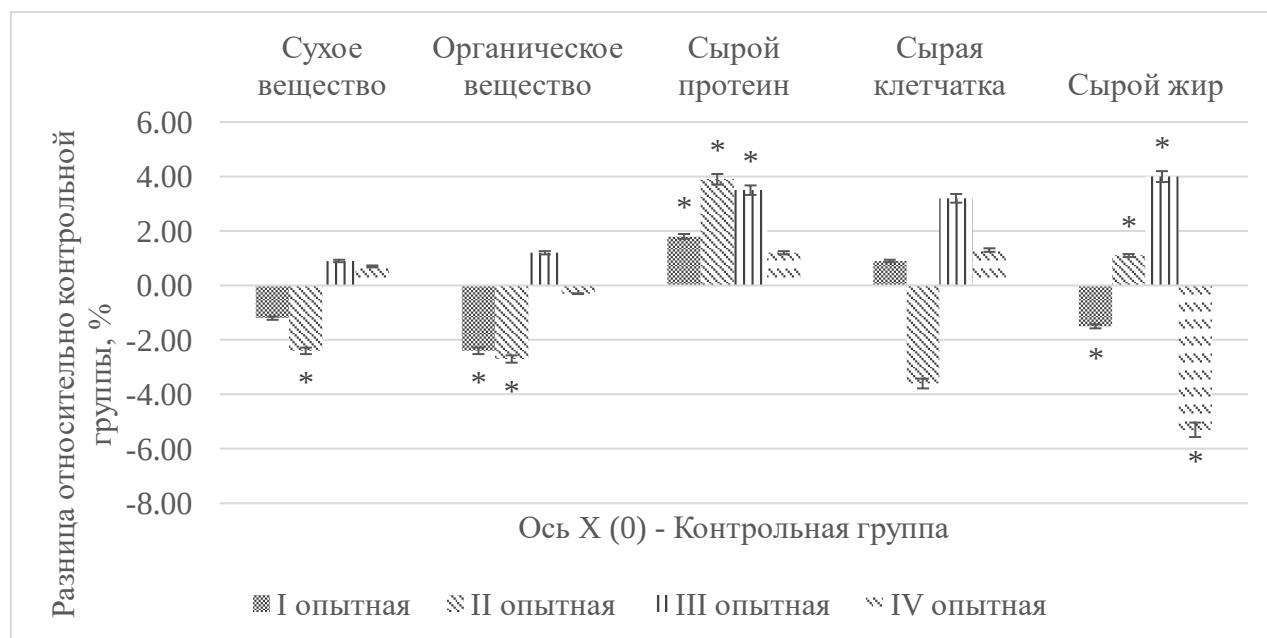


Рисунок 20. Разница в переваримости питательных веществ корма между опытными и контрольной группами в конце экспериментального исследования, %

Таким образом, на основании показателей переваримости корма лучшими

составом характеризовалась III опытная группа, в рацион которой включали 0,5 г/кг пробиотика «Лактобифадол-Форте» и комплекс ультрадисперсных частиц Cu, Fe, Mn, Zn и селенита натрия.

2.4.3 Качественные показатели яиц кур-несушек

Результаты морфологического анализа яиц (табл. 39) показали, что наибольшая масса яиц была в I опытной группе – $59,37 \pm 0,48$, а наименьшая в IV опытной группе – $56,9 \pm 0,41$.

Таблица 39. Морфологические показатели яиц кур-несушек в возрасте 240 суток

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Масса яиц, г	$57,5 \pm 0,33$	$59,4 \pm 0,48^*$	$57,43 \pm 0,66$	$57,93 \pm 0,45$	$56,99 \pm 0,41$
Плотность яиц, г/см ³	$1,06 \pm 0,01$	$1,06 \pm 0,01$	$1,07 \pm 0,01$	$1,06 \pm 0,01$	$1,06 \pm 0,01$
Масса составных частей яиц, г:					
белка	$31,9 \pm 0,22$	$33,1 \pm 0,31^*$	$32,7 \pm 0,25^*$	$32,0 \pm 0,29$	$31,7 \pm 0,31$
желтка	$16,0 \pm 0,09$	$17,0 \pm 0,11^*$	$16,6 \pm 0,14^*$	$17,1 \pm 0,16^*$	$15,7 \pm 0,14$
скорлупы	$9,62 \pm 0,37$	$9,31 \pm 0,30$	$8,15 \pm 0,45^*$	$8,85 \pm 0,50$	$9,61 \pm 0,40$
Индекс, %:					
формы	$77,6 \pm 0,58$	$77,8 \pm 0,58$	$77,6 \pm 0,87$	$78,1 \pm 0,38$	$77,6 \pm 0,60$
белка	$8,23 \pm 0,77$	$9,16 \pm 0,77$	$9,21 \pm 0,62$	$8,70 \pm 0,55$	$8,43 \pm 0,43$
желтка	$42,7 \pm 1,46$	$48,8 \pm 1,51^*$	$42,2 \pm 1,00$	$46,2 \pm 1,25$	$45,6 \pm 1,97$
Толщина скорлупы, мм	$0,33 \pm 0,016$	$0,35 \pm 0,006$	$0,35 \pm 0,007$	$0,36 \pm 0,013$	$0,36 \pm 0,010$
Единицы Хау	$77,9 \pm 4,40$	$82,6 \pm 3,31$	$82,6 \pm 3,31$	$81,1 \pm 3,33$	$82,1 \pm 1,52$

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

Плотность яиц во всех группах составляла 1,06-1,07 г/см³, при достоверном превосходстве по массе белка I и II опытных групп на 3,8% ($p \leq 0,05$) и 2,5% ($p \leq 0,05$), при снижении на 0,6% в IV опытной группе (рис. 21). По массе желтка установлена аналогичная разница.

Масса скорлупы во всех опытных группах снижалась относительно контрольной, с наибольшей разницей на 15,3% ($p \leq 0,05$) во II опытной группе.

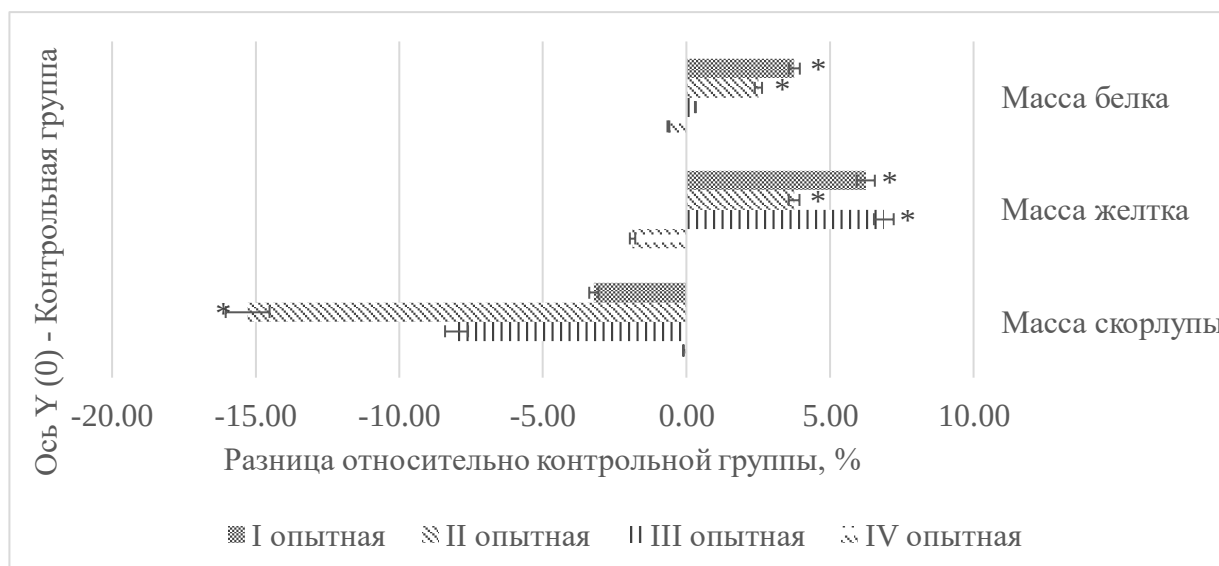


Рисунок 21. Разница в массе белка, желтка и скорлупы яиц кур-несушек опытных групп относительно контрольной в период яйценоскости, %

Индекс формы яйца во II и IV опытных группах практически не отличался от значений контрольной группы, на фоне превосходства I и III опытных групп на 0,2% и 0,5%.

Индекс формы белка в опытных группах был на одном уровне с контрольной, а индекс формы желтка достоверно был выше в I опытной группе на 6,1% ($p \leq 0,05$), в то время как во II опытной группе он снижался на 0,5%.

Измерение единиц Хау показывает, что во всех опытных группах показатель был выше 80 единиц и превосходил контрольную группу на 4,1%-6%.

Оценка химического состава яиц, установила, что по количеству жира превосходством характеризовались I, II, III и IV опытные группы на 2,2% ($p \leq 0,05$), 9,8% ($p \leq 0,05$), 16,6% ($p \leq 0,05$) и на 21,4% ($p \leq 0,05$) соответственно (табл. 40).

По концентрации жира II опытная группа превосходила контрольную на 9,9% ($p \leq 0,05$), III опытная на 15,7% ($p \leq 0,05$), и IV на 22,7% ($p \leq 0,05$).

Количество протеина в яйце было выше в I, II и IV опытных группах на 4,5% ($p \leq 0,05$), 16,7% ($p \leq 0,05$) и 10,6% ($p \leq 0,05$) соответственно при некотором снижении в III опытной группе. Концентрация протеина достоверно выше во II и IV опытных группах на 16,2% ($p \leq 0,05$) и 11,1% ($p \leq 0,05$), при снижении на

0,9% ($p \leq 0,05$) в III опытной группе.

Таблица 40. Химический состав яиц кур-несушек в возрасте 240 суток

Содержание	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
жира, г/яйцо	4,57±0,03	4,67±0,04*	5,02±0,05*	5,33±0,03*	5,55±0,05*
Концентрация жира, %	7,94±0,05	7,86±0,06	8,73±0,09*	9,19±0,05*	9,74±0,09*
протеина, г/яйцо	6,72±0,04	7,02±0,06*	7,84±0,06*	6,71±0,05	7,43±0,07*
Концентрация протеина, %	11,7±0,08	11,8±0,10	13,6±0,10*	11,6±0,09*	13,0±0,12*
в желтке, мкг/г: Витамин А	8,00±0,10	8,36±0,67	8,97±0,77	9,66±0,75*	10,71±0,67*
Витамин Е	94,1±3,72	103±2,73	112±6,96*	107±6,92	113±3,78*

Примечание: $p \leq 0,05$, при сравнении опытных групп с контрольной

Оценка содержания витамина А в желтке показала достоверный рост данного показателя в III и IV опытной группах на 20,7% ($p \leq 0,05$) и 33,9% ($p \leq 0,05$). Количество же витамина Е имело достоверное увеличение во II и IV опытных группах на 18,6% ($p \leq 0,05$) и 20,3% ($p \leq 0,05$).

Подводя итог оценке химического состава яиц кур-несушек, было отмечено дозозависимое влияние вводимого пробиотико-минерального комплекса. При снижении количества вводимого пробиотика отмечались положительно качественные изменения.

На протяжении всего учетного периода учитывалось количество яиц с браком и их категоричность (табл. 41).

Таблица 41. Качественные показатели яиц

Группа	Категорийность яиц									
	Отборная		I		II		III		Насечка и бой	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
контрольная	359,94	20,64	694,92	39,85	393,36	22,56	276,53	15,86	19,18	1,10
I опытная	393,55	22,22	719,97	40,65	404,14	22,82	235,22	13,28	18,42	1,04
II опытная	383,62	22,04	629,99	36,19	471,66	27,09	237,92	13,67	17,76	1,02
III опытная	363,80	20,78	711,02	40,61	408,22	23,32	250,41	14,30	17,33	0,99
IV опытная	372,78	21,34	677,94	38,81	410,80	23,52	266,53	15,26	18,87	1,08

Так, наибольшее количество яиц с браком отмечалось в контрольной (1,1%) и IV опытной группе (1,08%), в то время как наименьший процент брака был во II (1,02%) и III (0,99%) опытных группах.

Наибольший процент отборных яиц был в I опытной группе – 22,22%, а наименьшей в контрольной – 20,64%.

Процент яиц первой категории был наименьшим во II опытной группе – 36,19%, а наибольшим в I и III опытных группах – 40,65% и 40,61%.

Наибольшее число яиц второй категории отмечалось во II опытной группе – 27,09%, в то время как наименьшее их количество было в контрольной группе – 22,56%. Касаясь яиц третьей категории, то наименьшее их количество встречалось в I опытной группе – 13,28%, а наибольшее в контрольной – 15,86%.

Оценка качества яиц показала, что по морфологическим показателям, химическому составу и качественным показателям, лидирующую позицию занимала III опытная группа.

2.4.4 Морфологические показатели крови кур-несушек

При использовании в рационе кур несушек пробиотико-минеральных добавок установлено увеличение количества лейкоцитов: в I опытной на 17,7%, во II опытной на 13%, в III опытной на 3,4%, а в IV опытной на 14,5% (табл. 42).

В лейкоцитарной формуле наблюдались незначительные различия, которые указывают на отсутствие негативного влияния исследуемого функционального комплекса на лимфатическую систему организма птицы.

Используемая добавка стимулировала синтез гемоглобина в организме птиц I опытной группы на 11,6%, II опытной на 7,4%, III опытной на 2,5% и IV опытной на 10,7%. Данный показатель напрямую связан с количеством свободно циркулирующих в крови эритроцитов, количество которых также было выше во всех опытных группах на 2,2-7,9%. Превышение данных показателей свидетельствует об усиленном обмене в организме птиц опытных групп, которое подтверждается большими потребностями в кислороде

органами и тканями.

Таблица 42. Морфологические показатели крови кур-несушек

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Количество лейкоцитов, $10^9/\text{л}$	37,80±0,93	44,50±0,75*	42,70±0,95*	39,10±0,32	43,30±0,86*
Доля нейтрофилов, %	50,15±0,84	46,78±0,42*	46,54±0,41*	48,23±0,60	53,92±0,58*
Доля лимфоцитов, %	45,48±1,10	48,43±1,07	48,84±0,69*	46,41±0,57	40,84±0,58*
Доля моноцитов, %	1,63±0,37	1,84±0,23	1,44±0,19	2,19±0,05	2,26±0,03
Доля эозинофилов, %	1,82±2,16	1,92±0,15	2,09±0,91	2,11±0,33	1,96±0,39
Доля базофилов, %	0,92±0,08	1,03±0,04	1,09±0,17	1,06±0,03	1,02±0,06
Количество нейтрофилов, $10^9/\text{л}$	18,96±1,69	20,82±1,35	19,87±1,17	18,86±2,09	23,35±1,03*
Количество лимфоцитов, $10^9/\text{л}$	17,19±0,76	21,55±0,41*	20,86±0,32*	18,15±0,29	17,68±0,77
Количество моноцитов, $10^9/\text{л}$	0,62±0,14	0,82±0,10	0,61±0,08	0,86±0,02	0,98±0,02*
Количество эозинофилов, $10^9/\text{л}$	0,69±0,69	0,85±0,04	0,89±0,41	0,83±0,09	0,85±0,08
Количество базофилов, $10^9/\text{л}$	0,35±0,03	0,46±0,02*	0,47±0,07	0,41±0,02	0,44±0,03*
Количество эритроцитов, $10^{12}/\text{л}$	2,28±0,15	2,46±0,09	2,33±0,04	2,28±0,03	2,39±0,21
Количество гемоглобина, г/л	121±7,48	135±5,62	130±5,28	124±3,03	134±14,23
Гематокрит, %	26,2±1,73	28,4±1,57	28,1±1,08	25,9±1,03	27,7±2,14
Ширина распределения красных кровяных тел, %	8,79±0,22	8,84±0,62	8,77±0,17	8,85±0,28	8,50±0,40
Количество тромбоцитов, $10^9/\text{л}$	22,0±2,08	26,4±4,35	20,6±0,54	23,7±0,31	25,7±3,18

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

Оценка морфологических показателей крови показала, что введение пробиотико-минерального комплекса усиливает обменные процессы в организме и стимулирует лейкогенез, а также эритропоэз.

2.4.5 Биохимические показатели крови кур-несушек

Включение в рацион комплекса из УДЧ микроэлементов и пробиотика «Лактобифадол-Форте» оказывало стимулирующее действие на углеводный обмен, которое сопровождалось увеличением количества глюкозы в I опытной группе на 10,8%, во II опытной на 7,8% ($p \leq 0,05$), в III опытной на 13,7%, а в IV

опытной на 9,8% ($p \leq 0,05$) (табл. 43).

Таблица 43. Биохимические показатели крови

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Глюкоза, ммоль/л	12,85±0,26	14,24±1,01	13,86±0,25*	14,62±0,81	14,11±0,16*
Общий белок г/л	59,65±6,80	49,44±1,46	52,11±3,71	48,31±3,83	51,48±4,02
Альбумин, г/л	21,4±0,63	19,3±0,63	21,9±1,17	20,2±0,23	19,2±0,87
АЛТ, Ед/л	10,5±1,09	10,2±2,04	9,1±2,06	7,7±0,80	10,0±0,46
АСТ, Ед/л	308±22,7	226±20,0	237±5,98*	219±23,4	231±23,8
Билирубин общий, мкмоль/л	1,47±0,37	1,38±0,22	1,11±0,25	1,11±0,08	1,57±0,16
Холестерин, ммоль/л	5,75±1,29	4,08±0,37	4,12±0,31	4,11±0,65	5,56±0,58
Триглицериды, ммоль/л	14,8±2,38	14,4±1,09	13,4±1,10	14,5±2,08	16,0±0,59
Мочевина, ммоль/л	0,62±0,43	0,32±0,12	0,45±0,15	0,38±0,20	0,51±0,17
Креатинин, мкмоль/л	42,6±4,03	39,9±1,71	40,7±1,33	36,5±3,22	33,9±2,04
а-Амилаза, ед/л	1 077±50,4	1 101±30,3	1 116±29,1	1 055±15,2	1 050±71,6
Мочевая кислота, мкмоль/л	372±46,9	276±1,91	249±33,2	358±32,6	403±30,8
Железо, мкмоль/л	10,6±2,07	21,3±1,37*	18,4±0,79*	18,2±1,12*	15,6±2,99
Магний, ммоль/л	1,93±0,19	1,71±0,08	1,86±0,06	1,40±0,06	1,71±0,23
Кальций, ммоль/л	9,01±0,67	8,99±0,65	8,26±0,47	8,30±0,47	8,97±0,99
Фосфор, ммоль/л	3,98±0,48	4,17±0,32	3,48±0,01	3,75±0,45	4,59±1,01
Са/Р	2,26	2,16	2,37	2,21	1,95
Липаза, Ед/л	4,89±1,44	5,51±0,76	5,20±0,44	6,32±1,43	5,70±1,13

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

В I и II опытной группе наблюдалось увеличение а-Амилазы на 2,2% и 3,6%, а в III и IV опытных группах снижение на 2% и 2,5% соответственно.

Данная разница в изменениях углеводного обмена объясняется повышением продуктивных показателей на фоне усиления обменных процессов, что является адаптивной реакцией организма.

Снижение количества общего белка в опытных группах на 12,6%-19%, а также альбумина в I, III и IV опытных группах на 9,8%, 5,6% и 10,3% отражает изменения в белковом обмене, связанные с повышенным расходом белка на продукцию яйца, а также повышенный уровень продуктивности в сравнении с контрольной группой.

Количество фермента печени Аланинаминотрансферазы снижалось на 2,9% в I опытной, 13,3% во II опытной, 26,7% в III опытной и 4,8% в IV опытной. Количество Аспартатаминотрансферазы снижалось во всех опытных на 23%-29%.

Другой фермент – липаза, участвующий в расщеплении жиров был выше в I опытной группе на 12,7%, во II опытной на 6,3%, в III опытной на 29,2% и в IV опытной на 16,6%, что позволяет судить о стимуляции липидного обмена в организме птиц опытных групп.

Количество железа в крови достоверно увеличивалось у птиц I, II и III опытных групп в 1,7-2 раза. Данное изменение может быть связано со стимуляцией эритропоэза в организме. Соотношение кальция и фосфора наиболее близкое к оптимальному соотношению 2 к 1 было в IV опытной группе – 1,95 к 1, а наиболее отличающееся зафиксировано во II опытной группе – 2,37 к 1.

Оценка биохимических показателей крови не выявила негативного влияния на организм кур-несушек от введения пробиотико-минерального комплекса. Было отмечено стимулирующее действие на углеводный и липидный обмены, содержание железа, а также снижение токсической нагрузки на печень птицы.

2.4.6 Содержание химических веществ и энергии в организме птицы

Количество сухого вещества в организме птицы II опытной группы в конце учетного периода превосходило контрольные значения на 7,55%, в III опытной на 6,74% и в IV опытной на 4,31%, при снижении в I опытной на 4,58% (табл. 44).

По содержанию протеина III опытная группа превосходила контрольную на 8,77%, а I опытная уступала на 7,46%. Количество жира достоверно было выше во II опытной группе на 14,8% ($p \leq 0,05$), в то время как в I, III и IV

опытных группах разница с контрольной группой составляла 0,8%, 5,47% и 12,5% соответственно. Содержание золы достоверно снижалось в I и II опытных группах на 9,27% ($p \leq 0,05$) и 9,93% ($p \leq 0,05$) соответственно.

Концентрация энергии достоверно превосходила значения контрольной группы во II опытной группе на 2,93% ($p \leq 0,05$).

Таблица 44. Химический состав тела и содержание энергии в организме кур-несушек в возрасте 240 суток

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Сухое вещество, г	371±7,30	354±14,9	399±16,1	405±12,59	387±12,5
Протеин, г	228±4,48	211±8,90	238±9,63	253±7,85	228±7,36
Жир, г	128±2,52	129±5,43	147±5,95*	138±4,28	144±4,65*
Зола, г	15,1±0,30	13,7±0,58*	13,6±0,55*	14,8±0,46	15,1±0,49
Энергия, МДж/гол	8,90±0,18	8,65±0,36	9,82±0,40	9,69±0,30	9,52±0,31
Концентрация энергии, Мдж/ кг СВ	23,9±0,47	24,4±1,03	24,6±0,99*	23,9±0,74	24,6±0,79

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

Повышение отложения в организме протеина и жира, а также повышение энергии, которое отмечалось в III опытной группе свидетельствует о стимуляции обменных процессов, что подтверждается увеличением переваримости сырого протеина, сырой клетчатки и сырого жира, а также стимуляцией углеводного и липидного обмена, отмеченного при анализе биохимических показателей крови.

2.4.7 Элементный состав биосубстратов кур-несушек

Содержание химических элементов в помете позволяет сделать выводы о усвояемости макро- и микроэлементов из организма птицы. Количество кальция в помете всех опытных групп снижалось на 0,4%-13,6%, количество калия достоверно снижалось в I и III опытных группах на 14,7% ($p \leq 0,05$) и 18,9% ($p \leq 0,05$), содержание магния достоверно снижалось во II и III опытных группах на 14,2% ($p \leq 0,05$) и 17,6% ($p \leq 0,05$), а количество натрия было ниже в

I, II и III опытных группах на 17,7% ($p \leq 0,05$), 16,8% ($p \leq 0,05$) и 12,3% ($p \leq 0,05$) соответственно (табл. 45).

Однако, на фоне снижения таких макроэлементов как Ca, K, Mg и Na отмечалось увеличение содержания фосфора во всех опытных группах на 0,9%-10%. Данные различия можно объяснить физиологическим антагонизмом фосфора и кальция, количество которого в помете снижалось.

Таблица 45. Содержание химических элементов в помете кур-несушек в возрасте 240 суток, мг/кг

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Ca	27,1±2,17	27,0±1,14	23,6±0,96	25,2±1,41	23,4±1,35
K	14,3±0,73	12,2±0,41*	13,2±0,48	11,6±0,46*	13,6±0,94
Mg	5,28±0,21	4,75±0,15	4,53±0,15*	4,35±0,18*	4,95±0,29
Na	3,16±0,14	2,60±0,09*	2,63±0,10*	2,77±0,10*	2,85±0,15
P	11,0±0,70	11,9±0,45	12,1±0,46	11,1±0,57	11,5±0,55
Co	1,02±0,04	1,04±0,05	0,85±0,03*	0,80±0,03*	0,91±0,03*
Cr	2,11±0,07	1,22±0,04*	1,58±0,06*	1,41±0,05*	1,62±0,06*
Cu	52,0±2,39	59,3±2,10*	47,3±1,85	42,0±1,80*	51,7±3,08
Fe	503±16,3	462±15,2	506±20,6	358±14,9*	508±15,9
Mn	431±24,3	452±14,6	412±15,5	388±14,0	451±27,9
Ni	10,9±0,38	8,77±0,33*	7,77±0,25*	7,20±0,26*	7,58±0,31*
Se	0,71±0,06	0,80±0,09	0,78±0,09	0,64±0,15	0,70±0,03
Zn	305±9,63	254±8,06*	298±12,7	300±12,6	315±10,4
Al	22,3±0,74	24,7±0,98	17,0±0,78*	17,9±0,77*	23,4±1,22
Cd	0,036±0,002	0,034±0,001	0,032±0,001	0,027±0,002*	0,031±0,002
Pb	0,051±0,002	0,042±0,002*	0,039±0,002*	0,031±0,002*	0,042±0,002*
Sr	41,7±2,20	41,1±1,30	37,3±1,49	31,7±1,40*	37,9±2,10

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

На основании элементного анализа помета были составлены следующие элементные профили:

Для I группы $\frac{\uparrow Cu}{\downarrow K, Na, Cr, Ni, Zn, Pb}$

Для II группы $\frac{\uparrow}{\downarrow Mg, Na, Co, Cr, Ni, Al, Pb}$

Для III группы $\frac{\uparrow}{\downarrow K, Mg, Na, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Al, Cd, Pb, Sr}$

Для IV группы $\frac{\uparrow}{\downarrow Co, Cr, Ni, Pb}$

Оценка переваримости химических элементов (табл. 46) позволяет оценить влияние пробиотико-минерального комплекса на организм кур-несушек.

В ходе оценки переваримости химических элементов было установлено достоверное увеличение в большинстве опытных групп переваримости кальция, калия, магния, натрия на фоне незначительного снижения переваримости фосфора, связанного с физиологическим антагонизмом, выявленным в ходе оценки содержания химических элементов в помете.

Среди переваримости микроэлементов отмечалось увеличение переваримости в большинстве опытных групп кобальта, хрома, меди, железа, никеля, селена и цинка на фоне снижения переваримости марганца.

Таблица 46. Коэффициенты переваримости химических элементов в организме кур-несушек в возрасте 240 суток, %

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Ca	80,1±0,43	79,1±0,12*	81,2±0,40	82,2±0,32*	83,3±0,34*
K	72,3±0,60	75,4±0,14*	72,1±0,59	78,3±0,39*	74,4±0,53*
Mg	73,4±0,58	75,0±0,14*	75,2±0,53	78,8±0,38*	75,7±0,50*
Na	77,4±0,49	80,6±0,11*	79,6±0,43*	80,9±0,35*	80,2±0,41*
P	78,5±0,47	75,7±0,14*	74,3±0,54*	79,1±0,38	78,2±0,45
Co	58,5±0,90	55,6±0,25*	62,4±0,79*	68,4±0,57*	63,7±0,75*
Cr	93,0±0,15	95,7±0,02*	94,3±0,12*	95,5±0,08*	94,7±0,11*
Cu	63,8±0,79	56,8±0,25*	64,1±0,76	71,7±0,51*	64,9±0,72
Fe	79,6±0,44	80,4±0,11	77,7±0,47*	86,0±0,25*	80,0±0,41
Mn	79,1±0,45	77,1±0,13*	78,3±0,46	81,8±0,33*	78,7±0,44
Ni	54,8±0,98	62,1±0,22*	65,1±0,74*	71,3±0,52*	69,6±0,63*
Se	75,3±0,54	70,9±0,17*	70,5±0,62*	78,5±0,39*	76,4±0,49
Zn	71,7±0,62	75,3±0,14*	69,8±0,64	73,1±0,49	71,5±0,59
Al	86,9±0,28	84,9±0,09*	89,2±0,23*	89,9±0,18*	86,6±0,28
Cd	94,9±0,11	95,0±0,03	95,1±0,10	96,3±0,07*	95,7±0,09*
Pb	89,2±0,24	90,6±0,05*	91,0±0,19*	93,6±0,12*	91,3±0,18*
Sr	75,2±0,54	74,4±0,15	75,8±0,51	81,7±0,33*	78,1±0,45*

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

Наиболее неоднозначные результаты переваримости были получены в I и II опытных группах, в то время как наибольшее количество достоверных положительных изменений переваримости химических элементов отмечались в III опытной группе.

Для наглядной оценки всех достоверных изменений переваримости химических элементов были сформированы соответствующие профили:

Для I группы	$\frac{\uparrow K, Mg, Na, Cr, Ni, Zn, Pb}{\downarrow Ca, P, Co, Cu, Mn, Se, Al}$
Для II группы	$\frac{\uparrow Na, Co, Cr, Ni, Al, Pb}{\downarrow P, Fe, Se}$
Для III группы	$\frac{\uparrow Ca, K, Mg, Na, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Se, Al, Cd, Pb, Sr}{\downarrow}$
Для IV группы	$\frac{\uparrow Ca, K, Mg, Na, Co, Cr, Ni, Cd, Pb, Sr}{\downarrow}$

Данные изменения подтверждают полученный в предыдущих результатах дозозависимый эффект, при котором во время снижения количества пробиотика в рационе птицы возрастала переваримость питательных веществ и другие продуктивные показатели.

Проведенная оценка содержания химических элементов в теле кур-несушек (табл. 47) в конце учетного периода позволяет судить о степени накопления или выведения элементов из организма после введения в рацион пробиотико-минерального комплекса.

В I, II и IV опытных группах отмечалось снижение содержания в теле кальция на 4,58%, 12,1% ($p \leq 0,05$) и 4,85%, в то время как в III опытной содержание кальция было выше на 1,02%.

Содержания калия во всех опытных группах было ниже на 6,27% в I опытной, на 9,01% во II опытной и на 7,02% в III опытной.

Аналогично калию количество магния также было ниже во всех опытных группах. В I опытной на 13,4% ($p \leq 0,05$), во II опытной на 14,6% ($p \leq 0,05$), в III опытной на 8,3%, а в IV опытной на 5,83%.

Таблица 47. Содержание химических элементов в теле кур-несушек в возрасте 240 суток, мг/кг

Элемент	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Ca	39,71±1,42	37,89±1,32	34,92±1,25*	40,12±1,28	37,78±1,27
K	7,80±0,26	7,32±0,25	7,10±0,26	7,26±0,25	8,03±0,25
Mg	1,15±0,04	0,99±0,03*	0,98±0,04*	1,05±0,04	1,08±0,03
Na	2,80±0,09	2,72±0,09	2,47±0,10*	2,67±0,10	2,81±0,09
P	23,31±0,77	20,96±0,69*	20,02±0,73*	22,60±0,73	22,32±0,76
Co	0,11±0,01	0,11±0,01	0,11±0,01	0,12±0,01	0,14±0,01*
Cr	8,48±0,33	8,75±0,43	5,76±0,24*	6,59±0,32*	6,45±0,33*
Cu	6,18±0,44	4,70±0,29*	6,09±0,29	6,42±0,33	6,92±0,25
Fe	86,31±5,41	102,87±3,95*	84,37±3,13	107,68±3,86*	105,11±3,58*
Mn	4,71±0,16	4,92±0,18	4,31±0,16	4,74±0,17	4,33±0,16
Ni	1,13±0,06	1,25±0,07	1,19±0,10	1,37±0,08*	1,67±0,08*
Se	4,73±1,34	4,24±1,18	4,48±0,16	5,84±1,12	5,67±0,55
Zn	99,03±3,65	100,85±3,84	97,08±4,05	108,83±3,80	103,26±4,19
Al	9,94±0,39	17,49±0,52*	12,73±0,51*	16,84±0,63*	22,70±0,68*
Cd	0,082±0,010	0,067±0,004	0,078±0,018	0,074±0,021	0,072±0,007
Pb	0,146±0,014	0,183±0,015	0,163±0,009	0,174±0,008	0,191±0,009*
Sr	21,92±0,86	19,75±0,73	17,43±0,62*	20,97±0,77	17,99±0,62*

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

Количество натрия в теле было достоверно ниже во II опытной на 11,8% ($p \leq 0,05$).

Среди микроэлементов наблюдалось достоверное увеличение в теле железа в I, III и IV опытных группах на 19,2% ($p \leq 0,05$), 24,7% ($p \leq 0,05$) и 21,8% ($p \leq 0,05$), никеля в III и IV опытных группах на 21,4% ($p \leq 0,05$) и 47,3% ($p \leq 0,05$) с одновременным снижением количества в теле стронция во II и IV опытных группах на 20,5% ($p \leq 0,05$) и 17,9% ($p \leq 0,05$).

На основании достоверных изменений в содержании химических элементов в теле кур-несушек в конце учетного периода были сформированы элементные профили для визуальной демонстрации данных изменений:

Для I группы $\frac{\uparrow Fe, Al}{\downarrow Mg, P, Cu}$

Для II группы $\frac{\uparrow Al}{\downarrow Ca, Mg, Na, P, Cr, Sr}$

$$\begin{array}{l} \text{Для III группы} \quad \frac{\uparrow Fe, Ni, Al}{\downarrow Cr} \\ \text{Для IV группы} \quad \frac{\uparrow Co, Fe, Ni, Al, Pb}{\downarrow Sr} \end{array}$$

2.4.8 Содержание химических элементов в яйце.

Оценка содержания химических элементов в яйце позволяет судить о биологической значимости вводимых ингредиентов и их накоплении в получаемой продукции (табл. 48).

Введение пробиотико-минерального комплекса имело накопительный эффект, который проявлялся в достоверном увеличении содержания магния в IV опытной группе на 15,2% ($p \leq 0,05$), натрия в I и II опытных группах на 20,5% ($p \leq 0,05$) и 14,9% ($p \leq 0,05$).

Таблица 48. Содержание химических элементов в яйце кур-несушек в возрасте 240 суток, мг/кг

Элемент	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Ca	1,85±0,08	2,04±0,07	2,00±0,08	1,87±0,09	1,80±0,11
K	5,18±0,22	5,24±0,19	5,01±0,23	4,64±0,20	4,70±0,16
Mg	0,46±0,02	0,50±0,02	0,47±0,02	0,50±0,02	0,53±0,02*
Na	4,49±0,21	5,41±0,18*	5,16±0,24*	4,87±0,18	4,64±0,17
P	7,35±0,33	7,81±0,27	7,93±0,32	7,36±0,29	7,67±0,29
Co	0,013±0,001	0,016±0,002*	0,014±0,002	0,013±0,001	0,012±0,002
Cr	1,28±0,07	1,04±0,04*	1,05±0,07*	1,07±0,04*	1,25±0,05
Cu	2,45±0,10	2,62±0,09	2,48±0,13	2,82±0,10*	2,63±0,09
Fe	72,0±3,12	78,2±3,31	77,8±3,08	68,0±2,50	76,8±3,25
Mn	1,09±0,06	1,72±0,07*	1,70±0,07*	1,95±0,08*	1,78±0,06*
Ni	0,21±0,02	0,25±0,01	0,23±0,02	0,19±0,01	0,27±0,01*
Se	1,55±0,37	1,65±0,27	1,61±0,30	1,85±0,11	1,55±0,22
Zn	45,0±1,89	48,7±1,61	47,3±1,87	45,2±1,80	50,3±1,92
Al	1,73±0,08	3,09±0,12*	3,62±0,15*	1,83±0,08	2,95±0,10*
Cd	0,0046±0,0004	0,0041±0,0003	0,0056±0,0004	0,0063±0,0006	0,0052±0,0004
Pb	0,013±0,001	0,019±0,001*	0,026±0,002*	0,013±0,001	0,022±0,001*
Sr	1,35±0,05	1,73±0,06*	1,35±0,06	1,32±0,05	1,36±0,05

Примечание: * $p \leq 0,05$ – опытные группы по сравнению с контрольной

Среди микроэлементов отмечалось достоверное увеличение содержание кобальта в I опытной группе на 23,1% ($p \leq 0,05$), меди в III опытной группе на 15,1% ($p \leq 0,05$), марганца во всех опытных группах на 56%-79% ($p \leq 0,05$), никеля в IV опытной группе на 28,6% ($p \leq 0,05$) с одновременным снижением всех опытных группах содержания хрома на 2,3%-18,7%.

Для визуальной оценки степени накопления или снижения тех или иных химических элементов были построены следующие элементные профили:

$$\begin{array}{l} \text{Для I группы} \quad \frac{\uparrow Na, Co, Mn, Al, Pb, Sr}{\downarrow Cr} \\ \text{Для II группы} \quad \frac{\uparrow Na, Mg, Al, Pb}{\downarrow Cr} \\ \text{Для III группы} \quad \frac{\uparrow Cu, Mn}{\downarrow Cr} \\ \text{Для IV группы} \quad \frac{\uparrow Mg, Mn, Ni, Al, Pb}{\downarrow} \end{array}$$

2.4.9 Состав микробиома кишечника кур-несушек

Исследование микробиома слепого отдела кишечника кур-несушек контрольной группы показало, что доминирующими таксонами были филумы *Bacillota* (81,4%), *Pseudomonadota* (5,2%) и *Actinomycetota* (5,7 %), в основном представленные бактериями классов *Bacilli*, *Gamma proteobacteria* и *Actinomycetes*, соответственно.

В контрольной группе на уровне семейства (рис. 23) доминировали представители семейства *Lactobacillaceae*, чья численность составила 57,6 %. Таксоны, чья численность превосходила 3 %, на уровне семейства были представлены *Oscillospiraceae* (5,8%), *Clostridiaceae* (6,2%), *Lachnospiraceae* (8,8%), *Bifidobacteriaceae* (3,3%) и *Enterobacteriaceae* (4,7%).

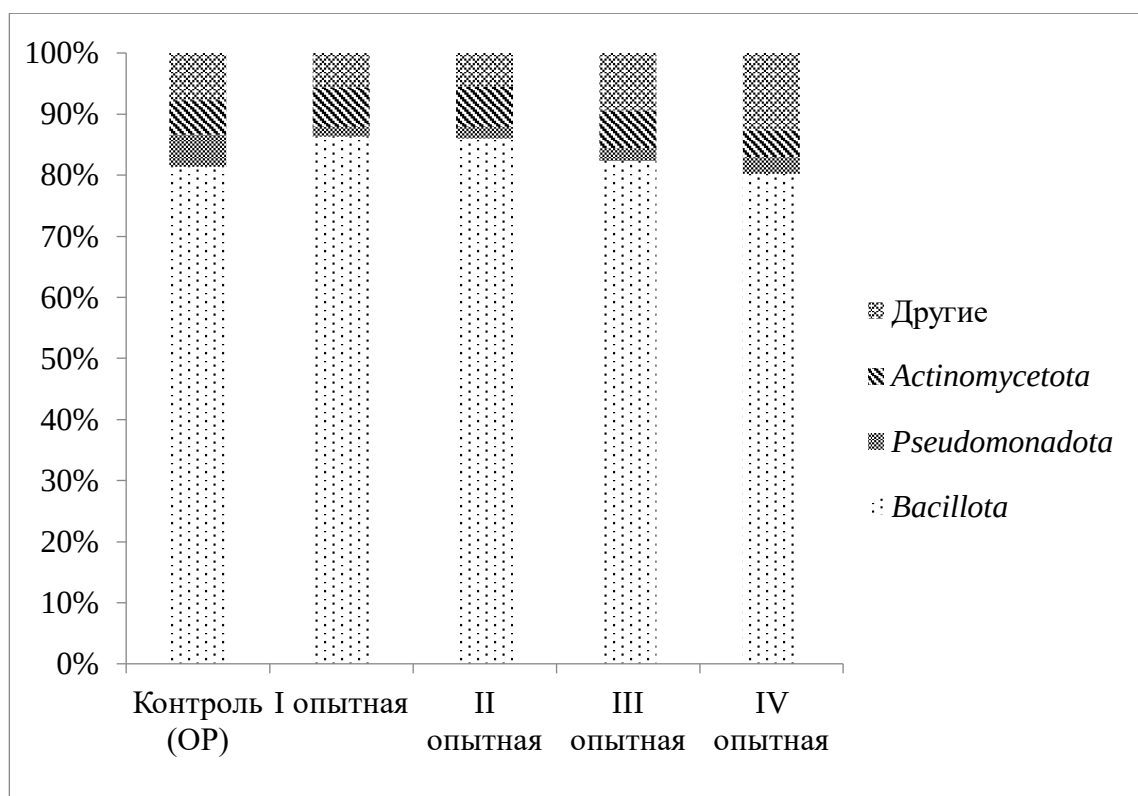


Рисунок 22. Таксономический состав филума бактерий в слепой кишке кур-несушек

Основным таксоном микроорганизмов в кишечнике кур-несушек на уровне рода были представители р. *Lactobacillus*, на долю которых приходилось 52,7% от общего количества микроорганизмов.

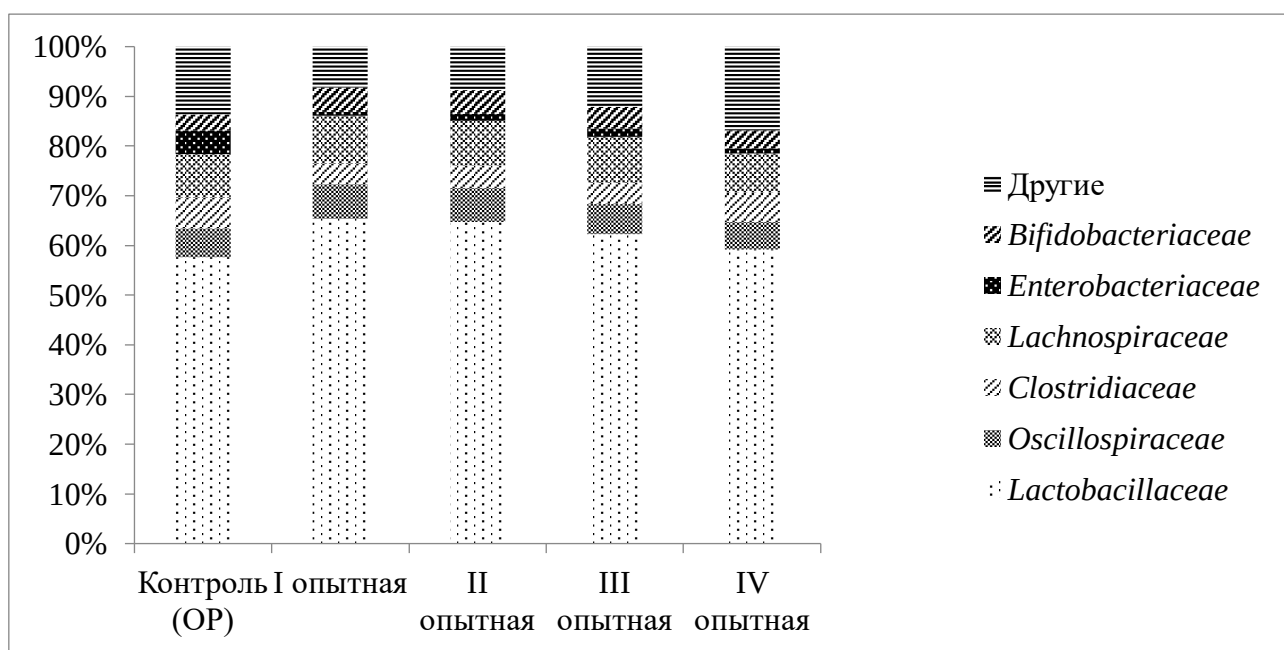


Рисунок 23. Таксономический состав семейств бактерий в слепой кишке кур-несушек

На уровне филума в I опытной группе численность представителей *Bacillota* была выше контрольных значений на 6,0 %, *Actinomycetota* – на 14,0 %. В тоже время содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшилось, по сравнению с контролем, на 69,3 %. Для более подробного изучения данных изменений был проведен анализ состава микробиоты кишечника кур-несушек на уровне семейства. Так, было показано, что численность семейств, входящих в филум *Bacillota*, изменялась разнонаправленно. Содержание бактерий *Lactobacillaceae* и *Oscillospiraceae* увеличилось по сравнению с контролем, на 13,5 % и 18,9 %, с одновременным уменьшением численности бактерий семейства *Clostridiaceae* (на 33,8 %). Таким образом, численность представителей семейств *Lactobacillaceae*, *Oscillospiraceae* и *Clostridiaceae* составила 65,4 %, 6,9 % и 4,1 %, соответственно, при даче пробиотика «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1,5 г/кг корма и МЭ. Содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшалось, преимущественно, за счет снижения числа бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (до 0,8 %, что на 82,9 % ниже контроля). Увеличение бактерий филума *Actinomycetota*, по сравнению с контролем, происходило, главным образом, за счет увеличения численности в образцах бактерий *Bifidobacteriaceae* (на 48,4 %, по сравнению с контролем), чья численность составила 4,9%.

Включение в рацион кур-несушек ПМК во II опытной группе на уровне филума численность представителей *Bacillota* была выше контрольных значений на 5,6 %, *Actinomycetota* – на 15,8 %. В тоже время содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшилось, по сравнению с контролем, на 63,4 %. Для более подробного изучения данных изменений был проведен анализ состава микробиоты кишечника кур-несушек на уровне семейства. Так, было показано, что численность семейств, входящих в филум *Bacillota*, изменялась разнонаправленно. Содержание бактерий *Lactobacillaceae* и *Oscillospiraceae* увеличилось по сравнению с контролем, на 12,3 % и 19,0 %, с одновременным уменьшением численности бактерий семейства *Clostridiaceae* (на 29,0 % ниже контрольной группы). Таким образом, численность

представителей семейств *Lactobacillaceae*, *Oscillospiraceae* и *Clostridiaceae* составила 64,7 %, 6,9 % и 4,4 %, соответственно, при даче пробиотика «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1,0 г/кг корма и МЭ. Содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшалось, преимущественно, за счет снижения числа бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (до 1,4 %, что на 70,2 % ниже контроля). Увеличение бактерий филума *Actinomycetota*, по сравнению с контролем, происходило, главным образом, за счет увеличения численности в образцах бактерий *Bifidobacteriaceae* (на 45,5 %, по сравнению с контролем), чья численность составила 4,8%.

На уровне филума в III опытной группе численность представителей *Bacillota* была выше контрольных значений на 4,9 %, *Actinomycetota* – на 6,4 %. В тоже время содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшилось, по сравнению с контролем, на 9,5 %. Для более подробного изучения данных изменений был проведен анализ состава микробиоты кишечника кур-несушек на уровне семейства. Так, было показано, что численность семейств, входящих в филум *Bacillota*, изменялась разнонаправленно. Содержание бактерий *Lactobacillaceae* и *Oscillospiraceae* увеличилось по сравнению с контролем, на 3,9 % и 15,0 %. Таким образом, численность представителей семейств *Lactobacillaceae*, и *Oscillospiraceae* составила 62,3 % и 6,0 %, соответственно, при даче пробиотика «Лактобифадол-Форте» в дозировке 0,5 г/кг корма и МЭ. Содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшалось, преимущественно, за счет снижения числа бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (до 1,6 %, что на 12,5 % ниже контроля). Увеличение бактерий филума *Actinomycetota*, по сравнению с контролем, происходило, главным образом, за счет увеличения численности в образцах бактерий *Bifidobacteriaceae* (на 9,1 %, по сравнению с контролем), чья численность составила 4,4%.

Введение комплекса УДЧ без пробиотика в IV опытной группе на уровне филума влияло на численность представителей *Actinomycetota* и *Pseudomonadota*, которая уменьшалась по сравнению с контролем на 24,5% и

46,1 %. Для более подробного изучения данных изменений был проведен анализ состава микробиоты кишечника кур-несушек на уровне семейства. Было показано, что численность семейств, входящих в филум *Bacillota*, изменялась. Содержание бактерий *Oscillospiraceae* и *Lachnospiraceae* уменьшилось по сравнению с контролем, на 5,2 % и 10,2 %. Содержание бактерий филума *Pseudomonadota* уменьшалось, преимущественно, за счет снижения числа бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (до 1,0 %, что на 78,2 % ниже контроля). Было отмечено увеличение численности в образцах бактерий *Bifidobacteriaceae* (на 9,0 %), чья численность составила 3,6%.

Заключение по третьему экспериментальному исследованию

1. Введение пробиотика «Лактобифадол-Форте» совместно с комплексом микроэлементов в форме УДЧ в I опытной группе способствовало снижению на 3,8% ($p \leq 0,05$), яйценоскости, которая в I, III и IV опытных группах была выше, чем в контрольной на 1,5%, 0,4% и 0,2% соответственно, а конверсия корма снижалась на 0,4%-7%. Масса яиц превосходила показатели контрольной группы лишь в I и III опытных группах на 3,3% ($p \leq 0,05$) и 0,7%.

2. Изменения переваримости питательных веществ корма свидетельствуют о положительной динамике всех показателей в III опытной группе, увеличение переваримости сырого протеина во всех опытных группах при снижении переваримости сырой клетчатки во II опытной, сырого жира в I и IV опытных группах.

3. Результаты морфологического анализа яиц показали, что наибольшая масса яиц за весь учетный период была в I опытной группе, а наименьшая в IV опытной группе. Масса белка имела достоверные различия в I и II опытной группе, которые превосходили контрольную на 3,8% ($p \leq 0,05$) и 2,5% ($p \leq 0,05$). Масса желтка в I, II и III опытных группах достоверно была выше, чем в контрольной на 6,2% ($p \leq 0,05$), 3,7% ($p \leq 0,05$) и 6,9% ($p \leq 0,05$) соответственно. Количество единиц Хау было выше 80 единиц во всех опытных группах и превосходило контрольную группу на 4%-6%. Оценка химического состава яиц показала увеличение количества и концентрации жира во всех опытных

группах, концентрации протеина в I, II и IV опытной группе, витамина А и Е также во всех опытных группах и было отмечено дозозависимое влияние вводимого ПМК.

4. Введение ПМК стимулировало обменные процессы лейкогенез и эритропоэз. Влияние на биохимические показатели крови сопровождалось стимулирующим действием на углеводный и липидный обмены, содержание железа, а также снижением токсической нагрузки на печень птицы.

5. Сформированные минеральные профили показывают, что наиболее неоднозначные результаты переваримости были получены в I и II опытных группах, в то время как наибольшее количество достоверных положительных изменений переваримости химических элементов отмечались в III опытной группе. Введение пробиотико-минерального комплекса имело накопительный эффект на содержание химических элементов в яйце.

6. Пробиотико-минеральный комплекс оказал действие на состав филума микробиома слепой кишки кур-несушек, у которых увеличивалось содержание облигатной микрофлоры желудочно-кишечного тракта птицы (*Lactobacillaceae*, *Oscillospiraceae* и *Bifidobacteriaceae*), одновременно с уменьшением численности бактерий патогенной и условно-патогенной группы (*Clostridiaceae* и *Enterobacteriaceae*). При этом введение только МЭ сопровождалось увеличением содержания *Bifidobacteriaceae* и снижением численности остальных исследуемых групп бактерий. В работе продемонстрировано, что включение опытных добавок привело к снижению численности представителей семейства *Clostridiaceae* и *Enterobacteriaceae*, включающим в себя патогенные и условно-патогенные виды.

7. Применение пробиотика в дозировке 0,5 г/кг корма совместно с УДЧ микроэлементов имело наибольший эффект на показатели продуктивности, переваримость питательных веществ рациона, химический и элементный анализ яиц, а также состав микробиома кишечника птицы.

2.5 Результаты производственной проверки на курах-несушках

На основании результатов II и III экспериментальных исследований по оценке действия пробиотико-минерального комплекса на продуктивность и обмен веществ кур-несушек с использованием в рационе пробиотика «Лактобифадол-Форте» и комплекса микроэлементов в хелатной форме и в форме УДЧ была проведена апробация выбранных вариантов в процессе производственного эксперимента.

Производственная проверка проводилась в условиях ЗАО «Птицефабрика Оренбургская».

Для проведения производственной проверки (табл. 49) были сформированы 3 группы кур-несушек (n=300 голов) в возрасте 180 суток. Длительность эксперимента составляла 60 суток. Базовый вариант получал стандартный рацион ПК-1, опытный I получал рацион пробиотик «Лактобифадол-Форте» в дозе 0,5 г/кг корма и комплекс микроэлементов (глицината меди в дозировке 20 мг/кг корма, глицината железа в дозировке 200 мг/кг корма, глицината марганца в дозировке 90 мг/кг корма, селена метионина в дозировке 40 мг/кг корма и цитрата цинка в дозировке 200 мг/кг корма).

Опытный II вариант получал вместе с рационом пробиотик «Лактобифадол-Форте» 0,5 г/кг корма и комплекс микроэлементов, включающий УДЧ: меди (50 нм) в дозировке 4,8 мг/кг корма, железа Fe_3O_4 (80 нм) в дозировке 44 мг/кг корма, марганца (50 нм) в дозировке 19,8 мг/кг корма, селенит натрия в дозировке 260 мкг на кг корма и ZnO (40 нм) в дозировке 20 мг на кг корма.

Экономические расчеты показали, что введение пробиотика в дозе 0,5 г/кг корма и комплекса хелатных форм в I варианте сопровождалось повышением интенсивности яйценоскости на 2,3%, валовое производство яиц выросло на 138 яиц, выход яичной массы на 12 кг при повышении средней массы яйца на 1,13%. Затраты корма в I варианте снизились на 18 кг, на 10 яиц на 4,69%, а при расчете на 1 кг яичной массы на 6,4%, при увеличении

рентабельности на 1% относительно базового рациона.

Таблица 49. Результаты производственной проверки, n=100

Показатель	Вариант		
	Базовый	Опытный I	Опытный II
Поголовье кур-несушек: на начало	100	100	100
на конец	100	100	100
Сохранность поголовья, %	100	100	100
Живая масса 1 гол. в начале опыта, г	1725	1723	1726
Яйценоскость на начальную несушку, шт.	55,86	57,24	57,18
Интенсивность яйценоскости, %	93,1	95,4	95,3
Валовое производство яиц, шт.	5586	5724	5718
Средняя масса яйца, г	62,1	62,8	62,9
Выход яичной массы, всего, кг	347	359	360
Потребление корма на 1 несушку в сутки, г	125	122	123
Потребление корма всего, кг	750	732	738
Затраты корма на 10 яиц, кг	1,34	1,28	1,29
Затраты корма на 1 кг яичной массы, кг	2,16	2,04	2,05
Производственные затраты, всего, руб.	23020	23285	23339
Себестоимость 10 яиц, руб.	41,2	40,7	40,8
Средняя реализационная цена 10 яиц, руб.	51	51	51
Общая выручка от реализации, руб.	28489	29192	29162
Прибыль от реализации яиц, руб.	5469	5907	5823
Рентабельность, %	19,2	20,2	20,0

Второй опытный рацион с 0,5 г/кг пробиотика совместно с ультрадисперсными формами микроэлементов показал увеличение относительно базового варианта интенсивности яйценоскости на 2,2%, валового производства яиц на 132 штуки, средней массы яиц на 1,29%, выхода яичной массы на 13 кг при снижении потребления корма на 12 кг, затрат корма при расчете на 10 яиц на 3,88%. Себестоимость яиц во втором опытном варианте снизилась относительно базового варианта на 0,95%, а рентабельность производства повысилась на 0,8%.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Введение в рацион кур-несушек пробиотиков и фитогеников у многих исследователей показывало схожие с проведенным экспериментальным исследованием результаты. Однако, в исследовании Morelli L. и Capurso L. (2012) говорится об уникальности различных штаммов пробиотиков, которые при введении в рацион птицы обладают индуцированными эффектами и могут вызывать различные ответные реакции в организме. Таким образом, введение пробиотика Ветом во II опытной группе не оказало значительного действия на яйценоскость, которая была сопоставима со значениями контрольной группы – $0,90 \pm 0,04$ яиц на голову в сутки, в то время как I опытная группа, получавшая Лактобифадол-Форте продемонстрировала рост яйценоскости на 8,9%, что согласуется с исследованиями, в которых введение пробиотика положительно влияло на яичную продуктивность (Mikulski D. et al., 2020).

В другом исследовании оценивалось введение в рацион фитогеников на основе эфирного масла тимьяна и перечной мяты, которые при оценке результатов показали рост яйценоскости птицы и увеличение массы яиц (Harrington D. et al., 2020). В нашем исследовании введение фитогеника Дигестаром в III опытной группе показало рост яйценоскости на 7,8% с одновременным увеличением массы яиц на 7,6% ($p \leq 0,05$).

Рост массы яиц на 5,9% ($p \leq 0,05$) в I опытной группе с одновременным снижением количества потребляемых кормов на 5,42% ученые связывают с увеличением скорости кишечной ферментации и усилении продукции короткоцепочных жирных кислот, которые, в свою очередь, обеспечивают питание клеток кишечного эпителия и приводит к лучшему усвоению питательных веществ рациона (Alagawany M. et al., 2018).

В исследовании Pan C. et al. (2011) на протяжении 35 дней вводили пробиотики, обогащенные селеном в рацион кур-несушек, что в результате позволило снизить коэффициент конверсии корма в яичную продуктивность, что отмечалось в снижении конверсии корма после введения в рацион

Лактобифадола-Форте на 13,5%.

Оценка переваримости питательных веществ является важным критерием при анализе экспериментальных данных, так как она напрямую влияет на эффективность кормления птицы.

Введение Лактобифадола-Форте показало достоверное увеличение переваримости сухого вещества на 4,4% ($p \leq 0,05$), сырого жира на 2,38% ($p \leq 0,05$) и углеводов на 3,03% ($p \leq 0,05$), с одновременным недостоверным снижением переваримости сырого протеина на 3,9%. Схожий эффект был получен в исследованиях на 336 несушках породы Шавер Уайт (Neijat M. et al., 2019), в котором высокий уровень включения бактерий увеличил видимое удержание общих питательных веществ, таких как сухое вещество (СВ), органическое вещество (ОВ), сырой протеин (СП), нейтральная детергентная клетчатка (НДК) и валовая энергия (ВЭ). Эта тенденция улучшения видимой общей переваримости в тракте СВ, ОВ, ВЭ и СП была также подтверждена в исследовании (He T. et al., 2019). В последующем исследовании (Cheng Y. et al., 2017) два других штамма, *B. licheniformis* и *L. bulgaricus*, повышали переваримость аминокислот, протеина и крахмала в подвздошной кишке и общую переваримость СВ и ОВ в кишечнике.

Дигестаром в нашем исследовании показал достоверное увеличение переваримости сырого жира на 4,3% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольной группой, а также увеличение переваримости сухого вещества, сырого протеина и углеводов в целом, что также отмечалось при введении в рацион масла перечной мяты в дозах от 74 до 296 мг/кг корма (Abdel-Wareth A.A.A., Lohakare J.D., 2020). Oso A.O. с коллегами (2019) связывают улучшение переваримости питательных веществ при введении в рацион фитогеников с их способностью стимулировать аппетит за счет повышения секреции слюнных желез, усиление вырабатываемой слизи в кишечнике, стимуляции выработки желчных кислот с одновременным повышением активности трипсина и амилазы. В то же время, другое объяснение положительного эффекта заключается в перекрывающем способе действия фитогеников за счет локальных эффектов на границе

кишечника и системных изменений метаболизма макроэлементов (Reyer H. et al., 2017).

Оценка качества яиц показала достоверные изменения в массе белка и желтка у I и III опытных групп, с одновременным увеличением индекса формы яйца, белка и желтка в I опытной группе по сравнению с контрольной группой. Увеличение единиц Хау во всех опытных группах варьировалось в пределах от 0,8% до 4%. Neijat M. et al. (2019) в своем исследовании отмечали, что включение *B. subtilis* способствовало улучшению уровня альбумина и единицы Хау яиц на протяжении всего производственного цикла с 19 до 48-недельного возраста.

Основной эффект, отмечаемый учеными в исследовании пробиотиков и фитогеников на биохимические параметры крови заключается в снижении содержания холестерина (Ghani M. et al., 2013; Mikulski D. et al., 2020; Abou-Elkhair R. et al., 2018; Zhang J. et al., 2020). Механизм действия, который приводится для объяснения гипохолестеринемического эффекта, и связывают со снижением активности ферментов, участвующих в липидном обмене и синтезом жирных кислот (Chowdhury S. et al., 2018). В нашем исследовании отмечался противоположный эффект, связанный со стимуляцией фермента липазы, а также увеличением содержания в сыворотке крови холестерина и триглицеридов в границах физиологической нормы, который может быть связан с повышенной продуктивностью, усилением переваримости сырого жира.

Некоторые исследователи отмечали изменения в усвояемости макроэлементов, связанных с усилением всасываемости в кишечнике под действием пробиотиков и фитогеников (Alagawany M. et al., 2018; Reyher H. et al., 2017), что также подтверждается данными, полученными при оценке элементного статуса птицы. В результате элементного анализа биосубстратов кур-несушек наблюдалось снижение выведения из организма макроэлементов – Ca, K, Mg, Na и P, в тоже время, усиливалось выведение меди, железа, марганца, селена и цинка, которые оказывают значительное влияние на

яйценоскости и данный эффект может быть связан с повышенным их расходом организмом на продукцию яиц, которая была выше по сравнению с контрольной группой. Данный эффект наиболее заметен в группе, получавшей Лактобифадол-Форте.

В ходе оценки микробиома слепого отдела кишечника птицы отмечалось увеличение пластичности микробиома в I и III опытных группах, которая показывает положительные изменения в количественном и качественном составе бактерий. Пробиотики в данном случае способствуют росту числа бактерий в кишечнике, одновременно с этим модулируя микрофлору и улучшая барьерную функцию кишечника путем укрепления полезной микрофлоры кишечника за счет конкурентного исключения патогенов и стимуляции иммунной системы (Niewold T.A., 2007). В последних исследованиях описывается эффект передачи генетических признаков от пробиотиков к окружающим их бактериям, связанного с более тесным межклеточным контактом и, следовательно, повышением вероятности генетического обмена плазмидами (Jeong H. et al., 2019). Фитогеники обладают другим эффектом на кишечный микробиом, в основном модулируя его на уровне слепой кишки. Увеличение количества бактерий и их разнообразие приводит к повышению активности ферментов в желудочно-кишечном тракте и улучшению эффективности использования корма (Feng J. et al., 2021).

На основании полученных в первом экспериментальном исследовании было определено, что наиболее высокие продуктивные показатели наблюдались у птиц I опытной группы, получавшей пробиотик Лактобифадол-Форте, однако, основываясь на результатах элементного анализа биосубстратов были выявлены микроэлементы – медь, железо, марганец, цинк и селен, количество которых снижалось в организме птицы. В связи с этим, во втором и третьем экспериментальном исследовании данные элементы заменяли неорганические соли в составе премикса и вводились в более биодоступной форме – хелатные и ультрадисперстные комплексы.

Минеральный состав является неотъемлемой частью рациона, которая

влияет на благополучие и продуктивность птицы. Некоторые минералы являются компонентами ферментов, катализирующих биохимические реакции, включая производство энергии, обмен веществ, передачу нервных импульсов, сокращение мышц и проницаемость клеток (Ghosh A et al., 2016). Хорошо известно, что в корма для сельскохозяйственной птицы добавляют неорганическую форму микроэлементов (сульфатные или оксидные соли), которые в больших количествах выводятся в окружающую среду в связи с их низкой биодоступностью и усвояемостью. Новые соединения минералов – хелатные комплексы и ультрадисперстные формы показали более высокую биодоступность в рационах птицы.

Хелатные минералы представляют собой комплекс минерала с лигандом в виде белка, углевода, жира или аминокислоты, связанные между собой координационной связью (Pacheco V.N. et al., 2017).

УДЧ представляют собой частицу металла с измененными свойствами, меньшим размером и большей площадью поверхности (Joshua PP et al., 2016).

Влияние комплекса микроэлементов как в хелатной, так и в форме УДЧ совместно с пробиотиком Лактобифадол-Форте в различной дозировке положительно влияло на зоотехнические показатели птицы. Яйценоскость во II экспериментальном исследовании достоверно увеличивалась в I опытной группе на 3,7% ($p \leq 0,05$), а средняя масса яиц в I опытной на 2,9% ($p \leq 0,05$) и в III опытной на 2,15% ($p \leq 0,05$). В III экспериментальном исследовании показатели яйценоскости и средней массы яиц были наиболее высокой в I опытной группе и превосходила контрольную на 1,5% и 3,3% ($p \leq 0,05$) соответственно.

Самая низкая конверсия корма отмечалась во втором экспериментальном исследовании в I и IV опытных группах, которая превосходила значения контрольной группы на 4,5%-7,3%, а в III экспериментальном исследовании в I, III и IV опытных группах с превосходством относительно контрольной группы на 0,4%-7%.

Наблюдаемый эффект является результатом совокупного действия

пробиотика и различных форм микроэлементов. На яйценоскость может повлиять недостаток меди (Palanisamy V et al., 2023) и марганца (Gheisari AA et al., 2011), при снижении которых увеличивается число аномалий яйца, истончение скорлупы и проявление полупрозрачных участков. Введение железа в рацион птицы, наоборот, повышает яйценоскость за счет участия железа в некоторых важных реакциях в организме, контролирующих яйценоскость. К данным процессам относятся перенос и хранение кислорода, энергообеспечение организма и стимуляция белкового обмена, которые контролируют яйценоскость (Xie C et al., 2019).

Совместное введение органических форм микроэлементов (Zhang KK et al., 2021) оказывало стимулирующее действие на яйценоскость, увеличивало массу яиц и снижало конверсию корма, что подтверждает полученные в нашем исследовании результаты. Использование УДЧ микроэлементов в исследовании Khan AA с коллегами (2015) также подтвердило положительный эффект от их введения на увеличение массы яиц у перепелов, а группа ученых во главе с Abedini M. (2018) выявила улучшение яйценоскости и конверсии корма при введении УДЧ цинка в рацион кур-несушек.

Оценка динамики переваримости питательных веществ рациона показала выраженную стимуляцию обменных процессов за счет пролонгирующего эффекта пробиотико-минерального комплекса, выраженного количественными и качественными показателями продукции. Оптимальными значениями во II экспериментальном исследовании характеризовались I и III опытные группы, в рацион которых включались 1,5 г/кг и 0,5 г/кг пробиотика Лактобифадол-Форте и комплекса хелатных микроэлементов соответственно, а также III опытная группа в III экспериментальном исследовании, птицы которой получали комплекс УДЧ микроэлементов совместно с 0,5 г/кг пробиотика Лактобифадол-Форте.

Усвоение питательных веществ в основном происходит в тонком кишечнике и напрямую зависит от высоты ворсинок и глубины крипт, а соответственно и общей площади поверхности. В исследовании Chen H. с

коллегами (2022) было изучено совместное введение комплекса пробиотика с минералами и получены результаты о достоверном увеличении ворсинок по всей поверхности тонкого отдела кишечника, что в свою очередь положительно повлияло на переваримость питательных веществ.

По данным зарубежных исследователей не было выявлено достоверных изменений в переваримости питательных веществ при введении в рацион комплекса хелатных микроэлементов (Stefanello C. et al., 2014) и УДЧ микроэлементов (Sohair AA et al., 2017). Однако, в другом исследовании описывается, что марганец является активатором или компонентом фермента, принимающим непосредственное участие в метаболизме углеводов, белков и жиров (Qiu J. et al., 2020), а также приводятся данные об улучшении переваримости питательных веществ при введении различных УДЧ в рацион птицы (Sarvestani, S. et al., 2016).

Полученные нами результаты могут быть рассмотрены как совокупное влияние марганца и меди на стимуляцию пищеварительных ферментов с одновременным влиянием пробиотика на кишечное пищеварение.

Эффективность от введения различных форм минералов описывается на качественные показатели яиц кур-несушек.

Применение пробиотико-минерального комплекса показало к концу учетного периода во II экспериментальном исследовании рост массы яиц в I опытной группе на 1,6% ($p \leq 0,05$) и III опытной группе на 0,2%. Помимо этого, в I опытной группе наблюдалось увеличение массы белка на 3,4% ($p \leq 0,05$), массы желтка на 3,12%. В III экспериментальном исследовании наблюдалось достоверное увеличение массы белка в I и II опытных группах на 3,8% ($p \leq 0,05$) и 2,5% ($p \leq 0,05$).

Введение комплекса органических микроэлементов в схожих исследованиях зарубежных ученых аналогичным образом показало рост массы яиц, которую связывают с большей биодоступностью для биологических функций из-за большей их растворимости и абсорбции (Stefanello et al., 2014). Ультрадисперсные частицы во многих исследованиях также показали

улучшение качества яиц – индексов белка, желтка, единиц Хау и массы яиц (Michalak I et al., 2022), что в свою очередь связывают с более высокой поверхностной активностью, повышенной растворимостью и способностью значительно быстрее проходить через клеточные барьеры (Zahin N et al., 2020). Однако, стоит отметить часть исследований, в которых результаты исследования комплекса хелатных минералов на зоотехнические параметры, такие как яйценоскость, массу белка и желтка, а также единицы Хау не имели достоверных различий с контрольной группой (Manangi MK et al., 2015; Yang K et al., 2021). Отсутствие положительного эффекта в данных исследованиях можно объяснить следующими причинами – в проведенных исследованиях курам-несушкам вводили минимальные дозы данных органических минералов, которые даже в столь незначительном количестве не показали негативного эффекта на массу яиц и их качественные показатели; для исследования в большинстве случаев отбирали взрослую птицу в возрасте старше 60 недель, которые уже прошли физиологический пик яйценоскости и в связи с этим не было получено положительного эффекта. Однако, в нашем исследовании использовались молодые куры-несушки возрастом 17 недель, что позволило накопить пул данных микроэлементов, который в совокупности с пробиотиком позволил усилить их влияние и показать положительный эффект на массу яиц и качественные параметры.

Толщина скорлупы при введении пробиотико-минерального комплекса увеличивалась на 6,2%-11,2% во II и III экспериментальном исследованиях.

Основной упор при оценке качества яиц после введение хелатных форм и УДЧ микроэлементов – железа, меди, марганца, цинка и селенита натрия делается именно на изменение ультраструктуры скорлупы и ее утолщение без увеличения массы, что и наблюдалось в нашем исследовании.

Zamani с коллегами (2005) сообщили, что добавление микроэлементов в рацион может изменить ультраструктуру яичной скорлупы и, таким образом, изменить их механические свойства. Органические формы элементов, такие как цинк, медь и марганец выполняют важную роль в качестве части ферментов,

участвующих в процессе формирования яичной скорлупы, мембраны, или напрямую влияют на образование структурных компонентов яичной скорлупы. Такие процессы включают образование мукополисахаридов, десмозин и изодесмозин, которые являются частью фермента углекислой ангидразы. Они обладают каталитическими свойствами в качестве ключевых ферментов и взаимодействуют с кальцитовыми минералами, которые увеличивают прочность и толщину яичной скорлупы за счет улучшения ультраструктуры яичной скорлупы (Zhang et al., 2017).

Так, цинк, благодаря своему присутствию в структуре фермента углеродной ангидразы и кофактора фермента кератиназы он занимает важную роль в формировании яичной скорлупы и ее базовой мембраны (Qiu J. et al., 2020). Мембраны яичной скорлупы в перешейке матки производятся из производных лизина и аминокислот пролина, гистидина и цистина под воздействием фермента лизиноксидазы. Медь используется в качестве активатора в составе фермента лизилоксидазы и вызывает выработку эластина. Эластин в яичнике играет важную роль в создании мембран яичной скорлупы, что в свою очередь, приводит к увеличению прочности оболочки (Pekel AY, Alp M, 2011). Марганец, с его метаболической и ферментативной активностью в перешейке матки, также принимает участие в производстве мембран яичной скорлупы и кальцификации, делая яичную скорлупу твердой и сильной, создавая компактную форму из минералов (Ramos-Vidales D. et al., 2019).

Единицы Хау являются показателем качества яиц и в наших исследованиях увеличивались на 3,7%-8,6%.

Оценка химического состава яиц кур-несушек в конце учетного периода показала достоверное увеличение концентрации и количества в яйце жира, протеина, а также содержания витамина А и витамина Е с выраженным дозозависимым эффектом, при котором с уменьшением количества пробиотика вводимого в рацион с 1,5 г/кг корма до 0,5 г/кг корма большая часть основных показателей увеличивались как при введении хелатных, так и ультрадисперсных форм микроэлементов в рацион.

На данные показатели в значительной степени влияет селен, который усиливает антиоксидантные свойства и сохранить внутреннее качество яиц на высоком уровне. Обогащение рационов кур-несушек селеном также заметно повышало его концентрацию в яйце, жирнокислотный состав, окислительную устойчивость и сохраняло качество хранящихся яиц, например, индекс желтка (Dos Reis JH et al., 2019). Однако, в исследовании Abou-Ashour A с коллегами (2023) были получены результаты, подтверждающие положительное влияние УДЧ цинка на качество желтка и белка благодаря его способности активировать ферментативную антиоксидантную защиту в яйце.

Пробиотико-минеральный комплекс оказывал влияние и на морфологические показатели крови, увеличивая содержание числа лейкоцитов до 17,7%, стимулировал эритропоэз за счет увеличения числа эритроцитов на 2,2%-8,8%, а также гемоглобина на 2,4%-11,6%.

Оценка данных показателей позволяет оценить физиологическое состояние организма. Так, количество лейкоцитов, связанное с иммунными функциями птицы аналогичным образом, увеличивалось в исследовании Kim СН с коллегами (2022). Введение органических форм микроэлементов увеличивало число эритроцитов, стимулируя эритропоэз без нарушения физиологических границ в других исследованиях (Noriuzian M.A. et al., 2014). Мирошников С.А. с коллегами (2015) в своем исследовании на организм птицы показали увеличение в крови числа эритроцитов и гемоглобина при влиянии УДЧ меди, что согласуется с данными, полученными в нашем исследовании.

Хелатные и ультрадисперсные формы микроэлементов, вводимые совместно с пробиотиком стимулировали различные виды обменов, отображаемые в биохимическом анализе крови. Так, в опытных группах с пробиотико-минеральным комплексом по сравнению с контрольной возрастало количество глюкозы и липазы на фоне снижения триглицеридов, холестерина и мочевой кислоты. Однако, в IV опытной группе, получавшей комплекс хелатных микроэлементов без пробиотика отмечалось увеличение числа триглицеридов, холестерина, мочевой кислоты, АЛТ и АСТ, что не

наблюдалось в группе, получавшей комплекс ультрадисперсных частиц микроэлементов без пробиотика, где значения холестерина, АЛТ и АСТ оставались ниже значений контрольной группы.

Похожие результаты были получены в исследовании Faghih-Mohammadi F. с коллегами (2023). В группе, которая получала только хелатные формы микроэлементов отмечался рост уровня триглицеридов, АСТ и АЛТ. Авторы объясняют полученные результаты тем, что медь, железо, марганец, селен и цинк являются компонентами некоторых оксидоредуктаз, а также важными антиоксидантными веществами и могут удалять избыточные окислительные вещества, вырабатываемые организмом для поддержания гомеостаза антиоксидантной системы организма, что в последствии приводит к увеличению активности ферментов печени (Li L. et al., 2019). Однако, введение пробиотика из литературных данных обладает гипохолестеринемическим эффектом, что, возможно и послужило снижением данных показателей в I, II и III опытных группах. Другая группа авторов сообщала, что мочева кислота отражает уровень белкового метаболизма у кур-несушек. Чем ниже содержание мочевой кислоты, тем выше метаболизм белка и коэффициент конверсии корма. Mn может стимулировать синтез холестерина, а дефицит Mn влияет на углеводный и липидный метаболизм. Уровни активности ферментов, связанных с метаболизмом липидов и метаболизмом глюкозы, регулируются Zn, и добавки Zn могут способствовать метаболизму и усвоению глюкозы и липидов в крови (Chen H. et al., 2022). Sahoo A. с коллегами (2014) в своем исследовании по введению органических и ультрадисперсных форм цинка в рацион птиц показали, что данный микроэлемент способствует снижению уровня холестерина и повышению уровня аланинаминотрансферазы в крови, что также могло повлиять на неоднозначные результаты, полученные при введении комплекса микроэлементов без пробиотика.

Элементный анализ биосубстратов кур-несушек показал множество достоверных изменений, связанных с введением пробиотико-минерального комплекса.

Оценив содержание химических элементов в яйце на разных этапах яйценоскости – в начале периода яйцекладки (180 суток), при выходе на пик продуктивности (240 суток) и удержании на плато продуктивности (300 суток) было установлено незначительное снижение содержания макро- и микроэлементов в возрасте 240 суток, связанных с выходом на пик яйценоскости и значительными затратами организма птицы, а к 300 суткам стабилизация и перераспределение химических элементов в продукцию с увеличением содержания многих макро- и микроэлементов в яйце. Однако, другие исследователи при оценке содержания химических элементов не выявили значительных достоверных изменений между контрольной группой и опытной, получавшей смесь хелатных микроэлементов в микродозе (Qiu J. et al., 2020), что также может быть объяснено специфичностью данных исследований за счет значительного снижения дозировки вводимых микроэлементов как и в случае с оценкой качественных показателей яиц.

Введение УДЧ микроэлементов совместно с пробиотиком в период 180-240 суток, когда организм птицы выходит на пик продуктивности показал положительную динамику в содержании элементов в яйце. Подобные изменения наблюдались при исследовании пиколината хрома, введение которого увеличивало содержание в яйце хрома, кальция и фосфора (Sirirat N. et al., 2013).

Усвояемость химических элементов во II и III экспериментальном исследовании имела схожую с качественными показателями яиц тенденцию к дозозависимому эффекту, связанному со снижением количества пробиотика, вводимого в комплексе с хелатными и УДЧ-формами микроэлементов с 1,5 г/кг корма до 0,5 г/кг корма. Соответственно, в III опытной группе наблюдалось наибольшее количество достоверных изменений, выраженное в соответствующем элементном профиле во II экспериментальном исследовании

– $\frac{\uparrow K, Mg, Co, Fe, Mn, Ni, Se, Zn, Pb, Sr}{\downarrow Ca, P, Cr, Cu, Al}$ и в III экспериментальном исследовании – $\frac{\uparrow Ca, K, Mg, Na, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Se, Al, Cd, Pb, Sr}{\downarrow}$. Больше количество достоверных

изменений во II экспериментальном исследовании было лишь в IV опытной группе, получавшей только комплекс хелатных микроэлементов, но общее количество остальных показателей в данной группе было ниже, чем в III опытной. Подобный эффект был получен в эксперименте, проведенном по изучению влияния комплекса хелатных элементов с ферментированными бобовой и соевой мукой (Chen H. et al., 2022). В данном исследовании отмечалось достоверное снижение содержания в помете Ca, Fe, Cu, Mn и Zn, что согласуется с полученными в нашем исследовании данными. Однако, при введении в III экспериментальном исследовании комплекса УДЧ микроэлементов при отсутствии пробиотика в рационе характеризовалось меньшим количеством достоверных изменений усвояемости химических элементов рациона.

Объяснение данного эффекта связывают с тем, что органические формы минералов транспортируются и поглощаются в виде аминокислот; поэтому основное преимущество использования органических минералов связано с более высоким поглощением, поскольку они используют те же пути поглощения аминокислот, с которыми они связаны, снижая конкуренцию за неорганические участки связывания микроэлементов и, таким образом, уменьшая выведение одних и тех же минералов через желчь и фекалии (Stefanello et al., 2014, Singh et al., 2015).

УДЧ металлов по сообщениям ученых используют несколько иной вид транспорта и поглощения в желудочно-кишечном тракте в отличии от хелатных форм и неорганических соединений тех же элементов благодаря увеличению площади поверхности частиц (Chen H et al., 2006). Основной механизм улучшенного поглощения в кишечнике птиц связывают с их небольшим размером, что позволяет им быстрее проходить сквозь ворсинки эпителия, попадая в кровоток, а затем в печень и селезенку (Feng M et al., 2009). Другие исследования сообщают о том, что УДЧ проходят через микроскладчатые клетки, расположенные над скоплениями лимфоидной ткани кишечника – пейеровыми бляшками, а затем пересекают энтероциты и попадают в

кровеносные сосуды, ведущие к печени (Powell JJ et al., 2010). Подводя итог, общий механизм, влияющий на усиленную абсорбцию УДЧ в тонком отделе кишечника, основывается на снижении антагонизма между ультрадисперсными частицами и другими минералами за счет меньшего размера, ускоренного прохождения кишечного барьера и использования трансцелюлярного механизма, не задействованного другими макро- и микроэлементами (Janer G et al., 2014).

Введение пробиотика совместно с комплексом хелатных форм микроэлементов во II экспериментальном исследовании положительно повлияло на состав и качества микробиома кишечника кур-несушек. Во всех опытных группах наблюдалось большее число бактерий семейства *Lactobacillaceae*. В I, II и III опытных группах отмечалось снижение численности *Enterobacteriaceae* с одновременным ростом содержания *Oscillospiraceae*, *Lachnospiraceae* и *Bifidobacteriaceae*, а в IV опытной группе отмечался рост количества *Clostridiaceae*.

Во многих исследованиях сообщалось, что кишечная микробиота кур-несушек способна повышать усвояемость питательных веществ (Dai D. et al., 2020), усиливать кишечный барьер (Miao L. et al., 2020), яйценоскость (Shang H. et al., 2020), а также качество яиц (Feng J. et al., 2021). Бактерии, находящиеся в кишечнике и их метаболиты действуют как сигнальные молекулы, связывающие кишечник, печень, мозг и репродуктивную систему (Agus A. et al., 2021), которые, в свою очередь, оказывают прямое или косвенное влияние на здоровье птицы и качество яиц.

Недавние исследования показали, что введение в рацион птицы органической формы Se может обогатить кишечную микробиоту и улучшать здоровье кишечника кур-несушек (Li R. et al., 2024). Кроме того, кормовые добавки с аминокислотными комплексами Zn привели к снижению численности нескольких семейств, принадлежащих к филуму *Pseudomonodata* в подвздошной отделе кишечника птицы (De Grande A. et al., 2020). Другое исследование показало, что введение комплекса органических микроэлементов способствовало увеличению индекса Шеннона в слепой кишке птицы (Wang C.

et al., 2023a), который подтверждает полученные нами результаты о более широком разнообразии бактерий в слепой кишке у кур-несушек, получавших пробиотико-минеральный комплекс.

Сравнительный анализ микробных профилей при введении комплекса ультрадисперсных частиц совместно с пробиотиком в III экспериментальном исследовании и контрольной группы показал, что бактериальное сообщество содержимого слепых отростков кишечника было представлено тремя основными филумами — *Bacillota*, *Pseudomonodata* и *Actinomycetota*. У птиц, получавших опытные добавки было отмечено увеличение численности бактерий филума *Bacillota*, преимущественно представленного в нашем исследовании целлюлозоразлагающими бактериями с одновременным снижением численности *Pseudomonodata*. На уровне семейства в опытных группах отмечено увеличение числа бактерий *Lactobacillaceae*, *Lachnospiraceae*, *Oscillospiraceae* и *Bifidobacteriaceae*. В работе продемонстрировано, что включение опытных добавок привело к снижению численности представителей семейства *Enterobacteriaceae*, включающим в себя патогенные и условно-патогенные виды.

Механизм влияния различных видов УДЧ на микробиальные сообщества кишечника птиц изучен слабо. Имеются сведения о влиянии УДЧ меди на микробиом кишечника – повышается количество бактерий филума *Bacillota* и рода *Lactobacillus* и *Bifidobacterium* (Wang Q et al., 2022). Микробиота кишечника под воздействием меди улучшает способность к борьбе с окислительным стрессом и производит энергию через связанные с медью метаболические пути и ферменты (Pajarillo EAB et al., 2021). УДЧ цинка имеют схожий с медью эффект на микробиом кишечника, увеличивая количество полезных бактерий (Liu H et al., 2021). Под влиянием данного микроэлемента, как и в нашем исследовании, увеличивалось число бактерий филума *Bacillota* (Mohd Shaufi M.A. et al., 2015), который участвует в метаболизме энергии, в частности, в расщеплении крахмала и его ферментации (Oakley B.B. et al., 2014). Стимуляцию иммунитета от введения ультрадисперсных частиц

связывают с семейством *Lachnospiraceae*, которое по выводам многих исследователей ассоциировано с поддержанием здоровой микрофлоры кишечника. Повышение числа полезных бактерий в кишечнике помогает снижать процент патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, что, в свою очередь, также стимулирует лучший иммунный ответ организма (Lan J. et al., 2021).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наибольшим эффектом на продуктивность и конверсию корма обладал препарат «Лактобифадол-Форте», на основании комплекса показателей: увеличение переваримости сырого протеина на 3,34%, сырого жира на 2,38% ($p \leq 0,05$), массы яиц на 5,9% ($p \leq 0,05$), конверсии корма на 1 кг яичной массы на 17,8% и морфологических составляющих яйца - белка на 9% ($p \leq 0,05$) и желтка на 12,1% ($p \leq 0,05$), увеличения толщины скорлупы на 4,5% ($p \leq 0,05$). В сыворотке крови наблюдалось усиление синтеза общего белка, холестерина и триглицеридов, что подтверждается лучшим использованием питательных веществ рациона.

2. Использование в рационе «Лактобифадол-Форте» увеличило биодоступность Ca, K, Mg, Na и P, а также меди, железа, марганца, селена и цинка, что сопровождалось увеличением численности *Lactobacillaceae* и снижением содержания облигатной микрофлоры желудочно-кишечного тракта птицы. Введение «Ветом 1.1» и «Дигестарома» сопровождалось увеличением численности *Oscillospiraceae* и *Lachnospiraceae*.

3. Введение комплекса пробиотик «Лактобифадол-Форте» (0,5 г/кг) и хелатные формы Cu, Fe, Mn, Se и Zn обладало положительным действием на переваримость сырого протеина (3,4% ($p \leq 0,05$)) и сырой клетчатки (4,31% ($p \leq 0,05$)), массы яиц 2,15% ($p \leq 0,05$)) с увеличением конверсии корма на 1 кг яичной массы на 7,3%. Использование пробиотико-минерального комплекса не оказало негативного влияния на морфологические показатели крови на фоне стимулирующего действия на углеводный и липидный обмен, которое было наиболее выражено в группе, получавшей 0,5 г/кг пробиотика совместно с комплексом хелатных форм Cu, Fe, Mn, Se и Zn.

4. Оценка влияния на морфологические показатели яиц показала наибольший эффект, который сопровождался увеличением массы желтка на 3,12%, белка на 3,4% ($p \leq 0,05$). Дозозависимый эффект выражался в увеличении содержания жира, протеина, витаминов и химических элементов в яйце – Na,

Cr, Cu, Mn, Ni, Al, Pb при снижении количества вводимого пробиотика до 0,5 г/кг в составе минерального комплекса.

5. Изменение переваримости химических выражалось в увеличении ретенции K, Mg, Co, Fe, Mn, Ni, Se, Zn, Pb, Sr в организме при снижении количества пробиотика до 0,5 г/кг корма на фоне роста филумов *Bacillota* и *Actinomycetota* в группе с пробиотиком «Лактобифадол-Форте» и комплексом хелатных форм микроэлементов. На уровне семейства отмечалось снижение численности *Clostridiaceae* и *Enterobacteriaceae* с одновременным увеличением *Lactobacillaceae*, *Oscillospiraceae* и *Lachnospiraceae* в группе, получавшей 0,5 г/кг корма пробиотика и комплекса микроэлементов, которые влияли на лучшее усвоение питательных веществ и элементов.

6. Введение пробиотика «Лактобифадол-Форте» в дозе 0,5; 1,0 и 1,5 мг/кг корма совместно с комплексом микроэлементов в ультрадисперсной форме сопровождалось увеличением переваримости сырого протеина на 1,8-3,9% ($p \leq 0,05$), сырого жира на 1,1-4% ($p \leq 0,05$), яйценоскости на 0,2-1,5% и снижении конверсии корма на 0,4%-7% на фоне увеличения массы яиц до 3,3% ($p \leq 0,05$). В гематологических показателях у кур несушек наблюдалось усиление лейкогенеза, эритропоэза, липидного и углеводного обменов.

7. Оценка химического состава яиц показала увеличение количества и концентрации жира во всех опытных группах, концентрации протеина, витамина А и Е в группе с 0,5 г/кг пробиотика «Лактобифадол-Форте» совместно с комплексом ультрадисперсных частиц, что подтверждалось накоплением эссенциальных микроэлементов в яйце.

8. Сформированные минеральные профили показывают, что наиболее неоднозначные результаты усвояемости химических элементов были получены в группах с 1,5 и 1 г/кг пробиотика и комплекса УДЧ – отмечалось снижение K, Mg, Na, Co, Cr, Ni, Zn, Al и Pb, в то время как биодоступность таких элементов как Ca, K, Mg, Na, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Se, Al, Cd, Pb, Sr возрастала при снижении дозировки пробиотика до 0,5 г/кг и, соответственно, отражалось в увеличении численности *Lactobacillaceae*, *Lachnospiraceae*, *Oscillospiraceae* и

Bifidobacteriaceae, что по биологическому действию не отличалось от действия хелатных форм микроэлементов.

9. Экономическая эффективность включения в рацион кур-несушек пробиотика в дозе 0,5 г/кг корма и комплекса хелатных форм в I опытном варианте и 0,5 г/кг пробиотика совместно с наноформами микроэлементов во II опытном варианте с 180 по 240 суточном возрастном периоде выражалась в увеличении выхода яичной массы на 3,6% и 3,7%, снижением себестоимости на 1,3% и 1%, а также повышением рентабельности производства на 1% и 0,8% соответственно.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

С целью повышения эффективности яичного производства рекомендуется:

1. Введение проиотического препарата «Лактобифадол-Форте» в дозировке 0,5 г/кг корма с заменой неорганической формы микроэлементов при формировании минерального премикса на хелатные формы: глицината меди в дозировке 20 мг/кг корма, глицината железа в дозировке 200 мг/кг корма, глицината марганца в дозировке 90 мг/кг корма, селена метионина в дозировке 40 мг на кг корма и цитрата цинка в дозировке 200 мг на кг корма, для снижения себестоимости на 1,3% и увеличения рентабельности на 1%.

2. Введение проиотического препарата «Лактобифадол-Форте» в дозировке 0,5 г/кг корма с заменой неорганической формы микроэлементов при формировании минерального премикса на формы наночастиц: наночастиц меди (50 нм) в дозировке 4,8 мг/кг корма, наноксида железа Fe_3O_4 (80 нм) в дозировке 44 мг/кг корма, наночастиц марганца (50 нм) в дозировке 19,8 мг/кг корма, селенит натрия в дозировке 260 мкг на кг корма и наноксид цинка ZnO (40 нм) в дозировке 20 мг на кг корма, для снижения себестоимости на 1% и увеличением рентабельности на 0,8%.

Перспективы дальнейшей разработки:

Направление и реализация исследований представленные в диссертационной работе перспективны для дальнейшего развития тематики:

- изучение совместного влияния микроэлементов, микроорганизмов и катализаторов в виде аминокислот на органоминеральной матрице на морфобиохимические показатели организма с определением механизма взаимодействия при формировании продуктивных качеств сельскохозяйственной птицы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кавтарашвили, А.Ш. Усовершенствованные методики ускоренного определения эффективности производства птицеводческой продукции / А.Ш. Кавтарашвили // Вестник ОрёлГАУ. – 2014. - No 5 (50). – С. 182 – 186.
2. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-генетические методы определения микрофлоры кишечника / И.А. Егоров, В.А. Манукян, Т.Н. Ленкова [и др.]. - Сергиев Посад: ВНИТИП, 2013. - 51 с.
3. 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. - 357 с.
4. Оценка качества кормов, органов, тканей, мяса и яиц: Методическое руководство для зоотехнических лабораторий / Сергиев Посад: ВНИТИП, 2007. – 114 с.
5. Abd El-Hack M.E., Mahgoub S.A., Alagawany M., Ashour E.A. Improving productive performance and mitigating harmful emissions from laying hen excreta via feeding on graded levels of corn DDGS with or without *Bacillus subtilis* probiotic. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2017;101:904–913. doi: 10.1111/jpn.12522.
6. Abd El-Hack ME, Alagawany M, Amer SA, Arif M, Wahdan KM, El-Kholy MS. Effect of dietary supplementation of organic zinc on laying performance, egg quality, and some biochemical parameters of laying hens. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2018;102(2):e542–e549
7. Abdel-Wareth A.A.A., Lohakare J.D. Productive performance, egg quality, nutrients digestibility, and physiological response of bovans brown hens fed various dietary inclusion levels of peppermint oil. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2020;145:1–31. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114554.
8. Abedini M, Shariatmadari F, Torshizi MAK, Ahmadi H. Effects of zinc oxide nanoparticles on performance, egg quality, tissue zinc content, bone parameters, and antioxidative status in laying hens. *Biol Trace Elem Res.*

9. Abedini M, Shariatmadari F, Torshizi MK, Ahmadi H. Effects of a dietary supplementation with zinc oxide nanoparticles, compared to zinc oxide and zinc methionine, on performance, egg quality, and zinc status of laying hens. *Livest Sci.* 2017;203:30–36

10. Abedini M. et al. Effects of zinc oxide nanoparticles on the egg quality, immune response, zinc retention, and blood parameters of laying hens in the late phase of production // *Journal of animal physiology and animal nutrition.* – 2018. – T. 102. – №. 3. – C. 736-745.

11. Abou-Ashour A, Zanaty G, El-Naga Manal Abou, Darwish A, Hussein Eman. Utilization of dietary zinc oxide nanoparticles on productive and physiological performance of local laying hens. *Egyptian J Nutr Feeds.* 2023;26(3):429–442

12. Abou-Elkhair R., Selim S., Hussein E. Effect of supplementing layer hen diet with phytogenic feed additives on laying performance, egg quality, egg lipid peroxidation and blood biochemical constituents. *Anim. Nutr.* 2018;4:394–400. doi: 10.1016/j.aninu.2018.05.009.

13. Agus A., Clément K., Sokol H. Gut microbiota-derived metabolites as central regulators in metabolic disorders // *Gut.* – 2021;70(6);1174-1182.

14. Alagawany M, Elnesr SS, Farag MR, Tiwari R, Yatoo MI, Karthik K, Dhama K. Nutritional significance of amino acids, vitamins, and minerals as nutraceuticals in poultry production and health—a comprehensive review. *Vet Quarterly.* 2021;41(1):1–29

15. Alagawany M., Abd El-Hack M.E., Farag M.R., Sachan S., Karthik K., Dhama K. The use of probiotics as eco-friendly alternatives for antibiotics in poultry nutrition. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2018;25:10611–10618. doi: 10.1007/s11356-018-1687-x.

16. Aliakbarpour H.R., Chamani M., Rahimi G., Sadeghi A.A., Qujeq D. The *Bacillus subtilis* and Lactic Acid Bacteria Probiotics Influences Intestinal Mucin Gene Expression, Histomorphology and Growth Performance in Broilers. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 2012;25:1285–1293. doi: 10.5713/ajas.2012.12110.

17. Alsherify S.M., Hassanabadi A. Effects of adding different levels of fructooligosaccharide to diet on productive performance, egg quality traits, immune response and blood metabolites in commercial laying hens// Vet Med Sci. 2024. Vol. 10. No. 5. P. e1550. doi: 10.1002/vms3.1550.
18. Amen MH, Al-Daraji HJ. Effect of dietary supplementation with different levels of zinc on sperm-egg penetration and fertility traits of broiler breeder chicken. Pak J Nutr. 2011;10(11):1083–1088
19. Andejekovic M, Camp JV, Meulenaer B, Depaemelaere G, Socaciu C, Verloo M, Verhe R. Iron-chelation properties of phenolic acids bearing catechol and galloyl groups. Food Chem. 2006;98:23–31
20. Anthony, T., Rajesh, T., Kayalvizhi, N., & Gunasekaran, P. Influence of medium components and fermentation conditions on the production of bacteriocin (s) by *Bacillus licheniformis* AnBa 9. Bioresource Technology. 2009;100:872–877. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.07.027>
21. Bahakaim A, Abdel Magied H, Osman S, Omar A, Abdelmalak NY, Ramadan N. Effect of using different levels and sources of zinc in layer's diets on egg zinc enrichment. Egypt Poult Sci J. 2014;34(1):39–56
22. Bai S, Jin G, Li D, Ding X, Wang J, Zhang K, Zeng Q, Ji F, Zhao. Dietary organic trace minerals level influences eggshell quality and minerals retention in hens. Ann Anim Sci. 2017(17):503–515.
23. Bai S.P., Wu A.M., Ding X.M., Lei Y., Bai J., Zhang K.Y., Chio J.S. Effects of probiotic-supplemented diets on growth performance and intestinal immune characteristics of broiler chickens. Poult. Sci. 2013;92:663–670. doi: 10.3382/ps.2012-02813.
24. Bao Y.M, Choct M, Iji P.A, Bruerton K. Effect of organically complexed copper, iron, manganese and zinc on broiler performance, mineral excretion and accumulation in tissues. J. Appl. Poult. Res. 2007;16(3):448–455.
25. Bao Y.M, Choct M. Trace mineral nutrition for broiler chickens and prospects of application of organically complexed trace minerals:A review. Anim. Prod. Sci. 2009;49(4):269–282.

26. Bartolini D, Sancineto L, Fabro de Bem A, Tew KD, Santi C, Radi R, Toquato P, Galli F. Chapter Ten – Selenocompounds. In: Kenneth D Tew, Francesco Galli (eds) *Cancer Therapy: An Overview, Advances in Cancer Research*. 2017;Vol 136. Academic Press pp. 259-302
27. Batal AB, Parr TM, Baker DH. Zinc bioavailability in tetrabasic zinc chloride and the dietary zinc requirement of young chicks fed a soy concentrate diet. *Poult Sci*. 2001;80:87–90
28. Behjatian Esfahani M, Moravej H, Ghaffarzadeh M, Nehzati Paghaleh GA. Comparison the Zn-threonine, Zn-methionine, and Zn oxide on performance, egg quality, Zn bioavailability, and zn content in egg and excreta of laying hens. *Biol Trace Elem Res*. (2021) 199:292–304. 10.1007/s12011-020-02141-8
29. Bertechini AG, Fassani EJ, Fialho ET, Spadoni JA. Iron supplementation for commercial laying hens in the second cycle of production. *Revista Brasileira de Ciencia Avícola*. 2000;2(3):267–272
30. Brodacki A, Batkowska J, Stępniewska A, Blicharska E, Drabik K. Quality and mineral composition of eggs from hens supplemented with copper-lysine chelate. *Arch Anim Breed*. 2018;61(1):109–113
31. Broom L.J., Kogut M.H. Gut immunity: Its development and reasons and opportunities for modulation in monogastric production animals. *Anim. Health Res. Rev*. 2018;19:46–52. doi: 10.1017/S1466252318000026.
32. Buckley A., Turner J.R. Cell Biology of Tight Junction Barrier Regulation and Mucosal Disease. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol*. 2018;10:a029314. doi: 10.1101/cshperspect.a029314.
33. Buntyn J., Schmidt T., Nisbet D., Callaway T., Lewin H., Roberts R. The role of direct-fed microbials in conventional livestock production. *Annu. Rev. Anim. Biosci*. 2016;4:335–355. doi: 10.1146/annurev-animal-022114-111123.
34. Cai C, Qu XY, Wei YH, Yang AQ. Nano-selenium: nutritional characteristics and application in chickens. *Chinese J Anim Nutr*. 2013;12:2818-2823
35. Chegeni MM, Mottaghitlab M, Moghadam SHH, Golshekan M. Effects of in ovo injection of different manganese sources on performance and tibia

characteristics of broilers. Iran J Anim Sci. 2019;49:527–534

36. Chen H, Heng X, Li K, Wang Z, Ni Z, Gao E, Yong Y, Wu X. Complexation of multiple mineral elements by fermentation and its application in laying hens. Front Nutr. 2022 Sep 29;9:1001412. doi: 10.3389/fnut.2022.1001412.

37. Chen H, Weiss J, Shahidi F. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods. Food Technology. 2006;3:30-36

38. Chen K.L., Kho W.L., You S.H., Yeh R.H., Tang S.W., Hsieh C.W. Effects of *Bacillus subtilis* var. natto and *Saccharomyces cerevisiae* mixed fermented feed on the enhanced growth performance of broilers. Poult. Sci. 2009;88:309–315. doi: 10.3382/ps.2008-00224.

39. Chen Y., Ni J., Li H. Effect of green tea and mulberry leaf powders on the gut microbiota of chicken. BMC Vet. Res. 2019;15:1–6. doi: 10.1186/s12917-019-1822-z.

40. Cheng Y., Chen Y., Li X., Yang W., Wen C., Kang Y., Wang A., Zhou Y. Effects of synbiotic supplementation on growth performance, carcass characteristics, meat quality and muscular antioxidant capacity and mineral contents in broilers: Effects of synbiotic supplementation. J. Sci. Food Agric. 2017;97:3699–3705. doi: 10.1002/jsfa.8230.

41. Cherbut C. Motor Effects of Short-Chain Fatty Acids and Lactate in the Gastrointestinal Tract. Proc. Nutr. Soc. 2003;62:95–99. doi: 10.1079/PNS2002213.

42. Chichlowski M., Croom W.J., Edens F.W., McBride B.W., Qiu R., Chiang C.C., Daniel L.R., Havenstein G.B., Koci M.D. Microarchitecture and Spatial Relationship Between Bacteria and Ileal, Cecal, and Colonic Epithelium in Chicks Fed a Direct-Fed Microbial, PrimaLac, and Salinomycin. Poult. Sci. 2007;86:1121–1132. doi: 10.1093/ps/86.6.1121.

43. Chien YC, Hincke MT, Vali H, McKee MD. Ultrastructural matrix–mineral relationships in avian eggshell, and effects of osteopontin on calcite growth in vitro. J Struct Biol. 2008;163(1):84–99

44. Cholewińska E, Ognik K, Fotschki B, Zduńczyk Z, Juśkiewicz J. Comparison of the effect of dietary copper nanoparticles and one copper (II) salt on

the copper biodistribution and gastro- intestinal and hepatic morphology and function in a rat model. PLoS One. 2018;13:e0197083

45. Chowdhury S., Mandal G.P., Patra A.K., Kumar P., Samanta I., Pradhan S., Samanta A.K. Different essential oils in diets of broiler chickens: 2. Gut microbes and morphology, immune response, and some blood profile and antioxidant enzymes. Anim. Feed Sci. Technol. 2018;236:39–47. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.12.003.

46. Cufadar Y, Göçmen R, Kanbur G, Yıldırım B. Effects of Dietary Different Levels of Nano, Organic and Inorganic Zinc Sources on Performance, Eggshell Quality, Bone Mechanical Parameters and Mineral Contents of the Tibia, Liver, Serum and Excreta in Laying Hens. Biol Trace Elem Res. 2020 Jan;193(1):241-251. doi: 10.1007/s12011-019-01698-3.

47. da Rosa G., Dazuk V., Alba D.F., Galli G.M., Molosse V., Boiago M.M., Souza C.F., Abbad L.B., Baldissera M.D., Stefani L.M., et al. Curcumin addition in diet of laying hens under cold stress has antioxidant and antimicrobial effects and improves bird health and egg quality. J. Therm. Biol. 2020;91:1–10. doi: 10.1016/j.jtherbio.2020.102618.

48. Dai, D., Wu, S. G., Zhang, H. J., Qi, G. H., Wang, J. Dynamic alterations in early intestinal development, microbiota and metabolome induced by in ovo feeding of L-arginine in a layer chick model. Journal of animal science and biotechnology. 2020;11:1-16.

49. Dai D, Wu SG, Zhang HJ, Qi GH, Wang J. Dynamic alterations in early intestinal development, microbiota and metabolome induced by in ovo feeding of L-arginine in a layer chick model. J Anim Sci Biotechnol. 2020 Mar 10;11:19. doi: 10.1186/s40104-020-0427-5.

50. Das D.J., Shankar A., Johnson J.B., Thomas S. Critical insights into antibiotic resistance transferability in probiotic Lactobacillus. Nutrition. 2020;69:110567. doi: 10.1016/j.nut.2019.110567.

51. De Grande, A., Leleu, S., Delezie, E., Rapp, C., De Smet, S., Goossens, E., Ducatelle, R. Dietary zinc source impacts intestinal morphology and oxidative stress in young broilers. Poultry science. 2020;99(1), 441-453.

52. De Marco M, Zoon M.V, Margetyal C, Picart C, Ionescu C. Dietary administration of glycine complexed trace minerals can improve performance and slaughter yield in broilers and reduces mineral excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2017;232:182–189.
53. De Preter V., Hamer H.M., Windey K., Verbeke K. The impact of pre- and/or probiotics on human colonic metabolism: does it affect human health? *Mol. Nutr. Food Res.* 2011;55:46–57. doi: 10.1002/mnfr.201000451.
54. Deng W., Dittoe D.K., Pavilidis H.O., Chaney W.E., Yang Y., Ricke S.C. Current Perspectives and Potential of Probiotics to Limit Foodborne *Campylobacter* in Poultry. *Front. Microbiol.* 2020;11:583429. doi: 10.3389/fmicb.2020.583429.
55. Dhama K., Verma V., Sawant P.M., Tiwari R., Vaid R.K., Chauhan R.S. Applications of probiotics in poultry: Enhancing immunity and beneficial effects on production performances and health—A review. *J. Immun. Immunopathol.* 2011;13:1–19.
56. Diaz Carrasco J.M., Casanova N.A., Fernández Miyakawa M.E. Microbiota, Gut Health and Chicken Productivity: What Is the Connection? *Microorganisms.* 2019;7:374. doi: 10.3390/microorganisms7100374.
57. Díaz Carrasco J.M., Redondo E.A., Pin Viso N.D., Redondo L.M., Farber M.D., Fernández Miyakawa M.E. Tannins and Bacitracin Differentially Modulate Gut Microbiota of Broiler Chickens. *BioMed Res. Int.* 2018;2018:1–11. doi: 10.1155/2018/1879168.
58. Ding X., Yu Y., Su Z., Zhang K. Effects of essential oils on performance, egg quality, nutrient digestibility and yolk fatty acid profile in laying hens. *Anim. Nutr.* 2017;3:127–131. doi: 10.1016/j.aninu.2017.03.005.
59. Dobrzański Z, Korczyński M, Chojnacka K, Górecki H, Opaliński S. Influence of organic forms of copper, manganese, and iron on bioaccumulation of these metals and zinc in laying hens. *J Elem.* 2008;13(3):309–319
60. Dong Y, Zhang K, Han M, Miao Z, Liu C, Li J. Low level of dietary organic trace minerals improved egg quality and modulated the status of eggshell gland and intestinal microflora of laying hens during the late production stage. *Front*

61. Dos Reis JH, Gebert RR, Fortuoso BF, Dos Santos DS, Souza CF, Baldissera MD, Tavernari FC, Boiago MM, Paiano D, Da Silva AS. Selenomethionine as a dietary supplement for laying hens: impacts on lipid peroxidation and antioxidant capacity in fresh and stored eggs. *J Food Biochem.* 2019;43(8):e12957. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12957>

62. EC (European Commission) Regulation 1831 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on Additives for Use in Animal Nutrition. *Off. J. Eur. Union L.* 2003 September 22;268:29–43.

63. El-Husseiny O, Fayed SA, Omara II. Response of layer performance to iron and copper pathway and their interactions. *Aust J Basic Appl Sci.* 2009;3(4):4199–4213

64. Elkloub K, Moustafa ME, Ghazalah AA, Rehan AAA. Effect of dietary nanosilver on broiler performance. *Int J Poult Sci.* 2015;14:177–182

65. Faghih-Mohammadi, F., Seidavi, A., & Bouyeh, M. The effect of the chelated form of trace elements in diet on weight gain, production traits, egg specific gravity, immune system, blood parameters, liver enzymes, and progesterone hormone in Ross 308 broiler breeder chickens. *Italian Journal of Animal Science.* 2023;22(1), 524–536. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2023.2215248>

66. Fairweather-Tait S. Bioavailability of selenium. *Eur J Clin Nutr.* 1997;51:20–23

67. Fassani ÉJ, Bertechini AG, De Oliveira BL, Gonçalves TDM, Fialho ET. Manganese in nutrition of leghorn hens in the second cycle of production. *Ciência e Agrotecnologia.* 2000;24(2):468–478

68. Feng J., Lu M., Wang J., Zhang H., Qiu K., Qi G., Wu S. Dietary oregano essential oil supplementation improves intestinal functions and alters gut microbiota in late-phase laying hens. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2021;12:1–15. doi: 10.1186/s40104-021-00600-3.

69. Feng M, Wang ZS, Zhou AG, Ai DW. The effects of different sizes of nanometer zinc oxide on the proliferation and cell integrity of mice duodenum-

epithelial cells in primary culture. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2009;8:1164-1166

70. Fontana, L., Bermudez-Brito, M., Plaza-Diaz, J., Munoz-Quezada, S., & Gil, A. Sources, isolation, characterization and evaluation of probiotics. *British Journal of Nutrition*. 2013;109, S35–S50.

71. Forkus B, Ritter S, Vlysidis M, Geldart K, Kaznessis YN. Antimicrobial Probiotics Reduce *Salmonella enterica* in Turkey Gastrointestinal Tracts. *Sci Rep*. 2017 Jan 17;7:40695. doi: 10.1038/srep40695.

72. Forte C., Acuti G., Manuali E., Casagrande Proietti P., Pavone S., Trabalza-Marinucci M., Moscati L., Onofri A., Lorenzetti C., Franciosini M.P. Effects of two different probiotics on microflora, morphology, and morphometry of gut in organic laying hens. *Poult. Sci*. 2016;95:2528–2535. doi: 10.3382/ps/pew164.

73. Fuller R. Probiotics in man and animals. *J. Appl. Bacteriol*. 1989;66:365–378.

74. Gangadoo S, Stanley D, Hughes RJ, Moore RJ, Chapman J. Nanoparticles in feed: Progress and prospects in poultry research, *Trends in Food Science & Technology*. Volume 58, 2016, Pages 115-126, doi: 10.1016/j.tifs.2016.10.013.

75. Gao C, Zhu L, Zhu F, Sun J, Zhu Z. Effects of different sources of copper on Ctr1, ATP7A, ATP7B, MT and DMT1 protein and gene expression in Caco-2 cells. *J Trace Elem Med Biol*. 2014;28:344–350

76. Ghani, M., Ansari, A., Aman, A., Zohra, R. R., Siddiqui, N. N., & Qader, S. A. U. Isolation and characterization of different strains of *Bacillus licheniformis* for the production of commercially significant enzymes. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2013;26(4):691–697.

77. Gheisari AA, Sanei A, Samie A, Gheisari MM, Toghyani M. Effect of diets supplemented with different levels of manganese, zinc, and copper from their organic or inorganic sources on egg production and quality characteristics in laying hens. *Biol Trace Elem Res*. 2011;142:557–571. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8779-x>

78. Ghosh A, Mandal G.P, Roy A, Patra A.K. Effects of supplementation of manganese with or without phytase on growth performance, carcass traits, muscle and tibia composition, and immunity in broiler chickens. *Livest. Sci*. 2016;191:80–

85.

79. Gibson, G. R., Roberfroid, M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota, introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*. 1995;125(6), 1401–1410. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>

80. Gopi M, Pearlin B, Kumar RD, Shanmathy M, Prabakar G. Role of nanoparticles in animal and poultry nutrition: modes of action and applications in formulating feed additives and food processing. *Int J Pharmacol*. 2017;13:724–731

81. Gou Z, Fan Q, Li L, Wang Y, Lin X, Cui X, Jiang S. High dietary copper induces oxidative stress and leads to decreased egg quality and reproductive performance of Chinese Yellow broiler breeder hens. *Poult Sci*. 2021;100(3):100779

82. Grodzik M, Sawosz F, Sawosz E, Hotowy A, Wierzbicki M, Kutwin M, Jaworski S, Chwalibog A. Nano-nutrition of chicken embryos: the effect of in ovo administration of diamond nanoparticles and L-glutamine on molecular responses in chicken embryo pectoral muscles. *Int J Mol Sci*. 2013;20:23033–23044

83. Gudiña E.J., Fernandes E.C., Teixeira J.A., Rodrigues L.R. Antimicrobial and anti-adhesive activities of cell-bound biosurfactant from *Lactobacillus agilis* CCUG31450. *RSC Adv*. 2015;5:90960–90968. doi: 10.1039/C5RA11659G.

84. Gueimonde M., Sánchez B., de los Reyes-Gavilán C.G., Margolles A. Antibiotic resistance in probiotic bacteria. *Front. Microbiol*. 2013;4 doi: 10.3389/fmicb.2013.00202.

85. Habibian M, Sadeghi G, Ghazi S, Moeini MM. Selenium as a feed supplement for heat-stressed poultry: a review. *Biol Trace Elem Res*. 2015 Jun;165(2):183-93. doi: 10.1007/s12011-015-0275-x.

86. Harrington D., Hall H., Wilde D., Wakeman W. Chapter 11 – Application of aromatic plants and their extracts in the diets of laying hens. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 187-203.

87. Hashemipour H., Kermanshahi H., Golian A., Raji A. Effect of antibiotic alternatives on ileal microflora and intestinal histomorphology of broiler chickens fed wheat based diet. *Iran. J. Appl. Anim. Sci*. 2014;4:135–142.

88. He T., Long S., Mahfuz S., Wu D., Wang X., Wei X., Piao X. Effects of

Probiotics as Antibiotics Substitutes on Growth Performance, Serum Biochemical Parameters, Intestinal Morphology, and Barrier Function of Broilers. *Animals*. 2019;9:985. doi: 10.3390/ani9110985.

89. Hu CH, Li YL, Xiong L, Zhang HM, Song J, Xia MS. Comparative effects of nano elemental selenium and sodium selenite on selenium retention in broiler chickens. *Anim Feed Sci Technol*. 2012;177:204–210

90. Hung AT, Leury BJ, Sabin MA, Collins CL, Dunshea FR. Dietary nano-chromium tripicolinate increases feed intake and decreases plasma cortisol in finisher gilts during summer. *Trop Anim Health Prod*. 2014;46:1483–1489

91. Idowu OMO, Ajuwon RO, Oso AO, Akinloye OA. Effects of zinc supplementation on laying performance, serum chemistry, and Zn residue in tibia bone, liver, excreta, and eggshell of laying hens. *Int J Poult Sci*. 2011;10(3):225–230

92. Isabel B., Santos Y. Effects of Dietary Organic Acids and Essential Oils on Growth Performance and Carcass Characteristics of Broiler Chickens. *J. Appl. Poult. Res*. 2009;18:472–476. doi: 10.3382/japr.2008-00096.

93. Jadhav K., Katoch S., Sharma V.K., Mane B.G. Probiotics in Broiler Poultry Feeds: A Review. *J. Anim. Nutr. Physiol*. 2015;1:4–16.

94. Jamroz D., Wiliczekiewicz A., Wiertelcki T., Orda J., Skorupińska J. Use of Active Substances of Plant Origin in Chicken Diets Based on Maize and Locally Grown Cereals. *Br. Poult. Sci*. 2005;46:485–493. doi: 10.1080/00071660500191056.

95. Janer G, Mas del Molino E, Fernandez-Rosas E, Fernandez A, Vazquez-Campos S. Cell uptake and oral absorption of titanium dioxide nanoparticles. *Toxicology Letters*. 2014;228:103-110

96. Jankowski J, Ognik K, Stepniowska A, Zdunczyk Z, Kozowski K. The effect of manganese nanoparticles on apoptosis and on redox and immune status in the tissues of young turkeys. *PLoS One*. 2018;13:e0201487

97. Jazi V., Foroozandeh A.D., Toghyani M., Dastar B., Rezaie Koochaksaraie R., Toghyani M. Effects of *Pediococcus acidilactici*, mannan-oligosaccharide, butyric acid and their combination on growth performance and intestinal health in young broiler chickens challenged with *Salmonella Typhimurium*. *Poult. Sci*.

2018;97:2034–2043. doi: 10.3382/ps/pey035.

98. Jeong H., Arif B., Caetano-Anollés G., Kim K.M., Nasir A. Horizontal gene transfer in human-associated microorganisms inferred by phylogenetic reconstruction and reconciliation. *Sci. Rep.* 2019;9:5953. doi: 10.1038/s41598-019-42227-5.

99. Jha R., Berrococo J.D. Review: Dietary Fiber Utilization and Its Effects on Physiological Functions and Gut Health of Swine. *Animal.* 2015;9:1441–1452. doi: 10.1017/S1751731115000919.

100. Jin L.Z., Ho Y.W., Abdullah N., Jalaludin S. Digestive and bacterial enzyme activities in broilers fed diets supplemented with *Lactobacillus* cultures. *Poult. Sci.* 2000;79:886–891. doi: 10.1093/ps/79.6.886.

101. Jlali M, Briens M, Rouffineau F, Mercierand F, Geraert PA, Mercier Y. Effect of 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid as a dietary selenium supplement to improve the selenium concentration of table eggs. *J Anim Sci.* 2013;91(4):1745–1752

102. Joshua PP, Valli C, Balakrishnan V. Effect of in ovo supplementation of nano forms of zinc, copper, and selenium on post- hatch performance of broiler chicken. *Vet World.* 2016;9:287–294

103. Jóźwik A, Marchewka J, Strzałkowska N, Horbańczuk JO, Szumacher-Strabel M, Cieślak A, Lipińska-Palka P, Józefiak D, Kamińska A, Atanasov AG. The Effect of Different Levels of Cu, Zn and Mn Nanoparticles in Hen Turkey Diet on the Activity of Aminopeptidases. *Molecules.* 2018 May 11;23(5):1150. doi: 10.3390/molecules23051150.

104. Karimi A, Sadeghi G, Vaziry A. The effect of copper in excess of the requirement during the starter period on subsequent performance of broiler chicks, *The Journal of Applied Poultry Research*, Volume 20, Issue 2, Summer 2011, Pages 203–209, <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00290>

105. Katoch S., Sharma K.A., Chahota R., Sharma K.S., Radmila M., Šefer D. Performance of broiler chicken fed varied nutrient density diets supplemented with direct fed microbial. *Acta Vet.* 2013;63:643–653.

106. Kemgang T.S., Kapila S., Shanmugam V.P., Kapila R. Cross-talk between

probiotic lactobacilli and host immune system. *J. Appl. Microbiol.* 2014;117:303–319. doi: 10.1111/jam.12521.

107. Kers J.G., Velkers F.C., Fischer E.A.J., Hermes G.D.A., Stegeman J.A., Smidt H. Host and environmental factors affecting the intestinal microbiota in chickens. *Front. Microbiol.* 2018;9:1–14. doi: 10.3389/fmicb.2018.00235.

108. Khan AA, Chaudhuri D, Mishra SK, Narayan R. Effect of nano-material combination on various performance traits of Japanese quails. *Indian J Anim. Res* 2015;49(1):109-113.

109. Kim CH, Jeong SH, Lim SJ, Cheon SN, Kim K, Chun J, Jeon J. Effect of Organic or Inorganic Mineral Premix in the Diet on Laying Performance of Aged Laying Hens and Eggshell Quality. *Animals (Basel)*. 2022 Sep 12;12(18):2378. doi: 10.3390/ani12182378.

110. Kim H.W., Yan F.F., Hu J.Y., Cheng H.W., Kim Y.H.B. Effects of probiotics feeding on meat quality of chicken breast during postmortem storage. *Poult. Sci.* 2016;95:1457–1464. doi: 10.3382/ps/pew055.

111. Kogut, M.H., Swaggerty, C.L. Effects of Prebiotics and Probiotics on the Host Immune Response. *Direct-Fed Microbials and Prebiotics for Animals*. 2012;61-72. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1311-0_5

112. Kulak E, Ognik K, Stępniewska A, Sembratowicz I. The effect of administration of silver nanoparticles on silver accumulation in tissues and the immune and antioxidant status of chickens. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 2018;27(1):44–54. doi:10.22358/jafs/84978/2018.

113. Kumar S., Ciraci C., Redmond S.B., Chuammitri P., Andreasen C.B., Palić D., Lamont S.J. Immune response gene expression in spleens of diverse chicken lines fed dietary immunomodulators. *Poult. Sci.* 2011;90:1009–1013. doi: 10.3382/ps.2010-01235.

114. Lan J., Chen G., Cao G., Tang J., Li Q., Zhang B., Yang C. Effects of alpha-glyceryl monolaurate on growth, immune function, volatile fatty acids, and gut microbiota in broiler chickens. *Poult. Sci.* 2021;100:100875. doi: 10.1016/j.psj.2020.11.052.

115. Lan Y., Verstegen M.W.A., Tamminga S., Williams B.A. The role of the commensal gut microbial community in broiler chickens. *Worlds Poult. Sci. J.* 2005;61:95–104. doi: 10.1079/WPS200445.
116. Lee S.H., Lillehoj H.S., Chun H.K., Tuo W., Park H.J., Cho S.M., Lee Y.M., Lillehoj E.P. In vitro treatment of chicken peripheral blood lymphocytes, macrophages, and tumor cells with extracts of Korean medicinal plants. *Nutr. Res.* 2007;27:362–366. doi: 10.1016/j.nutres.2007.04.001.
117. Lee S.H., Lillehoj H.S., Hong Y.H., Jang S.I., Lillehoj E.P., Ionescu C., Mazuranok L., Bravo D. In vitro effects of plant and mushroom extracts on immunological function of chicken lymphocytes and macrophages. *Br. Poult. Sci.* 2010;51:213–221. doi: 10.1080/00071661003745844.
118. Li L, Miao L, Zhu M, Wang L, Zou X. Dietary addition of zinc-methionine influenced eggshell quality by affecting calcium deposition in eggshell formation of laying hens. *Br J Nutr.* 2019 Nov 14;122(9):961-973. doi: 10.1017/S000711451900206X.
119. Li LL, Gong YJ, Zhan HQ, Zheng YX, Zou XT. Effects of dietary Zn-methionine supplementation on the laying performance, egg quality, antioxidant capacity, and serum parameters of laying hens. *Poult Sci.* 2019;98:923–31. doi: 10.3382/ps/pey440
120. Li LL, Zhang NN, Gong YJ, et al. Effects of dietary Mn-methionine supplementation on the egg quality of laying hens. *Poultry Science.* 2018 Jan;97(1):247-254. DOI: 10.3382/ps/pex301.
121. Li R, Liu J, Liu M, Liang M, Wang Z, Sha Y, Ma H, Lin Y, Li B, You J, Zhang L, Qin M. Effects of selenium-enriched yeast dietary supplementation on egg quality, gut morphology and caecal microflora of laying hens. *Anim Biotechnol.* 2024 Nov;35(1):225-188. doi: 10.1080/10495398.2023.2258188.
122. Lianqin Z, Xiangdi T, Fenghua Z, Jinquan S, Zhipeng L. Effect of dietary nano-CuO dosage on immune function in broiler. *China Poultry.* 2007;29:20-23
123. Lillehoj H., Liu Y., Calsamiglia S., Miyakawa M.E.F., Chi F., Cravens R.L., Oh S., Gay C.G. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth

and enhance host health. *Vet. Res.* 2018;49:1–18. doi: 10.1186/s13567-018-0562-6.

124. Lillehoj H.S. Recent Progress in Understanding Host Mucosal Response to Avian Coccidiosis and development of alternative strategies to mitigate the use of antibiotics in poultry production. *Korean J. Poult. Sci.* 2011;38:275–284. doi: 10.5536/KJPS.2011.38.4.275.

125. Lilly D.M., Stillwell R.H. Probiotics: growth-promoting factors produced by microorganisms. *Science.* 1965;147:747–748. doi: 10.1126/science.147.3659.747.

126. Lim HS, Paik IK. Effects of dietary supplementation of copper chelates in the form of methionine, chitosan, and yeast in laying hens. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2006;19:1174–1178

127. Lim KS, You SJ, An BK, Kang CW. Effects of dietary garlic powder and copper on cholesterol content and quality characteristics of chicken eggs. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2006;19(4):582–586

128. Liu H, Bai M, Xu K, Zhou J, Zhang X, Yu R, Huang R, Yin Y. Effects of different concentrations of coated nano zinc oxide material on fecal bacterial composition and intestinal barrier in weaned piglets. *J Sci Food Agric.* 2021 Jan 30;101(2):735-745. doi: 10.1002/jsfa.10686.

129. Liu T, Li C, Li Y, Feng F. Glycerol Monolaurate Enhances Reproductive Performance, Egg Quality and Albumen Amino Acids Composition in Aged Hens with Gut Microbiota Alternation. *Agriculture.* 2020; 10(7):250. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070250>

130. Lopes M, Paroul N, Barbosa J, Valduga E, Cansian R.L, Toniazzo G, Oliveira D. Effect of partial and total replacement of inorganic by organic microminerals sources on the quality of broiler carcasses. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 2017;60:1–11.

131. Lopetuso L.R., Scaldaferri F., Petito V., Gasbarrini A. Commensal Clostridia: Leading players in the maintenance of gut homeostasis. *Gut Pathog.* 2013;5:1–8. doi: 10.1186/1757-4749-5-23.

132. Lotfi, L., Zaghari, M., Zeinoddini, S., Shivazad, M., Davoodi, D. The effect of nano manganese sources on performance and manganese bioavailability in

broiler chickens. Iranian Journal of animal Science. 2015;46(1):55-63. doi: 10.22059/ijas.2015.54591

133. Lu J, Qu L, Ma M, Li YF, Wang XG, Yang Z, Wang KH. Efficacy evaluation of selenium-enriched yeast in laying hens effects on performance, egg quality, organ development, and selenium deposition. Poult Sci. 2020;99(11):6267–6277. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.07.041>

134. Lu J, Qu L, Shen MM, Wang XG, Guo J, Hu YP, Dou TC, Wang KH. Effects of high-dose selenium-enriched yeast on laying performance, egg quality, clinical blood parameters, organ development, and selenium deposition in laying hens. Poult Sci. 2019;98(6):2522–2530. <https://doi.org/10.3382/ps/pey597>

135. Manangi MK, Vazques-Anon M, Richards JD, Carter S, Knight CD. The impact of feeding supplemental chelated trace minerals on shell quality, tibia breaking strength, and immune response in laying hens. J Appl Poultry Res 2015;24(3):316–326. doi: 10.3382/japr/pfv029.

136. Martínez E.A., Babot J.D., Lorenzo-Pisarello M.J., Apella M.C., Chaia A.P. Feed supplementation with avian *Propionibacterium acidipropionici* contributes to mucosa development in early stages of rearing broiler chickens. Benef. Microbes. 2016;7:687–698. doi: 10.3920/BM2016.0077.

137. Marume U., Mokagane J.M., Shole C.O., Hugo A. *Citrullus lanatus* essential oils inclusion in diets elicit nutraceutical effects on egg production, egg quality, and physiological characteristics in layer hens. Poult. Sci. 2020;99:3038–3046. doi: 10.1016/j.psj.2020.01.029.

138. Mathe A. Essential Oils as Phytogetic Feed Additives. Allured Publishing Corporation; Carol Stream, IL, USA: 2007. Essential Oils: Basic and Applied Research. Allured Publishing Corporation, Carol Stream; pp. 315–325.

139. Mathlouthi, Nejib & Mallet, Serge & Saulnier, Luc & Quéméner, Bernard & Larbier, Michel. Effect of xylanase and β -glucanase addition on performance, nutrient digestibility, and physico-chemical condition in the small intestine contents and caecal microflora of broiler chickens fed a wheat and barley-based diet. Animal Research - ANIM RES. 2002;51:395-406. 10.1051/animres:2002034.

140. Mazanko M.S., Gorlov I.F., Prazdnova E.V., Makarenko M.S., Usatov A.V., Bren A.B., Chistyakov V.A., Tutelyan A.V., Komarova Z.B., Mosolova N.I., et al. Bacillus Probiotic Supplementations Improve Laying Performance, Egg Quality, Hatching of Laying Hens, and Sperm Quality of Roosters. *Probiotics Antimicrob. Proteins*. 2018;10:367–373. doi: 10.1007/s12602-017-9369-4.
141. McAllister T.A., Beauchemin K.A., Alazzeah A.Y., Baah J., Teather R.M., Stanford K. Review: the use of direct fed microbials to mitigate pathogens and enhance production in cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 2011;91:193–211.
142. Meshreky S.Z, Allam S.M, El-Manilawi M.A, Amin H.F. Effect of dietary supplemental zinc source and level on growth performance, digestibility coefficients and immune response of New Zealand white rabbits. *Egypt. J. Nutr. Feeds*. 2015;18(2 Special):383–390.
143. Messaoudi S., Manai M., Kergourlay G., Prévost H., Connil N., Chobert J.-M., Dousset X. Lactobacillus salivarius: Bacteriocin and probiotic activity. *Food Microbiol*. 2013;36:296–304. doi: 10.1016/j.fm.2013.05.010.
144. Meyer M.M., Fries-Craft K.A., Bobeck E.A. Composition and inclusion of probiotics in broiler diets alter intestinal permeability and spleen immune cell profiles without negatively affecting performance¹. *J. Anim. Sci.* 2020;98:skz383. doi: 10.1093/jas/skz383.
145. Miao LP, Li LL, Zhu MK, Dong XY, Elwan HAM, Zou XT. Excess dietary fluoride affects laying performance, egg quality, tissue retention, serum biochemical indices, and reproductive hormones of laying hens. *Poult Sci*. 2019;98:6873–9. 10.3382/ps/pez443
146. Miao L, Gong Y, Li H, Xie C, Xu Q, Dong X, Elwan HAM, Zou X. Alterations in cecal microbiota and intestinal barrier function of laying hens fed on fluoride supplemented diets. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2020 Apr 15;193:110372. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110372.
147. Michalak I, Dziergowska K, Alagawany M, Farag MR, El-Shall NA, Tuli HS, Emran TB, Dhama K. The effect of metal-containing nanoparticles on the health, performance and production of livestock animals and poultry. *Vet Q*. 2022

Dec;42(1):68-94. doi: 10.1080/01652176.2022.2073399.

148. Mikulski D., Jankowski J., Mikulska M., Demey V. Effects of dietary probiotic (*Pediococcus acidilactici*) supplementation on productive performance, egg quality, and body composition in laying hens fed diets varying in energy density. *Poult. Sci.* 2020;99:2275–2285. doi: 10.1016/j.psj.2019.11.046.

149. Min YN, Liu FX, Qi X, Ji S, Ma SX, Liu X, Gao AY. Effects of methionine hydroxyl analog chelated zinc on laying performance, eggshell quality, eggshell mineral deposition, and activities of Zn-containing enzymes in aged laying hens. *Poult Sci.* 2018;97(10):3587–3593

150. Miniello V., Diaferio L., Lassandro C., Verduci E. The importance of being eubiotic. *J. Prob. Health.* 2017;5:1–12.

151. Miroshnikov, S.A. & Yausheva, E.V. & Sizova, Elena & Kosyan, D.B. & Donnik, I.M. Research of opportunities for using iron nanoparticles and amino acids in poultry nutrition. *International Journal of GEOMATE.* 2017;13:124-131. 10.21660/2017.40.99216.

152. Miroshnikov, S., E. Yausheva, E. Sizova, E. Miroshnikova. “Comparative Assessment of Effect of Copper Nano- and Microparticles in Chicken.”. *Oriental Journal of Chemistry.* 2015;31(4):2327–2336. DOI:10.13005/ojc/310461.

153. Mishra A, Swain RK, Mishra SK, Panda N, Sethy K. Growth Performance and Serum Biochemical Parameters as Affected by Nano Zinc Supplementation in Layer Chicks. *Indian journal of animal NUTRITION.* 2014;384-388.

154. Mohammadi F, Ahmadi F, Amiri AM. Effect of zinc oxide nanoparticles on carcass parameters, relative weight of digestive and lymphoid organs of broiler fed wet diet during the starter period. *Int J Biosci.* 2015;6:389–394. <https://doi.org/10.12692/IJB/6.2.389-394>

155. Mohammadi H, Farzinpour A, Vaziry A. Reproductive performance of breeder quails fed diets supplemented with L-cysteine-coated iron oxide nanoparticles. *Reprod Domest Anim.* 2017 Apr;52(2):298-304. doi: 10.1111/rda.12902.

156. Mohapatra P, Swain RK, Mishra SK, Behera T, Swain P, Behura NC,

Sahoo G, Sethy K, Bhol BP, Dhama K. Effects of dietary nano-selenium supplementation on the performance of layer grower birds. *Asian J Anim Vet Adv.* 2014;9:641–652. doi: 10.3923/ajava.2014.641.652.

157. Mohd Shaufi M.A., Sieo C.C., Chong C.W., Gan H.M., Ho Y.W. Deciphering chicken gut microbial dynamics based on high-throughput 16S rRNA metagenomics analyses. *Gut Pathog.* 2015;7:4. doi: 10.1186/s13099-015-0051-7.

158. Morelli, L., Capurso, L. FAO/WHO guidelines on probiotics, 10 years later. *Journal of Clinical Gastroenterology.* 2012;46:S1–S2. <https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e318269fdd5>.

159. Mountzouris K.C., Paraskevas V., Tsirtsikos P., Palamidi I., Steiner T., Schatzmayr G., Fegeros K. Assessment of a phytogenic feed additive effect on broiler growth performance, nutrient digestibility and caecal microflora composition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2011;168:223–231. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.03.020.

160. Mousavi A., Mahdavi A.H., Riasi A., Soltani-Ghombavani M. Synergetic effects of essential oils mixture improved egg quality traits, oxidative stability and liver health indices in laying hens fed fish oil. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2017;234:162–172. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.10.001.

161. Mroczek-Sosnowska N, Łukasiewicz M, Adamek D, Kamaszewski M, Niemiec J, Wnuk-Gnich A, Scott A, Chwalibog A, Sawosz E. Effect of copper nanoparticles administered in ovo on the activity of proliferating cells and on the resistance of femoral bones in broiler chickens. *Arch Anim Nutr.* 2017 Aug;71(4):327-332. doi: 10.1080/1745039X.2017.1331619.

162. Mroczek-Sosnowska N, Łukasiewicz M, Wnuk A, Sawosz E, Niemiec J, Skot A, Jaworski S, Chwalibog A. In ovo administration of copper nanoparticles and copper sulfate positively influences chicken performance. *J Sci Food Agric.* 2016 Jul;96(9):3058-62. doi: 10.1002/jsfa.7477.

163. Mroczek-Sosnowska N, Sawosz E, Vadalasetty KP, Łukasiewicz M, Niemiec J, Wierzbicki M, Kutwin M, Jaworski S, Chwalibog A. Nanoparticles of copper stimulate angiogenesis at systemic and molecular level. *Int J Mol Sci.* 2015 Mar 3;16(3):4838-49. doi: 10.3390/ijms16034838.

164. Mughal MJ, Peng X, Kamboh AA, Zhou Y, Fang J. Aflatoxin B1 induced systemic toxicity in poultry and rescue effects of selenium and zinc. *Biol Trace Elem Res.* 2017;178(2):292–300. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0923-9>
165. Muir W.I., Bryden W.L., Husband A.J. Immunity, vaccination and the avian intestinal tract. *Dev. Comp. Immunol.* 2000;24:325–342. doi: 10.1016/S0145-305X(99)00081-6.
166. Murugesan G.R., Syed B., Haldar S., Pender C. Phytogenic Feed Additives as an Alternative to Antibiotic Growth Promoters in Broiler Chickens. *Front. Vet. Sci.* 2015;2:21. doi: 10.3389/fvets.2015.00021.
167. Mwangi S, Timmons J, Ao T, Paul M, Macalintal L, Pescatore A, Cantor A, Ford M, Dawson K.A. Effect of zinc imprinting and replacing inorganic zinc with organic zinc on early performance of broiler chicks. *Poult. Sci.* 2017;96(4):861–868. doi: 10.3382/ps/pew312.
168. Na P, Fenghua Z, Youling W, Fu C, Caibing Z, Lianqin Z. Effects of diets supplemented with nano-CuO and high level of zinc sulfate on copper and zinc contents of visceral tissues of chickens. *Sci Agric Sin.* 2011;44:4874–4881.
169. Neijat M., Shirley R.B., Barton J., Thiery P., Welsher A., Kiarie E. Effect of dietary supplementation of *Bacillus subtilis* DSM29784 on hen performance, egg quality indices, and apparent retention of dietary components in laying hens from 19 to 48 weeks of age. *Poult. Sci.* 2019;98:5622–5635. doi: 10.3382/ps/pez324.
170. Niewold T.A. The Nonantibiotic Anti-Inflammatory Effect of Antimicrobial Growth Promoters, the Real Mode of Action? A Hypothesis. *Poult. Sci.* 2007;86:605–609. doi: 10.1093/ps/86.4.605.
171. Noh HJ, Kim H, Heo SJ, Cho HH, Koh HB. Guanosine 5'-monophosphate-chelated calcium and iron feed additives maintains egg production and prevents *Salmonella Gallinarum* in experimentally infected layers. *J Vet Sci.* 2017;18(3):291–297. <https://doi.org/10.4142/jvs.2017.18.3.291>
172. Noriuzian M.A., Malaki M., Khadem A.A. Effects of parenteral administration of cobalt, copper and iron in late pregnancy on ewe hematology and lamb vigour. *Iran. J. Appl. Anim. Sci.* 2014;4:285–289.

173. Oakley B.B., Kogut M.H. Spatial and Temporal Changes in the Broiler Chicken Cecal and Fecal Microbiomes and Correlations of Bacterial Taxa with Cytokine Gene Expression. *Front. Vet. Sci.* 2016;3 doi: 10.3389/fvets.2016.00011.

174. Ogbuewu IP, Mbajiorgu CA. Meta-analysis of zinc supplementation on laying performance, egg quality characteristics, and blood zinc concentrations in laying hens. *Biol Trace Elem Res.* 2022;200(12):5188–5204. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-03080-8>

175. Ognik K, Kozłowski K, Stępniewska A, Szlęzak R, Tutaj K, Zduńczyk Z, Jankowski J. The effect of manganese nanoparticles on performance, redox reactions and epigenetic changes in turkey tissues. *Animal.* 2019 Jun;13(6):1137-1144. doi: 10.1017/S1751731118002653.

176. Ognik K, Stępniewska A, Cholewińska E, Kozłowski K. The effect of administration of copper nanoparticles to chickens in drinking water on estimated intestinal absorption of iron, zinc, and calcium. *Poult Sci.* 2016 Sep 1;95(9):2045-51. doi: 10.3382/ps/pew200.

177. Olgun O. Manganese in poultry nutrition and its effect on performance and eggshell quality. *World's Poult Sci J.* 2017;73(1):45–56. doi: 10.1017/S0043933916000891.

178. Olgun O, Yazgan O, Cufadar Y. Effects of boron and copper dietary supplementation in laying hens on egg shell quality, plasma and tibia mineral concentrations and bone biomechanical properties. *Revue de Médecine Vétérinaire* 2012;163(7):335–342

179. Olgun O, Yildiz AO. Effects of dietary supplementation of inorganic, organic or nano zinc forms on performance, eggshell quality, and bone characteristics in laying hens. *Ann Anim Sci.* 2017;17: 463–476

180. Olnood C.G., Beski S.S.M., Choct M., Iji P.A. Use of *Lactobacillus johnsonii* in broilers challenged with *Salmonella* Sofia. *Anim. Nutr.* 2015;1:203–212. doi: 10.1016/j.aninu.2015.07.001.

181. Oso A.O., Suganthi R.U., Reddy G.B.M., Malik P.K., Thirumalaisamy G., Awachat V.B., Selvaraju S., Arangasamy A., Bhatta R. Effect of dietary

supplementation with phytogenic blend on growth performance, apparent ileal digestibility of nutrients, intestinal morphology, and cecal microflora of broiler chickens. *Poult. Sci.* 2019;98:4755–4766. doi: 10.3382/ps/pez191.

182. Pacheco B.H, Nakagi V.S, Kobashigawa E.H, Caniatto A.R, Faria D.E, Filho D.E.F. Dietary levels of zinc and manganese on the performance of broilers between 1 to 42 days of age. *Braz. J. Poult. Sci.* 2017;9(2):171–178.

183. Paik IK. Application of chelated minerals in animal production. *Asian Australas J Anim Sci.* 2001;14:191–198

184. Palanisamy V, Pc S, Pineda L, Han Y. Effect of supplementing hydroxy trace minerals (Cu, Zn, and Mn) on egg quality and performance of laying hens under tropical conditions. *Anim Biosci.* 2023;6(11):1709–1717

185. Pan C, Zhao Y, Liao SF, Chen F, Qin S, Wu X, et al. Effect of selenium-enriched probiotics on laying performance, egg quality, egg selenium content, and egg glutathione peroxidase activity. *J Agric Food Chem.* 2011;59:11424–31. 10.1021/jf202014k

186. Pan C., Zhao Y., Liao S.F., Chen F., Qin S., Wu X., Zhou H., Huang K. Effect of Selenium-Enriched Probiotics on Laying Performance, Egg Quality, Egg Selenium Content, and Egg Glutathione Peroxidase Activity. *J. Agric. Food Chem.* 2011;59:11424–11431. doi: 10.1021/jf202014k.

187. Paraskeuas V.V., Mountzouris K.C. Modulation of broiler gut microbiota and gene expression of Toll-like receptors and tight junction proteins by diet type and inclusion of phytogenics. *Poult. Sci.* 2019;98:2220–2230. doi: 10.3382/ps/pey588.

188. Park J.H., Kim I.H. Effects of a protease and essential oils on growth performance, blood cell profiles, nutrient retention, ileal microbiota, excreta gas emission, and breast meat quality in broiler chicks. *Poult. Sci.* 2018;97:2854–2860. doi: 10.3382/ps/pey151.

189. Park SY, Birkhold SG, Kubena LF, Nisbet DJ, Ricke SC. Review on the role of dietary zinc in poultry nutrition, immunity, and reproduction. *Biol Trace Elem Res.* 2004;101:147–163

190. Patel S, Jana S, Chetty R, Thakore S, Singh M, Devkar R. Toxicity

evaluation of magnetic iron oxide nanoparticles reveals neuronal loss in chicken embryo. *Drug Chem Toxicol* 2017;42:1–8

191. Pekel AY, Alp M. Effects of different dietary copper sources on laying hen performance and egg yolk cholesterol. *J Appl Poultry Res.* 2011;20(4):506–513

192. Perricone V., Comi M., Giromini C., Rebucci R., Agazzi A., Savoini G., Bontempo V. Green tea and pomegranate extract administered during critical moments of the production cycle improves blood antiradical activity and alters cecal microbial ecology of broiler chickens. *Animals.* 2020;10:785. doi: 10.3390/ani10050785.

193. Pineda L, Chwalibog A, Sawosz E, Llauridsen C, Engberg R, Elnif J, Hotowy A, Sawosz F, Gao Y, Ali A, Moghaddam HS. Effect of silver nanoparticles on growth performance, metabolism and microbial profile of broiler chickens. *Arch Anim Nutr.* 2012;66:416-429

194. Pineda L, Sawosz E, Vadalasetty KP, Chwalibog A. Effect of copper nanoparticles on metabolic rate and development of chicken embryos. *Anim Feed Sci Technol.* 2013;186:125–129

195. Powell JJ, Faria N, Thomas-McKay E, Pele LC. Origin and fate of dietary nanoparticles and microparticles in the gastrointestinal tract. *Journal of Autoimmunity.* 2010;34:J226–J233

196. Qiu J, Lu X, Ma L, Hou C, He J, Liu B, Yu D, Lin G, Xu J. Low-dose of organic trace minerals reduced fecal mineral excretion without compromising performance of laying hens. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2020 Apr;33(4):588-596. doi: 10.5713/ajas.19.0270.

197. Qiu K, Zheng JJ, Obianwuna UE, Wang J, Zhang HJ, Qi GH, Wu SG (2021) Effects of dietary selenium sources on physiological status of laying hens and production of selenium-enriched eggs. *Front Nutr* 8 <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.726770>.

198. Qu W, Yang J, Sun Z, Zhang R, Zhou F, Zhang K, Xia Y, Huang K, Miao D. Effect of selenium nanoparticles on antioxidative level, egg production and quality and blood parameter of laying hens exposed to deoxynivalenol. *J Anim Res Nutr.*

2017;21:1. <https://doi.org/10.21767/2572-5459100021>

199. Rahmatollah DA, Farzinpour VA, Sadeghi G. Effect of replacing dietary FeSO₄ with cysteine-coated Fe₃O₄ nanoparticles on quails. *Ital J Anim Sci*. 2017;17:121–127.

200. Ramesh, J. “Effect Of Nanomineral Supplementation In TANUVAS Smart Mineral Mixture On The Performance Of Lambs.”, Doctoral dissertation, Tamil Nadu Veterinary and Animal Sciences University, India (2014).

201. Ramos-Vidales D, Gómez-Verduzco G, Cortes-Cuevas A, Río-García JC, Fernández-Tinoco S, Chárraga-Aguilar S, Ávila-González E. Organic trace minerals on productive performance, egg quality and immune response in Bovans White laying hens. *J Anim Physiol Anim Nutr*. 2019;103(5):1484–1491.

202. Ran, T., Gomaa, W. M. S., Shen, Y. Z., Saleem, A. M., Yang, W. Z., & McAllister, T. A. Use of naturally sourced feed additives (lactobacillus fermentation products and enzymes) in growing and finishing steers: Effects on performance, carcass characteristics and blood metabolites. *Animal Feed Science and Technology*. 2019;254. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2019.05.013.

203. Rao S.R, Prakash B, Raju M.V, Panda A.K, Kumari R.K, Reddy E.P. Effect of supplementing organic forms of zinc, selenium and chromium on performance, antioxidant and immune responses in broiler chicken reared in tropical summer. *Biol. Trace Elem. Res*. 2016;172(2):511–520. doi: 10.1007/s12011-015-0587-x.

204. Reyer H., Zentek J., Männer K., Youssef I.M.I., Aumiller T., Weghuber J., Wimmers K., Mueller A.S. Possible molecular mechanisms by which an essential oil blend from star anise, rosemary, thyme, and oregano and saponins increase the performance and ileal protein digestibility of growing broilers. *J. Agric. Food Chem*. 2017;65:6821–6830. doi: 10.1021/acs.jafc.7b01925.

205. Ruenraroengsak P, Cook JM, Florence AT. Nanosystem drug targeting: facing up to complex realities. *J Control Release*. 2010;141:265–276

206. Saeed M., Xu Y., Zhang T., Ren Q., Sun C. 16S ribosomal RNA sequencing reveals a modulation of intestinal microbiome and immune response by

dietary L-theanine supplementation in broiler chickens. *Poult. Sci.* 2019;98:842–854. doi: 10.3382/ps/pey394.

207. Sahoo A., Swain R.K., Mishra S.K., Jena B. Serum Biochemical Indices of Broiler Birds Fed on Inorganic, Organic and Nano Zinc Supplemented Diets. *International Journal of Recent Scientific Research.* 2014;5(11):2078–2081.

208. Saki AA, Abbasinezhad RAA. Iron nanoparticles and methionine hydroxy analogue chelate in ovo feeding of broiler chickens. *Int J Nanosci Nanotechnol.* 2014;10:187–196

209. Salaheen S., Kim S.-W., Haley B.J., Van Kessel J.A.S., Biswas D. Alternative Growth Promoters Modulate Broiler Gut Microbiome and Enhance Body Weight Gain. *Front. Microbiol.* 2017;8:2088. doi: 10.3389/fmicb.2017.02088.

210. Saldanha ESPB, Garcia EA, Pizzolante CC, Faittarone ABG, da Sechinato A, Molino AB, Laganá C. Effect of organic mineral supplementation on the egg quality of semi-heavy layers in their second cycle of lay. *Braz J Poultry Sci.* 2009;11(4):215–222

211. Saleh AA, Eltantawy MS, Gawish EM, Younis HH, Amber KA, Abd El-Moneim AEME, Ebeid TA. Impact of dietary organic mineral supplementation on reproductive performance, egg quality characteristics, lipid oxidation, ovarian follicular development, and immune response in laying hens under high ambient temperature. *Biol Trace Elem Res.* 2020;195(2):506–514

212. Sanders, M. E., Merenstein, D. J., Reid, G., Gibson, G. R., & Rastall, R. A. Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: From biology to the clinic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology.* 2019;16(10):605–616. <https://doi.org/10.1038/s41575-019-0173-3>

213. Sandoval M, Henry PR, Ammerman CB, Miles RD, Littell RC. Relative bioavailability of supplemental inorganic zinc sources for chicks. *J Anim Sci.* 1997;75:3195–3205

214. Sarvestani, S., M. Resvani, M. J. Zamiri, S. Shekarforoush, H. Atashi, N. Mosleh. The Effect of Nanocopper and Mannan Oligosaccharide Supplementation on Nutrient Digestibility and Performance in Broiler Chickens. *Journal of Veterinary*

Research. 2016;71:153–161.

215. Sawosz E, Binek M, Grodzik M, Zielinska M, Sysa P, Szmidt M, Niemiec T, Chwalibog A. Influence of hydrocolloidal silver nanoparticles on gastrointestinal microflora and morphology of enterocytes of quails. *Arch Anim Nutr.* 2007;61:444–451

216. Sawosz E, Łukasiewicz M, Łozicki A, Sosnowska M, Jaworski S, Niemiec J, Scott A, Jankowski J, Józefiak D, Chwalibog A. Effect of copper nanoparticles on the mineral content of tissues and droppings, and growth of chickens. *Arch Anim Nutr.* 2018;72:396-406

217. Sazzad HM, Bertechini AG, Nobre PTC. Egg production, tissue deposition and mineral metabolism in two strains of commercial layers with various levels of manganese in diets. *Anim Feed Sci Technol.* 1994;46(3–4):271–275

218. Schneitz C. Competitive exclusion in poultry–30 years of research. *Food Cont.* 2005;16:657–667.

219. Scrinis G, Lyons K. The emerging nanocorporate paradigm: nanotechnology and the transformation of nature, food and agrifood system. *Int J Sociol Agric Food.* 2007;15:22–44

220. Sembratowicz I, Ognik K. Evaluation of immunotropic activity of gold nanocolloid in chickens. *J Trace Elem Med Biol.* 2018 May;47:98-103. doi: 10.1016/j.jtemb.2018.02.006.

221. Seo YM, Shin KS, Rhee AR, Chi YS, Han J, Paik IK. Effects of dietary Fe-soy proteinate and MgO on egg production and quality of eggshell in laying hens. *Asian Australas J Anim Sci.* 2010;23(8):1043–1048

222. Shang Y., Kumar S., Oakley B., Kim W.K. Chicken Gut Microbiota: Importance and Detection Technology. *Front. Vet. Sci.* 2018;5:254. doi: 10.3389/fvets.2018.00254.

223. Shang, H., Zhao, J., Dong, X., Guo, Y., Zhang, H., Cheng, J., & Zhou, H. (2020). Inulin improves the egg production performance and affects the cecum microbiota of laying hens. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 1599-1609.

224. Sharma M.K., Dinh T., Adhikari P.A. Production performance, egg quality, and small intestine histomorphology of the laying hens supplemented with phytogenic feed additive. *J. Appl. Poult. Res.* 2020;29:362–371. doi: 10.1016/j.japr.2019.12.001.
225. Shengfeng C, Li Y, Meirong C, Luyong C, Keqiang C. Effects of feeding high-iron and high-iodine diet to hens on the iron and iodine content in egg and egg quality. *J Shanghai Agric Coll.* 1999;17:248–54.
226. Sheoran V.N. Organic minerals in poultry. *Adv. Res.* 2017;12(3):1–10.
227. Shi L, Xun W, Yue W, Zhang C, Ren Y, Liu Q, Wang Q, Shi L. Effect of elemental nano-selenium on feed digestibility, rumen fermentation, and purine derivatives in sheep. *Anim Feed Sci Technol.* 2011;163:136–142
228. Shipitsyna E., Roos A., Datcu R., Hallén A., Fredlund H., Jensen J.S., Engstrand L., Unemo M. Composition of the vaginal microbiota in women of reproductive age—Sensitive and specific molecular diagnosis of bacterial vaginosis is possible? *PLoS ONE.* 2013;8:e60670. doi: 10.1371/journal.pone.0060670.
2229. Shroyer N.F., Kocoshis S.A. *Pediatric Gastrointestinal and Liver Disease.* Elsevier; Amsterdam, The Netherlands: 2011. *Anatomy and Physiology of the Small and Large Intestines*; pp. 324–336.e2.
230. Singh AK, Ghosh TK, Halder S. Effects of methionine chelate- or yeast proteinate-based supplement of copper, iron, manganese and zinc on broiler growth performance, their distribution in the tibia and excretion into the environment. *Biol Trace Elem Res.* 2015 Apr;164(2):253-60. doi: 10.1007/s12011-014-0222-2.
231. Sirirat, N., -J.-J. Lu, A. Tsubg-Yu Hung, T.-F. Lien. Effect of Different Levels of Nanoparticles Chromium Picolinate Supplementation on Performance, Egg Quality, Mineral Retention, and Tissues Minerals Accumulation in Layer Chickens. *Journal of Agricultural Science.* 2013;5(2):150–159. doi: 10.5539/jas.v5n2p150.
232. Sizova EA, Miroshnikov SA, Lebedev SV, Kudasheva AV, Ryabov NI. To the development of innovative mineral ad- ditives based on alloy of Fe and co antagonists as an example. *Agric Biol.* 2016;51:553–562
233. Sohair AA, El-Manyawi MA, Bakr M, Ali AA. Use of nano-calcium and

phosphorus in broiler feeding. *Egyptian Poultry Science Journal*. 2017;37:637-650

234. Song J., Xiao K., Ke Y.L., Jiao L.F., Hu C.H., Diao Q.Y., Shi B., Zou X.T. Effect of a probiotic mixture on intestinal microflora, morphology, and barrier integrity of broilers subjected to heat stress. *Poult. Sci.* 2014;93:581–588. doi: 10.3382/ps.2013-03455.

235. Stefanello C, Santos TC, Murakami AE, Martins EN, Carneiro TC. Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals. *Poult Sci.* 2014;93(1):104–113

236. Sun B, Wang R, Li J, Jiang Z, Xu S. Dietary selenium affects selenoprotein W gene expression in the liver of chicken. *Biol Trace Elem Res.* 2011;143(3):1516–1523. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-8995-z>

237. Sun X, Yue S, Qiao Y, Sun Z, Li H. Dietary supplementation with selenium enriched earthworm powder improves antioxidative ability and immunity of laying hens. *Poultry Sci.* 2020;99(11):5344–5349. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.07.030>

238. Swiatkiewicz S, Koreleski J. The effect of zinc and manganese source in the diet for laying hens on eggshell and bones quality. *Vet Med.* 2008;53(10):555–563

239. Tabatabaie MM, Aliarabi H, Saki A, Ahmadi A, Siyar SH (2007) Effect of different levels and sources of zinc on egg quality and layer performance. *Pak J Biol Sci* 10(19):3476–3478

240. Tannock G.W. Probiotic properties of lactic-acid bacteria: plenty of scope for fundamental R & D. *Trends Biotechnol.* 1997;15:270–274. doi: 10.1016/s0167-7799(97)01056-1.

241. Toghyani M., Toghyani M., Shivazad M., Gheisari A., Bahadoran R. Chromium supplementation can alleviate the negative effects of heat stress on growth performance, carcass traits, and meat lipid oxidation of broiler chicks without any adverse impacts on blood constituents. *Biol. Trace Elem. Res.* 2012;146:171–180. doi: 10.1007/s12011-011-9234-3.

242. Trindade Neto MAD, Kobashigawa E, Namazu LB, Takeara P, Araújo

LF, Albuquerque RD. Lisina digestível e zinco orgânico para frangos de corte machos na fase de 22 a 42 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2010;39:2460–2470

243. Umar YM, Wang G, Sun W, Pei X, Liu L, Tao W, Xiao Z, Wang M, Huai M, Li L, Pelletier W. Effects of inorganic trace minerals replaced by complexed glycinate on reproductive performance, blood profiles, and antioxidant status in broiler breeders. *Poult Sci*. 2020;99:2718–26
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.058>

244. Upadhaya S.D., Hossiendoust A., Kim I.H. Probiotics in Salmonella-challenged Hy-Line brown layers. *Poult. Sci*. 2016;95:1894–1897. doi: 10.3382/ps/pew106.

245. Vadalasetty KPCL, Engberg RM, Vadalasetty R, Kutwin M, Chwalibog A, Sawosz E. Influence of silver nanoparticles on growth and health of broiler chickens after infection with *Campylobacter jejuni*. *Biomed Central Vet Res*. 2018;14:1–11

246. Vasiljevic T., Shah N.P. Probiotics—from Metchnikoff to bioactives. *Int. Dairy J*. 2008;18:714–728.

247. Vieco-Saiz, N., Belguesmia, Y., Raspoet, R., Auclair, E., Gancel, F., Kempf, I., & Drider, D. Benefits and inputs from lactic acid bacteria and their bacteriocins as alternatives to antibiotic growth promoters during food-animal production. *Frontiers in Microbiology*. 2019;10:57.

248. Wang Q, Zhan X, Wang B, Wang F, Zhou Y, Xu S, Li X, Tang L, Jin Q, Li W, Gong L, Fu A. Modified Montmorillonite Improved Growth Performance of Broilers by Modulating Intestinal Microbiota and Enhancing Intestinal Barriers, Anti-Inflammatory Response, and Antioxidative Capacity. *Antioxidants (Basel)*. 2022 Sep 13;11(9):1799. doi: 10.3390/antiox11091799.

249. Wang Y, Zhan X, Yuan D, Zhang X, Wu R (2011) Influence of dietary selenomethionine supplementation on performance and selenium status of broiler breeders and their subsequent progeny. *Biol Trace Elem Res* 143(3):1497–1507.
<https://doi.org/10.1007/s12011-011-8976-2>

250. Wang C, Wang L, Chen Q, Guo X, Zhang L, Liao X, Huang Y, Lu L, Luo X. Dietary trace mineral pattern influences gut microbiota and intestinal health of broilers. *J Anim Sci*. 2023 Jan 3;101:skad240. doi: 10.1093/jas/skad240.
251. Wang N, Wu W, Pan J, Long M. Detoxification Strategies for Zearalenone Using Microorganisms: A Review. *Microorganisms*. 2019 Jul 21;7(7):208. doi: 10.3390/microorganisms7070208.
252. Woods SL, Sobolewska S, Rose SP, Whiting IM, Blanchard A, Ionescu C, Bravo D, Pirgozliev V. Effect of feeding different sources of selenium on growth performance and antioxidant status of broilers. *Br Poult Sci*. 2020 Jun;61(3):274-280. doi: 10.1080/00071668.2020.1716301.
253. Wray C., Davies R.H. Competitive exclusion-an alternative to antibiotics. *Vet. J*. 2000;159:107–108. doi: 10.1053/tvj.1999.0442.
254. Xiang Q., Wang C., Zhang H., Lai W., Wei H., Peng J. Effects of Different Probiotics on Laying Performance, Egg Quality, Oxidative Status, and Gut Health in Laying Hens. *Animals*. 2019;9:1110. doi: 10.3390/ani9121110.
255. Xiao JF, Zhang YN, Wu SG, Zhang HJ, Yue HY, Qi GH. Manganese supplementation enhances the synthesis of glycosaminoglycan in eggshell membrane: a strategy to improve eggshell quality in laying hens. *Poult Sci*. 2014;93(2):380–388. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03354>.
256. Xie C, Elwan HAM, Elnesr SS, Dong X, Feng J, Zou XT. Effects of iron glycine chelate on laying performance, antioxidant activities, serum biochemical indices, iron concentrations and transferrin mRNA expression in laying hens. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2019 Mar;103(2):547-554. doi: 10.1111/jpn.13061.
257. Xie C, Elwan HAM, Elnesr SS, Dong XY, Zou XT. Effect of iron glycine chelate supplementation on egg quality and egg iron enrichment in laying hens. *Poult Sci*. 2019;98:7101–9. 10.3382/ps/pez421
258. Yadav S., Jha R. Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *J. Anim. Sci. Biotechnol*. 2019;10:2. doi: 10.1186/s40104-018-0310-9.
259. Yang K, Hu S, Mu R, Qing Y, Xie L, Zhou L, et al. Effects of different

patterns and sources of trace elements on laying performance, tissue mineral deposition, and fecal excretion in laying hens. *Animals*. 2021;11:1164. 10.3390/ani11041164

260. Yaşar S., Okutan İ., Tosun R. Testing novel eubiotic additives: its health and performance effects in commercially raised farm animals. *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. Tech*. 2017;7:297–308.

261. Yausheva EV, Miroshnikov SA, Kosyan DB, Sizova EA. Nanoparticles in combination with amino acids change productive and immunological indicators of broiler chicken. *Agric Biol*. 2016;51:912–920. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.912eng.

262. Yener Y., Yalçın S., Çolpan İ. Effects of Dietary Supplementation of Red Ginseng Root Powder on Performance, Immune System, Cecal Microbial Population and Some Blood Parameters in Broilers. *Ank. Üniv. Vet. Fakültesi Derg*. 2020;68:137–145. doi: 10.33988/auvfd.716897.

263. Yenice E, Mizrak C, Gultekin M, Zafer A.T, Tunca M. Effects of dietary organic or inorganic manganese, zinc, copper and chrome supplementation on the performance, egg quality and hatching characteristics of laying breeder hens. *Ankara Üniv. Vet. Fak. Derg*. 2015;62(1):63–68.

264. Yin D., Du E., Yuan J., Gao J., Wang Y.L., Aggrey S.E., Guo Y. Supplemental thymol and carvacrol increases ileum *Lactobacillus* population and reduces effect of necrotic enteritis caused by *Clostridium perfringens* in chickens. *Sci. Rep*. 2017;7:1–11. doi: 10.1038/s41598-017-07420-4.

265. Yıldız AÖ, Cufadar Y, Olgun O. Effects of dietary organic and inorganic manganese supplementation on performance, egg quality and bone mineralisation in laying hens. *Revue de Medecine Veterinaire*. 2011;162(10):482–488

266. Yu C., Wei J., Yang C., Yang Z., Yang W., Jiang S. Effects of star anise (*Illicium verum* Hook.f.) essential oil on laying performance and antioxidant status of laying hens. *Anim. Sci. J*. 2018;90:3957–3966. doi: 10.3382/ps/pey263.

267. Yu Q, Liu H, Yang K, Tang X, Chen S, Ajuwon KM, et al. Effect of the level and source of supplementary dietary zinc on egg production, quality, and zinc

content and on serum antioxidant parameters and zinc concentration in laying hens. *Poult Sci.* 2020;99:6233–8. doi: 10.1016/j.psj.2020.06.029

268. Zahin N, Anwar R, Tewari D, Kabir MT, Sajid A, Mathew B, Uddin MS, Aleya L, Abdel-Daim MM. Nanoparticles and its biomedical applications in health and diseases: special focus on drug delivery. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2020 Jun;27(16):19151-19168. doi: 10.1007/s11356-019-05211-0.

269. Zamani A, Rahmani HR, Pourreza J. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese and zinc improves eggshell quality in laying hens. *Pakistan J Biol Sci.* 2005;8(9):1311–1317.

270. Zarghi H, Hassanabadi A, Barzegar N. Effect of organic and inorganic manganese supplementation on performance and eggshell quality in aged laying hens. *Vet Med Sci* 2023;9(3):1256–1268

271. Zhang J., Na T., Jin Y., Zhang X., Qu H., Zhang Q. Thicker shell eggs with enriched N-3 polyunsaturated fatty acids and lower yolk cholesterol contents, as affected by dietary Nettle (*Urtica cannabina*) supplementation in laying hens. *Animals.* 2020;10:1994. doi: 10.3390/ani10111994.

272. Zhang KK, Han MM, Dong YY, Miao ZQ, Zhang JZ, Song XY, Feng Y, Li HF, Zhang LH, Wei QY, Xu JP, Gu DC, JH, Li. Low levels of organic compound trace elements improve the eggshell quality, antioxidant capacity, immune function, and mineral deposition of aged layinghens. *Animal.* 2021;15:100401. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.10040>

273. Zhang LY, Lu L, Zhang LY, Luo XG. The chemical characteristics of organic iron sources and their relative bioavailabilities for broilers fed a conventional corn-soybean meal diet. *J Anim Sci.* 2016 Jun;94(6):2378-96. doi: 10.2527/jas.2016-0297.

274. Zhang X, Tian L, Zhai S, Lin Z, Yang H, Chen J, Ye H, Wang W, Yang L, Zhu Y. Effects of Selenium-Enriched Yeast on Performance, Egg Quality, Antioxidant Balance, and Egg Selenium Content in Laying Ducks. *Front Vet Sci.* 2020 Sep 4;7:591. doi: 10.3389/fvets.2020.00591.

275. Zhang YN, Wang J, Zhang HJ, Wu SG, Qi GH. Effect of dietary

supplementation of organic or inorganic manganese on eggshell quality, ultrastructure, and components in laying hens. *Poult Sci.* 2017 Jul 1;96(7):2184-2193. doi: 10.3382/ps/pew495.

276. Zhen W., Shao Y., Gong X., Wu Y., Geng Y., Wang Z., Guo Y. Effect of dietary *Bacillus coagulans* supplementation on growth performance and immune responses of broiler chickens challenged by *Salmonella enteritidis*. *Poult. Sci.* 2018;97:2654–2666. doi: 10.3382/ps/pey119.

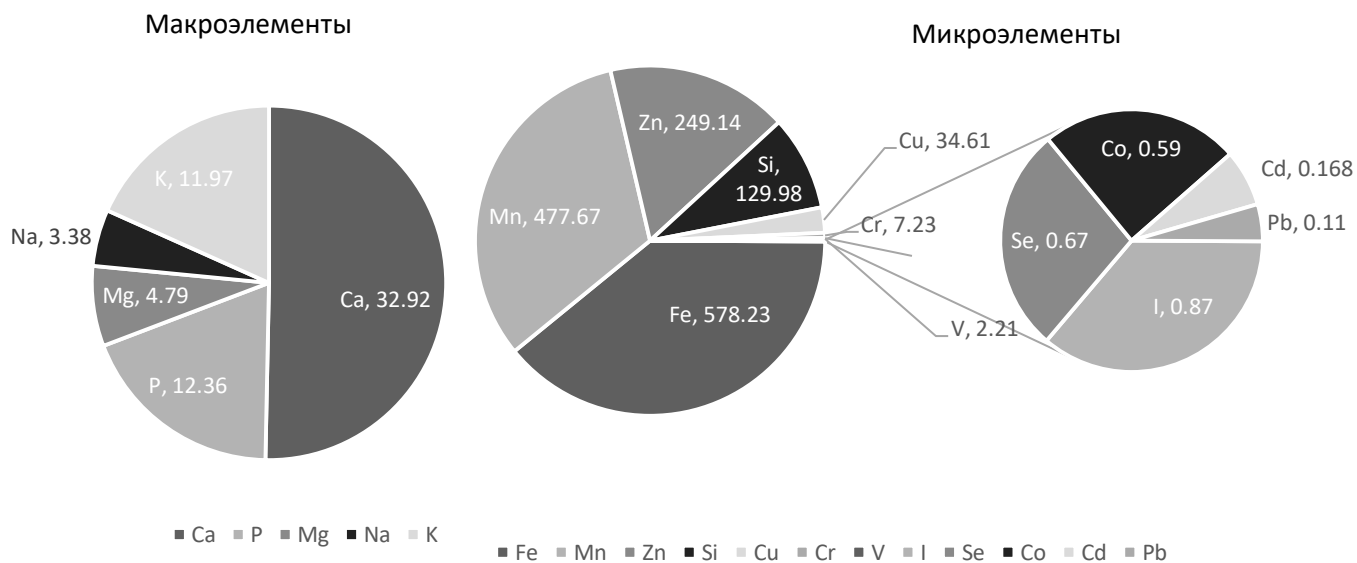
277. Zhu N., Wang J., Yu L., Zhang Q., Chen K., Liu B. Modulation of growth performance and intestinal microbiota in chickens fed plant extracts or virginiamycin. *Front. Microbiol.* 2019;10:1–16. doi: 10.3389/fmicb.2019.01333.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 – Состав полнорационного комбикорма

Состав			В рецепте		
Пшеница			55,44%		
Кормосмесь гранулированная (отруби)			7,05%		
Шрот соевый СП 46%			4,20%		
Шрот подсолнечный СП 36%, ск 17%			20,00%		
Мука мясная СП 83 %			0,52%		
Масло подсолнечное			1,24%		
Монохлоргидрат лизина 98%			0,20%		
DL-метионин 98,5 %			0,11%		
Соль поваренная			0,30%		
Монокальцийфосфат			0,35%		
Известковая мука			9,45%		
Лесимакс Премиум 250 г/т			0,03%		
Натрия сульфат безводный Na ₂ SO ₄			0,12%		
Премикс 412 н			1,00%		
Показатели качества			Дополнительно введено БАВ в 1кг. Комбикорма, не менее		
Наименование	Ед. из.	Расчет	Наименование	Ед. из.	Знач.
Обменная энергия	Ккал/100г	243	Витамин А	Тыс. МЕ	10
Сырой протеин	%	16,51	Витамин D3	Тыс. МЕ	3,2
Сырой жир	%	3,3	Витамин Е	Мг	50
Линолевая кислота	%	1,63	Витамин К3	Мг	3
Сырая клетчатка	%	6,05	Витамин В1	Мг	1
Лизин	%	0,84	Витамин В2	Мг	4
Метионин	%	0,46	Витамин В3	Мг	8
Метионин-цистин	%	0,73	Витамин В4	Мг	400
Треонин	%	0,53	Витамин В5	Мг	30
Триптофан	%	0,21	Витамин В6	Мг	3
Лизин усвояемый	%	0,73	Витамин В12	Мг	0,015

М+Ц усвояемый птицей	%	0,6	Fe	Mr	25
Ca	%	0,42	Cu	Mr	5
P	%	0,17	Zn	Mr	60
Na	%	0,52	Mn	Mr	100
Cl	%	0,34	Co	Mr	0,1
		0,18	J	Mr	0,5
		0,28	Se	Mr	0,2
			J	Mr	0,5



Приложение 2 – Содержание химических элементов в корме в среднем за период эксперимента, мг/кг