

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



Холодилина Татьяна Николаевна

**ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУР-
НЕСУШЕК И ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ
МИНЕРАЛСОДЕРЖАЩИХ КОРМОВЫХ ДОБАВОК**

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

Диссертация на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Научный консультант:
член-корреспондент РАН,
доктор биологических
наук, профессор
С.А. Мирошников

Оренбург – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	13
1.1 Кормовые добавки – источник жизненно необходимых элементов.....	13
1.2 Источники кальция в рационе цыплят-бройлеров и кур-несушек, вопросы нормирования.....	21
1.3 Экструзионные технологии: характеристика и перспективы использования для повышения доступности минеральных компонентов кормов.....	31
1.4 Заключение по обзору литературы.....	49
2. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	52
2.1 Материалы и методы исследования.....	52
2.1.1 Общая схема исследований.....	53
2.2 Биологическая и физико-химическая оценка кормовых добавок, полученных методом созэкструзии различных источников полисахаридов и кальция.....	80
2.2.1 Результаты лабораторных исследований	80
2.2.1.1 Подбор параметров экструзионной обработки опытных комплексов.....	80
2.2.1.2 Исследование влияния процесса экструзии на адгезивную активность микроорганизмов, переваримость «in vitro» и структуру поверхности препаратов	82
2.2.1.3 Оценка изменений химического состава образцов в процессе экструзии.....	93
2.2.1.4 Результаты биологической оценки влияния экструзионной обработки различных кормов на организм цыплят-бройлеров.....	96
2.2.1.4.1 Корма и кормление подопытной птицы.....	96
2.2.1.4.2 Рост и развитие подопытной птицы.....	98
2.2.1.4.3 Оценка влияния экструзии компонентов кормов на изменение микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров	99
2.2.1.4.4 Оценка влияния экструзии компонентов кормов на изменение таксономического состава слепой кишки цыплят-бройлеров.....	102
2.2.1.4.5 Оценка влияния экструзии компонентов кормов на изменение химического состава мышечной ткани и развитие органов пищеварения.....	105
2.2.2 Влияние экструдатов на основе пшеничных отрубей с различной концентрацией карбоната кальция на обмен веществ и продуктивность цыплят бройлеров.....	110
2.2.2.1 Корма и кормление подопытной птицы.....	110
2.2.2.2 Рост и развитие подопытной птицы.....	113

2.2.2.3 Морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров.....	114
2.2.2.4 Переваримость питательных веществ корма подопытной птицей	120
2.2.2.5 Оценка влияния экструзии компонентов кормов на изменение микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров.....	122
2.2.2.6 Химический и элементный состав тканей тела цыплят-бройлеров.....	126
2.2.2.7 Обмен энергии в организме подопытной птицы.....	133
2.2.2.8 Мясная продуктивность цыплят-бройлеров.....	139
2.2.2.9 Результаты производственной проверки.....	141
2.2.3 Влияние экструдатов на основе высококрахмалистых компонентов кормов с различной концентрацией карбоната кальция на обмен веществ и продуктивные качества цыплят-бройлеров	142
2.2.3.1 Корма и кормление подопытной птицы.....	142
2.2.3.2 Рост и развитие подопытной птицы.....	144
2.2.3.3 Морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров.....	145
2.2.3.4 Переваримость питательных веществ корма подопытной птицей.	149
2.2.3.5 Оценка влияния экструзии компонентов кормов на изменение микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров	152
2.2.3.6 Элементный состав тканей тела цыплят-бройлеров.....	160
2.2.3.7 Обмен энергии в организме подопытной птицы.....	162
2.2.3.8 Мясная продуктивность цыплят-бройлеров.....	166
2.2.3.9 Результаты производственной проверки.....	167
2.2.4 Сравнительная оценка влияния компонентов кормов, полученных методом соэкструзии различных источников полисахаридов и кальция на организм цыплят-бройлеров.....	168
2.2.4.1 Изменение содержания кальция в костной ткани цыплят-бройлеров.....	168
2.2.4.2 Изменение таксономического состава слепой кишки цыплят-бройлеров	169
2.3 Биологическая оценка различных источников кальция, синтезированных из осадочной горной породы Ново-Пашийского месторождения (Пермский край).....	174
2.3.1 Результаты лабораторных исследований.....	174
2.3.1.1 Исследование биологической активности синтезированных препаратов ОКД1 и ОКД3 на модели инфузорий <i>Stylonychia mytilus</i>	174
2.3.1.2 Биологическая оценка синтезированных препаратов кальция на модели бактериальной-люминесцентной тест-системы	175
2.3.1.3 Биологическая оценка синтезированных препаратов кальция на лабораторных животных.....	178
2.3.2 Оценка влияния различных источников кальция на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров.....	207

2.3.2.1 Корма и кормление подопытной птицы.....	207
2.3.2.2 Рост и развитие подопытной птицы.....	209
2.3.2.3 Морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров.....	210
2.3.2.4 Переваримость питательных веществ корма подопытной птицы.....	214
2.3.2.5 Элементный состав тканей тела цыплят-бройлеров.....	216
2.3.2.6 Оценка качества костной ткани - остеометрические показатели..	225
2.3.2.7 Обмен энергии в организме подопытной птицы.....	230
2.3.2.8 Мясная продуктивность цыплят-бройлеров.....	231
2.3.2.9 Результаты производственной проверки.....	232
2.3.3 Оценка влияния различных источников кальция на обмен веществ и продуктивность кур-несушек.....	234
2.3.3.1 Корма и кормление подопытной птицы.....	234
2.3.3.2 Рост и развитие подопытной птицы.....	235
2.3.3.3 Яичная продуктивность кур-несушек.....	236
2.3.3.4 Морфологические и биохимические показатели крови кур-несушек.....	238
2.3.3.5 Оценка маркеров костного метаболизма.....	247
2.3.3.6 Оценка влияния различных источников кальция на изменение таксономического состава слепой кишки кур-несушек.....	249
2.3.3.7 Оценка качества яйца.....	253
2.3.3.8 Оценка остеометрических и прочностных показателей большеберцовой и бедренной костей кур-несушек.....	255
2.3.4 Пилотные исследования по оценке влияния различных форм кальция на продуктивность и качество яичной скорлупы у кур-несушек после окончания производственного периода.....	259
2.4 Биологическая оценка ультрадисперсных частиц кальция.....	264
2.4.1 Результаты лабораторных исследований.....	264
2.4.1.1 Биологическая оценка УДЧ кальция на модели бактериальной-люминесцентной тест-системы.....	264
2.4.2 Оценка влияния различных дозировок УДЧ кальция на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров.....	265
2.4.2.1 Корма и кормление подопытной птицы.....	265
2.4.2.2 Рост и развитие подопытных подопытной птицы.....	268
2.4.2.3 Морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров.....	269
2.4.2.4 Переваримость питательных веществ корма.....	274
2.4.2.5 Оценка влияния УДЧ кальция на изменение микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров.....	278
2.4.2.6 Химический и элементный состав тканей тела подопытных цыплят-бройлеров.....	282
2.4.2.7 Обмен энергии в организме подопытной птицы.....	291

2.4.2.8 Мясная продуктивность цыплят-бройлеров.....	295
2.4.2.9 Результаты производственной проверки.....	297
2.5 Биологическая оценка ультрадисперсных частиц	298
кальция в форме гидроксиапатита и CaCO_3.....	
2.5.1 Результаты лабораторных исследований.....	298
2.5.1.1 Исследование биологической активности УДЧ кальция на модели инфузорий <i>Stylonychia mytilus</i>	298
2.5.1.2 Биологическая оценка УДЧ кальция на модели бактериальной-люминесцентной тест-системы.....	298
2.5.2 Оценка влияния различных дозировок ультрадисперсных форм кальция на обмен веществ и продуктивность кур-несушек....	300
2.5.2.1 Корма и кормление кур-несушек.....	300
2.5.2.2 Рост и развитие кур-несушек.....	301
2.5.2.3 Яичная продуктивность кур-несушек.....	303
2.5.2.4 Оценка остеометрических и прочностных показателей большеберцовой и бедренной костей.....	306
ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	310
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	336
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ.....	341
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	342
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	343
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	387

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Наука о кормлении сельскохозяйственных животных - непрерывно меняющееся поле человеческой деятельности, где появляются и развиваются новые концепции, формируются обширные базы данных о питательной ценности все большего числа веществ. Этот непрекращающийся процесс призван достичь одной важной цели – организации сбалансированного питания животных по максимально полному списку жизненно необходимых и минорных веществ. В конечном итоге это достигается через создание и внедрение новых кормовых добавок, и именно последние, их перечень и ассортимент, определяют уровень ведения промышленного животноводства (Фисинин В.И. и др., 2009; Егоров И. А., 2013).

Наша страна ежегодно производит 38,5 млн. тонн кормов и занимает шестое место в мире по этому показателю. При этом подавляющее большинство кормовых добавок, находящихся на российском рынке - 2229 наименований (60,84 %), разработано и производится за рубежом (Шаабан М., 2023), что, в условиях санкционного давления, непосредственно угрожает национальной продовольственной безопасности. Это в полной мере определяет необходимость создания новых, все более совершенных отечественных кормовых добавок.

Степень разработанности темы. Современная отечественная научно-производственная база включает десятки предприятий и физических лиц, зарегистрировавших несколько сотен, применяемых на практике кормовых добавок. При этом все большее значение приобретают решения, направленные на создание кормовых добавок на основе отечественного сырья, в том числе горнорудной промышленности, сельскохозяйственного и пищевого производств (Фисинин В. И. и др. 2014, 2018; Околелова Т. М., 2015). Это становится возможным через детальные исследования и совершенствование кормовых добавок по пути создания биологически более доступных комплексов, способных оказывать специфическое воздействие на метаболизм,

микробиоценоз и состав продукции животных. Так совершенствование кормовых добавок - источников кальция в рационе сельскохозяйственной птицы включает не только исследования по оценке биодоступности этого макроэлемента, но и исследования по оценке действия добавки на микробиом кишечника, микробную адгезию и целостность кишечного барьера (Venegas, S. C., et al 2006; McClintock, S. D., et al 2020). Более того, влияние различных источников кальция, формы его введения, взаимодействие с пищевыми волокнами и минералами на микробную адгезию и биодоступность кальция до конца не выяснено. (Fuhren, J., et al 2021; Wang, K., et al 2022).

Отсутствие понимания фундаментальных механизмов препятствует разработке новых решений, направленных на оптимизацию усвоения минеральных веществ, метаболизма и микроэкологического статуса, что не позволяет в полной мере реализовать высокий потенциал продуктивности современных пород и кроссов птицы.

В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на разработку и апробацию новых кормовых добавок – источников минеральных веществ для сельскохозяйственной птицы с оценкой биологических аспектов применения, продуктивного действия и экономической эффективности.

Цель и задачи исследования. Целью работы, которая выполнялась в соответствии с тематическим планом научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (2011-2016 годы №№АААА-Б17-217061340056-1) и «Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период» ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№124021200047-5; АААА-А19-119040290046-2), проектом Российского научного фонда «Поиск, аттестация и внедрение новых форм источников кальция для промышленного птицеводства» (№ 23-16-00165), при финансовой поддержке гранта на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (№ 075-15-2024-550), являлось изучение влияния различных минералосодержащих кормовых добавок на обмен веществ и микроэкологический статус птицы для

формирования новых решений по оптимизации элементного статуса и повышения продуктивности кур-несушек и цыплят-бройлеров.

Для достижения поставленной цели выполнялись следующие **задачи**:

1. Изучить свойства минерал-полисахаридных комплексов, подвергнутых гидробаротермическому воздействию, с оценкой адгезивной активности микроорганизмов, переваримости «in vitro» и продуктивного действия на модели птицы.
2. Разработать технологию производства и апробировать кальцийсодержащие опытные кормовые добавки на основе известняковой (доломитовой) муки осадочных горных пород.
3. Исследовать эффективность введения опытных кормовых добавок в рационы цыплят-бройлеров и кур-несушек.
4. Дать оценку влияния ультрадисперсной формы кальция на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров.
5. Оценить влияние ультрадисперсной формы кальция на продуктивность и остеометрические показатели костей кур-несушек.
6. Оценить действие испытуемых кормовых добавок на микрофлору подопытной птицы.
7. Дать экономическую оценку эффективности предлагаемых мероприятий по повышению эффективности производства продукции птицеводства.

Научная новизна. Впервые, для модели микробиома птицы описаны изменения, вызываемые экструдированными кормами. Так установлено снижение численности бактерий *p. Akkermansia* и увеличение бактерий семейства *Rikenellaceae* (*p. Alistipes*) в микробиоме слепой кишки цыплят-бройлеров при замене нативных кормов на экструдированные. Замена зерна кукурузы, нативного и экструдированного, на пшеничные отруби в рационе цыплят-бройлеров, сопровождается снижением значения индекса биоразнообразия микробиоты кишечника. Впервые, выявлена отрицательная корреляция между численностью бактерий *p. Akkermansia* в микробиоме слепой кишки и динамикой прироста живой массы цыплят.

Впервые, предложено часть кальция в рационе цыплят-бройлеров и кур-несушек задавать птице с питьевой водой, что позволит увеличить прочность костей (RU 2819596).

Впервые, описаны изменения в фракционном составе жирных кислот в продукции цыплят-бройлеров при использовании экструдатов в кормлении, в том числе с увеличением содержания линолевой кислоты. Получены новые данные о влиянии экструдат содержащих рационов на элементный статус цыплят-бройлеров, что позволяет в дальнейшем повышать продуктивность птицы и качество получаемой продукции через комбинирование скармливания экструдированных кормов с дополнительной дачей отдельных жизненно необходимых химических элементов.

Получены новые для науки данные о влиянии различных источников кальция в кормлении птицы на характеристики скелета и костной ткани. Показано, что в отличии от известковой муки новые кормовые добавки обеспечивают более полное усвоение жизненно необходимых элементов и повышают механические свойства костной ткани. В работе описаны новые, ранее не известные антагонистические и синергические взаимодействия кальция с другими химическими элементами.

Новизна исследований подтверждена патентами РФ на изобретения (RU 2449553, 2818582, 2838261, 2838652, 2819596). Материалы исследований были обобщены в базы данных (свидетельство о государственной регистрации РФ № 2024625563, 2024626119, 2024626277).

Теоретическая и практическая значимость и реализация результатов работы. Разработана и проверена гипотеза физиологического действия кормовых добавок, полученных путем созкструзии растительных кормов и минерал-содержащих компонентов. Установленный факт повышения переваримости кормов объяснен повышением адгезии микрофлоры кишечника к поверхности кормовых частиц, содержащих кальций и магний.

Теоретически обосновано и показано в эксперименте влияние экструдированных кормов на развитие пищеварительного тракта птицы, что

сопряжено со снижением длины и массы кишечника. При этом имеет место нарастание в кишечнике птицы условно-патогенной микрофлоры, на фоне введения экструдированных кормов, а именно численности бактерий *Staphylococcus*, *Salmonella* и грибов рода *Candida*. Это принципиально определяет необходимость использования в кормлении птицы, наряду с экструдированными кормами, кормовые добавки для подавления этой микрофлоры.

Предсказаны и описаны новые, уникальные качества механо-активированных ультрадисперсных минеральных добавок. Сформирован базис знаний для создания новых технологий повышения качества продукции кур-несушек, снижение издержек на производства мяса птицы.

Практическая значимость работы состоит в апробации алгоритма разработки технологий создания новых кормовых добавок для птицы на основе сырья горнодобывающей промышленности. Внедрения полученных материалов исследований позволит снизить стоимость кормовых добавок и получить линейку отечественных источников кальция в кормлении птицы.

Методология и методы исследования. В работе представлен материал всех экспериментальных исследований с использованием различных методов. В целом диссертационная работа выполнялась на базе ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» и ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет». Эксперименты *in vivo* проводились в условиях вивария и ЗАО «Птицефабрика Оренбургская».

Основные положения, выносимые на защиту:

- действие кормовых добавок, полученных в ходе соэкструзии карбоната кальция с различными источниками полисахаридов на организм цыплят-бройлеров зависит от вида используемой полисахаридной матрицы;
- микробиом кишечника птицы может быть изменен через введение минералсодержащих экструдатов, при этом переваримость экструдатов и

бактериальная адгезия к частицам корма коррелирует с характеристиками поверхности кормовых средств;

- использование экструдатов отрубей с карбонатом кальция отличается более высоким продуктивным действием и обеспечивает повышение рентабельности производства мяса птицы;

- использование кормовых добавок, полученных из известняковой (доломитовой) муки осадочных горных пород, повышает продуктивность цыплят-бройлеров и кур-несушек, укрепляя костную ткань/яичную скорлупу;

- использование механоактивированных ультрадисперсных форм кальция увеличивает переваримость питательных веществ корма, продуктивность и экономическую эффективность производства мяса птицы;

- использование ультрадисперсных форм карбоната кальция и гидроксиапатита в рационах кур-несушек повышает продуктивность и снижает затраты корма на производство продукции.

Степень достоверности и апробация работы. Научные положения, выводы и предложения производству обоснованы и базируются на аналитических и экспериментальных данных, степень достоверности которых доказана путем статистической обработки с использованием программного пакета Statistica 10.0.

Выводы и предложения основаны на научных исследованиях, проведенных с использованием современных методов анализа и расчета. Формирование базы данных проводилось с использованием современного оборудования Центра коллективного пользования ФНЦ БСТ РАН и Института микро- и нанотехнологий ОГУ.

Основные материалы диссертационной работы представлены на конференциях и семинарах различного уровня, в том числе Международных и Всероссийских научно-практических конференциях (Волгоград, 2007, 2009); (Оренбург, 2007, 2011, 2015, 2023; 2024, 2025); IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Омск, 2020); AIP Conference Proceedings, (Krasnoyarsk, 2021).

Основные положения работы доложены и обсуждены на расширенном заседании научных сотрудников и специалистов отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормления им. профессора С.Г. Леушина ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (Оренбург, 2009, 2024, 2025) и Института биоэлементологии ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (2011, 2013, 2025).

Реализация результатов исследований. Результаты исследований внедрены в производство ЗАО «Птицефабрика Оренбургская», г. Оренбург.

Публикация материалов исследований. По теме диссертации опубликованы 54 научные работы, в том числе 7 статей в изданиях, индексируемых в базах *Web of Science* и *Scopus*; 23– в периодических изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки Российской Федерации. Новизна исследований подтверждена 5 патентами РФ на изобретения, 3 свидетельствами на базы данных.

Объем и структура работы. Диссертационная работа представлена на 395 страницах компьютерной верстки, состоит из введения, обзора литературы, главы с описанием материалов и методов исследований, глав собственных исследований, обсуждения полученных результатов, выводов, предложений производству и перспектив дальнейшей разработки темы. Содержит 147 таблиц, 118 рисунков и 1 приложение. Список литературы включает 377 источников, в том числе 306 зарубежных.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Кормовые добавки – источник жизненно необходимых элементов

Априори, кормовая добавка несет в себе комплекс жизненно необходимых компонентов необходимых организму животного для существования и формирования продукции. Это обстоятельство определяет смысл любых действий по формированию состава кормовой добавки. Значительная часть состава современных кормовых добавок приходится на макро- и микроэлементы. Наличие которых принципиально определяет продуктивное действие набора кормов (Baird G.S., 2011; Zhang J. et al., 2021).

В связи с этим поддержание оптимального уровня эссенциальных химических элементов в рационе положительно сказывается на продуктивности и способствует сохранения здоровья сельскохозяйственных животных (Klein G.L. et al., 2016; Sundararaman S.S., van der Vorst E.P.C., 2021).

Жизненная необходимость отдельных химических элементов определяет их роль в работе нервной системы (Stehle R. Et al., 2007; Wu S. et al, 2008); формировании основных систем иммунного ответа, в том числе активации Т-клеток, выработке антител В-клетками и дегрануляции тучных клеток, что приводит к высвобождению гистамина и других медиаторов воспаления (Baba Y., 2016; Hogan P.G., 2017). Химические элементы необходимы при формировании костной ткани и яичной скорлупы у птицы. Так при формировании кости ионы кальция действуют как ключевой элемент в матрице гидроксиапатита и остеобластов, которые обеспечивают твердость и прочность костной ткани (Ganjigohari S., 2018; Okuyama K. et al., 2022). Образование яичной скорлупы основано на связывании ионов кальция в аморфные частицы нерастворимого карбоната кальция на белковых мембранах, насыщенных сульфатированными протеогликанами (Rodríguez-Navarro A.B. et al., 2015).

Многим ферментам, например, некоторым липазам, протеазам и фосфатазам, для активации требуются химические элементы, которые связываются с их активными центрами и вызывают необходимые конформационные изменения (Eijssink V.G. et al., 2011; Ali N.S.M. et al., 2020). Химические элементы участвуют в биохимических путях высвобождения гормонов эндокринными железами: инсулина из бета-клеток поджелудочной железы и паратиреоидного гормона из паращитовидных желез (Satin L.S., 2000; Quarles L.D., 2003). В сетчатке глаза химические элементы модулируют активность ферментов и ионных каналов, участвующих в сигнальных путях фоторецепторов [палочек и колбочек], что обеспечивает процессы фотопередачи (Nilius B., Flockerz V., 2014). В биохимии меланогенеза ионы кальция играют роль регулятора тирозиназы [монофенольной монооксигеназы], катализирующей образование меланина и некоторых других пигментов из тирозина. Так организм животного получает защиту от повреждения УФ-излучением (Riley P.A., Stratford M.R., 2015).

При оплодотворении химические элементы регулируют подвижность сперматозоидов, капацитацию и акросомную реакцию, что необходимо для межмембранного взаимодействия сперматозоида и яйцеклетки (Finkelstein M. et al., 2020).

В нейронах ионы кальция участвуют в высвобождении нейротрансмиттеров в синапсах. Это приводит к экзоцитозу синаптических пузырьков и обеспечивает сигнальную связь между нейронами (Kavalali E.T., 2015).

Ионы кальция служат кофактором при превращении протромбина в тромбин и фибриногена в фибрин (Weisel J.W., 2005; Umerah C.O., Momodu П., 2023). Эти процессы лежат в основе регенерации поврежденных тканей. Это красноречиво подчеркивает важность учета и оптимизации уровня эссенциальных химических элементов с помощью кормовых добавок.

Ионы кальция участвуют в регуляции апоптоза (запрограммированная гибель клеток). Повышение количества кальция внутри клетки приводит к

активации кальпаинов — кальцийзависимых протеаз, которые, в свою очередь, запускают многостадийные механизмы апоптоза (Goll D.E. et al., 2003).

Во всех метаболических реакциях ионы кальция подвергаются воздействию сопутствующих химических элементов и органических соединений, что определяет их дальнейший метаболизм. Одни соединения повышают подвижность ионов кальция и их способность проникать через различные мембраны, другие блокируют этот процесс либо выводят кальций из организма в виде нерастворимых солей. Мы считаем важным рассмотреть подобные взаимодействия.

Рецепторы кальциевого обмена: синергетические и антагонистические взаимодействия. У птиц кальций усваивается преимущественно в 12-перстной кишке и подвздошном участке тонкого кишечника посредством активного трансаннулярного и пассивного параклеточного транспорта. Трансаннулярный механизм обеспечивает всасывание 80-90 % ионов кальция и действует при участии витамина D; параклеточный механизм поставляет в организм оставшиеся 10-20 % за счет абсорбции по электрохимическому градиенту концентраций (Bronner F., 2003; Christakos S., 2012).

Основные факторы, влияющие на всасывание кальция, — это возраст, вид птицы, рацион и концентрация паратиреоидного гормона (Alexander R.T., Dimke H., 2023). На всасывание также влияют различные компоненты рациона, обладающие синергетическим, нейтральным или антагонистическим действием по отношению к ионам кальция.

Магний — один из наиболее значимых синергистов кальция, который играет важную роль в развитии костной, нервной и мышечной ткани. Как кофактор магний активирует работу сотен ферментов и необходим для активности АТФ-синтазы, производящей АТФ из АДФ и неорганического фосфата (Hirata Y., 2014; Chen Y.S. et al., 2020). Кроме того, он участвует в регуляции проводимости ионных каналов, в том числе транспортирующих ионы Ca^{2+} внутрь и наружу через клеточные мембраны, действуя как блокатор

кальциевых каналов (Kronbauer M. et al., 2019). Магний вовлечен в регуляцию выработки паратиреоидного гормона (ПТГ). При снижении концентрации Mg секреция ПТГ увеличивается, что приводит к усилению резорбции костей и повышению реабсорбции кальция почками в петле Генле — причине гиперкальциемии (Houillier P., 2013). Магний также модулирует функцию протеинкиназы C, которая активируется при достаточном количестве кальция, и регулирует высвобождение нейротрансмиттеров и гормонов (Lu S.-Y. et al., 2013).

Витамин D (холекальциферол) стимулирует выработку кальций-связывающего белка кальбиндина в слизистой оболочке кишечника, что увеличивает всасывание кальция (Yang L.P. et al., 2018). Кроме того, витамин D повышает экспрессию переносчиков кальция в почках, что помогает сохранять ионы Ca^{2+} в организме и поддерживать их гомеостаз (Sooy K. Et al., 2000). Витамин D, участвуя в биохимии остеобластов, остеоцитов и остеокластов, — помогает поддерживать прочность костной ткани, что опосредовано гомеостазом кальция (Ryan J.W. et al., 2013).

Фосфор наряду с кальцием формирует минеральную основу кости (гидроксиапатит), а его уровень в крови в форме фосфат-ионов участвует в регуляции секреции ПТГ, стимулируя резорбцию кальция из костной ткани и его реабсорбцию в почках (Kiefer-Hecker B. et al., 2018; Goyal R., Jialal I., 2023; Kazama J.J., Wakasugi M., 2018, Portales-Castillo I., Simic P., 2022).

Витамин K2 необходим для активации остеокальцина и матриксного Gla-белка, что направляет кальций в костную ткань и предотвращает его патологическую кальцификацию (Beulens J.W. et al., 2013; Li W. et al., 2019; Ma H. et al., 2019, Ma M.L. et al., 2022).

Цинк поддерживает функцию остеобластов и может ингибировать остеокласты, модулируя экспрессию генов, связанных с костным метаболизмом (Karieb S., Fox S.W., 2012; Park K.H. et al., 2013; You L. et al., 2015). Также ионы цинка могут модулировать уровень кальмодулина (Heng M.K. et al., 1993; Yang X. et al., 2023). Цинк связывается с ПТГ-подобным

пептидом, который участвует в регуляции содержания кальция в крови (Leroy C. et al., 2004), и модулирует его активность, что приводит к гипокальциемии (Minagawa M. et al., 2001).

Бор может потенцировать активность витамина D, влиять на транспорт ионов через мембраны и, образуя комплексы с кальцием и фруктозой, снижать воспаление (Hegsted M. et al., 1991; Dupre J.N. et al., 1994, Capati M.L.F. et al., 2016; Scorei I.D., Scorei R.I., 2013).

Марганец участвует в синтезе компонентов костного матрикса (протеогликанов), необходимых для его минерализации (Liu A.C. et al., 1994; Mukhopadhyay S. et al., 2010, Fukushi J.-I. et al., 2003, Vásquez-Procopio J. et al., 2020). Однако в избытке он может конкурировать с кальцием за всасывание (Dupuis Y. et al., 1992).

Лактоза и продукты её бактериальной ферментации (короткоцепочечные жирные кислоты) усиливают абсорбцию и реабсорбцию кальция (del Carmen Toca M. et al., 2022; Burgos-Rubio C.N. et al., 2000, Alexandre V. et al., 2013, Canfora E.E. et al., 2015).

Коллаген, являясь основой органического матрикса кости, обеспечивает структурную основу для отложения гидроксиапатита, а его пептиды могут модулировать активность костных клеток (Ricard-Blum S., 2011; Udagawa N. et al., 2021, Kim J.-M. et al., 2020, Stock S.R., 2015). Хотя коллаген не регулирует гомеостаз кальция напрямую, его присутствие и взаимодействие с другими компонентами костного матрикса играют важную роль в поддержании здоровья костной ткани (Yu L, Wei M., 2021).

Антагонисты кальция и лимитирующие факторы:

Алюминий конкурирует с кальцием за включение в гидроксиапатит, нарушает функцию остеобластов, ингибирует ПТГ и метаболизм витамина D (Chappard D., 2016; Sun X. et al., 2016; Morrissey J. et al., 1983; Moon J., 1994). Алюминий препятствует всасыванию фтора в кишечнике и нарушает баланс кальция и фосфора в организме, что приводит к остеопорозу (Spencer H., Kramer L., 1985).

Медь и железо в избытке вызывают окислительный стресс, повреждающий костную ткань, и могут конкурировать с кальцием за транспортные системы (Yang F. et al., 2019; Zofkova I. Et al., 2017; Yang F. et al., 2020, Lertsuwan K. et al., 2018; Arnesano F. et al., 2005, González-Domínguez Á. et al., 2020). Медь в высокой концентрации подавляет активность ионов цинка, что ведет к снижению активности витамин D-зависимых промоторов в остеобластах (Lutz W. et al., 2000).

Кадмий оказывает ингибирующее действие на кинетику связывания с костным гидроксиапатитом, что негативно отражается на функциональном состоянии костей, и увеличивает время образования костной ткани (Blumenthal N.C. et al., 1995). Кадмий накапливается в почках, где вызывает дисфункцию проксимальных канальцев нефронов, что приводит к почечной недостаточности (Gong Z.-G. et al., 2020). Поврежденные почки хуже реабсорбируют кальций, что снижает его концентрацию в плазме крови. К тому же почки отвечают за выработку кальцитриола — активной формы витамина D, участвующего в регуляции кальциевого обмена (Rodriguez M., 2014). Избыточное количество кадмия может вызвать воспаление и выработку провоспалительных цитокинов, например, интерлейкина 6 и фактора некроза опухоли-альфа (Kayama F. et al., 1995; Ou Y.-C. et al., 2022). Известно о способности этих цитокинов усиливать резорбцию костной ткани (Yokota K. et al., 2021).

Свинец как антагонист кальция может нарушать функцию потенциалозависимых кальциевых каналов, обеспечивающих высвобождения нейромедиаторов и сокращение мышц (Liu J. et al., 2019). Также свинец способен подавлять высвобождение нейротрансмиттеров — ацетилхолина и дофамина (Nagata K., 1997), дефицит которых ведет к ухудшению когнитивных и моторных навыков (Shi J. et al., 2013). Замещение ионов кальция ионами свинца в сайтах связывания лежит в основе нарушения функций многих систем, особенно нервной (Kasten-Jolly J., Lawrence D.A., 2018).

Фтор в высоких концентрациях, замещая гидроксильные группы в гидроксиапатите, делает кость более плотной, но хрупкой, и ингибирует ключевые ферменты (Liu S. et al., 2019; Grigorenko V.K. et al., 1987, Iurre J. Jr. Et al., 1993, Ohyama Y., Yamasaki T., 2004).

Щавелевая кислота образует нерастворимый оксалат кальция, снижая его биодоступность и способствуя мочекаменной болезни (Tuason M.M., Arocena J.M., 2009, Worcester E.M., 1994).

Фитиновая кислота и танины образуют хелатные комплексы с кальцием и другими минералами, препятствуя их абсорбции (Bertinato J. et al., 2020; Milman N.T., 2020, Cloutier M.M. et al., 1994). Дисбаланс ионов Ca^{2+} , вызванный избытком танинов, влияет на функции костной щелочной фосфатазы и остеокальцина, маркирующих активность остеобластов (Ittah Y., 1991; Wang X. et al., 2021).

Избыток пищевых волокон может сокращать время контакта кальция с слизистой и связывать его, уменьшая усвоение (Yin J.-Y. et al., 2012).

Анализ влияния различных нутриентов на метаболизм кальция представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень механизмов связывающий обмен кальция в метаболизме организма животных

Нутриент	Влияние на Ca^{2+}	Активная область	Механизм
Mg	С	Костная, нервная, мышечная ткань	Действие на АТФ-синтазу, действие на ПТГ, транспорт нервного потенциала через взаимодействие с N-метил-D-аспаратом, модуляция протеинкиназы С
Витамин D	С	Тонкий кишечник, почки, костная ткань	Стимуляция выработки кальбиндина, экспрессия переносчиков кальция, экспрессия остеобластов, действие на биохимию остеоцитов и остеокластов
Р	С	Костная ткань, паращитовидная железа, почки	Формирование матрикса гидроксиапатита, регуляция секреции ПТГ, регуляция содержания витамина D
Витамин K ₂	С	Кровь, костная ткань, сердечно-сосудистая система	Каталитическая активация остеокальцина, регуляция активности Gla белка

Нутриент	Влияние на Ca^{2+}	Активная область	Механизм
Zn	С	Костная ткань, кровь	Регуляция активности остеобластов и остеокластов, образование цинк-зависимой структуры Zfp467, экспрессия гена <i>SOST</i> , влияние на метаболизм кальмодулина, связывание и конформационные изменения ПТГ подобного пептида
B	С	Кровь, цитоплазма, костная ткань	Накопление витамина D, активация канала L-типа, активация натрий-калиевой аденозинтрифосфатазы, влияние на содержание С-реактивного белка
Mn	С	Костная ткань, кровь	Участвует в синтезе протеогликанов и гликопротеинов как ферментативный кофактор для супероксиддисмутазы 2, аргиназы, глутаминсинтазы, гликозилтрансфераз
Лактоза	С	Тонкий кишечник, кровь	Прямое связывание и перенос ионов Ca^{2+} , регуляция кислотности среды кишечника метаболитом, влияние короткоцепочечных жирных кислот на содержание инсулина и активность нефронов
Al	А	Костная ткань, тонкий кишечник, кровь, паращитовидные железы, почки	Конкуренция с Ca^{2+} в активных центрах, подавление остеобластов через трансформирующий ростовой фактор β и белок, подобный гену <i>Mad</i> , подавление всасывания F^- , ингибирование секреции ПТГ и скорости базально и изопротеренол-стимулированных секретий, снижение синтеза витамина D
Cu	А	Костная ткань, кровь	Подавление ионов Zn^{2+} и синтеза витамина D, конкуренция с Ca^{2+} за активные центры в белках
Fe	А	Костная ткань, кровь	Подавление ионов Zn^{2+} и синтеза витамина D, конкуренция с Ca^{2+} за активные центры в белках, генерация активных форм кислорода через реакцию Фентона
Cd	А	Костная ткань, нефроны, иммунная система	Конкуренция с Ca^{2+} , подавление остеобластов, дисфункция проксимальных канальцев нефронов и ингибирование выработки кальцитриола, выработка интерлейкин 6 и фактора некроза опухоли-альфа
Pb	А	Нервная система, кровь	Подавление нейромедиаторов, нейротрансмиттеров (ацетилхолина и дофамина), конкуренция с Ca^{2+}
F	А	Костная ткань, дентин, кровь	Влияние через замещение OH^- ионами F^- , ингибирование Mg^{2+} -АТФ-азы, креатинкиназы и Na, K^+ -АТФ-азы, а также Р-450
Щавелевая кислота	А	Кишечник, почки	Связывание Ca^{2+} в малорастворимую соль, нефрокальциноз
Фитиновая кислота	А	Тонкий кишечник	Ингибирование всасывания Zn, Fe в условиях недостатка Ca
Танины	А	Кишечник, костная ткань	Связывание Ca^{2+} в малорастворимые комплексы, косвенно — влияние на щелочную фосфатазу и остеокальцин, связывание Mg, Fe, Zn, Cu в электронодонорных центрах
Примечание. С — синергетическое действие, А — антагонистическое действие; ПТГ — паратиреоидный гормон.			

1.2 Источники кальция в рационе цыплят-бройлеров и кур-несушек, вопросы нормирования

Эффективные источники кальция занимают важное место в системе питания сельскохозяйственной птицы (Оберлис Д. и др., 2008). Интенсивный рост бройлеров в начальные периоды онтогенеза сопряжён с существенным увеличением живой массы, что предъявляет повышенные требования к прочности костной ткани для предотвращения её патологий и последующих нарушений в балансе других элементов.

С середины XX века в промышленном птицеводстве используется клеточное содержание, что приводит к проблемам с опорно-двигательным аппаратом. Увеличение числа сносимых яиц также становится негативным фактором при недостаточном поступлении ионов кальция в организм птицы. До 30 % кур в течение жизни сталкивается с переломами костей, поэтому требуется поиск эффективных источников и форм кальция и сопутствующих компонентов (Olgun O., Aygun A., 2016).

Эксперимент, проведённый S.C. Zhao и др. (2020), в котором сравнивались рационы с 3,7% и 1,5% кальция, показал, что как дефицит, так и избыток этого элемента вредны. У кур опытной группы (1,5% Ca) к 30 и 34 неделям были зафиксированы снижение индекса и минеральной плотности бедренной кости. Дефицит кальция также приводил к уменьшению длины кости. Это свидетельствует о необходимости строго сбалансированного уровня кальция в рационе.

В работе A. Molnar с соавт. (2017) в качестве источника кальция применяли известняк различного фракционного состава. Использование комбинации с преобладающим содержанием крупнозернистой фракции позволило увеличить концентрацию ионов кальция в организме курицы, что повысило зольность большеберцовой кости и ее прочность на разрыв. Карбонат кальция содержит около 40 % кальция по массе и имеет биодоступность 78-95 %.

Технология *in ovo* улучшения качества костей у птицы с использованием

высокоспецифичных наночастиц CaCO_3 показала свою эффективность. У птиц породы Ross 308 наблюдалось увеличение содержания Ca и P в бедренной и большеберцовой кости, а также повышение общей минерализации и качества костной ткани (Peebles E.D., 2018).

Устричная скорлупа, обладающая высокой биодоступностью и доступной стоимостью, может повышать прочность и толщину яичной скорлупы (Matuszewski A. et al., 2021), однако из-за риска повреждения органов пищеварения необходима дополнительная подготовка перед введением в корм.

Костная мука широко используется в кормлении цыплят-бройлеров и кур-несушек, поскольку богата кальцием (32 %), фосфором и магнием (Olgun O. Et al., 2015; Barshan S. et al., 2019). Однако ее количество в рационе должно быть таким, чтобы загрязнение тяжелыми металлами (свинец, кадмий и мышьяк), способными аккумулироваться в костной ткани, не превышало допустимого уровня.

Дикальцийфосфат характеризуется высокой биодоступностью для цыплят-бройлеров и кур-несушек, он легко переваривается и всасывается в кишечнике и не препятствует усвоению других питательных веществ (Zhang F., Adeola O., 2018). Растворимость дикальцийфосфата в содержимом ЖКТ довольно высока, содержание кальция по массе составляет 23 %. Все это снижает экономические затраты при применении дикальцийфосфата в качестве добавки.

Органические соли кальция получают всё большее распространение. Глюконат кальция в наноформе (частицы 1–100 нм) значительно увеличивает площадь реакционной поверхности, устраняя проблемы растворимости и абсорбции. Его биодоступность достигает 98%, хотя содержание кальция составляет лишь 9% (Стрелков Н.С. и др., 2008; Астраханцев А.А. и др., 2017).

Ацетат кальция (25% Ca, биодоступность ~96,5%), получаемый из карбоната, обладает более высокой растворимостью и может комбинироваться с другими добавками (Md Ramli S.H. et al., 2016; Микуленок В.Г. и др., 2018).

Формиат кальция (31% Ca, биодоступность ~95%) быстро всасывается, улучшает конверсию корма и состояние кишечной микробиоты бройлеров (Izat A.L. et al., 1990).

Пропионат кальция (21% Ca) служит одновременно источником элемента, консервантом и стимулятором полезной микрофлоры кишечника (Song M. et al., 2022; Alam S. et al., 2014; Hosseini E. et al., 2011).

Лактат кальция (18% Ca) эффективен для улучшения качества скорлупы, обладает низкой буферной ёмкостью, а лактат-ион участвует в энергетическом обмене (Damron B.L., Flunker L.K., 1995; Romijn J.A. et al., 1994).

Метионинат кальция (14% Ca, биодоступность ~85%) представляет собой хелатную форму, которая повышает усвоение как кальция, так и незаменимого метионина, одновременно снижая экскрецию элемента (Кадырова Р.Г. и др., 2013).

Цитрат-малат кальция показал большую эффективность по сравнению с карбонатом в увеличении привесов бройлеров и минерализации костей (Henry M.H., Pesti G.M., 2002).

Аскорбат кальция (10% Ca) сочетает в себе источник кальция и антиоксидантную поддержку благодаря аскорбат-иону, который также является кофактором в синтезе коллагена (Elmore A.R., 2005; Rowe D.J. et al., 1999; Cai J. et al., 2004).

Фумарат кальция (26% Ca, биодоступность ~90%) способен подкислять корм, обладает противомикробной активностью и одобрен в качестве кормовой добавки в ЕС (Weaver C.M. et al., 2002; Fernández M. et al., 2021).

Сульфат кальция (23-29% Ca) иногда используется для удешевления рационов, однако его более низкая биодоступность и реакция с образованием серной кислоты в желудке требуют осторожности в дозировании (Холодилина Т.Н. и др., 2013; Шатенштейн А.И., 1949).

Крайне важно избегать как гипокальциемии, так и гиперкальциемии. Дефицит кальция нарушает энергетический обмен и синтез нейротрансмиттеров, ингибируя ключевые ферменты (Hartwell J. et al., 1999).

Избыток кальция ведёт к повышенной нагрузке на почки, кальцификации мягких тканей, нарушению секреции паратгормона и может вызывать деформации скелета (Calatroni M. et al., 2023; Feldman D., 1999). Таким образом, при выборе источника кальция необходимо учитывать не только его количество, но и биодоступность (рисунок 1).

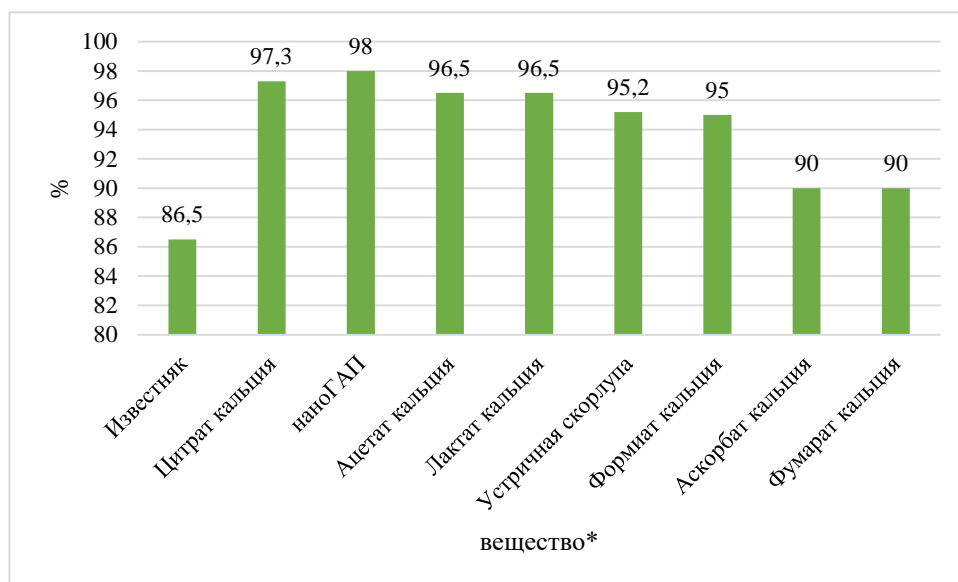


Рисунок 1 — Биодоступность кальция из различных источников

Растворимость органических добавок значительно выше, чем у неорганических, это в значительной мере отражается на биодоступности источников кальция (Bao S.F. et al., 1997, Sakhaee K. et al., 1999, Tsugawa N. et al., 1999, Weaver C.M. et al., 2002, Hanzlik R.P. et al., 2005, Ковалевский В.В., Кислякова Е.М., 2013) (рисунок 2).

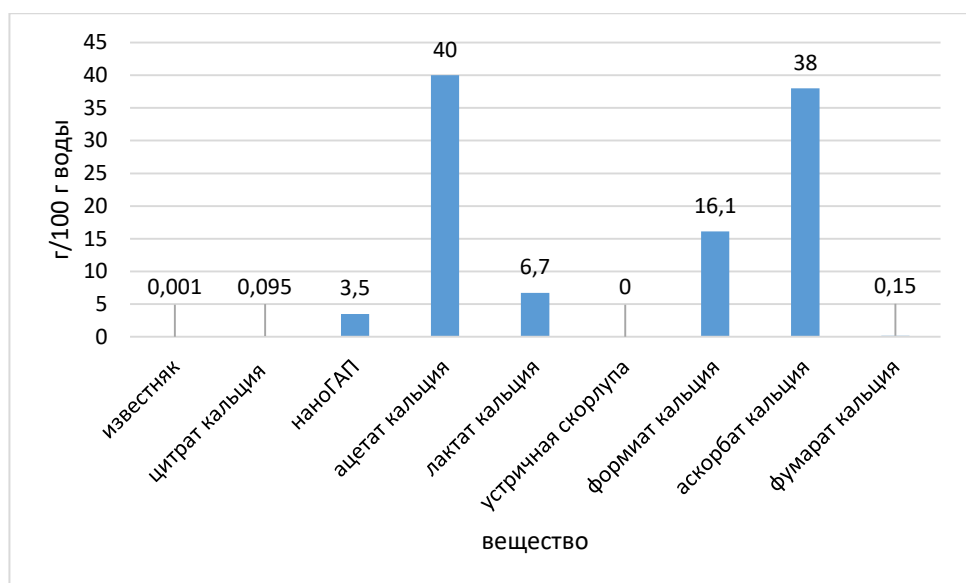


Рисунок 2 — Растворимость источников кальция при температуре воды 20-25 °C

Неорганические соединения перевариваются не полностью, и вносимая доза кальция в основном выводится вместе с пометом.

Нормирование кальция в рационе птицы в России и за рубежом. Потребность в кальции у цыплят-бройлеров и кур-несушек различается в зависимости от их физиологических особенностей и возрастного периода.

Нормированием питательных веществ в рационах птиц с 30-х годов прошлого века в нашей стране занимается Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства (ВНИТИП)

При балансировании рационов обязательно учитывается количество поступающих в организм макро- и микроэлементов. Нормы разрабатываются в зависимости от пола и возраста птицы (Фисинин В.И. и др., 2011). Так цыплята-бройлеры должны получать не более 1% кальция. У кур-несушек в зависимости от периода содержание кальция в рационе варьируется от 1% на старте, до 2,2% в предкладковую фазу.

В США согласно рекомендациям Национального исследовательского совета (National Research Council US, NRC) несушки получают от 3 до 4% кальция в зависимости от фазы яйцекладки.

Национальный исследовательский совет США (National Research Council US, NRC) с 1994 года по настоящее время рекомендует включать в рацион кур-несушек от 3,25 до 4,00 % кальция в зависимости от возраста и продуктивности (National Research Council, 1994). Схема нормирования кальция в рационах несушек в Канаде (Leeson S., Summers J.D., 2005) представлена на рисунке 3.

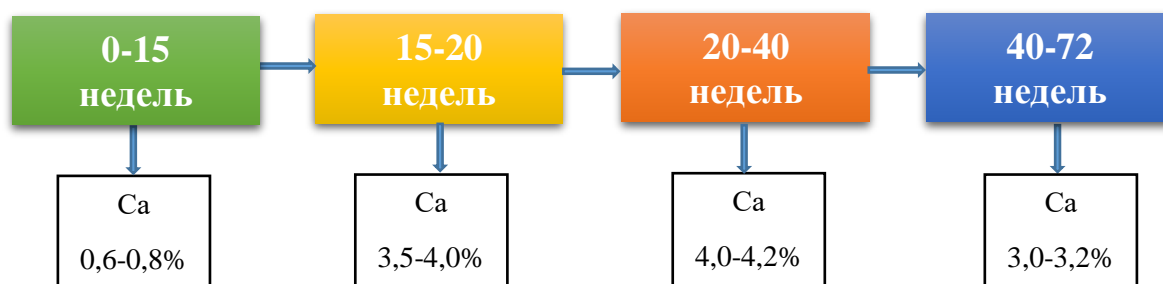


Рисунок 3 — Нормы кальция в рационе кур-несушек по рекомендациям Department of Animal and Poultry Science University of Guelph Guelph (Канада)

Для цыплят-бройлеров рекомендованная доза кальция на 1994 год и по настоящее время составляет от 0,9 до 1,0 % (National Research Council, 1994) (рисунок 4).

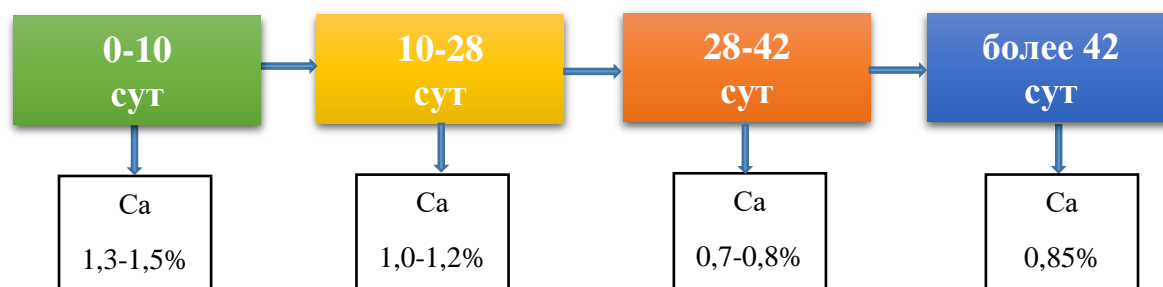


Рисунок 4 — Нормы кальция в рационе кур-несушек по рекомендациям National Research Council (США)

В 2005 году рекомендуется добавлять 0,95 % кальция в рацион в начальный период (1-18-е сут), далее 0,92 % (19-30-е сут), 0,89 % (31-41-е сут) и 0,85 % в конечном периоде (42-е сут и далее) (Whitehead A. et al., 2014).

В Европейском союзе стандарты кормления птицы регулируются несколькими правовыми нормами, в том числе Регламентом (ЕС) № 1831/2003 «По добавкам для использования в кормлении животных» и Регламентом (ЕС)

№ 2017/625 «Об официальном контроле и других официальных мероприятиях, проводимых с целью обеспечения применения пищевого и кормового законодательства, санитарных норм и правил о благополучии животных, здоровье растений и средствах защиты растений». Конкретные рекомендации предоставлены Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов (European Food Safety Authority, EFSA) (EFSA and ECDC, 2021). Документ рекомендует норму кальция для кур-несушек 3,80-4,00 г/сут, но необходимо учитывать состав рациона, породу кур и условия содержания.

В Китае стандарты кормления птицы регулирует Министерство сельского хозяйства. Национальный технический комитет по стандартизации кормовой промышленности отвечает за разработку и пересмотр стандартов кормов для животных и птицы. Стандарт NY/T33-2004 устанавливает требования к норме кальция для различных категорий цыплят. Учитывается возраст, масса тела и стадии роста (Feeding standard of chicken, 2004). В соответствии с этими рекомендациями рацион кур-несушек должен содержать 3,50 % кальция. Программа кормления птицы должна регулярно пересматриваться и корректироваться, чтобы птица получала необходимое количество питательных нутриентов в соответствии с индивидуальными и возрастными потребностями (таблица 2).

Таблица 2 – Уровни кальция (%) в отечественных и зарубежных рационах яичных и мясных пород кур

Годы	СССР или РФ		Ссылка	За рубежом		Ссылка
	яичные породы	мясные породы		яичные породы	мясные породы	
1970-е	3,10	2,80	Георгиевский В.И. и др., 1985	2,75	0,80	Георгиевский В.И. и др., 1985
1990-е	3,10	3,00	Околенова Т.М., 1990	4,00	0,80	National Research Council, 1994
2010-е	3,80	1,20	Егоров И.А. и др., 2019	4,00	1,00	Leeson S., Summers J.D., 2005

В России произошло небольшое повышение содержания кальция в рационах яичных пород, в основном за последнее десятилетие (Георгиевский В.И. и др., 1985; Околелова Т.М., 1990; Егоров И.А. и др., 2019). Для мясных пород ситуация обратная: после повышения в 1990-е годы нормы пересмотрены в сторону значительного уменьшения. В США на 1990-е годы приходится максимум по дозировкам кальция для яичных пород с последующим небольшим снижением (National Research Council, 1994; Leeson S., Summers J.D., 2005), в настоящее время нормы для РФ и США практически совпадают. Норма кальция для мясных пород в США повышалась и достигла максимума в последнее десятилетие, при этом различие с рекомендациями ВНИТИП составляет 20 %.

Ионы кальция как активные восстановители, переносчики электронов, кофакторы ферментов, комплексообразователи, модуляторы и активаторы вовлечены во многие сигнальные, регуляторные и метаболические пути. Повышенное содержания алюминия, меди, железа, кадмия, свинца, фтора, органических кальцийсвязывающих примесей (щавелевой и фитиновой кислот, танинов), пищевых волокон относительно рекомендованных значений может отрицательно сказаться на усвоении кальция уже при всасывании в кишечнике. Недостаток магния, фосфора, цинка, бора, марганца, витаминов D и K₂ ограничивает участие ионам кальция в процессах, полноценного развития животного. Представленные на рынке кормовые добавки часто получают при переработке доступного по цене органического и неорганического сырья. С высокой вероятностью они бедны необходимыми элементами, а количество отрицательно влияющих на кальциевый метаболизм избыточно. В настоящее время среди кальцийсодержащих препаратов предпочтение отдается солям органических кислот (лимонной, глюконовой, уксусной, муравьиной, пропионовой, молочной, аскорбиновой, яблочной, фумаровой) и солям аминокислот (метионин). Применение таких препаратов должно регламентироваться с учетом состава основных рационов. Ввиду разнообразия пород, кроссов и условий разведения не существует единых мировых норм

кормления в коммерческом птицеводстве, и оптимизация дозировок в рецептурах рационов остается предметом постоянного внимания.

Источники кальция в наноформе имеют высокий потенциал для промышленного птицеводства. Для птиц биодоступность фосфора и кальция из дикальцийфосфата в наноформе на 200 % выше биодоступности их из обычного дикальцийфосфата (Matuszewski A. et al., 2020). Замена нормы обычного дикальцийфосфата четвертью нанодикальцийфосфата приводит к идентичным результатам эксперимента на цыплятах-бройлерах, при этом выведение с калом фосфора и кальция заметно снижается, что снижает загрязнение окружающей среды (Hassan H.M. et al., 2016). Замена дикальцийфосфата на фосфат кальция в наноформе с размером частиц 20-90 нм позволяет почти вдвое снизить затраты на корм ввиду высокой стоимости фосфорных соединений, при этом наблюдается повышение конверсии корма и, как следствие, живой массы тела птицы (Vijayakumar M.P., Balakrishnan V., 2014). Потребности цыплят-бройлеров в кальции и фосфоре покрываются внесением в рацион 50 % от стандартной нормы наночастиц фосфата кальция, при этом некоторые показатели лучше контрольных (Samanta G. et al., 2019).

Использование в рационе кур наногидроксиапатита (нано-ГАП) с размерами частиц 20-90 нм способствует набору живой массы на 6 % и повышенному потреблению корма на 8 % по сравнению с контролем (Sohaib M.A., Ali. A.A., 2017). Даже 2-10 % нано-ГАП в рационе от нормы обычного ГАП показывает впечатляющие результаты: экономическая эффективность кормления и прирост живой массы без негативных изменений по показателям конверсии корма, качества мяса, массы внутренних органов (Ali A.A., 2017).

Внесение 0,1 % наногидроксиапатита с размером частиц до 100 нм, способно заменить дикальцийфосфат в рационе, не снижая продуктивные качества цыплят-бройлеров при меньших затратах на корма. Уровень кальция и фосфора в крови так же остается неизменным. При этом минерализация костной ткани и количество золы оставались на уровне контрольной группы (Sobhi B.M. et al., 2020).

При пероральном введении карбоната кальция лимитирующим фактором его усвоения является малая растворимость и абсорбция (около 4 %) даже в кислой среде желудочного сока животных и птиц (Chen H.S. et al., 2008). Измельчение карбоната кальция до наноразмерного состояния (от 29,4 мкм до 84 нм) позволяет значительно сократить время до появления максимальной концентрации кальция в сыворотке крови человека и реакции паратиреоидного гормона, что говорит о лучшей абсорбции его в кишечнике (Chen H.S. et al., 2008). У крыс, получавших карбонат кальция в наноформе с молоком, наблюдалась значительно большая минеральная плотность и жесткость бедренной кости, большая минерализация трабекулярной ткани и больший коэффициент эффективности усвоения корма, чем у группы, получавшей с молоком эквивалентное количество кальция в ионной форме (Park H.S. et al., 2007). В подобном эксперименте явное преимущество имел и карбонат кальция (1,3 г на кг массы тела) с более крупным размером частиц (151 ± 19 нм) (Huang S. et al., 2009). Исследования с карбонатом кальция в нативном виде (площадь поверхности 0,83 м²/г) и в наноформе (площадь поверхности 15,8 м²/г) *in vitro*, *ex vivo* и *in vivo* показывает, что размер частиц при введении их с рационом оказывает влияние лишь на усвоение целевых компонентов, при этом не образуются специфических белковых конструкций с наночастицей в активном центре в крови и тканях животного (Lee J.A. et al., 2015). При сравнении биодоступности наночастиц карбоната кальция и наночастиц ОКД1 в молоке при пероральном введении самкам крыс обнаружено, что нано-карбонат кальция является лучшим поставщиком кальция для костной ткани – достоверно увеличивает прочность и улучшает морфологические характеристики опорно-двигательного аппарата крыс (Erfanian A. et al., 2017). Наночастицы карбоната кальция в количестве 0,15% в структуре рациона и размером частиц не более 35 нм, в комплексе с экстрактом водорослей *S. latifolium* улучшали характеристики яичной скорлупы, повышали ее прочность и плотность, способствовали увеличению уровня кальция и фосфора в сыворотке крови (Abo El-Maaty H.A. et al., 2021).

Механоактивированная нанодисперсная форма глюконата кальция (кальций-МАГК) показывает лучшие результаты по сравнению с нативным глюконатом кальция при лечении остеопороза, пародонтоза и других заболеваний, связанных с метаболизмом кальция (Шарафутдинова Д.Р. и др., 2010; Семенова А.Н. и др., 2014).

1.3 Экструзионные технологии: характеристика и перспективы использования для повышения доступности минеральных компонентов кормов

Использование источников полисахаридов в рационах птиц, физиологическое действие. С 90х годов и по настоящее время в Российской Федерации происходили значительные сдвиги в структуре посевов, которые привели к увеличению доли продовольственной группы зерновых и снижению объемов производства фуражной части. Принимая во внимание, что затраты на корма составляют более 70% стоимости производства на птицефабриках, замена наиболее дорогостоящей части - пшеницы на альтернативные компоненты является актуальной задачей (Масалов В.Н. и др., 2021).

Одним из направлений в решении этого вопроса является разработка технологий подготовки кормов для более эффективного использования нутриентов сельскохозяйственной птицей (Mateos G.G.et al., 2012)

Еще недавно некрахмалистые полисахариды исключали из рационов птицы, считая их антипитательным фактором (Mateos G.G.et al., 2012), сегодня же приведено достаточное количество доказательств положительного влияния структурных компонентов клетчатки на пищеварительную систему птиц (Щукина С., Горст К., 2018; Jha R. et al., 2019; Талдыкина А.А. и др.б 2024; Лебедев С.В., Шаврина И.В., 2025; Karimipour M. et al., 2025).

Сырая клетчатка как комплекс некрахмальных полисахаридов и лигнина компонент рациона птицы. Клетчатка обладает способностью замедлять прохождение перевариваемых масс и их всасывание в тонком кишечнике, влияя на усвояемость и метаболизм всех остальных компонентов рациона (Tejeda J.O., Kim K.W., 2021). Низкая доступность клетчатки для

переваривания и абсорбции имеет важное значение для микрофлоры кишечника и повышает устойчивость птицы к патогенной микрофлоре, параллельно укрепляя полезные микробные популяции (Rehman H. et al., 2009; Mahmood T., Guo Y., 2020). Модулирующая активность пищевых волокон по отношению к органам пищеварения на микроскопическом уровне оказывает положительное влияние на использование птицей питательных веществ рациона (Jørgensen H. et al., 1996; Dibner J.J. et al., 1996). Все это важно для оптимальной динамики живой массы птицы.

Как высокий уровень клетчатки в рационе, так и слишком низкий - неблагоприятные факторы в развитии птицы. На первой стадии роста (до 21 дня) бройлерам нежелательно давать рационы с высокой долей сырой клетчатки – не превышать 3,2-4,1 % в зависимости от породы птицы; во второй фазе (22-42 дня) желательнее повысить уровень сырой клетчатки до 4,5-6,4 % (Ginindza M. et al., 2022). Для кур-несушек на данный момент рекомендации по внесению клетчатки в рацион расходятся, поскольку уровень пищевых волокон корректируется вместе с другими компонентами рациона. В эксперименте на бройлерах и курах-несушках с высокими дозами клетчатки в рационе (60-80 г клетчатки на 1 кг корма) показана лучшая усвояемость корма несушками без влияния на рост, при этом бройлеры отставали в росте (Walugembe M. et al., 2014). Внесение в рацион несушек кукурузных сухих зерен (10 %), пшеничных отрубей (7,3 %) и соевой шелухи (4,8 %) не влияет негативно на яйценоскость, качество яйца, использование корма и массу тела птицы (Roberts S.A. et al., 2007). Добавка 30 г пшеничных отрубей на 1 кг рациона цыплят-бройлеров улучшает усвояемость питательных веществ посредством изменения антиоксидантного статуса организма, положительным влиянием на поверхностные ткани желудка, повышением активности пищеварительных ферментов в желудке и кишечнике (Abdollahi M.R. et al., 2019; Shang Q. et al., 2020). Включение в рацион 1,5 % рисовой шелухи позволяет повысить абсолютный прирост за эксперимент, улучшая конверсию корма (Adibmoradi M. et al., 2016). Имеются сведения и о положительном

влиянии клетчатки в сочетании с ксиланазой на элементный состав, прочность и минерализацию большеберцовой кости кур-несушек (Muszyński S. et al., 2020; Muszyński S. et al., 2022).

Для обеспечения активного роста и высокой продуктивности производимые комбикорма должны удовлетворять потребности животных, птиц в основных питательных веществах. Для повышения усвояемости комбикормов, нейтрализации патогенные микроорганизмы в технологический процесс производства включают экструзионную обработку (Thomas M. et al., 1997; Pakhomov V. Et al., 2020; Leonard W. Et al., 2020; Lachuga Y. et al., 2021).

За несколько секунд пребывания продукта в экструдере он подвергается гидролизу, тепловому воздействию, механическим преобразованиям и высокому давлению, в итоге происходит укрупнение частиц, изменение молекулярного строения и свойств сырья (Thomas M. et al., 1997; Schofield E.K., 2005).

Несколько обзоров были посвящены пересмотру возможностей экструзии для разработки различных типов продуктов из разнообразного сырья, включая побочные продукты пищевой промышленности, а также изменений, вызванных этой технологией в техно функциональности и качественных характеристиках конечной продукции (Alam M.S. et al., 2016; Grasso S., 2020). Например, экструзионная обработка кормов из масличных культур позволяет инактивировать антипитательные вещества, повысить доступность протеина, углеводов, липидов и биологически активных веществ рациона (William L. Et al., 2020). Также есть результаты, что условия экструзии и тип крахмала влияют на качество экструдированных липидов и могут быть использованы при выборе рецептуры, определении параметров экструзионной обработки (Liting W. et. al., 2018).

Виды экструзии и режимы. Процесс экструзии включает в себя комбинацию процессов транспортировки, включая перемещение материалов в системе с практически регулируемой средой, передачу тепловой энергии к материалу и внутри него, а также массообмен к материалу и внутри него во

время экструзии. Кормовые ингредиенты различных типов могут быть обработаны методом экструзии и называются экструдатами. Экструзия – это непрерывная и универсальная технология, которую можно осуществлять в одношнековых, двухшнековых экструдерах, многошнековых, дисковых, поршневых валковых, винтовых, шестеренчатых и комбинированных (Ваншин В.В., 2021).

Одношнековые экструдеры обладают относительно низкой способностью к перемешиванию, поэтому их часто используют с материалами, которые были предварительно смешаны или обработаны. Двухшнековые экструдеры используются для переработки сырья с более высоким содержанием клетчатки и жира и в целом позволяют производить более сложную продукцию по сравнению с одношнековыми экструдерами. В обоих экструдерах конфигурация шнека влияет на время пребывания и отвечает за силы сдвига, которые вызывают молекулярные модификации (Singh B. et al., 2017). Оба типа экструдеров состоят из четырех основных частей: система подачи, шнек(и), скорость которого контролируется двигателем, цилиндр и матрица, и режущие механизмы (Ваншин В.В., 2021).

Основными независимыми параметрами экструзионной обработки являются: температуру, влажность сырья, скорость шнека и скорость подачи. В зависимости от содержания влаги технологии экструзии можно разделить на экструзию с высокой влажностью и экструзию с низкой влажностью. При высоковлажной экструзионной обработке влажность материала в цилиндре экструдера составляет 40-80 %. Чтобы избежать взрыва распыления на матрице, во время экструзии с высокой влажностью обычно используется охлаждающая матрица (Osen R., Schweiggert-Weisz U., 2022).

Экструзия может быть холодной (20-70 °C), теплой (70-130 °C) и горячей (130-200 °C). Процесс горячего экструдирования кормов сопровождается желатинизацией крахмала, происходит денатурация и разрушение белка, в результате чего повышается усвояемость и улучшаются органолептические свойства. Холодная экструзия используется в технологии производства

сыпучих кормов для придания однородности кормовой массе с последующим ее измельчением. В технологии производства комбикормов основным методом экструзии является горячий (Rudoy D. et al., 2023).

Преимущества экструдированных кормов для животных:

1) Повышение пищевой ценности: экструзионная обработка может повысить пищевую ценность корма за счет улучшения его усвояемости, повышения качества белка и снижения антипитательных факторов, которые могут мешать пищеварению и усвоению питательных веществ;

2) повышение эффективности кормления: экструдированный корм имеет более высокую насыпную плотность и меньший размер частиц, что улучшает его перевариваемость и усвояемость, что приводит к повышению эффективности кормления и уменьшению отходов;

3) улучшение вкусовых качеств корма: экструзия может улучшить вкус и текстуру корма, делая его более привлекательным для животных и улучшая их потребление;

4) снижение риска заболеваний: экструзионная обработка может снизить риск передачи патогенов или вредных микроорганизмов в кормах, улучшая здоровье животных и снижая потребность в антибиотиках;

5) улучшение обработки и хранения кормов: экструдированные корма для животных облегчают обработку, хранение и транспортировку, поскольку они имеют однородный размер и форму, а также меньше подвержены поломке, порче или загрязнению;

6) сокращение потерь корма: экструдированный корм для животных может сократить потери корма, поскольку животные не могут выборочно есть только свои любимые ингредиенты, что приводит к более эффективному использованию корма и снижению его стоимости;

7) уменьшение воздействия на окружающую среду за счет снижения количества пыли и изменения органолептических свойств кормов;

8) индивидуализация: Экструдированный корм для животных позволяет индивидуализировать рецептуру корма и добавлять добавки,

витамины и минералы для удовлетворения конкретных потребностей в питании животных на разных этапах жизни и уровнях продуктивности (What is the advantage of extrusion animal feed?, 2025).

Недостатками экструдированного корма являются:

- 1) Потеря витаминов. Температура, давление, трение и влажность способствуют потере витаминов;
- 2) Потеря фермента. Оптимальная температура фермента составляет 35-40 °С, а максимальная температура не превышает 50 °С. Несмотря на кратковременность процесса экструзии, проведение обработки при высоких температуре и влажности, ведет к изменению структуры ферментных белков;
- 3) Потеря микробных препаратов. В настоящее время наиболее широко используемые микробные препараты в кормах включают в себя в основном лактобациллы, стрептококки, дрожжи, бациллы и т. д. Эти микробные препараты особенно чувствительны к температуре, и вся их активность будет потеряна, если температура экструзионного гранулирования превысит 85 °С (Advantages and disadvantages of extruder, 2025).

Реакция Майяра. Реакция Майяра представляет собой неферментативную реакцию, при которой происходит конденсация между карбонильной группой, восстанавливающей сахар, и аминок группой в аминокислотах, пептидах и белках в присутствии тепла (Hodge J., 1953; Törőş G. Et al., 2023; Al-Abbasy O.Y. et al., 2024). Это один из самых важных и сложных процессов, поскольку многочисленные компоненты могут взаимодействовать различными путями, создавая сложную смесь продуктов (Moreno F. et al., 2003). Реакция Майяра обычно возникает в процессе производства и хранения, она производит большое количество соединений (Viegas O. et al., 2012). Иногда эти соединения могут оказывать положительное воздействие, могут приводить к желательным изменениям вкуса и окраски многих пищевых продуктов, кофе и тостов, или могут приводить к нежелательным изменениям вкуса и окраски других пищевых продуктов,

фруктов, овощей, молочных продуктов и яиц (Lee Y. et al., 2017; Yu M. et al., 2018; Hafsa J. et al., 2021).

Продуктивность сельскохозяйственных животных и эффективность корма, в дополнение к состоянию его здоровья, зависят от микробной нагрузки кишечника, барьерной функции кишечного эпителия и активности иммунной системы слизистой оболочки, все из которых могут модулироваться диетическими компонентами. Большинство кормов, потребляемых сельскохозяйственными животным, обрабатываются. Обрабатывают с помощью реакции Майяра. Как уже говорилось ранее, продукты расширенной реакции Майяра определяют вкус, запах и цвет многих пищевых продуктов, поэтому реакция Майяра очень актуальна для кормовой промышленности (Teodorowicz M. et al., 2018).

Например, белки являются основным макроэлементом в кормах для свиней, и, таким образом, понимание усвоения и использования животным важно для успешного производства свинины и устойчивости этого сектора. Хранение и, в частности, условия обработки в значительной степени определяют пищевую ценность важных ингредиентов корма, и это, скорее всего, зависит от сочетания параметров нагрева и влажности, которые вызывают образование продуктов реакции Майяра (Friedman M., 1996). В рационах свиней обычно используется множество различных условий обработки ингредиентов корма (например, соевый шрот, сухая барда, кукуруза, корм из кукурузного глютена). Тепловая обработка для улучшения питательных качеств и удаления растворителей, которые обычно используются при экстракции масла, обычно требуется при производстве ингредиентов масличных культур (соевый шрот, шрот канолы, подсолнечный шрот и шрот хлопкового семени). Эти процедуры включают в себя различные степени нагрева с риском пагубного воздействия на качество белка, особенно при применении высокотемпературных режимов. Лизин является самой важной лимитирующей аминокислотой в ингредиентах корма для свиней, и наиболее реактивной аминокислотой в реакции Майяра. Следовательно, лизин

обычно добавляют в рацион свиней в кристаллической форме, чтобы гарантировать, что баланс усвояемых и доступных аминокислот точно соответствует требованиям синтеза белка для обеспечения оптимальной производительности (Teodorowicz M. et al., 2018).

Преобразование сырья при экструзии. В основе процесса экструзии лежит изменение (трансформация) основных компонентов кормов под действием высокой температуры и давления (Ganjyal G.M., 2020; Fellows P.J., 2022). Из углеводов, входящих в состав растительного сырья, наиболее важное значение имеют полисахариды – крахмал (амилоза и амилопектин) и клетчатка, а также сахара (моно- и дисахариды) (Бурцев А.В. и др., 2004; Малкина В.Д. и др., 2013).

Крахмал – это высокомолекулярный полисахарид, состоящий из двух различающихся структур: амилозы и амилопектина (Малкина В.Д. и др., 2013; Ваншин В.В., 2021). Крахмал в процессе экструдирования подвергается сложным превращениям с изменениями его физико-химических свойств – желатинизацией, деполимеризацией и декстринизацией (Крылова В.Б., Лисицын А.Б., 2006; Остриков А.Н. и др., 2018), с образованием крахмального геля, декстринов и сахаров. При экструзии разрушаются ковалентные водородные связи в молекулах крахмала, с набуханием крахмальных зерен и разрушением их структуры (Остриков А.Н. и др., 2004). Крахмальная суспензия превращается в вязко-текучий коллоидный раствор – крахмальный клейстер. При дальнейшем повышении температуры его вязкость снижается, а при понижении температуры до 25-30 °С он превращается в упругий гель с трехмерной структурой (Малкина В.Д. и др., 2013).

Изменение структуры крахмала в процессе барогидротермической обработки активизирует работу пищеварительных ферментов и повышает доступность веществ для человека и животных (Остриков А.Н. и др., 2004).

Сырая клетчатка не переваривается пищеварительными ферментами организма человека и животных, но перерабатывается кишечной

микрофлорой. В связи с чем применение экструзии перспективно для расщепления и повышения переваримости клетчатки.

Экструдирование оказывает влияние на свойства и структуру белков и азот содержащих соединений (Остриков А.Н. и др., 2004).

В процессе экструзии в ходе реакции аминокислот с сахарами возможна карамелизация сырья в ходе реакции Майяра и снижение переваримости белка (Остриков А.Н. и др., 2018, 2009). Правильно подобранные температура и влажность исходного сырья позволяют не только сохранить наиболее нестабильные незаменимые аминокислоты лизин, цистеин и аргинин, но и активизировать ферментную активность за счет увеличения удельной поверхности белковых молекул (Fellows P.J., 2022, Ganjyal G.M., 2020, Бурцев А.В. и др., 2004; Крылова В.Б., Лисицын А.Б., 2006). Проведение обработки увлажненного сырья при невысоких температурах и высоких скоростях вращения шнека позволяет нивелировать последствия реакции Майяра (Lee Y. et al., 2017, Остриков А.Н. и др., 2004).

При проведении экструзии необходимо контролировать содержание жиров в сырье, количество липидов не должно превышать 5%, для сохранения производительности и качества обработки (Крылова В.Б., Лисицын А.Б., 2006; Ganjyal G.M., 2020). Наличие небольшого количества жиров в продукте способствует лучшей пластификации и «склеиванию» составных частей, что особенно важно при многокомпонентной обработке. За счет короткого времени прохождения массы через головку пресса-экструдера разрушения жиров не происходит. При снижении содержания липидов в сырье возрастают водоудерживающая способность и коэффициент расширения экструдатов. Так же описаны и результаты снижения содержания жиров после обработки за счет образования белково-жировых комплексов (Малкина В.Д. и др., 2013).

Особая задача при получении экструдатов – сохранность термолабильных веществ. Высокая температура способствует разрушению витаминов, особенно А, С и D и каротиноидов (Остриков А.Н. и др., 2004; Крылова В.Б., Лисицын А.Б., 2006). Витамины Е и А (токоферолы и

каротиноиды) менее стабильны по сравнению с витаминами D и K. Высокая температура и низкая влажность увеличивают разрушение витамина C (аскорбиновая кислота) при экструзии. Температура процесса является основным лимитирующим фактором. На степень сохранности β -каротина в наибольшей степени влияет продолжительность тепловой обработки. Потери β -каротина в процессе кратковременного «холодного» экструдирования растительного сырья не превышают 7-10 %. В общем случае потери витаминов и β -каротина повышаются при увеличении температуры и длительности экструзионной обработки.

В некоторых видах растительного сырья присутствуют антипитательные вещества, которые напрямую или через продукты метаболизма препятствуют усвоению организмом питательных веществ. Экструдирование сырья при правильно подобранных режимах позволяет добиться снижения таких веществ как фитат, сапонин, оксалат, танин, ингибиторы трипсина и т.д.

Кроме того, экструзия при высоких температурах и низкой влажности позволяет значительно снижать в кормах содержание микотоксинов (Пахомов В.И. и др., 2023).

Процессы, происходящие с сырой клетчаткой в ходе экструзии.

Пшеничные отруби - недорогой побочный продукт помола зерна, являются устойчивым источником растительных белков, содержащим до 18 г/100 г белка вместе с полисахаридами, фенольными соединениями, витаминами, минералами, липидами, пищевыми волокнами, фитиновой кислотой и дубильными веществами (Arte E. et al., 2019; Yilmaz-Turan S. et al., 2020). Отруби имеют богатый аминокислотный состав значительно превосходящий по качеству саму пшеницу (Arte E. et al., 2019). Однако отруби содержат преимущественно неэкстрагируемые некрахмальные полисахариды волокна и ухудшают органолептические свойства продуктов. Обработка путем экструзии может повысить экстрагируемость пищевых волокон и улучшить органолептические качества продуктов из отрубей. Поэтому есть исследования, согласно которым пшеничные и ржанные отруби

экструдировали при различных уровнях содержания влаги, скорости шнека и температуре, чтобы найти оптимальные настройки для повышения экстрагируемости пищевых волокон и положительных сенсорных свойств.

Содержание воды 24 % в пшеничных отрубях и 30 % в ржанных отрубях, скорость шнека 400 об/мин и температура 130 °С привели к наивысшей экстрагируемости общего количества пищевых волокон и арабиноксилана. Экстрагируемость арабиноксилана при этих условиях увеличилась с 5,8 % в пшеничных отрубях до 9,0 % в экструдированных пшеничных отрубях и с 14,6 % до 19,2 % в ржанных отрубях. Экструзия не повлияла на общее содержание пищевых волокон и арабиноксилана. Содержание β -глюкана также сохранялось в процессе экструзии, при этом его молекулярная масса несколько снижалась, а экстрагируемость незначительно повышалась. Таким образом, экструзия при таких условиях является подходящим процессом для увеличения использования пшеничных и ржанных отрубей в качестве пищевого сырья (Оспанов А.А. и др., 2018).

Экструзионная варка приводит к увеличению водоудерживающей способности и вязкости экстракта отрубей, что указывает на деградацию структуры, вызванную сдвигом, и разрыхлением структуры из-за парового взрыва на выходе из экструдера. Моделирование показало, что степень этих модификаций в основном коррелирует с величиной затрат удельной механической энергии, которая увеличивается с увеличением количества рабочих секций в конфигурации шнека, уменьшением влажности и температуры ствола. Экструзия привела к солюбилизации арабиноксилана и феруловой кислоты. Более того, это приводило к плавлению крахмала и деградации фитатов. В целом, приготовление кормов методом экструзии может улучшить кормовые свойства пшеничных отрубей, что делает его интересным методом модификации отрубей перед их дальнейшим использованием или потреблением в качестве конечного экструдированного продукта (Roye C. et al., 2020).

Влияние экструзии на организм сельскохозяйственных животных.

Экструзия ячменя, пшеницы, сорго и дробленого риса привела к увеличению усвояемости сырого белка у растущих свиней. У растущих свиней наблюдалось взаимодействие аргинина, лейцина, изолейцина, метионина, фенилаланина, цистина и тирозина между типом зерна и экструзионной обработкой (Zhang G. et al., 2023).

Экструдированный дробленый рис и добавки из дробленого риса значительно -повышали твердость, индекс прочности гранул, хрусткость и степень желатинизации крахмала. Экструдированный дробленый рис и добавки из дробленого риса обеспечивали более высокое среднесуточное потребление корма, увеличивали -среднесуточные приросты, снижали коэффициент конверсии корма. Поросята, которых кормили экструдированным дробленым рисом, демонстрировали высокие уровни общей усвояемости сухого вещества, валовой энергии, сырого протеина и органических веществ. Кроме того, добавки из экструдированного дробленого риса и добавки из дробленого риса повышали уровень лактобацилл и бифидобактерий в кишечнике, тогда как наблюдалось более низкое содержание потенциальных патогенов *Clostridium_sensu_strictio* и *Streptococcus* (Yao W. et al., 2023).

Экструзия увеличила массу тела, среднесуточный привес в течение периода после отъема и в течение всего периода исследования у телят голштинской породы. Также переваримость сырого протеина на 14-й неделе, а также уровня глюкозы в крови и бета-оксимасляной кислоты линейно возрастала у телят в рационе (Baker D.H., 2000; Sadeghi A.A. et al., 2006; Samadi Yu.P., 2011; Berenti A.M. et al., 2021).

Добавление экструдированной полножирной сои в качестве заменителя соевого шрота не повлияло на среднесуточный привес, эффективность кормления, ректальную температуру и показатель кала у молочных телят в течение испытательных периодов (ZeidAli-Nejad A. et al., 2018).

Рядом ученых были проведены исследования по влиянию экструдированных рационов кукурузы и риса на потребление корма, переваримость питательных веществ и микробиоту кишечника у поросят-отъемышей. Экструдированные злаки приводили к более низкому среднесуточному потреблению корма на 15-28 дни и с 1 по 28 день, снижению среднесуточного прироста 15-28 дни и с 1 по 28 день, а также снижению массы тела на 28 день, независимо от типа крупы. Диетические экструдированные злаки повышали уровень гормонов, регулирующих аппетит, таких как глюкагоноподобный пептид-1 (GLP-1) и пептид YY. У поросят, которых кормили экструдированными зерновыми, наблюдались низкие уровни короткоцепочечных жирных кислот в плазме и низкие уровни *Lactobacillaceae* и *Bifidobacteriaceae* в фекалиях, тогда как наблюдалось более высокое содержание потенциальных патогенов *Sarcina*, *Clostridium_sensu_strictio_1* и *Terrisporobacter*. У поросят, которых кормили экструдированными зерновыми, наблюдались значительно более низкие уровни газа во время ферментации *in vitro*. В совокупности замена 50 % кукурузы экструдированной кукурузой или дробленым рисом снизила показатели роста поросят, возможно, за счет изменения их микробиоты (Vicente B. et al., 2008; Parera N. et al., 2010; Yagami K., Takada R., 2017; Gao J. et al., 2019; Tasaka Y. Et al., 2020; Zhuo Y. et al., 2022).

Также были получены результаты, что экструдированные комбикорма способствуют повышению молочной продуктивности на 10-20 % и не оказывает отрицательного влияния на обмен веществ высокопродуктивных коров черно-пестрой породы (Жаксалыков Р.А., Заболотных М.В., 2024).

Влияние экструзии на организм сельскохозяйственной птицы. Сельскохозяйственная птица – моногастричные животные, эффективность выращивания которых во многом зависит от особенностей энтерального гомеостаза и работы ферментативных систем (Behnke K.C., 1996; Amerah A.M. et al., 2007; Goodarzi B.F. et al., 2016). При этом продуктивность животных зависит от размера частиц кормов, чем меньше размер частиц, тем выше

использование корма, поскольку увеличенная удельная поверхность частиц корма обеспечивает лучший контакт с пищеварительными ферментами. Качество измельчения оценивается такими факторами, как однородность и размер частиц корма. Одной из основных проблем при производстве кормов для моногастрий является однородность и однородность смешивания, т.е. распределение частиц по размерам (Goodarzi B.F. et al., 2016).

В целом общепризнано, что более тонкий помол увеличивает потребление энергии на мельнице, снижает производительность измельчительного оборудования и сыпучесть, увеличивает проблемы с пылью и, что наиболее важно, слишком мелкие частицы связаны с негативным воздействием на здоровье и функцию желудочно-кишечного тракта (Gloaguen V. et al., 2010).

На сегодняшний день, большое количество кормов для сельскохозяйственной птицы производятся с применением экструзии (Schofield E.K., 2005; Goodarzi B.F., et al., 2016).

Влияние экструдирования на организм сельскохозяйственной птицы разнообразно. Например, влияние экструзии необжаренного соевого шрота на показатели роста, усвояемость питательных веществ в подвздошной кишке и характеристики химуса изучали у цыплят-бройлеров, получавших в рационе соевый шрот в качестве основного источника белка. Также были изучены эффекты увеличения силы сдвига во время экструзии, а также обработки ферментами (протеазой и карбогидразой). Экструзия значительно улучшила коэффициент конверсии корма (1,56 против 1,62) и перевариваемость питательных веществ и некрахмальных полисахаридов в подвздошной кишке (87,5 против 82,2 % и 26,7 против 11,4 % соответственно). Добавление ферментов улучшало усвояемость питательных веществ и некрахмального полисахарида в подвздошной кишке по сравнению с отсутствием ферментов (85,2 против 83,7 % и 20,6 против 14,5 % соответственно); однако обработка ферментами не привела к улучшению показателей роста цыплят-бройлеров (Marsman G.J. et al., 1997).

Также были проведены исследования с целью изучения пищевой ценности образцов сырых и экструдированных семян гороха (*Pisum sativum* L., сорт *Tarachalska*). В исследовании были включены 150 однодневных цыплят-самцов кросса Ross-308. Экструзия семян гороха снизила содержание сырой клетчатки, кислотной и нейтрально-детергентной клетчатки, ингибиторную активность трипсина и резистентного крахмала ($p \leq 0,05$), но увеличила содержание метаболизируемой энергии примерно на 2,25 МДж/кг сухого вещества. Кроме того, экструзия значительно улучшила усвояемость сухого белка и сырого белка примерно на 21,3 и 11,6 % соответственно (Hejdysz M. et al., 2016).

Рядом ученых было выявлено влияние экструдированных рисовых отрубей на организм птицы. Рисовые отруби являются побочным продуктом процесса помола риса, который по-прежнему мало используется; однако эффективные методы обработки могут повысить его кормовую ценность для цыплят. Это имеет большое экономическое и экологическое значение, поскольку может снизить производственные затраты и дать возможность превратить низкокачественные побочные продукты сельского хозяйства в ценный источник корма. Эксперимент был проведен для изучения влияния экструдированных рисовых отрубей на продуктивность и биодоступность фосфора у цыплят-бройлеров. Птицы, получавшие в рационе 20 и 30 % экструдированных рисовых отрубей, имели более высокий привес живой массы и более низкое соотношение корма к приросту по сравнению с птицами, питавшимися обычным рационом. Тем самым, был сделан вывод что, до 30 % экструдированных рисовых отрубей можно включать в рацион бройлеров без видимого отрицательного воздействия на продуктивность (Zare-Sheibani A.A. et al., 2015).

Однако, есть исследования, согласно которым процесс экструзии не улучшает пищевую ценность и может отрицательно влиять на активность микробиоты слепой кишки. А именно на примере бобов Фава, которые могут использоваться в рационах домашней птицы в качестве источника белка,

альтернативного соевому шроту. В этом исследовании оценивалось влияние экструзии бобов Фава с низким содержанием танина и добавок фитазы на продуктивность, задержку фосфора и азота, а также активность кишечной микробиоты у цыплят-бройлеров. Сырой или экструдированный шрот бобов Фава включали в рацион бройлеров в количестве 300 г/кг. Экструзия и пониженное содержание питательных веществ не влияли на коэффициенты удержания Р и N, но они увеличивались, когда в рационы с пониженным содержанием питательных веществ добавлялась фитаза. В подвздошной кишке экструзия бобов Фава повышала активность бактериальных α - и β -глюкозидазы, β -галактозидазы и β -глюкуронидазы, но концентрации ацетата и общего количества короткоцепочечных жирных кислот были выше только у птиц, которых кормили экструдированными добавками бобов Фава с фитазой (Konieczka P., 2020).

Были проведены исследования с целью определения влияния пищевых добавок с экструдированной овсяной шелухой на показатели роста, биохимию крови, микробиоту слепой кишки и короткоцепочечные жирные кислоты у цыплят-бройлеров. У птиц, получавших экструдированную овсяную шелуху, наблюдалось снижение прироста живой массы, но коэффициент конверсии корма не менялся. Наблюдалось значительное увеличение относительной массы пустого желудка среди птиц, получавших экструдированную овсяную шелуху. Диетическое лечение не оказало влияния на биохимические параметры крови. Микробный состав слепой кишки цыплят-бройлеров в основном состоял из *Firmicutes* и *Tenericutes*. Было идентифицировано семь ОТУ, которые по-разному встречались в разных группах (Adewole D., 2020).

Рядом ученых были проведены эксперименты по изучению влияния экструзии обработанного соевого шрота на усвояемость аминокислот и продуктивность цыплят-бройлеров. Включение в рацион экструзии улучшило - значение коэффициента конверсии корма в откормочном периоде (Jahanian R., Rasouli E., 2016).

Результаты показали, что цыплята-бройлеры, которые получали рационы 75 % или 100 % экструдированного соевого шрота, были самые высокие показатели суточного избыточного веса, а также наилучший показатель коэффициента конверсии корма. Также было отмечено, что обработка оказала значительное влияние на состояние частей туши. Использование экструдированного соевого шрота при всех уровнях замены увеличивало содержание белка в туше и улучшало перевариваемость сырого жира в подвздошной кишке (Taslimi K. et al., 2021).

Созекструзия компонентов рациона и минеральных добавок. Традиционные методы введения витаминно-минеральных премиксов приводят к ряду проблем: неравномерное распределение, химические взаимодействия между компонентами, окисление и, как следствие, низкая биодоступность. Решением этих задач стала технология созекструзии.

Созекструзия – это процесс совместной термо-баро-механической обработки смеси различных компонентов (например, зерновой основы и неорганических солей микроэлементов) в экструдере с целью получения нового, качественно улучшенного продукта (Пахомов В.И. и др., 2023).

Большинство созекструзионных продуктов изготавливается из сельскохозяйственного сырья с низким содержанием влаги (Остриков А.Н. и др., 2009; Оспанов А.А. и др., 2018). После выхода из экструдера эти продукты охлаждают и сушат. Технология созекструзии позволяет производить экструдаты из совершенно различных и в обычных условиях несочетаемых видов сырья растительного и животного происхождения с изменяемой питательной, биологической и энергетической ценностью, а также с минимальными потерями ценных термолабильных веществ (Issabekova S. et al., 2023).

При созекструзии минеральных элементов происходит инкапсуляция - расплавленная крахмально-белковая масса обволакивает частицы микроэлементов (сульфатов, оксидов), создавая вокруг них защитную матрицу. Что способствует миновать рубцовое пищеварение у жвачных или

кислую среду желудка у моногастричных и высвободиться в тонком кишечнике, где усвоение максимально. Это позволяет снизить дозировку вводимых элементов без потери эффективности. В то же время микроэлементы-антагонисты (например, медь, цинк, железо) при традиционном внесении конкурируют за пути всасывания, созкструзия изолирует их друг от друга в общей кормовой смеси, минимизируя эту конкуренцию (Issabekova S. et al., 2023).

Гранулы созкструдата имеют схожий с основным кормом размер и плотность, что исключает расслаивание и сегрегацию в кормосмесителях и транспортерах.

Однако использование экструдированных кормов оказывает значительное влияние на доступность микро- и макроэлементов в составе рационов. Известны данные о возможности сорбции химических элементов экструдатами (Gualberto D.G. et al, 1997; Albarracín M. et al., 2014; Яушева Е.В. и др., 2024).

Включение в рацион сельскохозяйственной птицы экструдированных кормов, обладающих широким спектром сорбционных свойств способно повлиять на минеральный обмен в организме (Соколова О.Я. и др., 2006).

Таким образом, созкструзия кормовых компонентов и микроэлементов – это не просто модный тренд, а научно обоснованная и технологически продвинутая методика, которая переводит кормопроизводство на качественно новый уровень. Она позволяет перейти от простого смешивания ингредиентов к созданию "интеллектуальных" кормовых продуктов с заданными свойствами и пролонгированным действием. Использование кальций содержащих добавок в процессе созкструзии с отрубями позволяет значительно повысить биодоступность элементов из рационов птиц (Холодилина Т.Н. и др., 2009; Курилкина М.Я. и др., 2010).

1.4 Заключение по обзору литературы

Кальций является незаменимым макроэлементом, участвующим в огромном количестве физиологических процессов. Его метаболизм тесно взаимосвязан с широким спектром других нутриентов (Mg, P, витамины D и K₂, Zn, Mn, B), которые могут оказывать как синергетическое, так и антагонистическое влияние на его усвоение и использование организмом. Это требует тщательного и сбалансированного подхода к формированию рационов, что особенно актуально в промышленном птицеводстве.

На птицефабриках одной из главных причин экономических потерь являются проблемы с конечностями птицы. Современные кроссы обладают высоким генетическим потенциалом, что приводит к быстрому набору массы и значительной нагрузке на костную ткань. В сочетании с недостаточным содержанием кальция в рационе, это вызывает у птицы неспособность нормально стоять и передвигаться (Proszkowiec-Weglarz M., Angel R., 2013; Буяров В.С. и др., 2019). Ослабление опорно-двигательного аппарата приводит к проблемам с потреблением корма и воды, в связи с деформацией костей начинается хромота, часто птица получает переломы при изъятии из клеток (Eusemann B.K. et al., 2022). Возникают сложности с переработкой мяса, тушки выбраковываются. В этом случае вынужденный забой птиц при отделении пера в машинах барабанного типа приводит к разрушению хрящей и костей вследствие чего туши выбраковываются (Нуралиев Е.Р., Кочиш И.И., 2017). В яичном птицеводстве, крепость костей становится особенно важной в связи с удлинением производственного цикла. Одной из причин преждевременной замены стада является развитие остеопороза, приводящего к снижению продуктивности (Азовцева А.И., Дементьева Н.В., 2023).

Таким образом, именно патологии конечностей являются ключевым фактором экономических потерь в отрасли (Бессарабов Б.Ф. и др., 2009; Nasr M.A.F. et al., 2013).

Усвоение кальция из известняка зависит от различия между источниками известняка, размером частиц, скоростью растворимости и геологическим происхождением (Kim S.W. et al., 2019; David L.S. et al., 2021; Walk C.L. et al., 2021). Особым потенциалом обладает технология созэкструзии, которая позволяет создавать принципиально новые формы кормовых добавок, в частности, защищенные минеральные комплексы с пролонгированным и таргетированным высвобождением.

Способность экструдированных кормов повышать переваримость отдельных питательных веществ с одной стороны, может снижать биологическую доступность некоторых микроэлементов с другой. Данный факт возможно компенсировать путем дополнительного внесения минеральных добавок и подбором режимов экструзии для конкретных видов сырья (Danbaba N. Et al., 2015; Gulati P. Et al., 2020; Issabekova S. et al., 2023). Одним из направлений повышения эффективности использования традиционных источников минералов в кормах является их созэкструзия с источниками полисахаридов.

При этом в работах по оценке биологического действия экструдатов с порошками металлов, клинкерной пылью, и солями кальция отмечены эффекты супердоступности изучаемых элементов (Холодилина Т.Н. и др., 2009; Курилкина М.Я. и др., 2010; Курилкина М.Я. и др., 2010; 2011). При использовании в качестве носителя таких сложных источников как пшеничные отруби содержащиеся там полисахариды взаимодействуют с ионами кальция в процессе гидролиза, что способствует конформационным изменениям структуры продукта (за счет сокращения α -спиралей и увеличение β -слоев), и улучшает его характеристики (Chaquilla-Quilca G.R.R., 2016; Li Y., 2023; Castro-Enríquez D.D., 2025). Такие вещества могут найти широкое применение в производстве кормов, например, для инкапсуляции, защиты и транспортировки биологически активных и функциональных соединений, таких как минералы, ферменты, лекарственные препараты и липиды (Jones et al., 2009; Bengoechea et al., 2011, Wei Z., Huang Q., 2019).

Таким образом, технология соэкструзии и включения минеральных веществ решает ключевые проблемы традиционного премиксирования: обеспечивает высокую однородность, предотвращает химический антагонизм между элементами, защищает минералы от окисления и создает защитную матрицу, повышающую их биодоступность за счет высвобождения в целевом отделе ЖКТ.

Существует значительный разрыв в биодоступности между традиционными неорганическими источниками кальция (мел, известняк) часто используемыми в нашей стране и современными органическими солями (цитрат, ацетат, формиат, метионинат) и, особенно, наноразмерными формами. Последние демонстрируют превосходную растворимость, абсорбцию и эффективность, позволяя существенно снижать дозировки и минимизировать экологическую нагрузку, что делает перспективными разработки для внедрения в производство новых биологически активных источников кальция.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Материалы и методы исследований

Представленная научная работа выполнялась в Институте биоэлементологии ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» и отделе кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов имени профессора С.Г. Леушина ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН» (до 2018 года Всероссийский НИИ мясного скотоводства) с 2007 по 2025 гг.

Исследования включали три этапа.

На первом этапе дана комплексная оценка физико-химических (удельная поверхность, АСМ-визуализация и др.) и биологических (переваримость, адгезия микроорганизмов, хозяйственно-биологические характеристики цыплят-бройлеров) характеристик минерал-полисахаридных комплексов, подвергнутых воздействию экструзии. В ходе первого этапа было выполнено шесть лабораторных исследований и три эксперимента на модели цыплят-бройлеров.

На втором этапе исследований предложены решения по получению и применению новых источников кальция в кормлении цыплят-бройлеров и кур-несушек. Разработана и апробирована технология производства кальцийсодержащих кормовых добавок на основе известняковой (доломитовой) муки осадочных горных пород. Проведены физико-химическая и биологическая аттестация препаратов кальция, включающая экспертизу на моделях *Escherichia coli* K12 TG1 и *Stylomyia mytilus*, лабораторных животных; отработка технологии применения и способов введения вновь синтезированных препаратов в рационы цыплят-бройлеров и кур-несушек с исследованием продуктивного и остеотропного действия синтезированных продуктов. В ходе второго этапа исследований проведено три лабораторных и три эксперимента на цыплятах-бройлерах и курах-несушках.

На третьем этапе проведены исследования, по оценке физико-химических и хозяйственно-биологических характеристик кормовых добавок на основе ультрадисперсных препаратов кальция. В ходе третьего этапа исследований проведено два лабораторных и два эксперимента на цыплятах-бройлерах и курах-несушках.

На заключительном этапе проведены производственные проверки полученных результатов на птицефабриках Оренбургской области.

Лабораторные исследования проводились на базе лабораторий Центра коллективного пользования ФНЦ БСТ РАН <https://цкп-бст.рф>.

2.1.1 Общая схема исследований

Для проведения первого эксперимента первой серии исследований на птице, нами было отобрано 120 недельных цыплят кросса Арбор Айкрес, из числа которых методом пар-аналогов было сформировано 4 группы (n=30). В основной учетный период, с 21 по 42 сутки жизни, подопытной птице I контрольной группы 10% пшеницы в рационе заменяли на отруби; I опытной на экструдат отрубей пшеничных; II контрольной на кукурузу; II опытной на экструдат кукурузы (таблица 3).

Таблица 3 – Схема первого эксперимента первого этапа исследований на цыплятах-бройлерах

Группа	Период опыта	
	подготовительный	учетный
	возраст, дней	
	7-20	21-42
I контрольная	ОР	ОР ₁ + отруби
I опытная		ОР ₁ + экструд. отруби
II контрольная		ОР ₁ + зерно кукурузы
II опытная		ОР ₁ + экструд. зерно кукурузы

Примечание:

ОР₁- ОР с заменой 10% зерна пшеницы

Для проведения эксперимента по оценке влияния экструдатов на основе пшеничных отрубей с добавлением различных количеств карбоната кальция на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров было отобрано 210 голов недельных цыплят –бройлеров кросса Арбор Айкрес, которых методом пар-аналогов разделили на 6 групп (n=35). Начиная с 21 суток, в рационе цыплят 10 % зерна пшеницы заменяли в I опытной группе на экструдат отрубей, во II, III IV и V опытной на экструдат отрубей с добавлением 10; 15; 20 и 25% известняка, соответственно (таблица 4).

Таблица 4 – Схема второго эксперимента первого этапа исследований на цыплятах-бройлерах

Группа	Период опыта	
	подготовительный	учетный
	возраст, дней	
	7-20	21-42
контрольная	ОР	ОР ₁ + отруби
I опытная		ОР ₁ + ЭО
II опытная		ОР ₁ +(ЭО + 10% известняк)
III опытная		ОР ₁ + (ЭО + 15% известняк)
IV опытная		ОР ₁ + (ЭО + 20% известняк)
V опытная		ОР ₁ + (ЭО + 25% известняк)

Примечание:

ОР₁- ОР с заменой 10% зерна пшеницы

ЭО – экструдированные отруби

В третьем эксперименте первой серии для оценки влияния экструдатов на основе высококрахмалистых компонентов кормов с различной концентрацией карбоната кальция на обмен веществ и продуктивные качества цыплят-бройлеров был проведен эксперимент по включению экструдата кукурузы в рацион птиц. Было отобрано 140 недельных цыплят кросса Арбор Айкрес, из числа которых методом пар-аналогов было сформировано 4 группы (n=35).

В ходе основного учетного периода, в рационе цыплят контрольной группы 10 % зерна пшеницы заменяли на кукурузу, в I опытной на экструдат

кукурузы; во II и III опытной на экструдат смеси кукурузы и известняка (таблица 5).

Таблица 5 – Схема третьего эксперимента первого этапа исследований на цыплятах-бройлерах

Группа	Период опыта	
	подготовительный	учетный
	возраст, дней	
	7-20	21-42
контрольная	ОР	ОР ₁ + кукуруза
I опытная		ОР ₁ +ЭК
II опытная		ОР ₁ + (ЭК + 10% известняк)
III опытная		ОР ₁ + (ЭК + 20% известняк)

Примечание:

ОР₁- ОР с заменой 10% зерна пшеницы;

ЭК – экструдированная кукуруза.

На втором этапе были выполнены исследования с оценкой опытных кормовых кальцийсодержащих добавок, произведенных из известняковой (доломитовой) муки осадочных горных пород Ново-Пашийского месторождения. В качестве промышленного партнера исследований выступило ООО "Горнозаводскцемент", компании Аккерманцемент, (Россия) ИНН 5607015014.

Для оценки физиологического действия изучаемого диапазона дозировок вновь синтезированные кальцийсодержащие препараты были испытаны в трех сериях экспериментов на крысах *Wistar*. Схемы экспериментов были сходными, длительностью - 30 суток. После периода адаптации (10 дней) 20 животных в каждом из экспериментов, методом пар-аналогов, разделяли на четыре группы (n = 5): контрольная и три опытные. Во всех случаях контрольные группы получали проточную воду без добавок. Опытным группам дополнительно в воду добавляли кальций содержащие препараты, соответственно в I, II и III опытных группах в дозировках 15; 30 и 45% от суточной потребности. В первом эксперименте этой серии проведена

оценка вновь синтезированного ОКД3, во втором ОКД1, в третьем с добавкой известняковой муки ОКД2.

Для проведения первого эксперимента первой серии исследований на птице, нами было отобрано 120 недельных цыплят кросса Арбор Айкрес, из числа которых методом пар-аналогов было сформировано 4 группы (n=30). Первый блок исследований по оценке продуктивного действия синтезированных препаратов кальция проводился на цыплятах-бройлерах (таблица 6), в течении 5 недель (35 дней).

В опытных группах 20% кальция от нормы заменяли изучаемыми добавками. Количество кальция было одинаковым во всех группах. Контрольная группа получала основной рацион в соответствии с рекомендациями ВНИТИП, 2011.

Таблица 6 – Схема первого эксперимента второго этапа исследований на цыплятах-бройлерах

Группа	Период	
	подготовительный	учетный
	возраст	
	7-14	15-42
Контрольная	ОР	ОР
I опытная	ОР	ОР + ОКД3 (с питьевой водой)
II опытная	ОР	ОР + ОКД1 (с кормом)
III опытная	ОР	ОР + ОКД2 (с кормом)

Примечание:

ОКД1 – опытная кормовая добавка произведена из известняковой/доломитовой муки Ново-Пашийского месторождения (ОКД2) при обработке раствором лимонной кислоты одноводной;

ОКД2 – известняковая/доломитовая мука Ново-Пашийского месторождения (ОКД2);

ОКД3 – опытная кормовая добавка, произведена из известняковой/доломитовой муки Ново-Пашийского месторождения (ОКД2) при обработке соляной кислотой концентрированной.

Второй блок исследований включал две серии экспериментов, по оценке хозяйственно-биологических особенностей кур-несушек при скормливании ОКД1 и ОКД3. В первом исследовании оценка влияния различных источников кальция в кормлении оценивалась на курах-несушках кросса «Хайсекс Браун» (*Hisex*) в возрасте более 100 недель. Кормление осуществлялось в соответствии с рекомендациями ВНИТИПа (2011). Период предварительного кормления длился 1 неделю с использованием базового рациона (ОР), содержащего 3,5% кальция в форме известняковой муки (ОКД2). В опытных группах 20% ОКД2 (в расчете на кальций) заменяли на ОКД3 в I и на ОКД1 во II опытной группе. Содержание кальция в рационах всех групп было одинаковым. Эксперимент длился 30 дней, с 1 по 10 день контрольная группа получала ОР, а птица опытных групп – ОР1 и ОР2, затем все группы получали ОР (таблица 7).

Таблица 7 – Схема второго эксперимента второго этапа исследований на курах-несушках

Группа	Период опыта		
	подготовительный	учетный	
	возраст, недель		
	100-101	101-105	
		1-10 день эксперимента	11-30 день эксперимента
контрольная	ОР+ОКД2	ОР+ ОКД2	ОР+ОКД2
I опытная		ОР ₁	
II опытная		ОР ₂	

Примечание:

ОР – основной рацион, включающий известняковую муку (ОКД2);

ОР₁ – основной рацион + кальцийсодержащие добавки (80%ОКД2 + 20%ОКД3);

ОР₂ – основной рацион + кальцийсодержащие добавки (80%ОКД2 + 20%ОКД1);

Оценка показателей продуктивности кур-несушек и качественных характеристик яйца проводилась за периоды 1-10 день эксперимента (первый период), 11-20 день (второй период) и 21-30 день (третий период).

В ходе третьего эксперимента второго блока исследований было отобрано 70 голов кур-несушек молодняка финального кросса «Хайсекс Браун» (*Hisex*), в возрасте 13 недель. Источником кальция в рационе служила известняковая мука (ОКД2). После двухнедельного подготовительного периода в опытных группах часть известняковой муки, содержащейся в рационе заменяли на 10 % - I и IV опытная, 20 % - II и V опытная, 30 % - III и VI опытная группа, ОКД3 и ОКД1 (таблица 8).

Таблица 8 – Схема третьего эксперимента второго этапа исследований на курах-несушках

Группа	Период опыта		
	подготовительный	учетный	
		предкладковый	1 фаза продуктивности
	возраст, недель		
	13-15	15-20	20-40
контрольная	ОР	ОР	ОР
I опытная		ОР ₁	
II опытная		ОР ₂	
III опытная		ОР ₃	
IV опытная		ОР ₄	
V опытная		ОР ₅	
VI опытная		ОР ₆	

Примечание:

ОР (1) основной рацион с питательностью по нормам ВНИТИП согласно производственному периоду;

ОР₁ - основной рацион с содержанием 10% ОКД3;

ОР₂ - основной рацион с содержанием 20% ОКД3;

ОР₃ - основной рацион с содержанием 30% ОКД3;

ОР₄ - основной рацион с содержанием 10% ОКД1;

ОР₅ - основной рацион с содержанием 20% ОКД1;

ОР₆ - основной рацион с содержанием 30% ОКД1.

Содержание кальция в полнорационном комбикорме всех групп было одинаковым. Кормление птицы опытными рационами осуществлялось в предкладковый период с 15 по 20 неделю. В 20 недель проведен контрольный убой. Затем все группы получали основной рацион согласно

производственному периоду. Действие изучаемых препаратов отслеживалось до 40 недель.

Исследования третьего этапа включали эксперимент на цыплятах-бройлерах. В ходе проведения эксперимента были использованы механоактивированных ультрадисперсные частицы кальция глюконата (УДЧ) полученные в ЦКП Института микро- и нанотехнологий ОГУ <http://www.osu.ru/doc/1328>. Для оценки влияния УДЧ на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров было отобрано 180 голов семисуточных цыплят финального кросса «Арбор Айкрес», которых методом пар-аналогов разделили на 5 групп (n=35). I опытная группа – дополнительно к основному рациону (ОР) получала 0,4 г/кг УДЧ; II опытная – 0,55 г/кг УДЧ; III - 0,7 г/кг УДЧ; IV– 3,5 г/кг УДЧ (таблица 9).

Таблица 9 – Схема первого эксперимента третьего этапа исследований на цыплятах-бройлерах

Группа	Период опыта	
	Подготовительный	Учетный
	возраст, дней	
	7-20	21-42
контрольная	ОР	ОР
I опытная		ОР+0,4 г/кг УДЧ
II опытная		ОР+0,55 г/кг УДЧ
III опытная		ОР+0,7 г/кг УДЧ
IV опытная		ОР+3,5 г/кг УДЧ

Для проведения эксперимента по оценке влияния ультрадисперсных частиц кальция на продуктивность кур-несушек было отобрано 70 голов кур-несушек молодняка финального кросса «Хайсекс Браун» (*Hisex*), в возрасте 13 недель. В исследовании использовались добавки в форме ультрадисперсного карбоната кальция (УДЧ CaCO_3) и ультрадисперсного гидроксиапатита кальция (УДЧ ГАП). Химический синтез и физико-химическая аттестация ультрадисперсных частиц проведена на базе кафедры общей химии НИУ «БелГУ». После двухнедельного подготовительного периода опытные группы получали три уровня дозировок веществ в пересчете на кальций: 0,25 г Са (I

/IV опытная), 0,5 г Са (II / V опытная), 0,75 г Са (III/VI опытная группа) УДЧ карбоната кальция /УДЧ гидроксиапатита кальция (таблица 10). Содержание кальция в полнорационном комбикорме всех групп было одинаковым.

Кормление птицы опытными добавками осуществлялось в предкладковый период с 15 по 20 неделю. В 20 недель проведен контрольный убой.

Таблица 10 – Схема второго эксперимента третьего этапа исследований на курах-несушках

Группа	Период опыта	
	подготовительный	учетный
		предкладковый период
	возраст, недель	
	13-15	15-20
контрольная	ОР	ОР
I опытная		ОР+УДЧ СаСО ₃ (эквивалент 0,25г Са)
II опытная		ОР+УДЧ СаСО ₃ (эквивалент 0,5г Са)
III опытная		ОР+УДЧ СаСО ₃ (эквивалент 0,75г Са)
IV опытная		ОР+УДЧ ГАП (эквивалент 0,25г Са)
V опытная		ОР+ УДЧ ГАП (эквивалент 0,5г Са)
VI опытная		ОР+ УДЧ ГАП (эквивалент 0,75г Са)

Примечание:

ОР - основной рацион с питательностью по нормам ВНИТИП согласно производственному периоду.

При выполнении исследований на животных были предприняты все меры к сокращению их численности в экспериментах. Методики и объемы проведения экспериментов на животных предварительно согласованы на заседании Комиссии по контролю и содержанию животных (Этический комитет) http://fncbst.ru/?page_id=3553 разрешение на проведение исследования оформлялись протоколами и актами постановки животных на эксперимент. Все манипуляции с животными проведены с учетом требований Руководства по работе с лабораторными животными для сотрудников ФНЦ БСТ РАН (http://fncbst.ru/?page_id=3553, Оренбург, 2018, 2025).

Были установлены следующие конечные гуманные точки: потеря массы тела $>25\%$ от исходного уровня; отказ от корма и воды в течение 48 часов; признаки острого инфекционного заболевания или неконтролируемые расстройства (депрессия, затрудненное дыхание, невозможность дотянуться до кормушки и поилки самостоятельно); наличие тяжелых травм. Эвтаназия в этом случае проводилась в соответствии с руководящими принципами AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals, 2020 Edition. Состояние животных оценивалось визуально дважды в день в течение всего экспериментального периода.

Все рационы перед постановкой на эксперименты проходили контроль по показателям качества и безопасности в Испытательном центре ФНЦ БСТ РАН. При проведении исследований проводился ежедневный инструментальный контроль параметров микроклимата в помещении с учетом клеточного содержания, выдерживались требования по плотности посадки, продолжительности освещения, поение вволю, воздухообмен обеспечивался наличием принудительной вентиляции, уборка помещений проходила 1 раз в сутки. Фактические значения составляли: температура воздуха составляла 22 ± 2 °C, влажность 65 ± 5 %, система вентиляции обеспечивала скорость движения воздуха 0,8 м/с. Содержание аммиака в воздухе помещения в пределах допустимых норм до $3,12 \pm 0,3$ мг/м³.

В качестве прижизненных процедур проводили взвешивание 1 раз в неделю, и взятие крови в начале эксперимента, при смене рациона (цыплята-бройлеры/куры-несушки) и в конце эксперимента. Оценка переносимости и эффективности применяемых добавок на птице была объединена в один эксперимент. Сбор необходимых показателей по окончании срока эксперимента проводился после эвтаназии животных «внутренним способом». Исполнителями были предприняты все возможные меры к облегчению страданий подопытных птиц.

В ходе исследований на цыплятах-бройлерах проводился еженедельный индивидуальный контроль массы, ежедневный учет остатков корма и сохранности птицы.

Балансовые эксперименты для оценки переваримости питательных веществ проводился по рекомендациям ВНИТИПа (Фисинин В.И. и др., 2010) в течение 5-дневного учетного периода помет от каждой клетки собирали ежедневно, два раза в сутки (в 08:00 и 16:00) для минимизации потерь азота. Пробы объединяли в среднюю и отбирали для анализа в количестве 10% от массы помета (n=3). Собранный помет немедленно замораживали при -20°C. После завершения сбора, образцы высушивали в сушильном шкафу при 60°C до постоянной массы, размалывали и анализировали на содержание питательных веществ и элементный состав.

Расчет коэффициентов переваримости питательных веществ проводили по формуле: Коэффициент переваримости питательного вещества, % = $[(A - B) / A] \times 100\%$ где: A– количество потребленного питательного вещества с кормом за учетный период; B– количество выделенного питательного вещества с пометом за тот же период.

За 8 часов до проведения убоя птица не получала корм, вода не ограничивалась. Перед убоем оценивалась живая масса птицы и масса полупотрошенной и потрошенной тушки, рассчитывался убойный выход. Анатомическая разделка тушек проводилась по методике ВНИТИП (Лысенко М.А. и др., 2013).

После убоя формировались средние пробы мышечной и костной ткани +ткани центральной нервной системы, кожи, внутренних органов и жира. При необходимости от костной ткани отделялись большеберцовая и бедренные кости. Образцы хранились до проведения анализа химического и элементного состава при температуре -25°C.

Скрининговые исследования с целью выявления развития нарушений обмена веществ проводили посредством оценки морфологических и биохимических показателей крови на автоматическом гематологическом

анализаторе URIT-2900 Vet Plus, (URIT Medial Electronic Co., Китай) и биохимическом анализаторе CS-T 240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческих биохимических наборов для ветеринарии ДиаВетТест (Россия).

Элементный состав органов и тканей определялся следующими методами:

- атомно-абсорбционной спектрометрией на приборе Квант 2 Ат (Россия) и включал следующие элементы: Fe, Cu, Ni, Zn, Mn, Mg, Cd, Pb. Оценка влияния изучаемых добавок на отложение кальция в костной ткани, проводилась комплексонометрическим методом. Удаление органического вещества проводили в муфельной печи при температуре 540 °C
- масс-спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на одноквадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7900 ICP-MS (Agilent, США). Термоокислительную деструкцию органической матрицы проводили в микроволновой системе пробоподготовки TOPEX+ (PREEKEM, Китай). Анализ Cr, Fe, Zn и As в гелиевом режиме с использованием коллизионной ячейки. Стандартные растворы получали из поликомпонентной смеси от компании Merck (Германия) с добавлением дополнительных ГСО. При каждом определении использовались холостые пробы, коэффициент вариации не превышал 5%.

Количество элементов в теле определяли исходя из их суммарного содержания в органах и тканях (Мирошников С.А., 2015, 2016). Усвоение элементов из корма определяли в ходе балансовых исследований по разнице содержания в корме и помете.

Микробиологические исследования реакции облигатной, патогенной и условно-патогенной микрофлоры кишечника на введение добавок проводились после убоя на 6-й неделе эксперимента. После вскрытия птицы, содержимое слепого кишечника помещали в стерильные микропробирки типа “эппендорф” (NuovaAptaca S.R.L., Италия), и не позднее 1 часа после убоя

доставлялись в сумках-холодильниках в лабораторию для проведения посевов.

Для исследования анаэробов использовали анаэроостаты АЭ-01. Создание необходимой для культивирования микроорганизмов атмосферы проводили с помощью химических газогенерирующих пакетов.

Для получения исходного разведения (10^{-1}) брали 1 грамм содержимого слепого кишечника, гомогенизировали в 9 мл физиологического раствора (0,85 % NaCl). Оставляли при комнатной температуре на 10-15 минут. Далее готовили ряд последующих разведений бактериальной суспензии в физиологическом растворе (таблица 11).

Таблица 11 – Схема разведений, условия и применяемые среды

Наименование среды	Наименование микроорганизма	Условия культивирования (°C, t)	Высеваемые разведения
Аэробные микроорганизмы			
Агар Байрд-Паркера	Бактерии рода <i>Staphylococcus</i>	+35 °C, 24-48 ч	10^{-3}
Агар дифференциально-диагностический для <i>Proteus</i>	Бактерии рода <i>Proteus</i>	+36±1 °C, 48 ч	10^{-3}
Агар Эндо	Бактерии рода <i>Escherichia</i>	+37 °C, 18-20 ч	10^{-6}
Висмут-сульфит агар	Бактерии рода <i>Salmonella</i>	+37 °C, 48 ч	10^{-1}
Анаэробные микроорганизмы			
Среда MRS	Бактерии рода <i>Lactobacillus</i>	+35±2 °C, 48 ч	10^{-7}
Бифидум-среда	Бактерии рода <i>Bifidobacterium</i>	+37 °C, 48 ч	10^{-7}
Сульфитный агар	<i>Clostridium perfringens</i>	+37 °C, 24 ч	10^{-5}
Энтерококкагар	Бактерии рода <i>Enterococcus</i> (<i>E. faecalis</i> , <i>E. faecium</i>)	+37 °C, 48 ч	10^{-4}

Идентификацию и определение количества микроорганизмов в 1 грамме проводили по формуле:

$$M = N \times 10^{n+1},$$

где M – число микроорганизмов в 1г;

N – количество выросших колоний на чашках;

n – степень разведения материала.

Оценку изменения таксономического состава микробиома слепой кишки проводили в возрасте 42 суток (n=3), во время убоя, в пробирки с 200 мкл консерванта DNA/RNA Shield (Zymo Research, США). Подготовку библиотек ДНК, секвенирование и биоинформационную обработку проводили в Центре коллективного научного оборудования «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза. УрО РАН (Оренбург), согласно методике.

Тотальную ДНК из образцов выделяли комбинированным методом, включавшем механическую гомогенизацию в сочетании с методом ферментативного лизиса. Для исключения возможной контаминации на этапе пробоподготовки использовали отрицательный контроль. Чистоту ДНК контролировали с помощью электрофореза в 1% агарозном геле и фотометрии на приборе NanoDrop 8000 («Thermo Fisher Scientific Inc.», США). ДНК-библиотеки для секвенирования были созданы по протоколу Illumina с праймерами к варибельному участку V3-V4 гена 16S рРНК S-D-Bact-0341-b-S-17 и S-D-Bact-0785-a-A-21 в соответствии с протоколом IlluminaPart #15044223 Rev. В. Библиотеки ДНК были очищены с использованием гранул Agencourt AMPure XP (Beckman Coulter, Бреа, Калифорния, США) и проверены с помощью капиллярного электрофореза в усовершенствованной системе Qiaxcel (Qiagen, Hilden, Germany) с использованием набора для скрининга ДНК QIAxcel (Qiagen, Hilden, Germany). Германия). Секвенирование проводили на платформе MiSeq (Illumina, США) с использованием набора реактивов MiSeqReagent Kit V3 2×300. Биоинформатическая обработка включала оценку качества, объединение парно-концевых ридов, триммирование адаптеров, фильтрацию по качеству и длине, формирование ОТЕ (операционных таксономических единиц) путем

дерепликации и кластеризации на уровне 97%, используя алгоритм UPARSE. В процессе кластеризации удалялись химерные последовательности. Применяли глобальное выравнивание последовательностей OTU на первоначальные объединенные риды с помощью команды `usearch_global`. В результате глобального выравнивания было оценено количество объединенных чтений, соответствующих каждому OTU. Загрязняющие OTU были идентифицированы и удалены с помощью команды `usearch_ublast` путем сопоставления последовательностей пробных образцов и образцов отрицательного контроля. Таксономическую классификацию последовательностей проводили с использованием справочной базы данных RDP (rdp.cme.msu.edu/index.jsp). Визуализация результатов биоформатной обработки реализована с помощью MicrobiomeAnalyst. Полученные OTU после фильтрации и присвоения таксономической принадлежности использовались для расчета альфа (chaol , оценка охвата на основе численности (ACE), альфа Фишера, Симпсона, Шеннона - статистический метод: ANOVA) и бета (метод ординации: NMDS; расстояние) метод: индекс Брея-Кёртиса; статистический метод: ПЕРМАНОВА) разнообразие.

Энергетический обмен рассчитывали с использованием уравнений регрессии (Калашников А.П. и др., 2003). Расчет показателей межклеточного обмена проводился по рекомендациям Григорьева Н.Г. и др. (1989), Левахина В.И. и др. (2002), Мирошникова С.А. (2002).

В ходе исследований на курах-несушках содержание осуществлялось в клеточных батареях, с соблюдением норм плотности посадки (не менее 0,09 м²/гол), клетки были оборудованы кормушкой-корытом и ниппельной поилкой. Продолжительность освещения 10 час/сут, освещённость 10 лк, режим освещения – циклический 10L:14D, выставлялся с помощью автотаймера (включение света с 08.00-12.00 ч, 13.00-17.00 ч, 02.00-04.00 ч), параметры микроклимата помещения контролировались и соответствовали требованиям (Хмельницкая Т.А. и др., 2007).

На протяжении опыта оценка количества потребляемого корма учитывалось ежедневно, по остаткам корма в лотках. Количество яиц, их вес и соотношение большого и малого диаметра яйца производилось ежедневно. Данные использовались для расчёта яйценоскости, среднего веса яиц, среднего суточного потребления корма и коэффициента конверсии корма. Учет яиц проводили ежедневно. Масса яйца определялась на электронных весах Pioneer PX 3202 («ОНАУС», США) с точностью до 0,01, его составных частей с точностью до 0,001 на весах ВЛТ 150-П («САРТОГОСМ», Sartorius, Россия). Большой и малый диаметр яйца определялись при помощи штангенциркуля «ШЦЦ-1-150 0,01» (Россия). Высоту и диаметры растекания белка и желтка определяли высотомером (штангенрейсмас ШРЦ-200 0,01, Россия) и кронциркулем. Толщину скорлупы определяли с помощью точечного микрометра МКЦ-ТП- 25 0.001 («Micron», Россия). Для расчёта показателей: индекс удлинённости, площадь скорлупы, плотность яйца, объём яйца, индексы формы, белка, желтка использовали общепринятые формулы (Мойсевич В.И. и др., 2023).

У кур-несушек было выявлено действие изучаемых препаратов на механические свойства костей путем компрессионных испытаний большеберцовых костей. Для этого замороженную кость закрепляли тисками в области эпифиза и производили разметку – находили центр кости, в обе стороны отмеряли расстояние, равное среднему поперечному диаметру центра диафиза. Тангенциальными колебаниями высокой частоты (в пределах центрального угла) производили распил по разметке и получали цилиндрический образец с параллельными друг другу плоскостями. Образцы высушивали при 80° °С до постоянной массы и подвергали продольным компрессионным испытаниям на испытательной машине МИП-1-50035 (Россия) при скорости сжатия 2 мм/мин, силе сжатия 0-9800 Н. За искомый аналитический сигнал принимали максимальную силу сдавливания по графику сила (кН) – перемещение (мм).

Уровень гормонов-регуляторов кальциевого обмена в организме определен в сыворотке крови методом иммуноферментного анализа с помощью наборов ELISA Kit (25OHD3, CTXI, OPG, PTH, CT) (Cloud-Clone, KHP).

Для оценки элементного состава яичной скорлупы последнюю мыли дистиллированной водой I типа и высушивали при температуре 80°C в течение 2 часов, измельчали до порошкового состояния. Для разложения использовали только азотную кислоту. Внутреннее содержимое яйца сушили при 105°C до постоянной массы, измельчали до порошкового состояния. Для разложения использовали только азотную кислоту. Мышечную ткань сушили при 80°C до постоянной массы, измельчали до порошкового состояния. Образцы костной ткани получали выпиливанием центральной части диафиза кости (цилиндр длиной в 2 средних центральных диаметра), сушили при 80°C до постоянной массы, измельчали в фарфоровой ступке и обезжиривали петролевым эфиром до полной прозрачности надосадочного слоя. После обезжиривания продолжали измельчение до порошкового состояния. Для разложения использовали азотную кислоту и пероксид водорода.

Оценка прочностных характеристик костной ткани проводилась по остеометрическим показателям бедренных и большеберцовых костей цыплят-бройлеров и кур-несушек. Массу кости определяли взвешиванием на аналитических весах с точностью до 0,001 г. Объем кости определяли методом гидростатического взвешивания в дистиллированной воде с точностью до 0,001 мл. Определена наибольшая длина кости (мм) и наибольшая длина проксимального и дистального эпифизов (мм). С помощью нити определяли наибольшую окружность диафиза кости (мм). Вычисляли плотность кости как отношение ее массы (г) к объему (мл) с точностью до 0,001 г/мл. Вычисляли толстотно-длиннотный указатель кости (ТДУ) как процентное отношение наибольшей окружности диафиза (мм) к наибольшей длине (мм). Вычисляли индекс *Seedor* как отношение массы кости (мг) к ее наибольшей длине (мм).

В ходе лабораторных исследований работы барогидротермическая обработка опытных комплексов осуществлялась на универсальном одношнековом прессе-экструдере ПЭШ-30/1 с установленной фильерой $d=10$ мм и длиной $l=60$ мм при частоте вращения шнека 160 об/мин (Оренбургский государственный университет).

Производительность экструдера определялась по формуле:

$$A = 3600M/t,$$

где A – производительность, кг/ч;

M – масса экструдированной кормосмеси, кг;

t – время отбора экструдированной кормосмеси, с.

Необходимую влажность смеси устанавливали с учетом исходной влажности образцов в расчете на массу, по формуле:

$$V = m (M_1 - M_0) / 100 - M_1,$$

где V – объём воды необходимый для увлажнения кормосмеси, см^3 ;

m – масса образца, г;

M_0 – влажность исходного образца корма, %;

M_1 – влажность кормосмеси, %.

Подготовка образцов пшеничных отрубей и кукурузы включала увлажнение перемешивание и отволаживание в течении суток. После экструзии образцы сушились на открытом воздухе, размалывались и хранились в пластиковых пакетах при температуре $+4^\circ\text{C}$.

В процессе исследований контролировались параметры энергоёмкости экструдера, производительность, и температура продукта на выходе из фильеры.

Приготовленные образцы оценивали в ходе исследований на «искусственном рубце» по методике В.В. Попова, Е.Т. Рыбиной (1983) в модификации Левахина Г.И., А.Г. Мещерякова (2003).

Исследования по оценке адгезии микроорганизмов к поверхности кормовых добавок проводилась совместно с К. С. Кондаковой (2013). Методика исследований включала: подбор оптимальных размеров частиц

субстрата; инкубацию исследуемых образцов с микроорганизмами рубцовой жидкости и модельными микроорганизмами; учет адгезии микроорганизмов с использованием люминисцентной микроскопии и планшетного люминометра с термостатом. Под оптимальным размером частиц обработанного экструзией кормового субстрата подразумевались частицы такого размера, который позволил бы объективно провести количественную оценку с помощью люминесцентной микроскопии. Подбор оптимального размера частиц субстрата осуществлялся методом ступенчатого центрифугирования с использованием следующих режимов: 100, 200, 300, 500, 700, 1000 1500 и 2000 об/мин. При этом использовалась центрифуга СМ-6М. Навеску исследуемого кормового образца смешивали с физиологическим раствором в стерильной колбе в соотношении 1:10, затем центрифугировали при соответствующих режимах. В каждом случае из осадка и супернатанта готовили препарат: наносили 1 мкл подготовленной суспензии на обезжиренное предметное стекло в 3-х повторностях; препарат подсушивали при комнатной температуре, фиксировали легким нагреванием; окрашивали водным раствором акридина оранжевого 15 мин; смывали водопроводной водой и подсушивали фильтровальной бумагой. Препарат исследовали с помощью люминесцентного микроскопа. Таким образом, был найден оптимальный режим центрифугирования 500 об/мин, при котором в поле зрения видно достаточное количество частиц субстрата среднего размера (10 ± 2 мкм в диаметре), превышающего размер бактерий в 20 - 30 раз.

При работе с рубцовой жидкостью последнюю центрифугировали 15 мин при 3000 об/мин, при этом в супернатанте содержались бактерии, в осадке – простейшие. Исследуемый образец смешивали с подготовленной рубцовой жидкостью в стерильной колбе в соотношении 1:10, которые затем инкубировали при температуре 38 °С 3 ч периодически помешивая; потом исследуемые пробы центрифугировали при режим нагрузки, равной 500 об/мин, который позволил выделить оптимальный размер частиц субстратов; далее готовили препарат из разведений супернатанта (10^{-3} - 10^{-5}): наносили 1

мкл подготовленной суспензии на обезжиренное предметное стекло в 3-х повторностях; препарат подсушивали при комнатной температуре; фиксировали легким нагреванием; окрашивали водным раствором акридина оранжевого 15 мин; смывали водопроводной водой и подсушивали фильтровальной бумагой. Препарат исследовали с помощью люминесцентного микроскопа. Количество клеток, адгезированных на частичках субстрата, подсчитывали на 10 частицах и более чем в 3-х параллелях.

При регистрации биолюминесценции использовался микропланшетный люминометр LM-01T с термостатом, разработанный в Институте биофизики СО РАН совместно со специальным конструкторским технологическим бюро «Наука» (г. Красноярск). Данная модель предназначена для измерения люминесценции при комнатной температуре либо при +37 °С в клинических, биохимических и аналитических лабораториях.

В процессе разработки способа количественного учета адгезированных микроорганизмов к частицам трофических субстратов с помощью микропланшетного люминометра для получения взвеси частиц одного размера проводилась дополнительно их отмывка физиологическим раствором при режиме 1500 об/мин. Для инкубации использовалась взвесь суточной культуры *E. coli* – Эколюм-11 в LB-бульоне (0,5 оптической плотности). Взвесь модельного микроорганизма смешивали с полученным осадком частиц субстрата в соотношении 1:10. Полученную смесь выдерживали при +38°С в течение 30 мин.

Затем проводили центрифугирование опытной смеси при 1500 об/мин для разделения адгезированных и неадгезированных микроорганизмов. В осадке получили частицы со связавшимися микроорганизмами, а в супернатанте – неадгезированные бактерии. Супернатант раскапывали по 250 мкл в лунки планшета, который помещали в биолюминометр для измерения светимости бактерий в супернатанте в течение 20 мин. В качестве

контроля использовалась взвесь модельного микроорганизма без внесения субстрата, которая также подвергалась инкубированию.

Полученные данные выражали в виде биолюминесцентного индекса (БЛИ) в %, который рассчитывается по формуле:

$$\text{БЛИ} = \left(1 - \frac{(K_1 * O_2)}{(K_2 * O_1)}\right) * 100 \%,$$

где БЛИ - биолюминесцентный индекс (БЛИ) в %; K1 – интенсивность свечения микроорганизмов в контрольном образце в начале опыта; K2 – интенсивность свечения микроорганизмов в контрольном образце в конце экспозиции; O₁ – интенсивность свечения микроорганизмов в опытном образце в начале опыта; O₂ – интенсивность свечения микроорганизмов в опытном образце в конце экспозиции.

Определение удельной поверхности проводили следующим образом: предварительно высушенный до постоянного веса образец, высыпали во взвешенный мерный цилиндр емкостью 100 мл (диаметр 25 мм). Наполнение цилиндра до метки 100 мл осуществляли порциями по 15-20 мл с уплотнением образца после формирования каждой порции до 300±10 г/л.

Цилиндр взвешивали с точностью до 0,01 г и наполняли ацетоном до постоянного уровня ацетона над слоем образца. Через 30 мин избыток ацетона сливают и цилиндр с опытным комплексом взвешивают.

Пористость по ацетону X (в объеме н. %) вычисляли по формуле:

$$X = (G^2_{\text{ц.}} - G^1_{\text{ц.}}) * 100 / \rho V = G^2_{\text{ц.у.}} - G^1_{\text{ц.у.}} / \rho,$$

где G¹_{ц.} – вес цилиндра с образцом до пропитывания, г;

G²_{ц.} - вес цилиндра с образцом, пропитанный ацетоном, г;

ρ – плотность ацетона при температуре опыта, г/см³;

V – 100 см³ – объем образца.

При проведении АСМ-визуализации поверхности опытных комплексов использовался атомно-силовой микроскоп SMM-2000 («Протон-МИЭТ», Россия), работающий в режиме постоянного контакта. В процессе

сканирования использовались кантилеверы MSCT-AUNM («Park Scientific Instruments», США) с жесткостью балки 0,01 Н/м и радиусом кривизны иглы порядка 30 нм. Количественный морфометрический анализ полученных изображений проводили с использованием штатного программного обеспечения микроскопа.

В ходе наших исследований методика оценки химического состава кормов и биосубстратов включала проведение анализов в трех повторностях с использованием стандартных методов (заключение № 2032 о состоянии измерений в лаборатории от 19.03.2019 г.). В биосубстратах химический состав определялся по стандартным методам ($n=3$): сухое вещество - ГОСТ 31640; сырой протеин по методу Кьельдаля (ГОСТ 13496.4), с использованием прибора UDK 139 Semi-Automatic Kjeldahl Distillation Unit, (Velp, Italy); сырой жир методом экстракции петролейным эфиром (ГОСТ 13496.15) с использованием прибора SER 148/6, (Velp, Italy); сырая клетчатка: по методу Веенде (ГОСТ 31675), на приборе FIWE Fiber Analyzers. В каждой партии анализировали стандартный образец Velp Scientific, Code A00000318 (oat meal). Зола методом сухого озоления при 550°C в муфельной печи Nabertherm. Определение сахара и крахмала - ГОСТ 26176, аминокислот - ГОСТ Р 55569. Все данные представлены в пересчете на сухое вещество.

Для определения аминокислот навеску пробы ($100,0 \pm 0,2$) мг помещали в виалу для гидролиза, добавляли 10 см³ раствора соляной кислоты (разбавленной 1:1), герметично закрывали и перемешивали, после чего подвергали гидролизу при температуре 110 °C в течение 14-16 ч. Гидролиз проводили в сушильном шкафу ШС-80-01 СПУ (Россия). По окончании гидролиза содержимое виалы охлаждали и фильтровали через фильтр «синяя лента». Далее проводили реакцию получения ФТК-производных аминокислот, для чего в стеклянные бюксы отбирали 50 мм³ гидролизата, который выпаривали досуха в струе теплого воздуха, после чего к сухому остатку добавляли 150 мм³ раствора карбонат натрия (м.к. 0,1 моль/дм³) и 300 мм³ раствора ФИТЦ (фенилизотиоционат в изопропиловом спирте),

перемешивали и оставляли на 35 мин. Далее раствор выпаривали досуха в струе теплого воздуха. Сухой остаток растворяли в 500 мм³ дистиллированной воды. Полученный для анализа раствор переносили в пробирку типа «Эппендорф», центрифугировали (5 мин, 5000 об/мин). Оценку аминокислотного состава осуществляли при помощи системы капиллярного электрофореза «Капель 105/105М» (ООО «Люмэкс-Маркетинг», Россия). Массовую долю каждой аминокислоты в пробе вычисляли в процентах.

Подготовку проб для определения жирных кислот проводили следующим образом: к навеске жира из образца 0,1 г приливали 2 мл гексана 0,1 мл метилата натрия, оставляли на 5 минут, фильтровали и отбирали для анализа 0,1мкл из гексаного слоя, содержащего метиловые эфиры жирных кислот. Полученные метиловые эфиры анализировали на газовом хроматографе «Кристалл 5000» с ПИД и капиллярной колонкой ZB-WAX 60м x 0,32мм x 0,5. Анализ пробы в течение 50 мин при t от 80°C до 220°C. Температура испарителя 250°C, детектора 260°C, расход газа–носителя (азот) 25мл/мин, водорода 25мл/мин, воздуха 250мл/мин, деление потока 1/40. Идентификацию разделения жирных кислот осуществляли путем сравнения со смесью жирных кислот фирмы Supelco TM Component FAME Mix.

Для характеристики степени ненасыщенности липидов использовали коэффициент ненасыщенности:

$$K = \frac{\sum \text{ПНЖК}}{\sum \text{НЖК}},$$

где $\sum \text{ПНЖК}$ – содержание ненасыщенных жирных кислот, %

$\sum \text{НЖК}$ – содержание насыщенных жирных кислот, %

Производство опытных кормовых добавок (ОКД) в лабораторных условиях проведено из известняковой (доломитовой) муки осадочных горных пород Ново-Пашийского месторождения (ООО "Горнозаводскцемент", компании Аккерманцемент, Россия).

Производство кормовой добавки ОКД1 включало использование доломитовой муки (содержание $\text{CaCO}_3 = 97,61\%$), раствора лимонной кислоты

одноводной, дистиллированной воды. Исследования показали, что использование известняковой (доломитовой) муки осадочных горных пород Ново-Пашийского месторождения для получения ОКД1 при теоретическом выходе - 12,209 кг, позволяло получить около 10,838 кг или 88,77% цитрата кальция.

В раствор лимонной кислоты (технической) порционно добавляют доломитовую муку во избежание интенсивного пенообразования. При этом учитывают, что выделяется смесь газов, среди которых углекислый газ и сероводород – необходима система вентиляции.

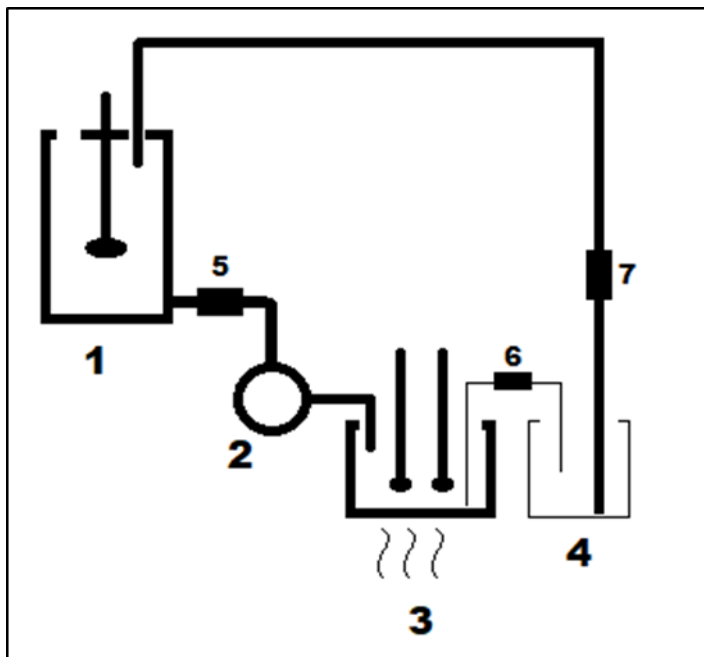
Реакция протекает до уровня $pH=5$, затем скорость становится незначительной. При этом в системе остается большое количество лимонной кислоты, которую необходимо регенерировать. Смесь отделяют от осадка фильтрованием, осадок промывают дистиллированной водой (объем не больше 10% от первоначально взятого на реакцию), затем маточный раствор доводят до кипения, при этом выпадает в осадок целевой ОКД1. Необходимо интенсивно помешивать реакционную смесь, поскольку целевой продукт покрывает дно реактора сплошным слоем достаточно быстро.

Полученный осадок промывают дистиллированной водой, все сливные воды собирают в раствор с оставшейся лимонной кислотой. Раствор выпаривают до объема, составляющего 40% от первоначально взятого на приготовление раствора лимонной кислоты, снова проводят реакцию с известняком, извлекают ОКД1 по описанному механизму. Всю промытую полученную соль соединяют, сушат при температуре 80-90 °С до воздушно-сухой пробы, перемешивая и измельчая. ОКД1 в данных условиях сушки находится в форме четырехводного кристаллогидрата.

Необходимое оборудование для синтеза: химический реактор для процесса нейтрализации; воронка Бюхнера с фильтром «белая лента» для отделения оставшегося карбоната кальция; химический реактор с изолированным нагревательным элементом для кипячения слабокислого раствора (с возможностью перемешивания); емкости для выпаривания

целевого продукта и промывки его от лимонной кислоты; сушильная установка с температурным контролем.

Технологическая установка для производства ОКД1 представлена на рисунке 5.



- 1 -реактор нейтрализации с мешалкой и возможностью мягкой декантации надосадочной жидкости с промывкой
2 -фильтр
3 -непосредственно реактор синтеза ОКД1 с мешалкой и нагревательным элементом
4 -емкость для слива остаточного раствора лимонной кислоты и промывных вод
5,6,7 – насосы

Рисунок 5 – Технологическая схема получения ОКД

Технология производства кормовой добавки ОКД3 заключалась в применении классического кислотного метода с использованием известняковой/доломитовой муки (содержание $\text{CaCO}_3 = 97,61\%$), соляной кислоты концентрированной, дистиллированной воды. Получение ОКД3 включало следующую последовательность: известняковую муку отвешивают с небольшим избытком (5% по массе), заливают дистиллированной водой, взмучивают. Постепенно приливают HCl нужной концентрации, следят за пенообразованием. По завершении реакции отстаивают полученную смесь один час, декантируют надосадочную жидкость и доводят объем системы до необходимого уровня.

Определение биологической активности исследуемых препаратов кальция проводили с применением культуры клеток инфузории *S. mytilus*. Для анализа использовали суточную культуру стилонихий, которая находилась в фазе экспоненциального роста. Массу стилонихий пересаживали в новую питательную среду Лозина-Лозинского с добавлением высушенных хлебопекарных дрожжей в качестве корма и помещали в термостат при температуре от 22 до 24 °С.

Эксперимент проводили в диапазоне концентраций от 0,313 до 5 мг/мл. Каждую пробу исследуемых солей исследовали пять раз. Пересадку и подсчет стилонихий проводили с использованием микроскопа биологического Микромед 2 (2-20 inf).

Анализ проводили следующим образом. Автоматической пипеткой отбирали по 20 мкл среды со стилонихиями и помещали в каждую из пяти лунок предметных стекол. Затем туда же автоматической пипеткой вносили по 20 мкл водного раствора исследуемых солей, подготовленных для биотестирования. Через 2 мин в каждой лунке предметного стекла подсчитывали количество стилонихий.

После подсчета в каждую лунку предметного стекла вносили по 200 мкл водного раствора исследуемых солей и отмечали время начала испытаний. Токсичность исследуемых солей определяли по выживаемости стилонихий через 1 и 3 ч экспозиции. Если исследуемые соли токсичны, то стилонихии изменяют свою обычную эллипсоидную форму на округлую, прекращают движение, или подвергаются распаду – лизису.

Выживаемость стилонихий N, %, вычисляли по формуле:

$$N = \frac{N_2}{N_1} \times 100$$

где N_2 – среднеарифметическое (из пяти испытаний) значение количества стилонихий в конце опыта через 1 ч экспозиции, шт.;

N_1 – среднеарифметическое (из пяти испытаний) значение количества стилонихий в начале опыта, шт.;

100 – коэффициент перевода результата в проценты.

Токсичность исследуемых солей определяли из расчета:

от 70 % до 100 % выживаемости стилонихий – образец нетоксичный;

от 40 % до 69 % выживаемости стилонихий – образец слаботоксичный;

от 0 % до 39 % выживаемости стилонихий – образец токсичный.

Оценка биологической активности различных источников кальция проводилась на модели конститутивно люминесцирующего штамма *Escherichia coli* K12 TG1 (коммерческое название «Эколюм», «НВО ИММУНОТЕХ», Россия), несущего гибридную плазмиду pUC19 с клонированными *luxCDABE* генами морского люминесцирующего организма *Photobacterium leiognathi* 54D10 на многофункциональном микропланшетном ридере TECAN Infinite F200 (Tecan Austria GmbH, Австрия). Для этого к исходному штамму доливали 10 мл дистиллированной охлажденной до 4°C воды и выдерживали суспензию 30 минут при той же температуре. Далее в культуральной планшете готовили серию разведений исследуемых веществ по 100 мкл и добавляли аналогичное количество бактериального препарата. Инкубировали в течение 3 часов, фиксируя интенсивность люминесценции с периодом в 5 мин. Для графического отображения полученных результатов вычисляли нормализованное значение относительной биолюминесценции:

$$A = (I_{k_0} \times I_{o_n}) / (I_{o_0} \times I_{k_n}) \times 100\%,$$

где I_{k_0} – светимость контрольной пробы в начале эксперимента;

I_{k_n} – светимость контрольной пробы в конце эксперимента;

I_{o_0} – светимость опытной пробы в начале эксперимента;

I_{o_n} – светимость опытной пробы в конце эксперимента.

Метод позволяет судить о наличии бактерицидных, бактериостатических или пребиотических свойств.

В ходе исследований вновь синтезированные кальций содержащие препараты были испытаны в трех сериях экспериментов на крысах *Wistar*. Кормление производилось в соответствии с "ГОСТ 34566-2019 Комбикорма полнорационные для лабораторных животных. Технические условия". Питательная ценность комбикорма составила: обменная энергия – 304 ккал/100 г; протеин – 19,04 %; жир -3,8 %; углеводы – 48,4 %.

Оценку баланса кальция проводили путем учёта, поступившего и выделенного в ходе исследований кальция.

Гистологические исследования тканей проведены в соответствии с общепринятыми рекомендациями. Для гистологического анализа после извлечения образцы ткани печени и почек немедленно помещали в 10 % забуференный формалин. Для дальнейшего анализа ткань фиксировали в течение суток в растворе молекулярного фиксатора (производитель BioVitrum). Затем вырезали фрагменты ткани печени и почек и подвергали автоматической гистологической проводке в аппарате Tissue Teck Xpress (Sakura, Япония). После этого изготавливались парафиновые блоки, с которых делали серийные срезы на ротационном микротоме Accu-Cut SRM200 (Sakura, Япония). Срезы окрашивали гематоксилином и эозином с использованием стандартных методик. Полученные микропрепараты изучали под микроскопом Eclipse 50i (Nikon, Япония).

Параметры бедренной кости определяли методом прямой остеометрии. Длина кости (мм) определялась с использованием штангенциркуля «ШЦЦ-1-150 0,01» (Россия). Индекс прочности вычисляли, как отношение наибольшей длины кости к ее массе.

По окончании исследований в условиях птицефабрики ЗАО «Оренбургской» и фермерских хозяйств Оренбургской области была проведена апробация полученных результатов. В ходе, которой дан экономический анализ эффективности наших разработок.

Результаты, полученные в исследованиях, были обработаны с применением общепринятых методик при помощи программного пакета

«Statistica 10.0». Для проверки гипотезы о нормальности распределения применяли критерий Шапиро-Уилка. Статистическое сравнение результатов проводилось с использованием критерия Стьюдента. Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости (P), при этом критический уровень значимости в исследованиях принимался меньшим или равным 0,05. Коэффициенты корреляции рассчитывались по Спирмену (Kс).

2.2 Биологическая и физико-химическая оценка кормовых добавок, полученных методом созкструзии различных источников полисахаридов и кальция

2.2.1 Результаты лабораторных исследований

2.2.1.1 Подбор параметров экструзионной обработки опытных комплексов

Для нивелирования протекающей при температуре выше 120 °С реакции Майяра (Beaufrand M.J. et al., 1978; Mauron J., 1990; Gilani S.G. et al., 2012; Zilić S. et al., 2014; Мартинчик А.Н., Шариков А.Ю., 2015; Voyer L.E., Alvarado C. 2019) были подобраны режимы проведения процесса, включающие оценку влияния влажности исходного продукта и соотношения полисахарид-карбонат кальция (таблица 12).

Таблица 12 – Параметры процесса экструзии кормовых средств

W, %	Отруби пшеничные				Кукуруза		
	% ввода CaCO ₃	энергоем кость, А	производ ительност ь, кг/час	t продукта, °С	энергое мкость, А	производ ительност ь, кг/час	t продукт а
20	10	9,4	34,3	100 ±0,9	9,8	37,3	86 ±0,2
	15	10,5	32,6	104 ±1,1	10,0	36,4	88 ±0,4
	20	11,2	29,6	116 ±1,3	10,1	34,1	90 ±0,3
	25	14,3	28,2	120 ±1,3	12,5	32,7	92 ±0,6

Продолжение таблицы 12

25	10	9,5	39,8	98 $\pm 0,7$	9,0	42,6	80 $\pm 0,1$
	15	10,2	37,4	97 $\pm 0,6$	9,5	38,1	88 $\pm 0,4$
	20	11,9	35,2	100 $\pm 1,0$	9,5	35,4	85 $\pm 0,3$
	25	13,5	32,7	117 $\pm 1,4$	11,3	33,6	89 $\pm 0,5$
30	10	8,0	43,8	88 $\pm 0,4$	8,5	44,1	81 $\pm 0,3$
	15	8,4	42,6	92 $\pm 0,7$	8,5	41,8	84 $\pm 0,6$
	20	9,5	39,4	89 $\pm 0,5$	9,0	40,0	83 $\pm 0,4$
	25	10,5	35,6	91 $\pm 0,5$	9,8	38,3	86 $\pm 0,4$

С увеличением влажности продукта увеличивалась производительность и снижалась энергоемкость процесса. Оптимальная влажность составляет 25-30%.

Для различных дозировок CaCO_3 выявлена обратная зависимость, введение минеральных частиц свыше 20% усиливает трение продукта в головке экструдера и как следствие увеличивается энергоемкость процесса, снижается производительность и возрастает температура продукта (рисунок 6).

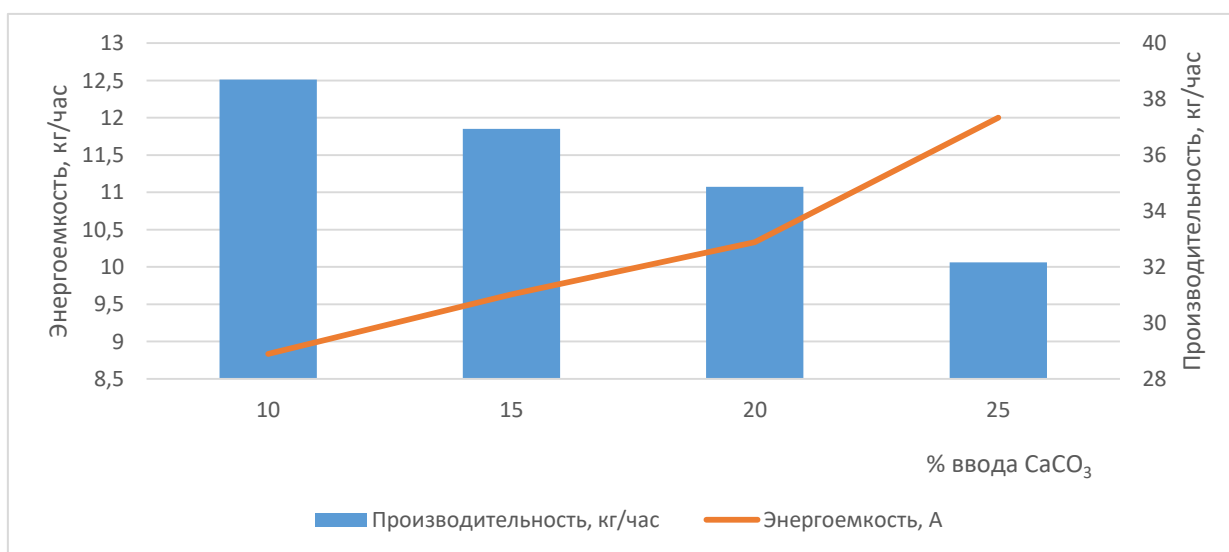


Рисунок 6 – Энергоемкость и производительность процесса получения экструдатов (диапазон влажности 20 - 30%)

Тенденция была одинакова не зависела от углеводной структуры сырья. При соблюдении рекомендуемых параметров температура продукта на выходе из фильеры не превышает 100 °С.

2.2.1.2 Исследование влияния процесса экструзии на адгезивную активность микроорганизмов, переваримость «in vitro» и структуру поверхности препаратов

Исследования по оценке адгезии микроорганизмов к поверхности частиц опытных кормовых средств проводились нами с целью совершенствования технологии производства последних. При этом мы исходили из понимания того, что до 90% ферментов микроорганизмы выделяют при непосредственном контакте с поверхностью субстрата и степень адгезии микроорганизмов таким образом определяет переваримость кормов. Это было подтверждено нами в ходе наших исследований (Холодилина Т.Н. и др., 2013; 2013; Курилкина М.Я. и др., 2014).

Для исследования были приготовлены экструдаты пшеничных отрубей с различным уровнем введения сульфатных и карбонатных форм кальция и магния. Биологическая активность изучаемых опытных комплексов оценивалась путем определения площади поверхности, доступности вещества «in vitro», количества адгезированных бактерий на субстрат и т.д.

Анализ результатов выявил закономерность между способностью исследуемых добавок содержащих одноименные металлы к адгезии микроорганизмов, структурой поверхности и биологической доступностью.

Включение CaCO_3 в состав добавок увеличивает профиль высот на поверхности образца до 233 нм, количество адгезированных бактерий на 52,7%, и как следствие переваримость на 9,1% (рисунок 7, таблица 13). Однако увеличение значений удельной поверхности не было связано с увеличением адгезии и биодоступности сухого вещества, напротив наблюдалась обратная закономерность.

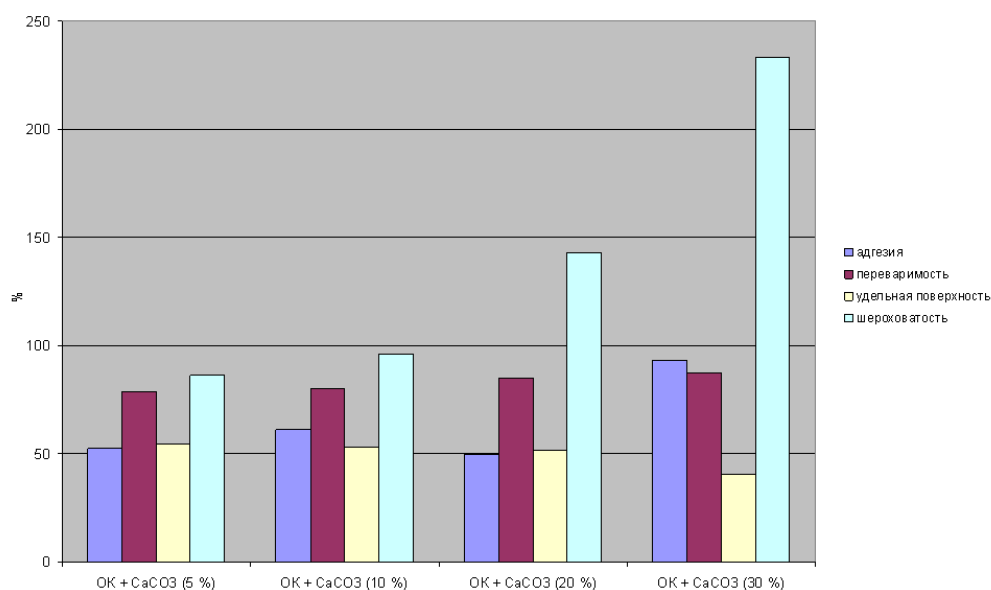


Рисунок 7 – Значения удельной поверхности, шероховатости, переваримости и адгезии микроорганизмов к частицам опытных образцов с различным содержанием CaCO₃

Для образцов той же группы доступность питательных веществ (*in vitro*), которых увеличивалась в ряду значение/процент добавки 78,6%/ (5%) — 80,2%/ (10%) — 85,0%/ (20%) — 87,3% (30%), значения удельной поверхности принимали вид 49,7% — 48,2% — 36,3%, соответственно.

Таблица 13 – Количество адгезированных микроорганизмов (%), переваримость *in vitro* (%) и удельная поверхность (%) опытных образцов, полученных путем экструдирования смеси отрубей

Исследуемые образцы	Количество адгезированных микроорганизмов, %	Переваримость <i>in vitro</i> , %	Удельная поверхность, %
Отруби экструдированные (ОЭ)	40,6	78,2 ±2,59	50,5 ±3,12
ОЭ + CaCO ₃ (5 %)	52,3	78,6 ±1,21	54,6 ±0,03
ОЭ + CaCO ₃ (10 %)	61,1	80,2 ±0,51	53,22 ±0,01
ОЭ + CaCO ₃ (20 %)	49,7	85,0 ±0,79	51,4 ±0,01
ОЭ + CaCO ₃ (30 %)	93,3	87,3 ±1,27	40,3 ±0,02
ОЭ + CaCO ₃ (5 %) + крахмал (5 %)	52,9	80,5 ±0,69	56,12 ±0,01

Аналогичная закономерность была характерна и для добавок сульфата кальция, 20% ввод в состав экструдата увеличивал перепад высот поверхности на 703 нм, адгезию на 5,8% а переваримость на 2,1%, при этом площадь удельной поверхности уменьшалась на 14,2%.

Опытные образцы с включением карбоната кальция превосходили сульфатные комплексы по биодоступности сухого вещества, демонстрируя высокую активность биосенсора (рисунок 8, таблица 14).

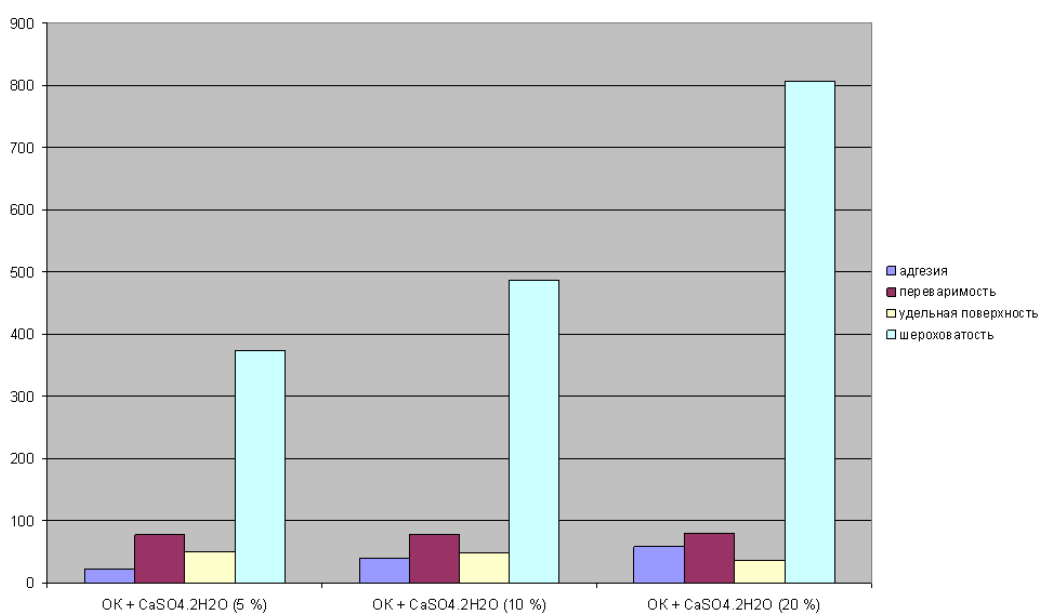


Рисунок 8 – Значения удельной поверхности, шероховатости, переваримости и адгезии микроорганизмов к частицам опытных образцов с различным содержанием CaSO₄

Включение 20% карбоната магния в состав образцов приводило к максимальной активности микроорганизмов, было получено наибольшее значение – 99,7%, увеличивая дозировку ввода до 30% мы получили изменение переваримости с 78,2% до 85,5% относительно экструдата отрубей без включения магния.

Удельная поверхность согласно выявленной ранее закономерности так же уменьшалась со значения 51,1% (адгезия 23,5%) до значения 43,2% (адгезия 97,1%).

Таблица 14 – Количество адгезированных микроорганизмов (%), переваримость *in vitro* (%) и удельная поверхность (%) опытных образцов с различным содержанием CaSO_4

Исследуемые образцы	Количество адгезированных микроорганизмов, %	Переваримость <i>in vitro</i> , %	Удельная поверхность, %
ЭО + CaSO_4 (5 %)	21,5	77,7 $\pm 0,62$	49,7 $\pm 0,01$
ЭО + CaSO_4 (10 %)	40,0	77,9 $\pm 0,47$	48,2 $\pm 0,03$
ЭО + CaSO_4 (20 %)	58,1	80,3 $\pm 0,38$	36,3 $\pm 0,02$

Сульфатный комплекс магния, так же, как и кальция существенно снижает адгезию микроорганизмов. Поверхность образцов очень неоднородна, значения среднеквадратичной шероховатости меняются в диапазоне 91-155 нм. Зависимость между удельной поверхностью и переваримостью в этих образцах сохраняется. Наглядно это показано нами при анализе характеристик, полученных при использовании MgCO_3 (рисунок 9, 10, таблица 15,16).

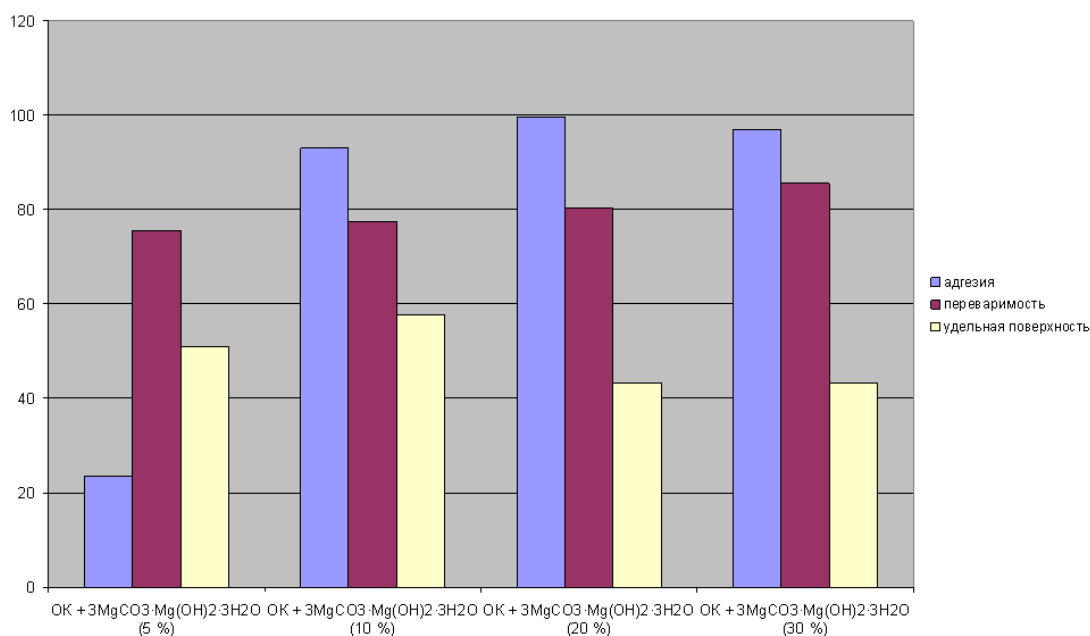


Рисунок 9 – Значения удельной поверхности, шероховатости, переваримости и адгезии микроорганизмов к частицам опытных образцов с различным содержанием MgCO_3 .

Таблица 15 – Количество адгезированных микроорганизмов (%), переваримость *in vitro* (%) и удельная поверхность (%) опытных образцов полученных путем экструдирования отрубей с $MgCO_3$

Исследуемые образцы	Количество адгезированных микроорганизмов, %	Переваримость <i>in vitro</i> , %	Удельная поверхность, %
ЭО + $MgCO_3$ (5 %)	23,5	75,6 ±1,69	51,1 ±0,02
ЭО + $MgCO_3$ (10 %)	93,0	77,5 ±1,22	57,7 ±0,01
ЭО + $MgCO_3$ (20 %)	99,7	80,3 ±0,44	43,3 ±0,01
ЭО + $MgCO_3$ (30 %)	97,1	85,5 ±1,67	43,2 ±0,01
ЭО + $MgCO_3$ (5 %) + крахмал (5 %)	58,8	71,9 ±2,85	49,6 ±0,03

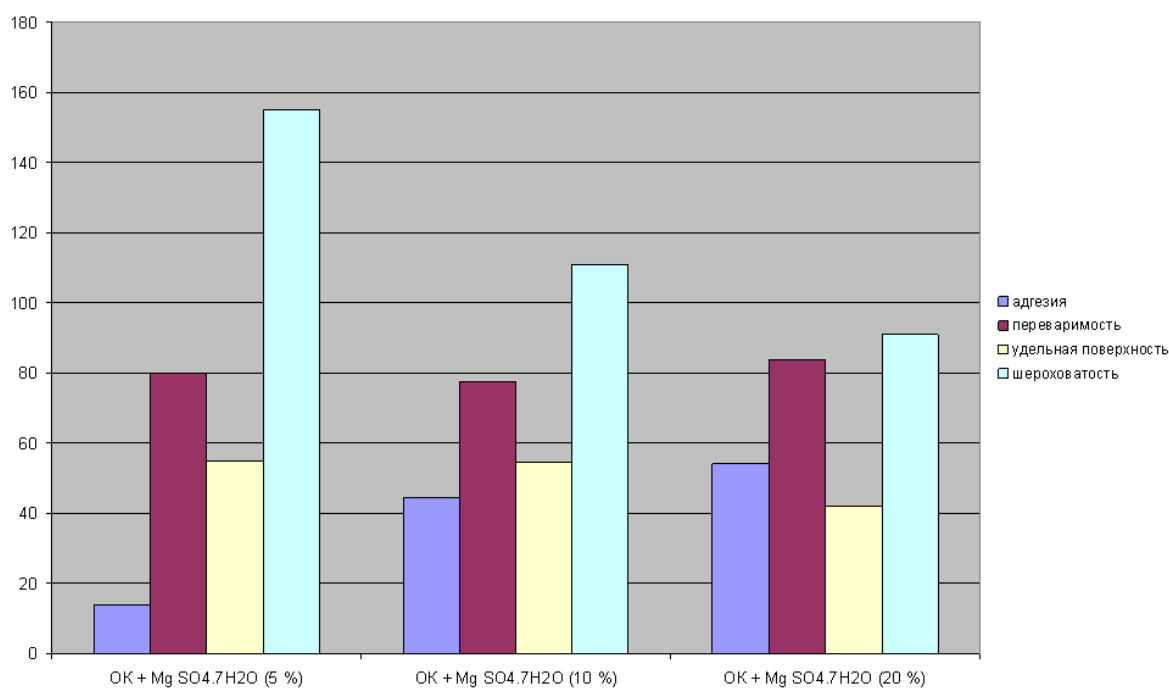


Рисунок 10 – Значения удельной поверхности, шероховатости, переваримости и адгезии микроорганизмов к частицам опытных образцов с различным содержанием $MgSO_4$

Таблица 16 – Количество адгезированных микроорганизмов (%), переваримость *in vitro* (%) и удельная поверхность (%) опытных образцов с различным содержанием MgSO₄

Исследуемые образцы	Количество адгезированных микроорганизмов, %	Переваримость <i>in vitro</i> , %	Удельная поверхность, %
ЭО + MgSO ₄ (5 %)	13,6	79,9 ±1,75	54,9 ±0,01
ЭО + MgSO ₄ (10 %)	44,5	77,3 ±1,08	54,7 ±0,02
ЭО + MgSO ₄ (20 %)	54,2	83,8 ±0,38	41,8 ±0,02
ЭО + MgSO ₄ (5 %) + крахмал (5 %)	29,5	79,7 ±1,20	51,9 ±0,02

Добавление крахмала в ОК не оказало влияния на значение переваримости сухого вещества, хотя значение адгезии увеличилось на 15,9%. При включении в крахмалсодержащий ОК изучаемых минеральных добавок переваримость образцов достоверно не отличалось, лишь включение карбоната магния в экструдат сопровождалось снижением этого показателя на 6,3%. Сульфатные комплексы в сочетании с крахмалом, снижают адгезионную активность с 40,6% в контроле до 13,5% (сульфат кальция) и 29,5% (сульфат магния). Включение мочевины в ОК увеличивает доступность веществ на 4,5%, но подавляет адгезию до 13,4% даже при включении в состав карбоната кальция. Включение жиросодержащей добавки в ОК снижает переваримость до 74,4%. Включение ультрадисперсных частиц Zn в состав ОК абсолютно угнетает адгезивную активность микроорганизмов. Совместное применение карбонатов кальция и магния приводит к увеличению адгезии с 40,6 до 76,9%, с одновременным повышением переваримости до 81,6%.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить факт угнетения адгезивной активности бактерий при введении в ОК сульфатов металлов. Важным для дальнейших исследований является факт зависимости характеристиками поверхности контакта микроорганизмов с субстратом и доступностью питательных веществ в изучаемых образцах.

В ходе исследований нами была изучена микроструктура полученных ОК методом атомно-силовой микроскопии. Проведенный анализ в целом подтвердил результаты лабораторных исследований, используемые компоненты, способные к гидролизу наиболее эффективны для выбранных целей. Ниже мы приводим в качестве иллюстрации материалы для добавок с CaCO_3 , CaSO_4 . АСМ-характеристика нативных (А, Б) и экструдированных отрубей (В, Г) показала (рисунок 11), что в ходе барогидротермической обработки паровой гидролиз увеличивает структуры поверхности (В относительно А).

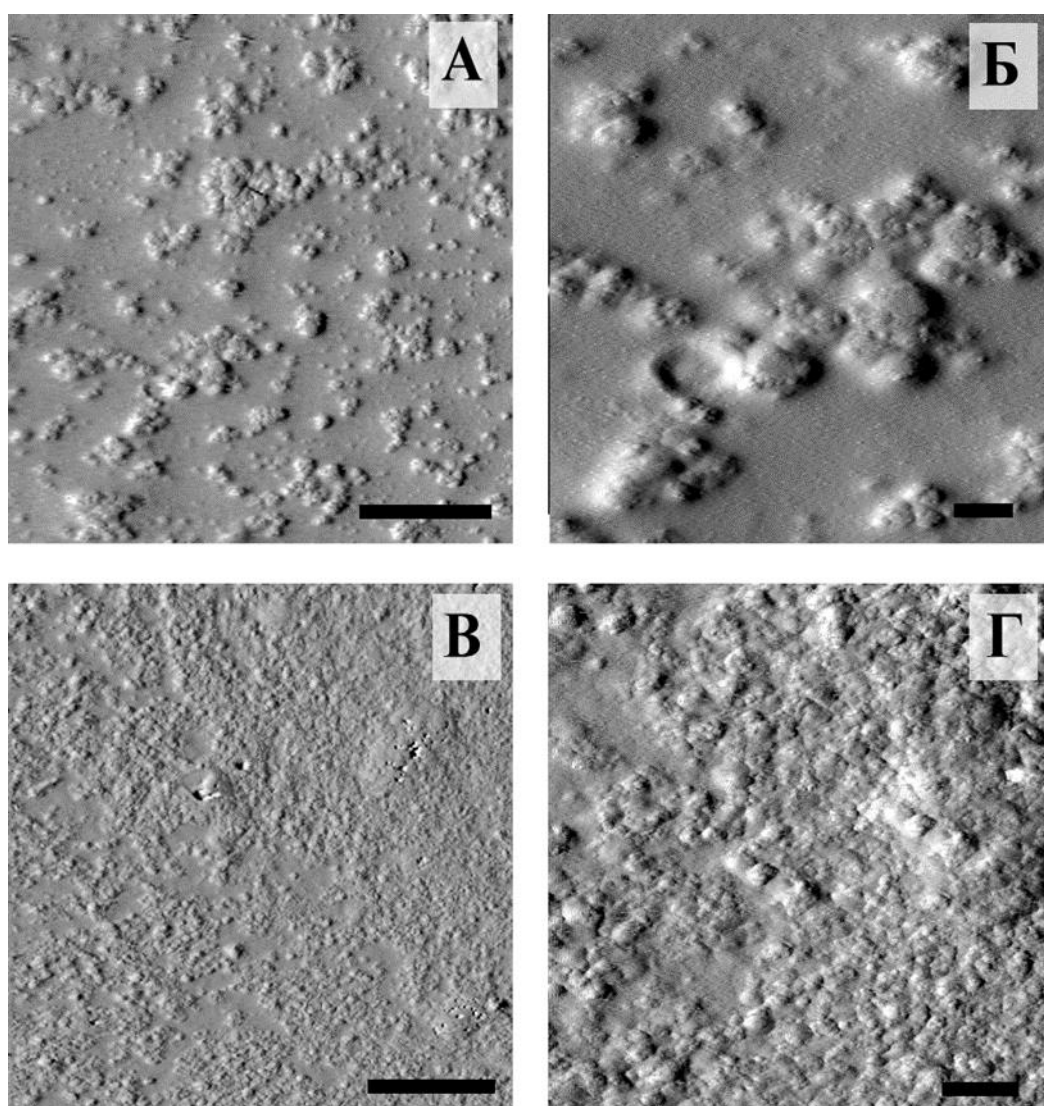


Рисунок 11 – АСМ-изображения ОК до обработки (А, Б) и после (В, Г). Шкала – 5 мкм (А, В); 1 мкм – (Б, Г).

Включение в состав ОК минеральной составляющей (5 % CaCO_3) способствовало образованию кристаллических структур на поверхности субстрата (рисунок 12).

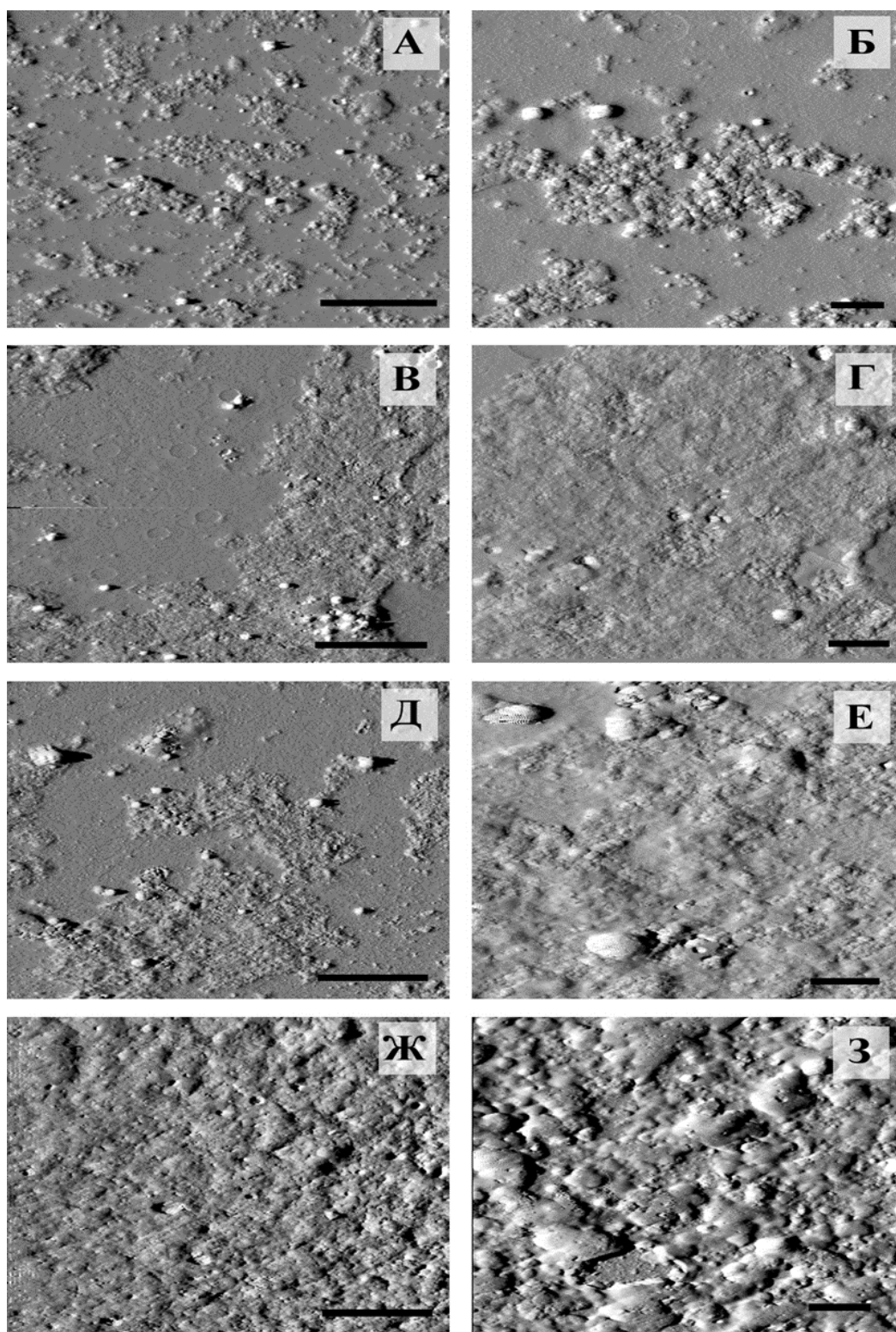


Рисунок 12 – АСМ-изображения ОК с добавлением 5 % CaCO_3 (А, Б), 10 % (В, Г), 20 % (Д, Е) 30 % (Ж, З). Шкала – 5 мкм (А, В, Д, Ж); 1 мкм – (Б, Г, Е, З).

В то же время увеличение дозировки до 10 % CaCO_3 уменьшило образование кристаллизованных образований, более равномерному распределению минеральных веществ на поверхности субстрата. Увеличение концентрации CaCO_3 до 20% приводит к частичному разрушению кристаллов и прилипанию продуктов распада к поверхности субстрата. При 30% CaCO_3 в ОК наблюдается вспучивание и практически полное вкрапление минерального вещества в основу субстрата

Включение сульфатных комплексов кальция в экструдат отрубей (рисунок 13), показало меньшее влияние гидролиза на структуру образцов. АСМ-визуализация субстрата с 5% вводом CaSO_4 выявила генерацию кристаллов на поверхности, аналогичная картина наблюдается и для концентрации 10% (Б, Г), и лишь 20%-й ввод приводил к частичному разрушению кристаллов солей и их агрегацию на поверхности (Д, Е).

Атомно-силовая микроскопия препарата ОК с добавлением CaCO_3 (5 %) + MgCO_3 (5 %), позволила изучить его структуру на микро- и субмикронном уровне. Полученные АСМ-изображения показали, что данный образец оказался сформирован достаточно разреженной массой, среди аморфного вещества которого присутствуют оформленные агрегаты со средним диаметром $2,03 \pm 0,43$ мкм (рисунок 14 А). При этом шероховатость поверхности препарата оказалась равной 47 нм.

Визуализация образцов, содержащих CaSO_4 (5 %) + крахмал (5 %) (рисунок 14 Б) позволила зафиксировать большое количество частиц, плотно агрегированных друг с другом, формирующих сплошной слой на поверхности подложки. При этом величина шероховатости поверхности препарата оказалась равной 62 нм.

Поверхность препарата экструдированных отрубей с добавкой MgSO_4 (5 %) при визуализации характеризовалась развитым рельефом (рисунок 14 В), измеренные значения шероховатости поверхности составили величину 155 нм.

Тот же самый образец, но с большим процентным содержанием минеральной добавки (до 10 %) на АСМ-изображениях также описывался рельефной структурой поверхности (рисунок 14 Г), однако шероховатость поверхности оказалась меньше (111 нм). При этом в структуре образца оказалось возможным детектировать присутствие округлых объектов, в различной степени погруженных в аморфное вещество. Средние продольные значения подобных объектов оказались $0,93 \pm 0,66$ мкм.

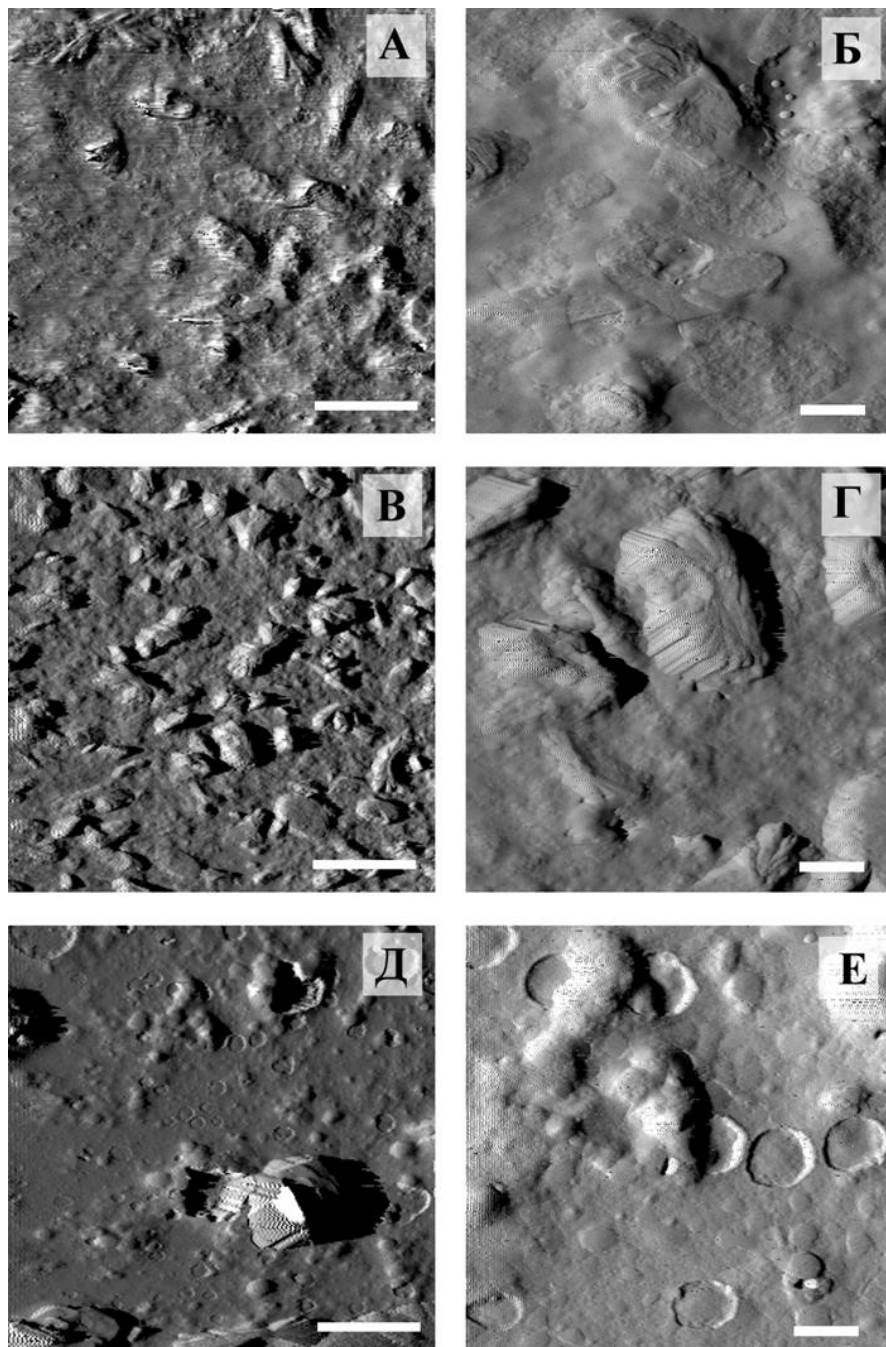


Рисунок 13 – АСМ-изображения ОК с добавлением 5 % CaSO_4 (А, Б), 10 % (В, Г), 20 % (Д, Е). Шкала – 5 мкм (А, В, Д); 1 мкм – (Б, Г, Е).

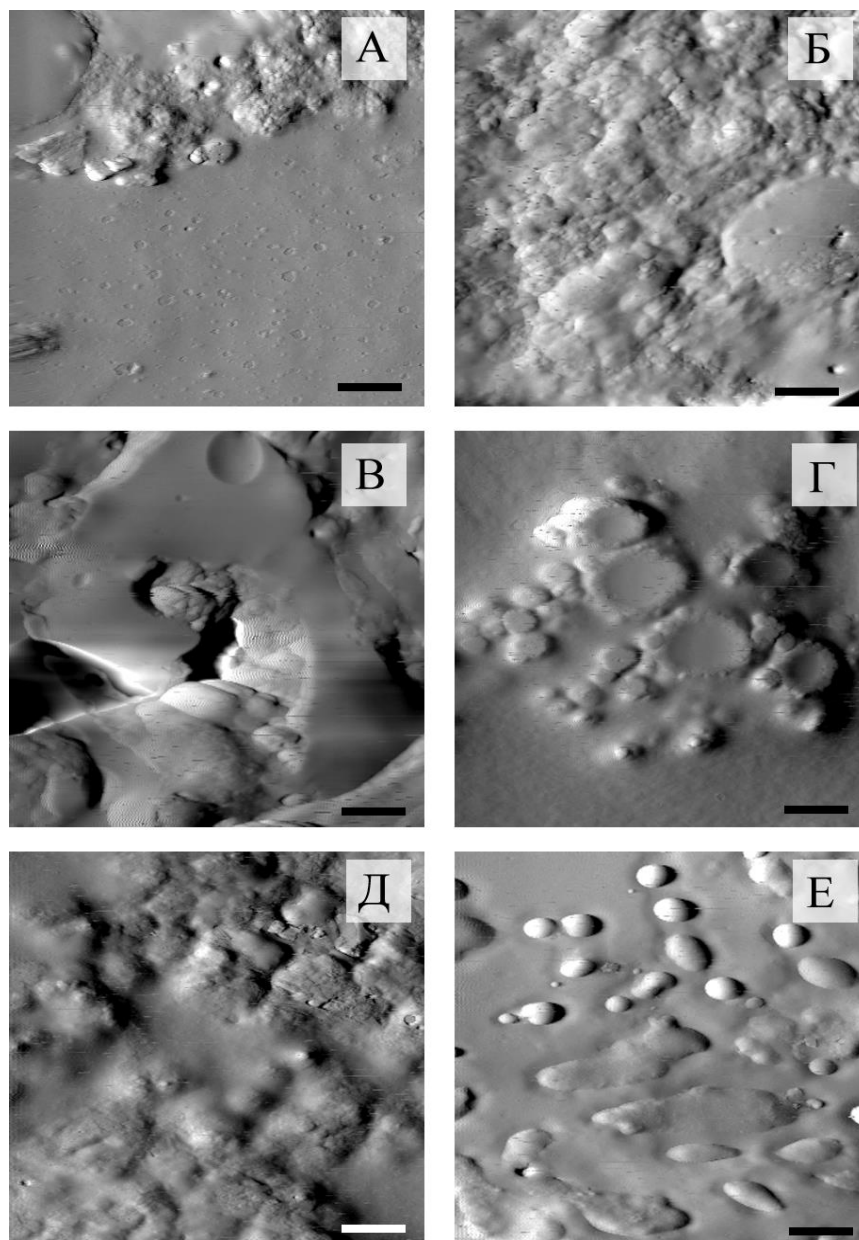


Рисунок 14 – АСМ-изображения образцов экструдированных отрубей с добавлением: CaCO_3 (5 %) + MgCO_3 (5 %) (А), CaSO_4 (5 %) + крахмал (5 %) (Б), MgSO_4 (5 %) (В), то же (10 %) (Г), то же (20 %) (Д), CaCO_3 (5 %) + $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (5 %) (Е). Шкала – 1 мкм.

Увеличение процентного содержания минеральной добавки до 20 % сопровождалось более выраженной агрегацией частиц препарата между собой (рисунок 14 Д), ведущей к снижению шероховатости поверхности образца до 91 нм. На АСМ-изображениях поверхность препарата экструдированных отрубей, содержащих CaCO_3 (5 %) + $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (5 %), была представлена округлыми однородными по морфологии частицами со средним

диаметром $0,37 \pm 0,01$ мкм, погруженными в аморфное вещество (рисунок 14 Е). Шероховатость поверхности при этом оказалась равной 33 нм.

2.2.1.3 Оценка изменений химического состава образцов в процессе экструзии

Значительным изменениям в ходе барогидротермической обработки подвергается углеводная структура сырья. В нашем случае обработка пшеничных отрубей изменила соотношение сахар/крахмал с 0,40 до 0,32, содержание растворимых углеводов увеличилось на 1,1%, а крахмала на 6,9% (таблица 17).

Таблица 17 – Влияние процесса экструзии на изменение химического состава образцов*

Показатель	Вид продукта				Относительное значение, %		Достоверность, p	
	пшеничные отруби		зерно кукурузы		[1]	[2]	отруби	кукуруза
	нативные	экструдированные	нативное	экструдированное				
Массовая доля сахара	$5,8 \pm 0,25$	$6,9 \pm 0,04$	$2,8 \pm 0,07$	$8,9 \pm 0,14$	19	218	**	***
Массовая доля крахмала	$14,4 \pm 0,01$	$21,3 \pm 0,03$	$47,6 \pm 0,65$	$55,1 \pm 0,90$	47,9	15,8	***	**
Массовая доля сухого вещества	$88,81 \pm 1,18$	$90,9 \pm 1,09$	$90,0 \pm 1,13$	$89,92 \pm 1,13$	2,3	-	-	-
Массовая доля сырого протеина	$16,07 \pm 0,74$	$16,47 \pm 0,13$	$8,81 \pm 0,67$	$9,31 \pm 0,09$	2,48	5,67	-	-
Массовая доля сырого жира	$5,50 \pm 0,65$	$2,58 \pm 0,47$	$4,0 \pm 0,57$	$1,0 \pm 0,42$	-53,1	75,0	*	**
Массовая доля сырой клетчатки	$7,7 \pm 1,36$	$2,7 \pm 1,06$	$4,29 \pm 1,13$	$1,67 \pm 1,00$	-64,9	61,1	*	-

*Значения представляют собой средние результаты, полученные в трёх повторностях и выраженные в %.

Относительное значение %: [1]- разница между значениями показателей для нативных и экструдированных отрубей; [2] – разница между значениями показателей для кукурузы и экструдированной кукурузы.

*** $p \leq 0,001$, ** $p \leq 0,01$, * $p \leq 0,05$

При обработке кукурузы количество сахаров достоверно увеличилось в 3,18 раза ($p \leq 0,001$), а содержание крахмала увеличилось на 7,5 % ($p \leq 0,01$)

Изменение в структуре легко и трудногидролизуемых углеводов сопровождалось изменением содержания клетчатки – в пшеничных отрубях на 5%, а в кукурузе на 2,62%

Количество сырого жира уменьшилось в экструдированных образцах пшеничных отрубей более чем в 2 раза ($p \leq 0,05$), а в образцах кукурузы подвергнутых экструзии содержание сырого жира в 4 раза ($p \leq 0,01$).

Содержание сырого протеина в результате процесса экструзии в исследуемых образцах значимо не менялось.

Сравнительный анализ структуры белка двух полисахаридов показал, что пшеничные отруби имеют значительное преимущество перед кукурузой в содержании незаменимых аминокислот ($p \leq 0,01$) (рисунок 15). Лимитирующая аминокислота в кормах - лизин содержится в отрубях в количестве 0,5г/100г продукта против 0,19 в кукурузе, аргинина больше на 0,69г, валина на 0,34г, треонина на 0,3 г и т.д.

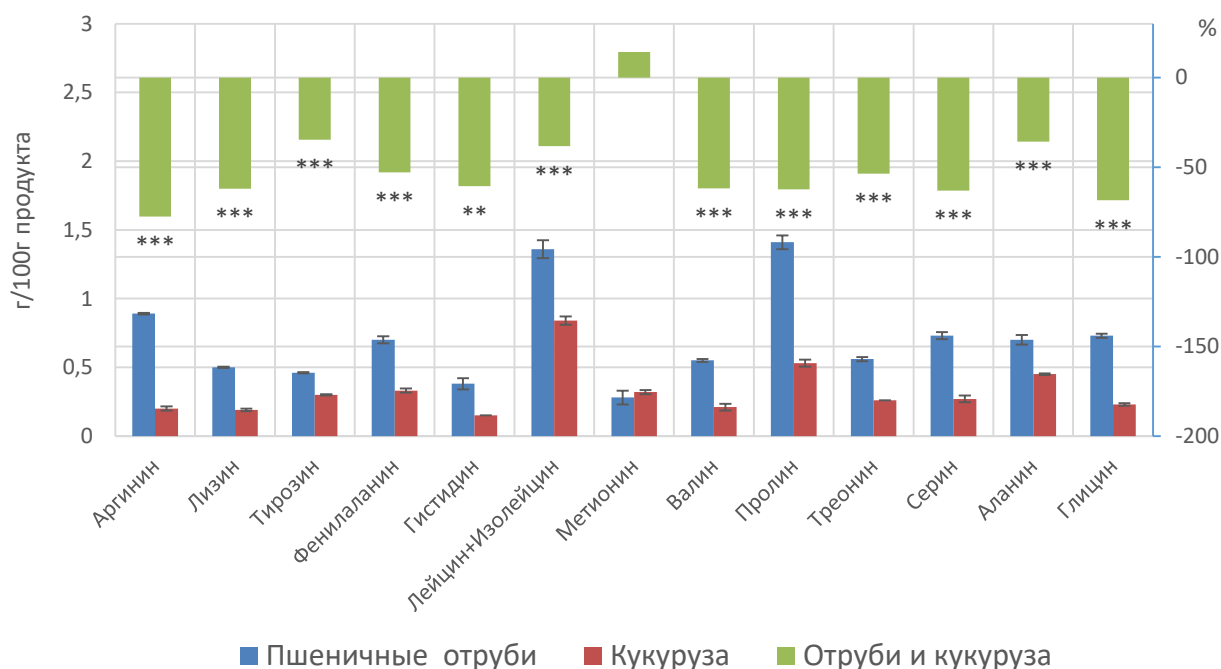


Рисунок 15 – Аминокислотный профиль пшеничных отрубей и кукурузы

Экструзия пшеничных отрубей привела к количественному уменьшению содержания аминокислот.

В частности, содержание треонина снизилось на 10,72 %, пролина на 14,9 %, лизина на 16 %, серина 17,81 %, наибольшие изменения произошли в содержании гистидина на 28,95 %, валина на 20 %, серина на 17,81 %

В то же время увеличение концентрации аминокислот в кукурузе после экструзии составило для аргинина 80%, гистидина 33%, пролина 13%, аланина 11%, концентрация тирозина уменьшилась на 20%. Колебания других аминокислот в экструдате кукурузы не были достоверными (рисунок 16).

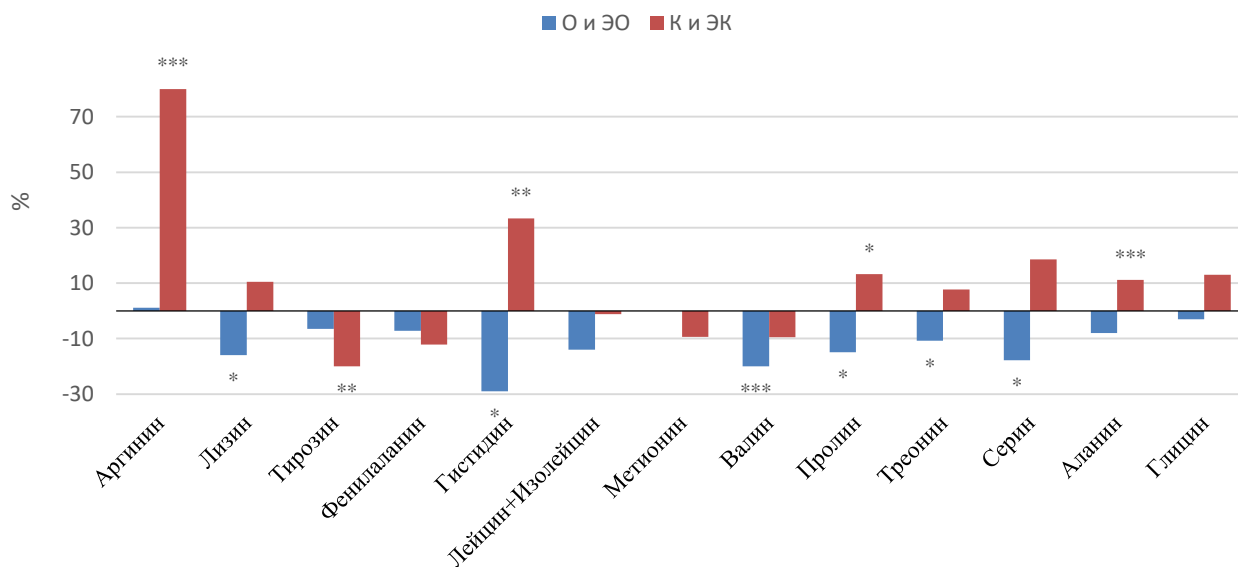


Рисунок 16 – Влияние процесса экструзии на аминокислотный состав отрубей и кукурузы, %

Не смотря на уменьшение содержания некоторых аминокислот пшеничные отруби характеризовались более высоким аминокислотным составом в отличии от кукурузы по всем рассматриваемым аминокислотам, кроме метионина (рисунок 17).

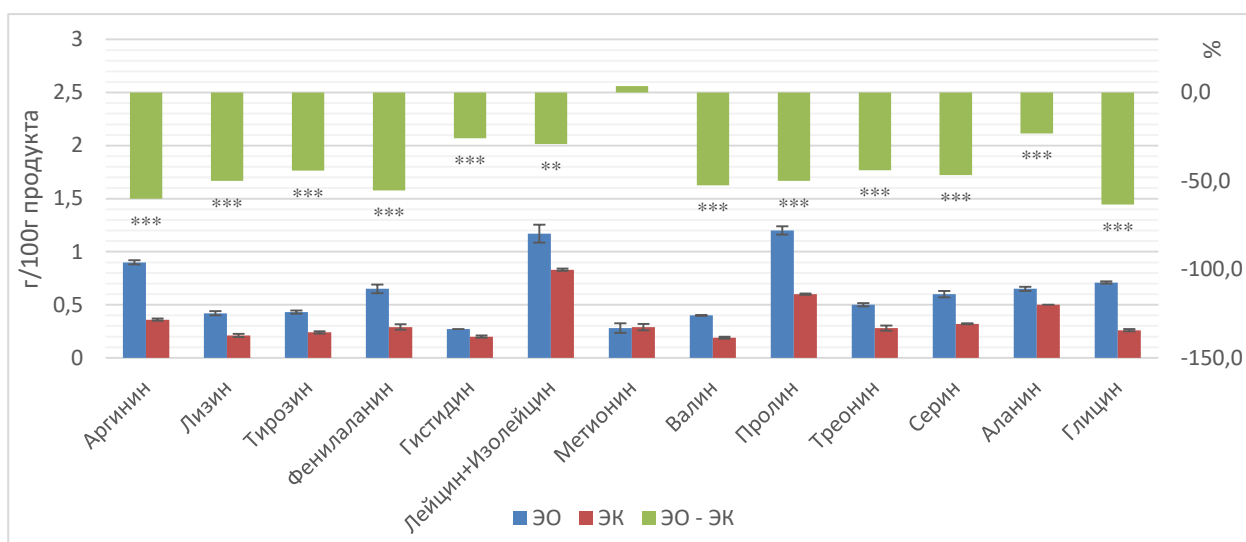


Рисунок 17 – Аминокислотный профиль пшеничных отрубей и кукурузы после экструзии

2.2.1.4 Результаты биологической оценки влияния экструзионной обработки различных кормов на организм цыплят-бройлеров

2.2.1.4.1 Корма и кормление подопытной птицы

Условия содержания всех опытных групп на период эксперимента были идентичными. Кормление бройлеров осуществлялось комбикормами, разработанными по рекомендациям ВНИТИПа (Фисинин В.И. и др., 2009). Стартовый и ростовой комбикорм сформирован на пшенично-кукурузной основе с заменой 10% пшеницы на 10% отрубей, содержание обменной энергии в стартовом рационе 12,26 МДж/кг, в ростовом - 12,73 МДж/кг (таблицы 18, 19).

Таблица 18 – Состав и питательность стартового комбикорма, г/кг

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса Вещества
Состав комбикорма, г:		глицин, %	0,55
пшеница	369,00	изолейцин	0,87
кукуруза	100,00	лейцин, %	1,44
отруби пшеничные	100,00		
шрот соевый	210,00	фенилаланин+тирозин, %	0,83
шрот подсолнечный	75,00	фенилаланин, %	0,50
мука рыбная	48,30	Са, %	1,00
масло подсолнечное	50,00	Р, %	0,71

моноклоргидрат лизина 98 %	2,30	Р усвояемый, %	0,42
DL-метионин 98,5 %L-	1,100,90	Na, %	0,22
треонин 98%	3,60	Витамин А, тыс. МЕ	2,58
соль поваренная	5,00	Витамин D3, тыс. МЕ	0,8
монокальций фосфат	6,00	Витамин Е	9
мел кормовой	9,00	Витамин К3	1,08
известняковая мука	0,10	Витамин В1	0,76
сода пищевая	20,00	Витамин В2	1,6
БМВД ЭРА-2		Витамин В3	3
В комбикорме содержится:	12,26	Витамин В4	60
обменной энергии, МДж	23,32	Витамин В5	9
сырого протеина, %	4,83	Витамин В6	1
сырая клетчатка, %	1,38	Витамин В12	0,008
лизина, %	0,53	Витами Н	0,04
метионина, %	0,87	Fe	17,14
метионина+цистина, %	0,90	Cu	2,42
треонин	0,29	Zn	11,42
триптофана, %	1,40	Mn	22,86
аргинина, %	1,01	Co	0,06
валина, %	0,26	J	0,38
гистидин%			

Таблица 19 – Состав и питательность ростового комбикорма

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса Вещества
Состав комбикорма, г:		треонин усвояемый, %	0,58
пшеница	223	Ca, %	0,80
кукуруза	320	P, %	0,72
отруби пшеничные	100	Na, %	0,24
шрот соевый	145		
шрот подсолнечный	70	Витамин А, тыс. МЕ	2,58
мука рыбная	52,7	Витамин D3, тыс. МЕ	0,80
масло подсолнечное	50	Витамин Е	9,00
моноклоргидрат лизина 98 %	0,1	Витамин К3	1,08
DL-метионин 98,5 %	0,1	Витамин В1	0,76
L-треонин 98%	0,1	Витамин В2	1,60
соль поваренная	3,0	Витамин В3	3,00
монокальций фосфат	7,0	Витамин В4	60,00
мел кормовой	3,0	Витамин В5	9,00
известняковая мука	5,0	Витамин В6	1,00
сода пищевая	1,0	Витамин В12	0,008
БМВД ЭРА-2	20,0	Витами Н	0,04
В комбикорме содержится:		Fe	17,14
обменной энергии, МДж	12,73	Cu	2,42
сырого протеина, %	20,28	Zn	11,42
сырая клетчатка, %	4,35	Mn	22,86
лизина, %	1,04	Co	0,06
метионина, %	0,40	J	0,38
метионина+цистина, %	0,71		
треонин, %	0,73		

Наибольшая поедаемость кормов наблюдалась в группе с включением экструдированных компонентов кормов (рисунок 18).

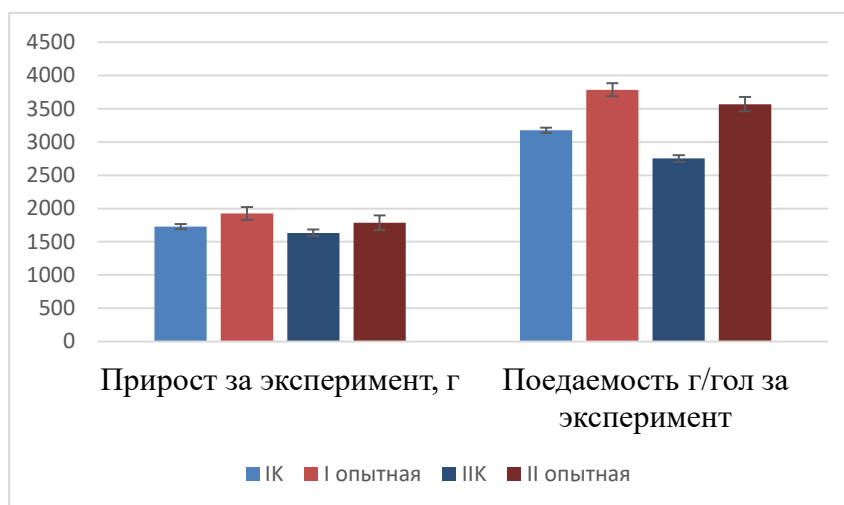


Рисунок 18 – Поедаемость корма и продуктивность подопытной птицы

Наименьшее значение конверсии корма в продукцию – 1,68 зафиксировано в группе, получавшей нативную кукурузу (рисунок 19).

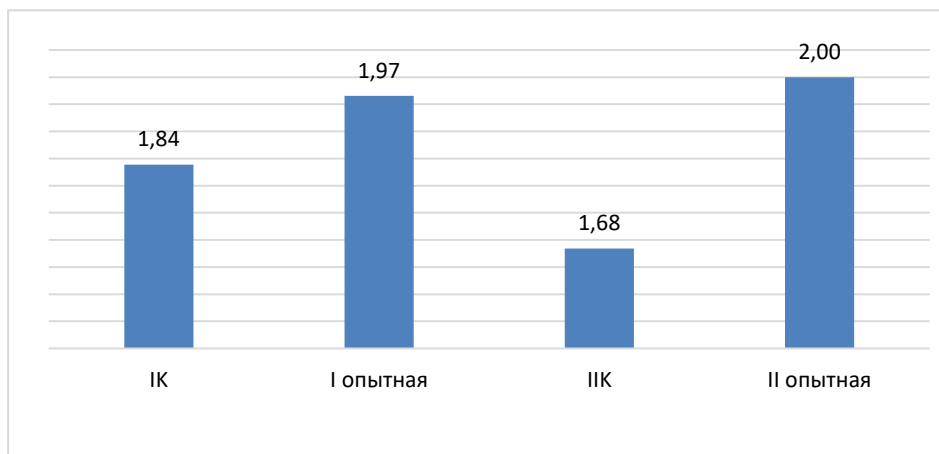


Рисунок 19 – Затраты корма на получение прироста живой массы, кг/кг

2.2.1.4.2 Рост и развитие подопытной птицы

Эффективность включения различных полисахаридов в рацион оценивали по изменению живой массы (таблица 20).

Таблица 20 – Динамика живой массы подопытных цыплят-бройлеров, г

Неделя опыта	Группа			
	I контроль	I опытная	II контроль	II опытная
0	663,2 ±20,28	664,0 ±24,21	664,2 ±30,8	663,4 ±30,1
1	1041,2 ±21,73	1062,8 ±58,73	1101,0 ±31,2	1135,0 ±44,7
2	1582,6 ±49,32	1717,5 ±43,60	1610,2 ±55,9	1770,8 ±63,5
3	2238,6 ±42,56	2412,5 ±82,60	2107,8 ±178,4	2439,3 ±44,1
4	2391,6 ±38,11	2590,0 ±98,0	2298,5 ±50,8	2537,0 ±75,3

Через две недели живая масса цыплят-бройлеров, получавших экструдат кукурузы выросла на 10%, а экструдат отрубей - на 8,5% относительно групп контроля. При этом в конце эксперимента разница в привесе сохранялась в том же диапазоне.

По абсолютному приросту живой массы цыпленка-бройлера I опытной группы опережали контроль на 11,4 %. Аналогичная разница между II контрольной и II опытной группами составила 14,6%.

2.2.1.4.3 Оценка влияния экструзии компонентов кормов на изменение микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров

Введение в рацион нативной и экструдированной кукурузы привело к росту бактерий рода *Bifidobacterium* в кишечнике птицы. В данном случае они визуализировались в виде тонких колоний, «тяжей». Добавление в рацион пшеничных отрубей не способствовало росту данного вида микроорганизмов. Экструзионная обработка пшеничных отрубей увеличивает содержание бактерий рода *Lactobacillus* на 63,47 % ($p \leq 0,05$) относительно необработанных (рисунок 20). В группе, получавшей экструдат кукурузы, напротив, произошло

уменьшение количества бактерий рода *Lactobacillus* на 63,22 % относительно необработанного продукта. При сравнении действия экструдированных продуктов на численность бактерий рода *Lactobacillus* экструдат пшеничных отрубей недостоверно увеличивает количество данных бактерий на 31,0 % относительно экструдата кукурузы.

Обработка исследуемых продуктов способствовала увеличению количества бактерий рода *Enterococcus* (рисунок 20). В группе, получавшей экструдированные отруби их рост выше на 72,37 % ($p \leq 0,001$) относительно нативных отрубей. Экструдирование кукурузы не влияет на численность бактерий рода *Enterococcus* в кишечнике цыплят-бройлеров.

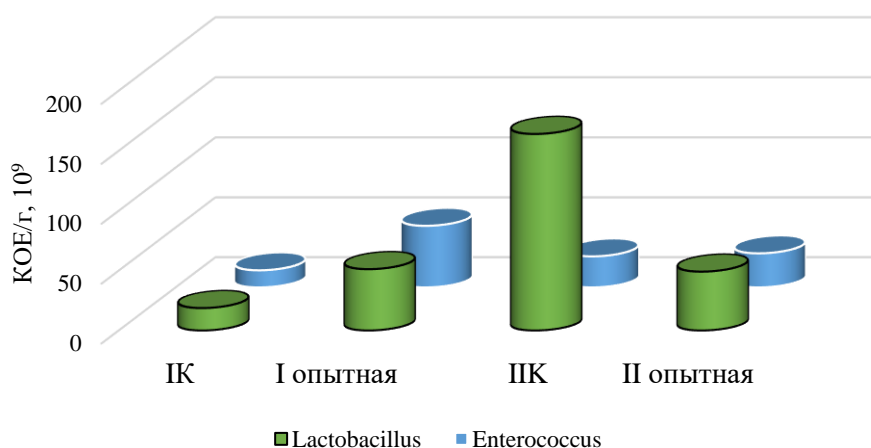


Рисунок 20 – Облигатная микрофлора слепой кишки цыплят-бройлеров

Противоположный эффект оказывает введение необработанных пшеничных отрубей, количество рассматриваемых бактерий снижается на 81,7 % ($p \leq 0,05$) относительно группы, получавшей нативную кукурузу.

Число бактерий рода *Staphylococcus* было на одном уровне во всех исследуемых группах (рисунок 21). Зафиксированы достоверные увеличения количества бактерий во II опытной группе относительно группы II К на 40,4 % ($p \leq 0,05$). В I опытной группе также было отмечено достоверное увеличение по отношению к II К на 33,5 % ($p \leq 0,01$).

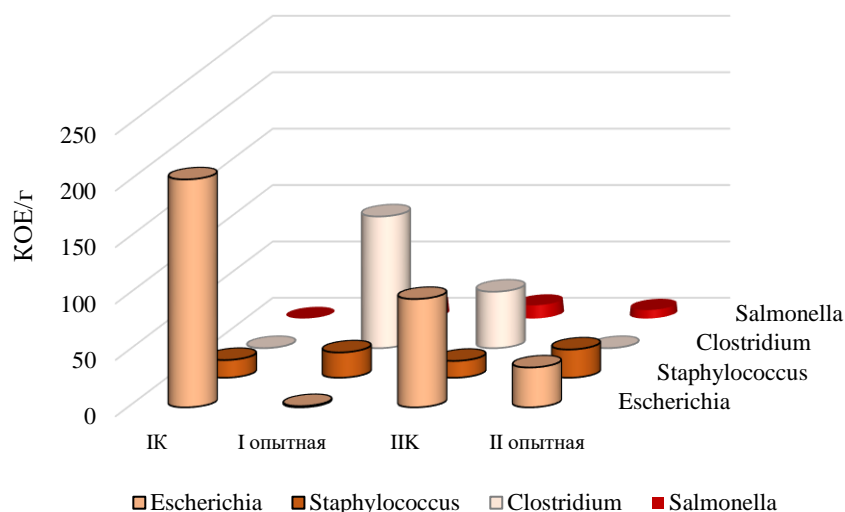


Рисунок 21– Представители условно-патогенной и патогенной микрофлоры слепой кишки цыплят-бройлеров

В I контрольной группе не были обнаружены патогенные бактерии рода *Salmonella*. Включение экструдированных отрубей в рацион вызвало рост патогенов до 11,7 КОЕ/г. Введение экструдированной кукурузы во II опытной группе снижает рост бактерий рода *Salmonella* относительно I опытной группы, получавшей экструдированные отруби на 37,60 % ($p \leq 0,001$).

Вид *Clostridium perfringens* не был обнаружен в I контрольной и II опытной группах. Так же, как и в случае с бактериями рода *Salmonella*, зафиксирован рост при введении в рацион нативной кукурузы ($p \leq 0,01$). Наибольший рост обнаружен при включении экстрадата отрубей до 116,7 КОЕ/г.

Максимальный рост бактерий рода *Escherichia* наблюдался в группах, получавших не обработанный продукт. Включение экструдированных отрубей способствует снижению количества бактерий по отношению к I контрольной группе на 99,50 % ($p \leq 0,01$). Ни в одной из групп в кишечнике не были обнаружены бактерии рода *Proteus* и *Shigella*.

2.2.1.4.4 Оценка влияния экструзии компонентов кормов на изменение таксономического состава слепой кишки цыплят-бройлеров

Получено, что использование компонентов углеводной природы, имеющих разные физико-химические свойства в рационе цыплят-бройлеров приводит к формированию схожего таксономического состава микробиома слепой кишки, в котором отмечалось присутствие ряда типичных представителей (рисунок 22).

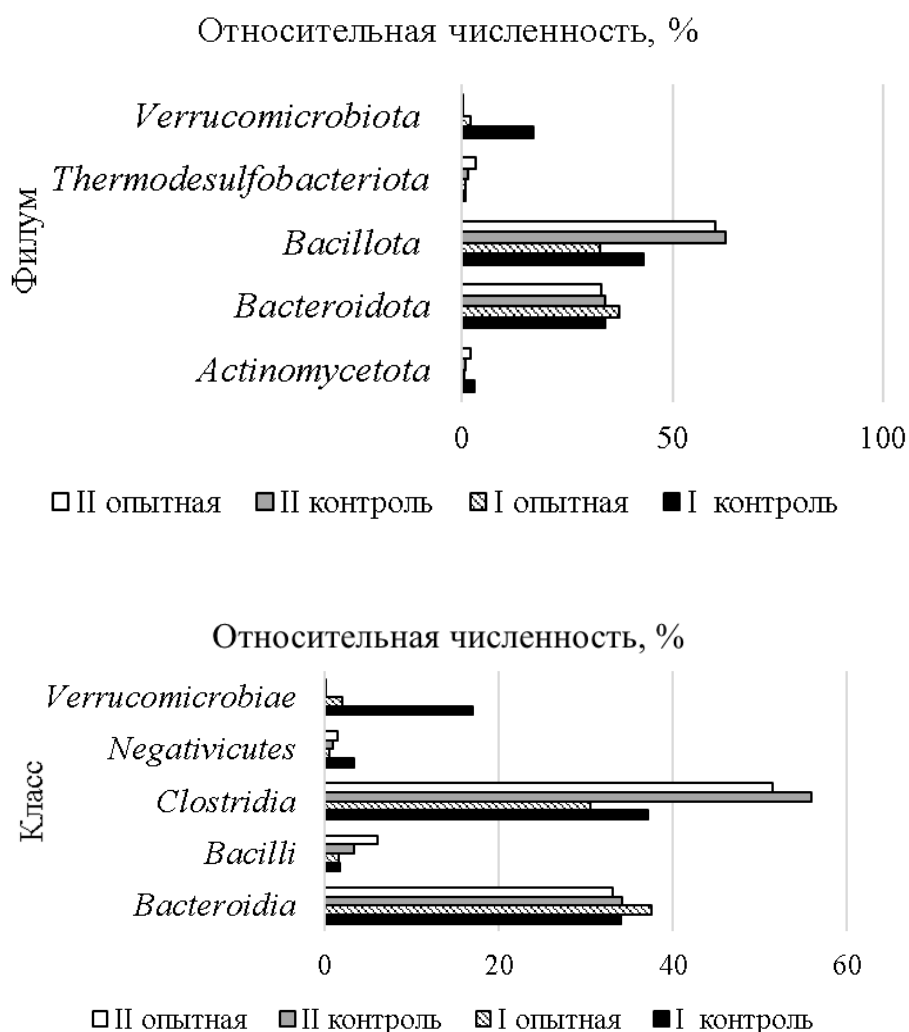


Рисунок 22 – Основные таксономические группы бактерий (на уровне филумов и классов) микробиома слепой кишки цыплят-бройлеров опытных групп

В то же время, в микробиоме цыплят-бройлеров, получавших кукурузу или пшеничные отруби, был отмечен ряд особенностей, связанный с количественным соотношением некоторых таксонов (рисунок 23).

Присутствие бактерий *p. Akkermansia* в количестве 16% было характерно для микробиома слепой кишки в группе, получавшей нативные отруби (рисунок 24).

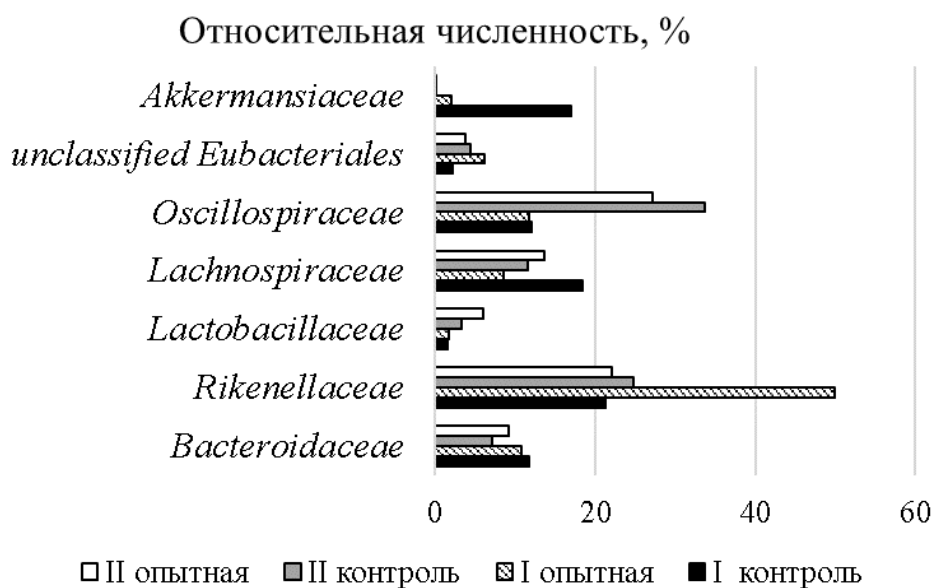


Рисунок 23 – Основные таксономические группы (на уровне семейства) бактерий микробиома слепой кишки цыплят-бройлеров опытных групп

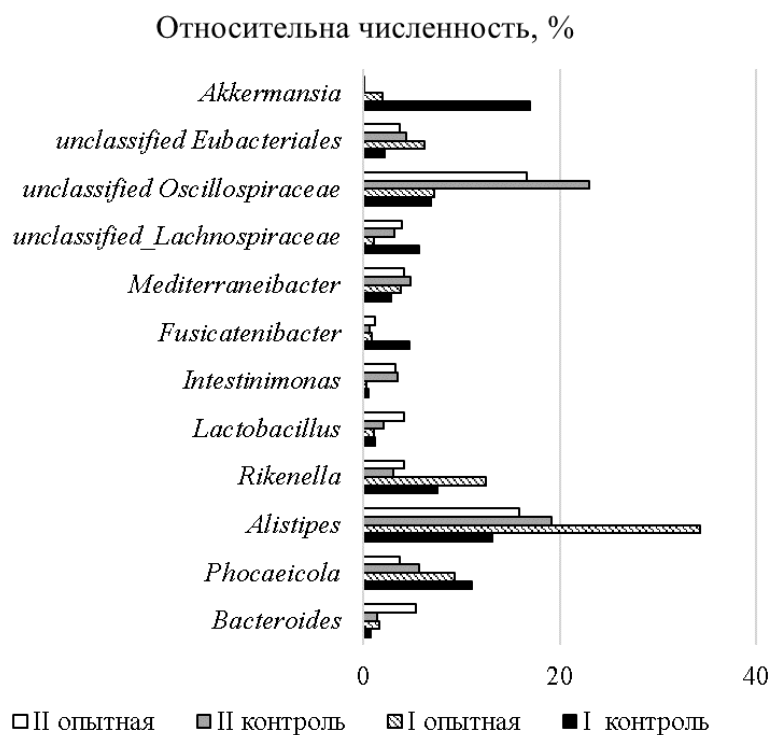


Рисунок 24 – Основные таксономические группы (на уровне рода) бактерий микробиома слепой кишки цыплят-бройлеров опытных групп

Снижение численности бактерий *p. Akkermansia* в слепой кишке цыплят-бройлеров связано с изменением химического состава отрубей подвергшихся предварительной обработке. В нашем исследовании, более низкое количество бактерий *p. Akkermansia* в микробиоме слепой кишки коррелирует с более высокими показателями прироста живой массы цыплят.

Обработка пшеничных отрубей способствовала росту бактерий семейства *Rikenellaceae* (*p. Alistipes*), метаболитами которых является ряд летучих жирных кислот таких как ацетат, пропионат, сукцинат, способствующих ингибированию воспалительных процессов и участвующих в липидном обмене печени.

Высокая массовая доля крахмала в рационах с включением кукурузы способствовала росту целлюлозолитических бактерий семейства *Oscillospiraceae*, относительно групп, получавших рационы с отрубями.

Сравнение индексов альфа-разнообразия микробиоты кишечника цыплят-бройлеров опытных групп не показало значительных отличий. Однако при применении кукурузы (как с экструзией, так и без) в рационе характеризовалось более высокими значениями индекса Chao1 микробиоты кишечника, чем при использовании пшеничных отрубей (как с экструзией, так и без), что может свидетельствовать о большем количестве таксонов на уровне рода в микробиоте слепой кишки (таблица 21).

Таблица 21 – Индексы альфа-разнообразия микробиоты слепой кишки цыплят-бройлеров

Показатель	Группа				P-value
	I контроль	I опытная	II контроль	II опытная	
Chao1	216,5±1,2	210,5±0,14	317±11	297,5±4,5	0,03
ACE	223,7±13,6	219,7±2,49	325,6±10,9	306±4,54	0,19
Fisher's alpha	33,8±1,05	32,4±0,35	51,2±1,23	48,7±0,14	0,16
simpson	0,89±0,03	0,85±0,06	0,97±0,001	0,97±0,005	0,28
shannon	3,4±0,12	3,4±0,49	4,37±0,06	4,3±0,07	0,13

Оценка бета-разнообразия показала наличие значимого различия между микробиомами слепой кишки цыплят-бройлеров контрольной и первой опытных групп (рисунок 25).

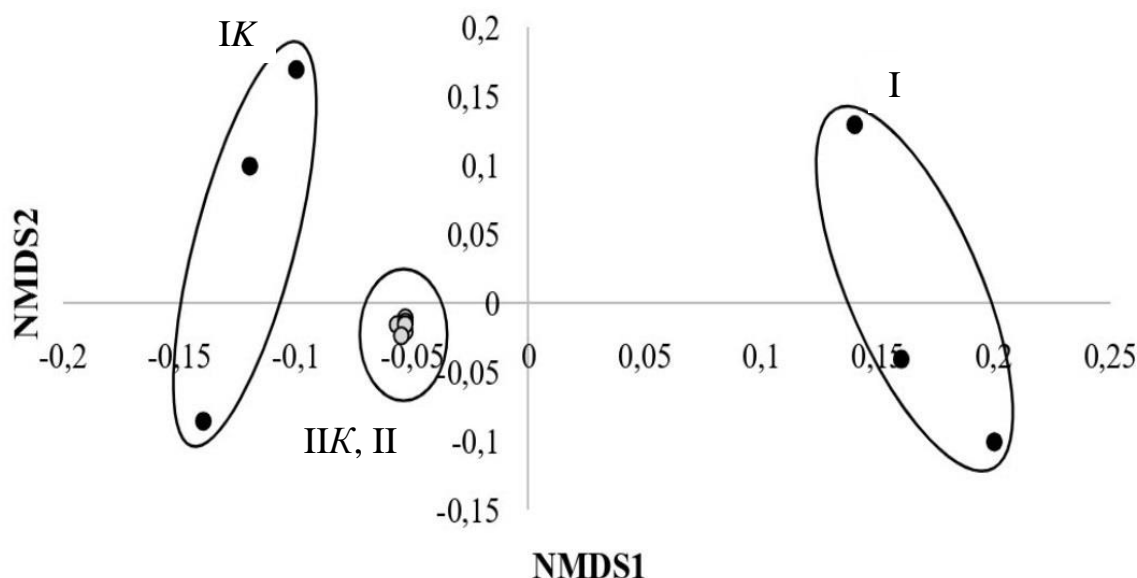


Рисунок 25 – Бета-разнообразие микробиоты слепого отростка кишечника цыплят-бройлеров контрольной и опытных групп с использованием статистического метода PERMANOVA, не метрического многомерного масштабирования и несходства Брея-Кертиса

2.2.1.4.5 Оценка влияния экструзии компонентов кормов на изменение химического состава мышечной ткани и развитие органов пищеварения

Использование в рационах кукурузы в нативном и экструдированном виде повышает содержание жира в организме цыплят на 21,45% ($p \leq 0,001$) и 10,6% ($p \leq 0,05$) относительно контрольной группы, соответственно (таблица 22).

Процесс экструзии снижает отложение жира в мышечной ткани в группе, получавшей экструдированные отруби на 10,3% ($p \leq 0,001$), а в группе, получавшей экструдированную кукурузу на 8,9% ($p \leq 0,05$).

Таблица 22 – Масса и химический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров, г

Показатель	группа			
	I контроль	I опытная	II контроль	II опытная
Сухое вещество	340,7 ±7,04	342,1 ±2,28	322,3 ±4,63	339,1 ±12,38
Белок	234,6 ±4,85	236,6 ±1,58	215,3 ±3,09 ^{2,6}	235,2 ±8,59
Жир	79,7 ±1,65	71,5 ±0,48 ³	96,8 ±1,39 ^{3,6}	88,2 ±3,22 ^{1,6,7}
Зола	11,5 ±0,24	12,8 ±0,09 ³	10,3 ±0,15 ^{2,6}	11,7 ±0,43 ^{1,7}
Масса мышц	1227 ±25,33	1349 ±8,98 ²	1129 ±16,23 ^{1,6}	1260 ±46,00 ⁷

1 - $p \leq 0,05$, 2 - $p \leq 0,01$, 3 - $p \leq 0,001$, при сравнении с I контрольной группой;

4 - $p \leq 0,05$ 5 - $p \leq 0,01$, 6 - $p \leq 0,001$, при сравнении с I опытной группой;

7 - $p \leq 0,05$, 8- $p \leq 0,01$, 9 - $p \leq 0,001$, при сравнении с II контрольной группой.

Введение нативных отрубей в рацион цыплят-бройлеров повышает содержание белка в мышцах на 9% ($p \leq 0,01$) относительно группы получавшей нативную кукурузу. В данном случае введение экструдированных продуктов положительно сказывалось на отложении белка в мышцах.

Выход мышечной ткани в группах, получавших экструдированные добавки увеличивался. Так включение экструдата отрубей повышало массу на 122,5 г ($p \leq 0,01$) относительно группы с нативными отрубями, и на 220 г ($p \leq 0,001$) относительно II контрольной группы. В целом масса мышечной ткани увеличивалась при включении в рацион экструдатов.

Содержание аминокислот в мышцах цыплят-бройлеров в группе, получавшей экструдированные отруби менялось незначительно (таблица 23).

Таблица 23 – Содержание аминокислот в мышцах цыплят-бройлеров, %

Показатель	группа			
	I контроль	I опытная	II контроль	II опытная
Аргинин	3,72±0,22	3,23±0,07	3,91±0,035	4,73±0,095 ^{6,9}
Лизин	4,64±0,04	4,48±0,03 ²	4,11±0,050 ³	5,31±0,010 ^{6,9}
Тирозин	2,94±0,06	2,96±0,07	2,12±0,080 ³	2,09±0,140 ⁶
Фенилаланин	2,31±0,01	2,29±0,01	3,14±0,025 ³	2,16±0,045 ^{4,9}
Гистидин	1,36±0,08	1,35±0,03	1,68±0,050 ²	1,70±0,050 ⁶
Лейцин+Изолейцин	6,11±0,05	6,05±0,04	6,33±0,070 ¹	7,77±0,405 ^{5,8}
Метионин	1,64±0,04	1,76±0,05	1,57±0,110	1,70±0,160
Валин	1,47±0,03	1,50±0,01	1,80±0,050 ³	3,53±0,195 ^{6,9}
Пролин	2,35±0,03	2,23±0,005 ²	2,66±0,060 ²	2,44±0,140
Треонин	2,60±0,06	2,50±0,02	2,63±0,085	2,95±0,150 ⁴
Серин	1,96±0,04	1,90±0,01	2,44±0,090 ³	2,18±0,050 ^{6,7}
Аланин	4,53±0,05	4,38±0,03 ¹	4,30±0,045 ²	4,45±0,050 ⁷
Глицин	3,11±0,01	2,88±0,05 ²	3,03±0,010 ³	3,15±0,215

1 - $p \leq 0,05$, 2 - $p \leq 0,01$, 3 - $p \leq 0,001$, при сравнении с I контрольной группой;

4 - $p \leq 0,05$ 5 - $p \leq 0,01$, 6 - $p \leq 0,001$, при сравнении с I опытной группой;

7 - $p \leq 0,05$, 8- $p \leq 0,01$, 9 - $p \leq 0,001$, при сравнении со II контрольной группой.

Среди незаменимых аминокислот отмечено достоверное снижение лизина на 3,4% ($p \leq 0,01$). Среди заменимых аминокислот наибольшие изменения произошли в содержании глицина - снижение на 7,39% ($p \leq 0,01$), концентрация пролина уменьшилась на 5,1 % ($p \leq 0,01$), аланина на 3,3% ($p \leq 0,05$).

Введение в рацион экструдированной кукурузы повлияло на содержание некоторых незаменимых аминокислот. Так содержание аргинина, лизина, лейцина-изолейцина и валина увеличилось на 20,99% ($p \leq 0,001$), 29,2% ($p \leq 0,001$), 22,67% ($p \leq 0,01$) и 95,83% ($p \leq 0,001$) соответственно, а концентрация фенилаланина снизилась на 31,26%. По заменимым аминокислотам значимые результаты проявились по серину – снижение на 10,66% ($p \leq 0,05$) и аланину - увеличение концентрации в мышцах на 3,6% ($p \leq 0,05$).

Сравнительная оценка действия рационов с включением экструдированной кукурузы и отрубей показала, что концентрация тирозина уменьшилась на 29,27% ($p \leq 0,001$), фениланина на 5,9 ($p \leq 0,05$) по сравнению с группой, получавшей экструдированные отруби.

Количество незаменимых аминокислот было наибольшим в мясе птицы получавшей экструдированную кукурузу - 29,8 г/100г мяса, в группах, получавших отруби и экструдированные отруби значение колебалось от 23,85 в группе, получавшей нативные отруби до 23,15 в группе, получавшей экструдированные отруби.

Замена 10% зерновой части рациона на экструдат отрубей и кукурузы значительно повлияла и на жирно кислотный состав мышечной ткани (таблица 24).

Таблица 24 – Содержание жирных кислот в мышечной ткани, г/100 г

Показатель	группа			
	I контроль	I опытная	II контроль	II опытная
C16:0 пальмитиновая	7,545±0,357	4,838±0,131 ³	4,379±0,055 ³	7,183±0,669 ^{9,5}
C16:1 пальмитолеиновая	0,632±0,030	0,461±0,012 ³	0,628±0,008	0,712±0,066 ⁵
C18:0 стеариновая	2,972±0,141	2,198±0,060 ³	1,619±0,020 ³	2,691±0,251 ⁹
C18:1 олеиновая	7,608±0,360	5,848±0,159 ³	7,205±0,090	8,717±0,812 ⁵
C18:2 линолевая	2,213±0,105	4,271±0,116 ³	2,528±0,032 ¹	2,824±0,263 ⁶
C18:3 линоленовая	0,253±0,012	0,106±0,003 ³	0,107±0,034 ²	0,111±0,010 ⁷

1 - $p \leq 0,05$, 2 - $p \leq 0,01$, 3 - $p \leq 0,001$, при сравнении с I контрольной группой;

4 - $p \leq 0,05$ 5 - $p \leq 0,01$, 6 - $p \leq 0,001$, при сравнении с I опытной группой;

7 - $p \leq 0,05$, 8- $p \leq 0,01$, 9 - $p \leq 0,001$, при сравнении с II контрольной группой.

Снижение содержания сырого жира в мышцах опытных групп, получавших экструдаты, сопровождалось достоверным снижением содержания в мышечной ткани насыщенных жирных кислот в частности пальмитиновой кислоты на - 35,9% ($p \leq 0,001$), стеариновой - на 26% ($p \leq 0,001$). Изменилась структура мононенасыщенных жирных кислот - олеиновая снижалась на 23% ($p \leq 0,001$), пальмитолеиновая - на 27,1% ($p \leq 0,001$). Неоднозначное действие экструзия отрубей оказала на незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты линолевая кислота в мышцах увеличилась на 93% ($p \leq 0,001$), а линоленовая снизилась на 57% ($p \leq 0,001$).

Включение в рацион бройлеров экструдированной кукурузы изменило распределение жирнокислотного профиля в мышечной ткани относительно нативной. Содержание пальмитиновой кислоты увеличилось на 64,0% ($p \leq 0,001$), стеариновой на 66,2% ($p \leq 0,001$), олеиновой на 21,0%, пальмитолеиновой на 13,3%. Концентрация незаменимых полиненасыщенных жирных кислот, а именно линолевой и линоленовой увеличилась незначительно на 11,7 и 3,9% ($p \leq 0,05$) соответственно.

При сравнении групп, получающих экструдированные добавки пальмитиновая, пальмитолеиновая и олеиновая кислоты были выше в группе, получавшей экструдат кукурузы на 48 ($p \leq 0,01$), 54 ($p \leq 0,01$) и 49% ($p \leq 0,01$) соответственно, относительно I опытной группы. В целом количество насыщенных жирных кислот было выше в группе, получавшей экструдированную кукурузу.

Введение экструдата в рацион птицы I опытной группы сопровождалось снижением отложения жира в теле, а также, изменением его жирнокислотного состава в сторону уменьшения насыщенных жирных кислот на 10,2%, в частности пальмитиновой. Таким образом мы получаем диетический продукт с максимальным содержанием ненасыщенных жирных кислот 60,3% в I опытной группе. Введение экструдата кукурузы приводит к увеличению насыщенных жирных кислот на 8,1% и снижению ненасыщенных на 7,2% (таблица 25).

Таблица 25 – Изменение соотношения содержания жирных кислот

Показатель	группа			
	I контроль	I опытная	II контроль	II опытная
Σ насыщенных жирных кислот, % от суммы ЖК	49,9	39,7	36,3	44,4
Σ ненасыщенных жирных кислот, % от суммы ЖК	50,8	60,3	62,8	55,6
Коэффициент ненасыщенности	1,0	1,5	1,7	1,3

Отсюда коэффициент ненасыщенности был оптимальным для мяса птицы при включении в рацион экструдированных отрубей – 1,5 и нативной кукурузы – 1,7.

Оценка развития органов пищеварения цыплят-бройлеров показала, что включение в рационы веществ с большим содержанием клетчатки в наших исследованиях увеличивает массу желудка у бройлеров на 6,6% ($P \leq 0,001$) при включении отрубей, и на 18% ($p \leq 0,05$) при включении кукурузы (таблица 26).

Таблица 26 – Масса органов желудочно-кишечного тракта подопытной птицы, г/кг живой массы

Орган	Группа			
	I контроль	I опытная	II контроль	II опытная
Мышечный желудок	13,11 $\pm 0,155$	12,25 $\pm 0,062^{aaa}$	16,39 $\pm 0,228^{aaa}$	13,43 $\pm 1,119^c$
Железистый желудок	3,40 $\pm 0,607$	4,17 $\pm 0,310$	3,84 $\pm 0,388$	3,65 $\pm 0,326$
Кишечник	37,24 $\pm 0,412$	35,24 $\pm 0,975$	38,29 $\pm 0,820$	29,82 $\pm 1,829^{bcc}$

Примечание: а - $p \leq 0,05$, ааа - $p \leq 0,001$, при сравнении с I контрольной группой;
 б - $p \leq 0,05$ при сравнении с I опытной группой;
 с - $p \leq 0,05$, сс- $p \leq 0,01$ при сравнении с II контрольной группой.

Экструзия способствует снижению массы мышечного желудка и кишечника, в связи с уменьшением количества неперевариваемой клетчатки и изменением углеводной структуры корма в процессе обработки.

2.2.2 Влияние экструдатов на основе пшеничных отрубей с различной концентрацией карбоната кальция на обмен веществ и продуктивность цыплят бройлеров

2.2.2.1 Корма и кормление подопытной птицы

В ходе выполнения исследований кормление подопытной птицы осуществлялось полнорационными комбикормами с питательностью 23,32-24,07 (таблица 27, 28).

Отруби основного рациона заменялись на экструдированные и экструдат с карбонатом кальция. При этом количество кальция во всех группах было одинаковым. За период эксперимента потери поголовья не зафиксировано.

Таблица 27 – Состав и питательность стартового комбикорма, г/кг

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса вещества
Состав рациона:		метионина, %	0,53
пшеница	369,00	триптофана, %	0,29
кукуруза	100,00	Ca, %	1,00
отруби пшеничные	100,00	P, %	0,71
шрот соевый	210,00	Na, %	0,22
шрот подсолнечный	75,00		
мука рыбная	48,30	Витамин А, тыс. МЕ	2,58
масло подсолнечное	50,00	Витамин D3, тыс. МЕ	0,8
моноклоргидрат лизина 98 %	2,30	Витамин Е	9
DL-метионин 98,5 %	1,10	Витамин К3	1,08
L-треонин 98%	0,90	Витамин В1	0,76
соль поваренная	3,60	Витамин В2	1,6
монокальций фосфат	5,00	Витамин В3	3
мел кормовой	6,00	Витамин В4	60
известняковая мука	9,00	Витамин В5	9
сода пищевая	0,10	Витамин В6	1
БМВД ЭРА-2	20,00	Витамин В12	0,008
В комбикорме содержится:		Витами Н	0,04
обменной энергии, МДж	12,26	Fe	17,14
сырого протеина, %	23,32	Cu	2,42
сырая клетчатка, %	4,83	Zn	11,42
лизина, %	1,38	Mn	22,86

Наибольшее потребление корма за период эксперимента наблюдалось в I опытной группе, получавшей экструдированные отруби, которая превысила по данному показателю контроль на 19,1% (таблица 29). При этом введение кальция с экструдатом также способствовало увеличению поедаемости относительно контроля в диапазоне от 2,96% в III опытной группе до 7,02% в IV группе.

Таблица 28 – Состав и питательность ростового комбикорма

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса вещества
Состав рациона:		метионина, %	0,40
пшеница	223	триптофана, %	0,25
кукуруза	320	Ca, %	0,8
отруби пшеничные	100	P, %	0,72
отруби экструдированные	-	Na, %	0,24
шрот соевый	145	Витамин А, тыс. МЕ	2,58
шрот подсолнечный	70	Витамин D3, тыс. МЕ	0,80
мука рыбная	52,7	Витамин Е	9,00
масло подсолнечное	50	Витамин К3	1,08
моноклоргидрат лизина 98 %	0,1	Витамин В1	0,76
DL-метионин 98,5 %	0,1	Витамин В2	1,60
L-треонин 98%	0,1		
соль поваренная	3,0	Витамин В3	3,00
монокальций фосфат	7,0	Витамин В4	60,00
мел кормовой	3,0	Витамин В5	9,00
известняковая мука	5,0	Витамин В6	1,00
сода пищевая	1,0	Витамин В12	0,008
БМВД ЭРА-2	20,0	Витами Н	0,04
В комбикорме содержится:		Fe	17,14
обменной энергии, МДж	12,73	Cu	2,42
сырого протеина, %	20,28	Zn	11,42
сырая клетчатка, %	4,35	Mn	22,86
лизина, %	1,04	Co	0,06
		J	0,38

Таблица 29 – Потребление кормов с учетом дифференцированного кормления, г/гол

Показатель	Группа					
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
Стартовый комбикорм	1353,4	1320,4	1440,2	1424,0	1478,4	1433,4
Ростовой комбикорм	1824,4	2465	1958,2	1848,0	1922,6	1851,8
Всего за эксперимент	3177,8	3785,4	3398,4	3272,0	3401,0	3285,2

Период введения стартового рациона характеризовался увеличением потребления кормов относительно контроля в группах, получавших карбонат кальция в составе экструдата. Однако в следующем периоде кормления птица

I опытной группы опережала контрольную группу по поедаемости на 35,1%, группы, получавшие экструдат с кальцием, так же характеризовались сходным или более высоким чем в контроле потреблением кормов.

2.2.2.2 Рост и развитие подопытной птицы

Динамика живой массы в опытных группах не имела значимых различий с контрольной группой (таблица 30).

Таблица 30 – Динамика живой массы подопытных цыплят-бройлеров, г/гол

Неделя опыта	Группа					
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
0	663,2 ±20,28	664,0 ±24,21	662,8 ±23,83	663,0 ±37,37	663,6 ±29,58	663,0 ±30,97
1	1041,2 ±21,73	1062,8 ±58,73	1087,0 ±44,53	1079,0 ±56,11	1066,4 ±48,61	1064,0 ±26,88
2	1582,6 ±49,32	1717,5 ±43,60	1681,2 ±79,57	1671,4 ±98,74	1634,6 ±76,40	1637,4 ±47,65
3	2238,6 ±42,56	2412,5 ±82,60	2373,6 ±120,0	2305,0 ±120,3	2321,4 ±140,25	2222,8 ±97,68
4	2391,6 ±38,11	2590,0 ±98,0	2539,6 ±129,2	2450,4 ±121,9	2468,8 ±133,33	2378,40 ±95,93

Так, в частности введение в рацион экструдированных отрубей сопровождалось повышением интенсивности роста опытной птицы во всех группах. Наибольшая живая масса на конец эксперимента – 2590,0 г зафиксирована в I опытной группе, в которой абсолютный прирост за эксперимент составил $1\,926,00 \pm 97,99$ г/гол, что на 11,5% превышало уровень контроля и на 2,6; 7,8; 6,7 и 12,3% аналогичный показатель во II, III, IV и V опытных группах, соответственно.

2.2.2.3 Морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров

Результаты эксперимента по оценке влияния экструзии пшеничных отрубей и различных дозировок карбоната кальция (диапазон 10-25%) на физиологическое состояние цыплят-бройлеров показали изменения морфологических (таблица 31) и биохимических показателей крови (таблица 32).

Гематологический статус, как показатель общеклинического состояния организма цыплят-бройлеров оценивался по результатам общего анализа крови. Анализ данных показал, что все гематологические показатели у цыплят-бройлеров всех групп находились в пределах допустимых физиологических норм. Тем не менее при изучении морфо-биохимических свойств крови, нужно оценивать и наметившиеся тенденции, а также небольшие сдвиги, в пределах нормы.

В опытных группах отмечено достоверное увеличение содержания эритроцитов в крови цыплят-бройлеров. Так, замена в рационе нативных отрубей на экструдированные, способствовала увеличению эритроцитов в крови I опытной группы на 20,6 % ($p \leq 0,01$) относительно контроля.

Уровень лейкоцитов в крови I, II и III групп снижается на 37,2 % ($p \leq 0,01$), 4,4% и 17,6 % относительно контроля. Однако, данный показатель в IV и V группах достоверно повысился на 76,8 % ($p \leq 0,01$) и 61,4 % ($p \leq 0,01$) при сравнении с показателями I группой.

Гемоглобин в крови цыплят II и IV групп повышается на 4,5 % ($p \leq 0,05$) и 3,8 % ($p \leq 0,05$) при сравнении с контролем.

Гематокрит в опытных и контрольных группах не различался. Однако, данный показатель в I группе достоверно ниже контроля на 16,8 % ($p < 0,05$).

В опытных группах наблюдается тенденция к повышению моноцитов в крови. Так, данный показатель достоверно повышается при внесении в рацион

25% карбоната кальция (V группа) на 35,4 % ($p<0,05$) в сравнении с контролем, и на 25,4 % ($p<0,05$) в сравнении с I опытной группой.

Тромбоциты в крови цыплят II и IV групп достоверно ниже контроля на 25,7 % ($p<0,05$) и 21,7 % ($p<0,05$).

Таблица 31 – Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров кросса Арбор-Айкрес в возрасте 42 дня

Показатель	Группа					
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
лимфоциты, %	54,5 ±2,17	57,1 ±2,88	56,7 ±3,44	53,3 ±1,75	52,1± 1,82	48,4 ±1,85
моноциты, %	7,17 ±0,13	7,73 ±0,37	7,90 ±0,35	7,70 ±0,29	7,83 ±0,75	9,7 ±0,56 ^{ab}
гранулоциты, %	38,4 ±0,33	35,1 ±2,51	35,4 ±3,29	39,0 ±1,48	40,1 ±1,10	41,0 ±1,50
эритроциты, 10 ¹² /л	3,05 ±0,01	3,68 ±0,12 ^{aa}	3,36 ±0,25	3,24 ±0,24	3,32 ±0,22	3,60 ±0,28
гемоглобин, г/л	119,3 ±3,18	101,0 ±7,02	103,3 ±7,80	113,7 ±6,98	120 ±7,77	116,3 ±5,21
гематокрит, %	21,9 ±0,17	18,2 ±1,10 ^a	20,3 ±0,86	20,8 ±1,21	22,2 ±1,42	21,4 ±0,43
объем эритроцитов, fL	106,9 ±1,22	109,1 ±1,56	108,9 ±1,74	109,2 ±1,25	111,8 ±1,67	111,0 ±1,97
клеточный гемоглобин, г/л	545,3 ±6,17	554,0 ±6,00	560,7 ±7,31	545,7 ±2,67	541,0 ±5,86	544,0 ±5,03
точн.распред. эритроцитов, %	11,0 ±0,23	10,8 ±0,120	11,1 ±0,58	11,1 ±0,32	11,1 ±0,13	10,9 ±0,29
шир.распред.эр итроцитов,fL	36,0 ±0,43	36,4 ±0,75	37,3 ±0,59	37,3 ±0,59	37,7 ±0,75	37,7 ±0,77
тромбоциты, 10 ⁹ /л	127,3 ±6,57	100,3 ±7,31	94,7 ±7,31 ^a	120,3 ±5,04	99,7 ±5,55 ^a	114,7 ±6,33
средний объем тромбоцитов, fL	18,3 ±0,67	18,0 ±0,59	19,0 ±0,53	18,8 ±0,58	18,1 ±0,73	18,1 ±0,27
тромбокрит, %	0,23 ±0,02	0,16 ±0,03	0,18 ±0,02	0,22 ±0,012	0,18 ±0,012	0,20 ±0,02

Примечание: Различия с контрольной группой достоверны при ^a - $p\leq 0,05$; ^{aa} - $p\leq 0,01$; ^{aaa} - $p\leq 0,001$

Различия с I опытной группой достоверны при ^b - $p\leq 0,05$; ^{bb} - $p\leq 0,01$; ^{bbb} - $p\leq 0,001$

Биохимические показатели сыворотки крови птицы положительно коррелируют с качеством рациона (Khan T.A., Zafar F. 2005).

Таблица 32 – Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров кросса Арбор-Айкрес в возрасте 42 дня

Показатель	Группа					
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
Глюкоза, ммоль/л	13,6 ±0,37	13,3 ±0,03	13,5 ±0,34	14,1 ±0,27 ^b	14,4 ±0,26 ^b	13,0 ±0,33
Общий белок, г/л	44,8 ±2,66	43,0 ±3,34	43,6 ±2,46	41,2 ±1,80	47,4 ±2,58	43,8 ±2,62
Альбумин, г/л	19,0 ±2,00	18,7 ±0,88	18,3 ±0,88	16,7 ±0,33	19,7 ±0,88	19,0 ±0,58
Бил.общий, мкмоль/л	0,35 ±0,08	0,22 ±0,09	0,28 ±0,052	0,12 ±0,05	0,16 ±0,09	0,26 ±0,07
Бил.прямой, мкмоль/л	0,49 ±0,04	0,36 ±0,01 ^a	0,50 ±0,05	0,38 ±0,02 ^a	0,40 ±0,02	0,38 ±0,08
Tg, ммоль/л	0,32 ±0,06	0,28 ±0,02	0,32 ±0,03	0,21 ±0,02	0,32 ±0,02	0,30 ±0,05
Креатинин, мкмоль/л	19,3 ±1,42	20,7 ±1,63	19,1 ±0,81	20,5 ±0,80	22,1 ±0,23	25,4 ±1,18 ^a
Щелочная фосфатаза, Ед/л	220 ±4,8	249 ±2,5*	329 ±4,1*	250 ±3,6	306 ±2,2*	259 ±4,9
А-Амилаза, Ед/л	231,3 ±27,6	225,3 ±17,0	236,0 ±15,2	223,3 ±18,0	227,3 ±14,5	244,7 ±15,2
г-Гт, Ед/л	31,0 ±1,53	23,7 ±2,40	20,0 ±1,53 ^{aa}	28,3 ±3,76	26,7 ±1,67	23,0 ±3,22
Мочевая кислот, мкмоль/л	158,1 ±19,24	132,7 ±26,61	204,5 ±15,98	128,9 ±33,58	216,2 ±32,49	105,3 ±7,66
Fe, мкмоль/л	13,8 ±1,15	14,3 ±0,67	16,7 ±1,84	13,4 ±1,32	16,0 ±1,25	9,0 ±0,68 ^{abb}
р-Амилаза, Ед/л	481,2 ±29,7	395,3 ±25,88	417,8 ±19,37	322,7 ±22,89 ^a	388,2 ±26,59	371,8 ±24,59 ^a
ЛДГ, Ед/л	2 162 ±169,7	1 824 ±122,0	1 602 ±177,4	1 997 ±145,2	1 527 ±93,5 ^a	2 946 ±203,7 ^{abb}
Липаза, Ед/л	7,80 ±0,40	7,60 ±0,10	5,30 ±0,32 ^{aabb}	7,77 ±0,75	5,60 ±0,12 ^{aabbb}	5,37 ±0,12 ^{aabbb}
Mg, ммоль/л	1,54 ±0,041	1,47 ±0,015	1,50 ±0,021	1,49 ±0,02	1,51 ±0,02	1,52 ±0,01
Ca, ммоль/л	4,07 ±0,07	3,97 ±0,04	4,13 ±0,01 ^b	3,83 ±0,10	3,87 ±0,04	5,97 ±0,07 ^{aaabbb}
Фосфор, ммоль/л	2,06 ±0,06	2,02 ±0,09	1,96 ±0,213	2,02 ±0,01 ^a	2,04 ±0,13	1,54 ±0,65 ^{ab}

Примечание:

Различия с контрольной группой достоверны при ^a - p≤0,05; ^{aa} - p≤0,01; ^{aaa} - p≤0,001

Различия с I опытной группой достоверны при ^b - p≤0,05; ^{bb} - p≤0,01; ^{bbb} - p≤0,001

Внесение в рацион цыплят 15 % карбоната кальция (III опытная группа)

сопровождалось достоверным повышением уровня глюкозы на 6,03 % (p≤0,05)

при сравнении с I группой, тогда как разница с контролем составила 3,77 % соответственно. Увеличение дозы карбоната кальция до 20 % (IV опытная группа) приводит к достоверному повышению глюкозы в крови на 7,89 % ($p \leq 0,05$) при сравнении с I группой, разница с контролем, в свою очередь, составила 5,59 % соответственно.

Повышение глюкозы свидетельствует о достаточном количестве энергии в организме птицы для поддержания темпов роста.

В то время как низкий уровень глюкозы в крови птиц может свидетельствовать о гипогликемии, вызванное голоданием или нарушением функции печени (Du P. et al., 2023).

Интенсивность роста связана с белковым обменом в сыворотки крови. На 42 сутки уровень общего белка во всех опытных группах были на высоком уровне, что говорит о высокой продуктивности цыплят-бройлеров, но разница между группами была не достоверна.

Альбумин, сывороточный белок, синтезируется в печени. Он отвечает за транспортировку нерастворимых веществ в крови и способствует поддержанию онкотического давления. Концентрация альбумина в I, II и III опытных группах на 1,8 %, 3,5 % и 12,3 %, ниже уровня контроля. В свою очередь, показатели V группы находились в пределах контрольных значений. Тогда как в IV группе, при введении в рацион 20 % карбоната кальция уровень альбумина повышается на 3,5 % при сравнении с контролем и на 5,4 % при сравнении с I опытной. Высокая концентрация альбуминов обычно указывает на обезвоживание, тогда как более низкая концентрация может быть связана с нарушением функции печени из-за таких факторов, как плохое питание и инфекция (Fischbach F.T., Dunning M.B. 2009).

Ферменты печени, а именно аланинтрансаминаза альбумин (АЛТ), щелочная фосфатаза и аспартатаминотрансфераза (АСТ), играют важную роль в функционировании печени, являясь маркерами повреждения гепатоцитов (Ambrosy A.P. et al 2015). Во всех опытных группах значительно повышается активность щелочного фермента. Так, данный показатель в I группе превысил

контроль на 12,8 % ($p \leq 0,01$), во II – на 49 % ($p \leq 0,001$), в III – на 13,2 %, в IV – на 38,8 % ($p \leq 0,05$), в V на – 17,3 %, соответственно. Аналогично, при сравнении с I группой, данный показатель достоверно повышается при внесении в рацион 10 % карбоната кальция (II опытная) на 32 % ($p \leq 0,001$).

Уровень прямого билирубина зависит от состояния печени птицы, наименьшая концентрация была отмечена в I и III группах, разница с контролем составила 27 % ($p \leq 0,05$) и 23,7% ($p \leq 0,05$), соответственно.

Креатинин используется для определения состояния почек, главной функцией которых является выведение продуктов белкового обмена. Креатинин выводится почками как побочный продукт метаболизма креатинфосфата, который образуется в результате выработки энергии (Menon, D. G. et al., 2013). Высокая концентрация креатинина может указывать на то, что почки не функционируют оптимально (Gonzalez D.F.H., Scheffer J.D.L.S., 2018). Уровень креатинина в крови цыплят-бройлеров V опытной группы (25 % карбоната кальция) достоверно повышался на 31,2 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с показателями контрольной группы. В свою очередь разница с I опытной группой составила 22,4 %.

Активность γ -ГТ, при внесении в рацион цыплят карбоната кальция, снижается. Достоверные различия отмечены во II опытной группе (10% карбоната кальция), разница с контролем составила 35,5 % ($p \leq 0,01$). Фермент гамма-глутамилтрансфераза (γ -ГТ) присутствует в тканях многих органов (печень, почки, поджелудочная железа, тонкий кишечник, эпителий желчных протоков). Это наиболее специфический фермент для диагностики холестаза или обструкции желчных протоков, повышение его сывороточной активности наблюдается преимущественно при остром поражении печени (Gomes A. et al., 2008).

Содержание кальция и фосфора в сыворотке, а также активность щелочной фосфатазы являются важными показателями, указывающие на адекватность уровней минералов в рационе. Уровни кальция в сыворотке регулируются отрицательной обратной связью от паратиреоидного гормона и

эстриола в организме, а также регулируют метаболизм фосфора в почках (Shastak et al., 2012). Концентрация кальция и фосфора в крови цыплят всех опытных групп, за исключением V опытной группы, находились на уровне контрольных значений. При скормливания цыплятам рациона с 25 % карбоната кальция (V опытная группа) наблюдается достоверное снижение железа на 34,9 % ($p \leq 0,05$) и фосфора на 24,9 % ($p \leq 0,05$) относительно контроля, при сравнении с I группой разница составила 37,2 % ($p \leq 0,01$) и 23,4 % ($p \leq 0,05$), соответственно. В V опытной группе наблюдается достоверное повышение уровня кальция в крови на 46,4 % ($p \leq 0,001$) относительно контроля, и на – 50,2 % ($p \leq 0,001$) относительно I группы на фоне снижения концентрации фосфора. При высоком уровне кальция в сыворотке крови, организм подавляет паратиреоидный гормон и окостеневший триол, уменьшает реабсорбцию ионов Са и Р в кишечнике, и как следствие увеличивает экскрецию данных минералов почками.

Лактатдегидрогеназа (ЛДГ) — это ускользящий фермент, который превращает лактат в пируват для глюконеогенеза, и обнаружен почти в каждой клетке организма. Наблюдается снижение активности ЛДГ в сыворотке крови опытных цыплят-бройлеров, получавших карбонат кальция с кормом. Однако при введении в рацион V группы 25 % карбоната кальция активность ЛДГ достоверно повышается на 36,3 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем, и на 61,5 % ($p \leq 0,01$) в сравнении с I группой. Можно предположить, что добавление карбоната кальция могло повлиять на ферментативный каскад, стимулирующий активность ЛДГ.

Наблюдается тенденция к снижению концентрации липазы. Так, достоверное снижение отмечается во II, IV и V группах, разница с контролем составила 32 % ($p \leq 0,05$), 28,2 % ($p \leq 0,01$) и 31,2 % ($p \leq 0,001$), при разнице с I группой 30,3 % ($p \leq 0,01$), 26,3 % ($p \leq 0,001$) и 29,4 % ($p \leq 0,001$), соответственно.

Активность р-амилазы достоверно снижается при внесении в рацион III и IV групп карбоната кальция в количестве 15 % и 25 %, разница с контролем составила 32,9 % ($p \leq 0,05$) и 22,7 % ($p \leq 0,05$), соответственно. Снижение

активности трансаминаз крови свидетельствует об отсутствии признаков заболевания печени подопытной птицы.

Во всех опытных группах значительно повышается активность щелочной фосфатазы. Так, данный показатель в I опытной группе превысил контроль на 12,8 % ($p \leq 0,01$), во II опытной группе – на 49 % ($p \leq 0,001$), добавление в экструдат 15% CaCO_3 – на 13,2 %, 20% CaCO_3 – на 38,8 % ($p \leq 0,05$), в 25% на – 17,3 %, соответственно.

2.2.2.4 Переваримость питательных веществ корма подопытной птицей

Переваримость сухого вещества комбикормов представлена в таблицах 33 и 34. Так переваримость стартового рациона во II опытной группе с 10% CaCO_3 составляла 69,96 %, что достоверно ниже этого показателя, рассчитанного для особей контрольной и групп, получавших экструдированные отруби на 3,74 ($p \leq 0,001$) и 6,8 % ($p \leq 0,05$). Коэффициент переваримости сырого протеина достоверно снижался в группе по отношению к контролю и I опытной группе на 1,84 ($p \leq 0,001$) и 3,1 % ($p \leq 0,05$). Переваримость сырого жира во II опытной группе оказалась ниже, чем в I группе на 2,9 % ($p \leq 0,05$).

Таблица 33 – Коэффициенты переваримости питательных веществ стартового рациона, %

Группа	Сухое в-во	Органическое в-во	Сырой жир	Сырой протеин	Сырая клетчатка	БЭВ
контроль	73,70 $\pm 1,76$	75,51 $\pm 2,59$	88,06 $\pm 0,76$	85,22 $\pm 0,53$	13,90 $\pm 3,14$	75,05 $\pm 2,64$
I опытная	76,76 $\pm 1,72$	77,58 $\pm 1,83$	87,79 $\pm 1,00$	86,46 $\pm 1,11$	16,61 $\pm 6,81$	76,92 $\pm 1,88$
II опытная	69,96 $\pm 1,15^b$	73,31 $\pm 1,02$	84,87 $\pm 0,58^{a,b}$	83,38 $\pm 0,35^{a,b}$	15,78 $\pm 3,22$	72,15 $\pm 1,07$
III опытная	73,49 $\pm 2,14$	77,01 $\pm 1,85$	88,68 $\pm 0,91$	86,80 $\pm 1,06$	15,26 $\pm 6,83$	75,93 $\pm 1,94$
IV опытная	71,21 $\pm 1,69$	75,06 $\pm 1,46$	86,43 $\pm 0,79$	85,20 $\pm 0,87$	15,13 $\pm 4,97$	73,93 $\pm 1,53$
V опытная	72,29 $\pm 2,48$	77,25 $\pm 2,22$	85,87 $\pm 1,38$	86,10 $\pm 1,35$	14,71 $\pm 8,31$	76,74 $\pm 2,27$

Примечание:

Различия с I контрольной группой достоверны при: a - $p \leq 0,05$; aa - $p \leq 0,01$; aaa - $p \leq 0,001$

Различия с I опытной группой достоверны при: b - $p \leq 0,05$; bb - $p \leq 0,01$; bbb - $p \leq 0,001$

Таблица 34 – Коэффициенты переваримости питательных веществ ростового рациона, %

Группа	Сухое в-во	Органическое в-во	Сырой жир	Сырой протеин	Сырая клетчатка	БЭВ
контроль	76,77 ±1,77	77,90 ±1,68	87,08 ±0,98	82,90 ±1,30	19,11 ±6,15	77,09 ±1,74
I опытная	72,06 ±2,48	73,87 ±2,32	83,54 ±1,46	77,90 ±1,96	18,57 ±7,22	73,14 ±2,38
II опытная	71,22 ±3,20	73,05 ±2,99	78,32 ±2,41 ^{aa}	77,05 ±2,55	17,77 ±9,14	72,59 ±3,05
III опытная	71,37 ±3,26	74,05 ±2,96	86,99 ±1,48	71,66 ±3,23 ^a	17,71 ±12,79	74,35 ±2,83
IV опытная	71,39 ±2,92	74,27 ±2,63	92,05 ±0,81 ^{aa, bbb}	78,09 ±2,24	17,23 ±8,45	72,69 ±2,79
V опытная	69,70 ±4,48	73,02 ±3,99	86,96 ±1,93	75,29 ±3,66	17,02 ±12,28	72,84 ±4,02

Примечание:

Различия с I контрольной группой достоверны при: a - $p \leq 0,05$; aa - $p \leq 0,01$; aaa - $p \leq 0,001$

Различия с I опытной группой достоверны при: b - $p \leq 0,05$; bb - $p \leq 0,01$; bbb - $p \leq 0,001$

При введении ростового рациона в IV опытной группе установлена наиболее высокая переваримость сырого жира, которая составила 92,05 %, превысив показатели контрольной и I группы на 5,0 % ($p \leq 0,01$) и 8,5 % ($p \leq 0,001$) соответственно. При этом в III опытной группе переваримость протеина была достоверно ниже на 11,2 % ($p \leq 0,05$) относительно контрольной группы.

2.2.2.5 Оценка влияния экструзии компонентов кормов на изменение микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров

Из представителей облигатной микрофлоры кишечника цыплят-бройлеров были изучены бифидобактерии, лактобактерии, энтерококки и кишечная палочка.

В группе подопытной птицы, получавшей основной рацион, роста бифидобактерий не обнаружено. Включение экструдированных отрубей в I

опытной группе сопровождалось интенсивным ростом *Bifidobacterium* в виде утолщённых «комет». При вводе кальциевого компонента в экструдат был отмечен дозозависимый эффект с увеличением концентраций CaCO_3 от 15 % до 25 %. При этом в IV и V опытных группах характер роста колоний представляли собой более тонкие «тяжи».

Уменьшение количества неперевариваемой клетчатки в рационе путём экструдирования отрубей стимулировало рост *Lactobacillus* до $1,96 \cdot 10^9$ КОЕ/г ($p \leq 0,001$) относительно контроля. Тенденция к увеличению лактобактерий сохранялась при различных уровнях кальция. Рост количества бактерий в опытных группах в зависимости от процента ввода кальцийсодержащей добавки не имеет линейного характера и изменяется в ряду 10 % < 15 % < 25 % < 20 %. Наибольший ответ был в группе, получавшей экструдат с 20 % CaCO_3 ($p \leq 0,001$), увеличение составило порядка 268 % относительно I группы. Более низкие дозировки введения во II и III опытных группах снизили рост *Lactobacillus* на 73,9 % и 33,1 % ($p \leq 0,001$) соответственно. Дальнейшее увеличение концентрации CaCO_3 в экструдате до 25 % приводит количество бактерий этого семейства к снижению до $3,34 \cdot 10^9$ КОЕ/г (рисунок 26а).

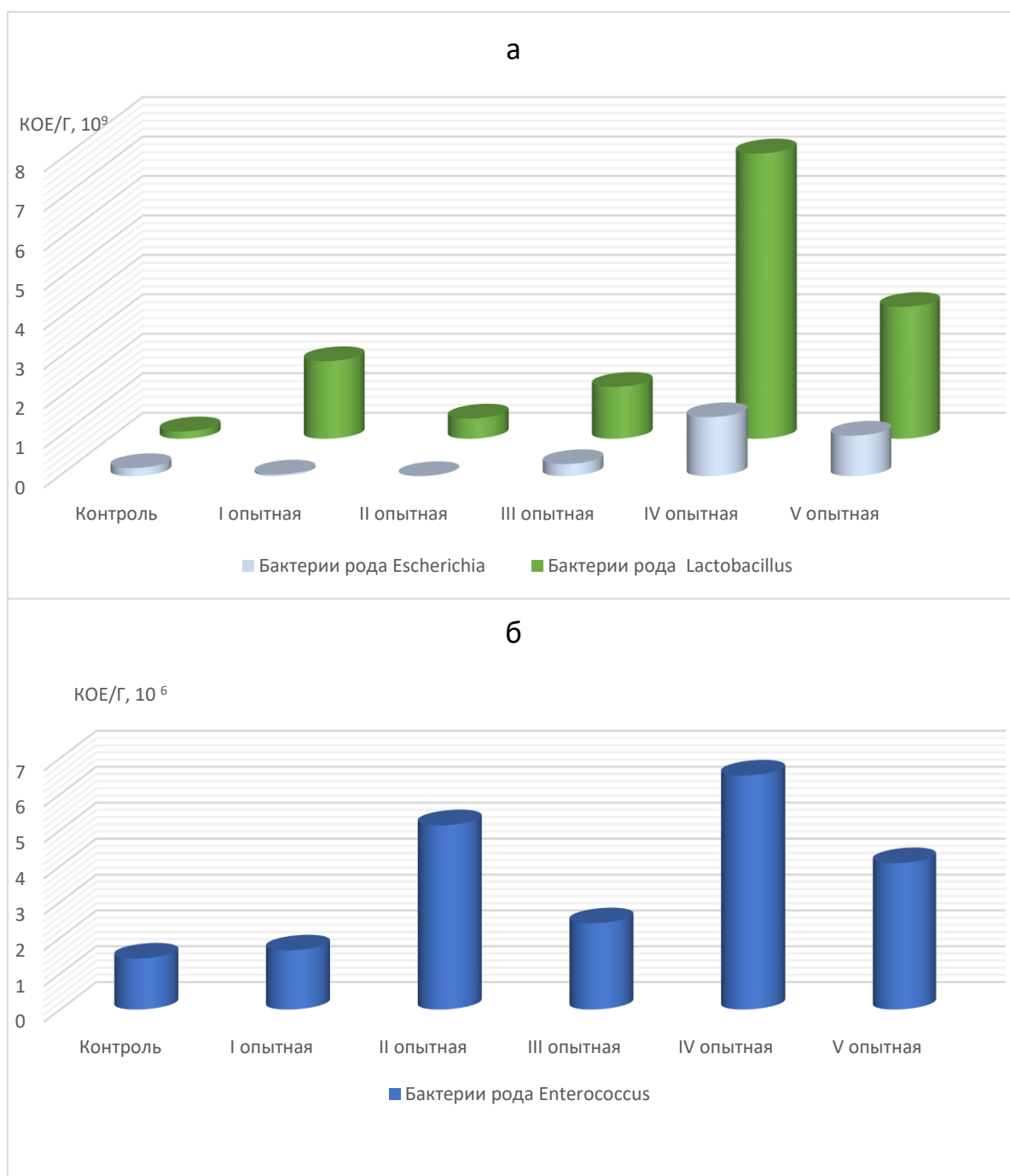


Рисунок 26 – Изменение групп облигатной микрофлоры в слепых отростках кишечника птицы

Введение в рацион птицы I опытной группы экструдата привело к уменьшению количества *Escherichia* в 5 раз относительно контроля. Ответ на введение кальция достигает максимального значения в IV опытной группе, рост относительно I опытной составил 7,5 раза ($p \leq 0,001$), введение 25 % CaCO_3 сопровождалось снижением количества *Escherichia* с $1,49 \cdot 10^9$ до $1,02 \cdot 10^9$ КОЕ/г. Во II опытной группе наблюдался минимальный рост.

При оценке бактерий рода *Enterococcus* идентифицировали два вида – *E. Faecalis* и *E. faecium*. Значимой реакции на введение экструдированного продукта в I опытной группе со стороны бактерий не последовало. А включение кальция в опытные группы привело к росту *Enterococcus* в 3,1 раза ($p \leq 0,001$) при 10 % вводе CaCO_3 , в 4 раза ($p \leq 0,001$) – при дозировке 20 %. В целом увеличение количества колоний *Enterococcus* происходит в ряду опытных групп: III < V < II < IV (рисунок 26б).

Изменение структуры рациона отразилось и на факультативной микрофлоре кишечника (рисунок 27).

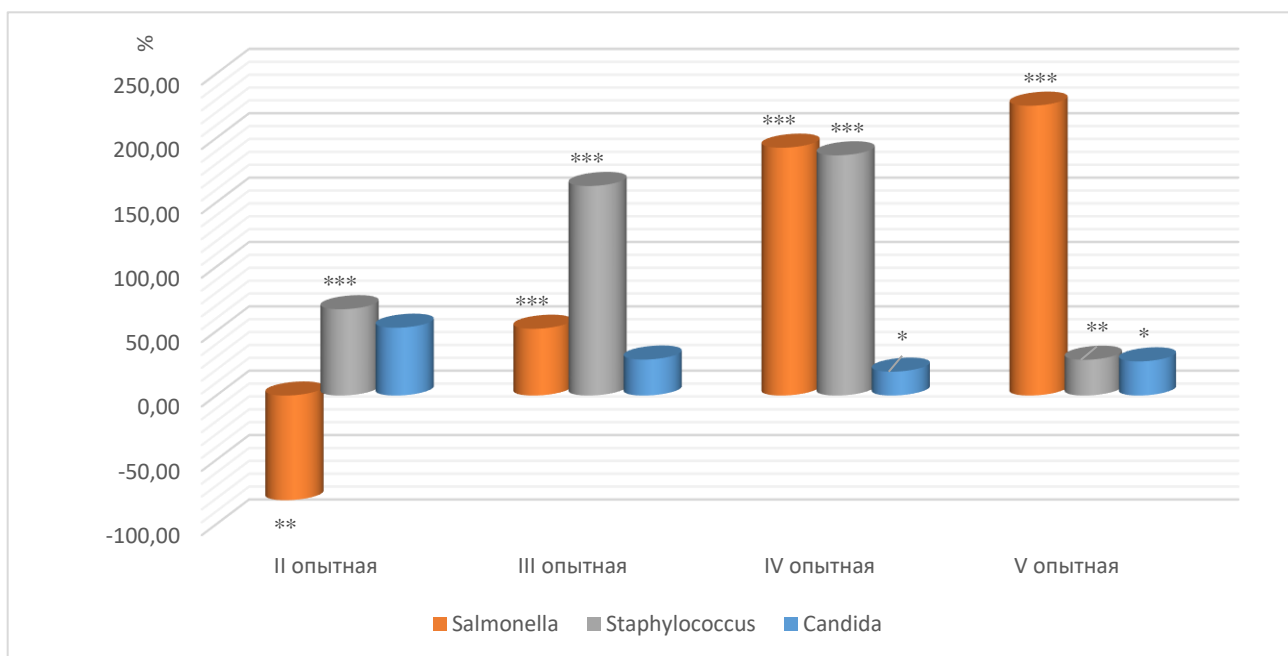


Рисунок 27 – Динамика факультативной микрофлоры в слепых отростках кишечника птицы

Замена нативной части отрубей экструдатом в I опытной группе привела к некоторому снижению в росте *Staphylococcus*. Дополнительное введение в экструдат кальцийсодержащей добавки стимулирует рост количества бактерий, установлен дозозависимый эффект, при увеличении концентрации CaCO_3 до 20 %. Дальнейшее увеличение дозировки CaCO_3 до 25 % оказывает угнетающее действие на рост *Staphylococcus*, количество бактерий контрольной и V опытной групп не отличается, однако отличие V опытной группы от I опытной группы, получавшей рацион без введения добавок

кальция, составило 27,8 % ($p \leq 0,001$) (рис. 2). Увеличение роста *Staphylococcus* происходит в ряду опытных групп: II < III < IV. В IV опытной группе при введении 20 % CaCO_3 в экструдат количество бактерий относительно I опытной группы достигает 186,6 % ($p \leq 0,001$).

Грибы рода *Candida* реагируют на увеличение дозировок кальция достоверным ростом в опытных группах с III по V. Преобразование клетчатки экструдированием увеличивает содержание грибов в 1,5 раза относительно контроля.

Рост бактерий *Clostridium* в контроле и I опытной группе не обнаружен, увеличение до $1,17 \cdot 10^7$ КОЕ/г достигается во II опытной группе на фоне введения 10 % кальцийсодержащего компонента. Сплошной рост клостридий был зафиксирован при введении CaCO_3 в экструдат в количестве 20 % (рисунок 28).

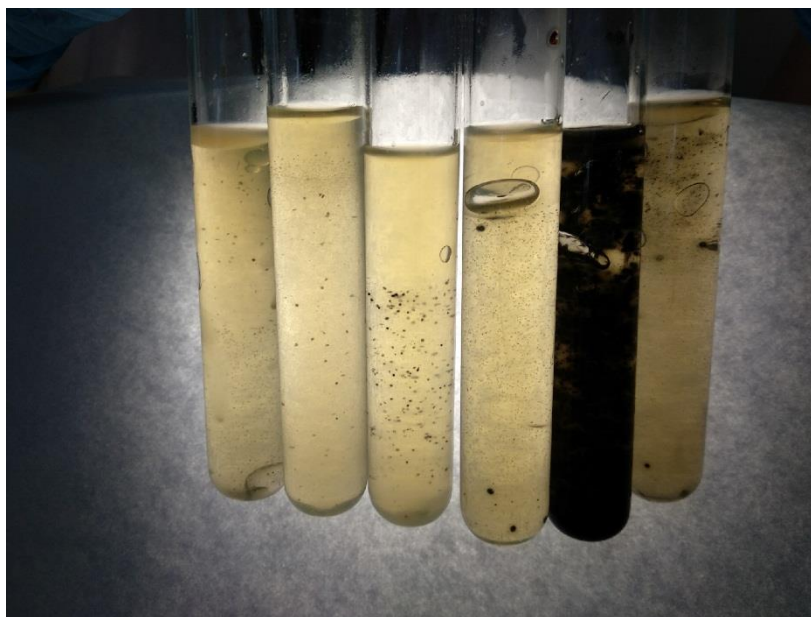


Рисунок 28 – Рост *Clostridium* в контрольной и опытных группах (слева направо: контроль, I-V опытные группы)

Бактерии рода *Proteus* и *Shigella* не были обнаружены ни в одной из групп.

Анализ общей динамики микробиома слепого кишечника в зависимости от изменений структуры рациона показывает, что снижение трудногидролизуемых углеводов в рационе путём экструзии провоцирует

общий рост исследуемых бактерий, за исключением таких представителей факультативной микрофлоры, как *Escherichia*, *Staphylococcus*, *Clostridium perfringens* (таблица 35).

Таблица 35 – Ответ микрофлоры на снижение содержания клетчатки (I) и увеличение содержания Са (II-V)

Наименование микроорганизма	Группа				
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
<i>Bifidobacterium</i>	↑(a)	-	↑(a)↓(b)	↑(a,b)	↑(a,b)
<i>Lactobacillus</i>	↑*** (a)	↑** (a) ↓*** (b)	↑*** (a) ↓** (b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)
<i>Escherichia</i>	↓*** (a)	↓*** (a,b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)
<i>Enterococcus</i>	↑(a)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)
Грибы рода <i>Candida</i>	↑(a)	↑(a,b)	↑* (a) ↑(b)	↑* (a) ↑(b)	↑* (a) ↑(b)
<i>Staphylococcus</i>	↓(a)	↑* (a) *** (b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)	↑(a) ↑** (b)
<i>Clostridium perfringens</i>	-	↑*** (a,b)	↑** (a,b)	↑*** (a,b)	↑** (a,b)
<i>Salmonella</i>	↑*** (a)	↑(a) ↓** (b)	↑*** (a) ↑(b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)

*Примечание: «-» – нет роста; (a) – по отношению к контрольной группе; (b) – по отношению к I опытной группе; * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$, *** – $p \leq 0,001$

Уровень кальция в наших исследованиях значительно влиял на соотношение полезной и условно-патогенной микрофлоры. Замечено, что увеличение процента ввода кальция в экструдат стимулирует рост всех исследуемых бактерий.

2.2.2.6 Химический и элементный состав тканей тела цыплят-бройлеров

Результаты сравнительных экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что добавление карбоната кальция в диапазоне концентраций от 10 до 25% к экструдату отрубей сопровождалось

выраженными изменениями химического состава и показателей биологической ценности мышечной ткани цыплят-бройлеров. Так, в ходе анализа химического состава тела бройлеров (таблица 36) выявлено, что комбинация экструдированных отрубей с 10 % карбонатом кальция приводила к увеличению сухого вещества на 1,2 % ($P \leq 0,05$), протеина на 2,2 % ($P \leq 0,001$) в сравнении с контрольной группой. Дальнейшее увеличение концентрации карбоната приводило к схожим изменениям при аналогичном сравнении. Так, при введении 15 % карбоната, наблюдалось увеличение в теле сухого вещества на 0,4 % ($P \leq 0,001$), протеина на 0,9 % ($P \leq 0,001$) и золы на 0,3 % ($P \leq 0,05$). Парадоксален тот факт, что при увеличении концентрации карбоната кальция до 20 % происходило снижение жира на 1,2 % ($P \leq 0,01$) и сухого вещества 0,5 % ($P \leq 0,05$) на фоне увеличения протеина на 1,2 % ($P \leq 0,05$) и золы на 0,5 % ($P \leq 0,05$). Однако при внесении максимальной концентрации карбоната кальция 25 %, в теле бройлеров значимые изменения наблюдались в отношении увеличения сухого вещества на 1,9 % ($P \leq 0,01$) и жира на 0,5 % ($P \leq 0,01$).

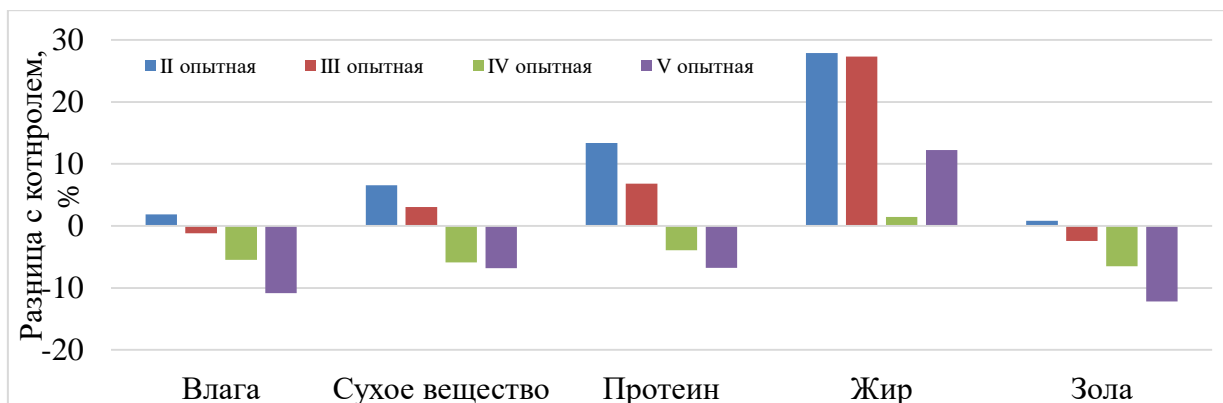
Таблица 36 – Содержание химических веществ в теле бройлеров, %*

Группа	Показатель				
	Вода	Сухое вещество	Протеин	Жир	Зола
I опытная	69,2±0,01	30,8±0,01	20,1±0,01	8,5±0,01	2,2±0,03
II опытная	68,0±0,38 ^c	32,0±0,38 ^c	22,3±0,09 ^a	8,9±0,33	2,4±0,06
III опытная	68,0±0,77	31,2±0,01 ^a	22,0±0,08 ^a	8,8±0,30	2,5±0,03 ^b
IV опытная	69,7±0,05 ^c	30,3±0,05 ^c	21,3±0,15 ^c	7,3±0,14 ^b	2,7±0,04 ^c
V опытная	67,3±0,55 ^b	32,7±0,55 ^b	21,3±0,81	9,0±0,30 ^b	2,8±0,25

Примечание: ^c - $P \leq 0,05$; ^b - $P \leq 0,01$; ^a - $P \leq 0,001$ при сравнении контрольной и опытных групп

* в качестве группы сравнения использована I опытная группа

В ходе анализа химического состава мышечной ткани (рисунок 29) установлено, что значимые изменения наблюдались в отношении I и II опытных групп. В частности, это отражалось в увеличении содержания протеина на 13,36 и 6,79 %, жира на 27,9 % и 27,3 % соответственно в сравнении с контролем. Для III и IV опытных групп отмечено снижение сухого вещества в мышечной ткани, за счёт протеина и золы.



* в качестве группы сравнения использована I опытная группа

Рисунок 29 – Относительное содержание химических веществ в мышечной ткани цыплят-бройлеров

Изменения элементного состава в мышцах цыплят-бройлеров опытных групп представлено в таблице 37.

Так, содержание Fe, Cu, Mn в I опытной группе уменьшилось на 13,81 %, 18,18 % ($p \leq 0,05$), 26,85 % ($p \leq 0,01$) в отличие от группы контроля. Среди эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов было зафиксировано увеличение Ni и Zn в I опытной группе на 14,51 % и 14,74 %. Среди токсических элементов достоверно уменьшился Cd на 56,0 % ($p \leq 0,001$) по сравнению с контрольной группой.

По отношению к I опытной группе, во II опытной группе увеличилось содержание Fe, Cu, Mn на 23,35 % ($p \leq 0,05$), 34,71 % ($p \leq 0,01$) и 93,23 % ($p \leq 0,001$). На фоне этого наблюдалось снижение Ni, Zn, Mg во 2 опытной группе в отличие от I опытной группы на 11,26 %, 3,14 % и 28,69 % ($p \leq 0,001$).

В III опытной группе при добавлении экструдата с 10 % карбонатом кальция увеличилось содержание Fe, Cu, Ni, Mn на 7,77 %, 52,1 % ($p \leq 0,001$),

47,88 % ($p \leq 0,01$) и 62,31 % ($p \leq 0,001$) по отношению к I опытной группе. Достоверное уменьшение Mg было отмечено в III опытной группе на 19,69 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с I опытной.

В IV опытной группе при добавлении экструдата с 15 % карбонатом кальция увеличилось содержание Fe на 36,75 % ($p \leq 0,01$) если сравнить с I опытной группой. Остальные микроэлементы снижались, а именно достоверно понижался Ni на 54,92 % ($p \leq 0,001$).

Таблица 37 – Влияние процесса экструзии на содержание химических элементов в мышечной ткани подопытной группы, мг/100г

Элемент	Группа					
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
Fe	22,4 $\pm 1,22$	19,3 $\pm 0,91$	23,8 $\pm 1,29^{*(2)}$	20,8 $\pm 1,42$	26,4 $\pm 1,93^{** (2)}$	16,9 $\pm 1,655$
Cu	1,39 $\pm 0,08$	1,14 $\pm 0,053^{*(1)}$	1,53 $\pm 0,08^{** (2)}$	1,73 $\pm 0,12^{*** (2)}$	0,9 $\pm 0,072$	1,07 $\pm 0,105$
Ni	0,062 $\pm 0,003$	0,071 $\pm 0,003$	0,06 $\pm 0,003$	0,11 $\pm 0,007^{** (2)}$	0,03 $\pm 0,002^{*** (2)}$	0,011 $\pm 0,001^{*** (2)}$
Zn	56,1 $\pm 3,04$	64,4 $\pm 3,022$	62,4 $\pm 3,38$	58,1 $\pm 3,95$	57,0 $\pm 4,176$	49,9 $\pm 4,89^{*(2)}$
Mn	0,28 $\pm 0,02$	0,21 $\pm 0,01^{** (1)}$	0,40 $\pm 0,02^{*** (2)}$	0,34 $\pm 0,02^{*** (2)}$	0,21 $\pm 0,015$	0,28 $\pm 0,027^{*(2)}$
Mg	163,7 $\pm 8,87$	184,7 $\pm 8,67$	131,7 $\pm 7,14^{*** (2)}$	148,3 $\pm 10,09^{*(2)}$	154,8 $\pm 11,30$	157,2 $\pm 15,41$
Cd	0,050 $\pm 0,003$	0,022 $\pm 0,001^{*** (1)}$	0,025 $\pm 0,001$	0,022 $\pm 0,001$	0,022 $\pm 0,002$	0,021 $\pm 0,002$

Примечание:

(1) – разница между значениями показателей контрольной и I опытной группы;

(2) – разница между значениями показателей I опытной и другими опытными группами. * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$

V опытная группа характеризовалась повышением Mn на 35,26 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с I опытной. Среди микроэлементов снижались следующие: Fe, Cu, Ni, Zn на 12,54 %, 5,71 %, 84,5 % ($p \leq 0,001$) и 22,49 %. На фоне этого снижался Mg на 14,87 %.

Рассматривая содержание химических элементов в костной ткани, было выявлено что в I опытной группе уменьшилось содержание Fe, Cu, Ni, Zn на 43,95 % ($p \leq 0,01$), 3,8 %, 66,6 % ($p \leq 0,001$), 27,67 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с группой контроля (таблица 38). Также уменьшался Mg на 12,45 %. На фоне

этого увеличилось содержание Са и Р на 24,61 % и 7,18 % по отношению к контролю.

Таблица 38 – Влияние процесса экструзии на содержание химических элементов в костной ткани подопытной птицы, мг/100 г

Элемент	Группа					
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
Fe	7,460 ±0,643	4,18 ±0,476 ^{**} (1)	6,8 ±0,901 [*] (2)	3,77 ±0,157	6,94 ±0,634 ^{**} (2)	4,1 ±0,197
Cu	0,184 ±0,016	0,177 ±0,020	0,176 ±0,023	0,142 ±0,006	0,18 ±0,017	0,162 ±0,008
Ni	0,009 ±0,001	0,003 ±0,001 ^{***} (1)	0,003 ±0,011	0,003 ±0,001	0,007 ±0,001 ^{***} (2)	0,003 ±0,007
Zn	28,7 ±2,471	20,7 ±2,359 [*] (1)	26,6 ±3,501	21,2 ±0,886	30,9 ±2,817 [*] (2)	24,5 ±1,172
Mn	0,595 ±0,051	0,674 ±0,077	0,563 ±0,074	0,442 ±0,018 [*] (2)	0,548 ±0,050	0,54 ±0,026
Mg	93,6 ±8,064	81,9 ±9,319	74,4 ±9,799	75,5 ±3,152	107,0 ±9,765	79,1 ±3,792
Cd	0,005 ±0,001	0,005 ±0,001	0,005 ±0,001	0,004 ±0,0001	0,005 ±0,0001	0,005 ±0,0001

Примечание:

(1) – разница между значениями показателей контрольной группы и I опытной;

(2) – разница между значениями показателей I опытной и другими опытными группами.

*p≤0,05, **p≤0,01, ***p≤0,001

Во II опытной группе с добавлением экструдата с 10 % карбонатом кальция наблюдается увеличение Fe, Zn и Са на 63,5 % (p≤0,05), 28,18 % и 6,62 % в сравнении с группой с экструдированными отрубями. Было отмечено небольшое уменьшение Mn, Mg, Р на 16,46 %, 9,18 % и 5,0 %.

В III опытной группе с внесением экструдата с 15 % карбонатом кальция было зафиксировано уменьшение Fe, Cu, Mn, Mg, Р на 9,83 %, 19,77 %, 34,42 % (p≤0,05), 7,88 %, 6,76 % по отношению к I опытной группе. Количественные изменения коснулись Zn и Са, их содержание увеличилось на 2,25 % и 14,03 %.

Введение в IV опытную группу экструдата с 20 % CaCO₃ способствовало увеличению Fe – в 1,66 раз (p≤0,05), Cu – в 1,03 раз, Ni – в 2,33 раз (p≤0,001), Zn – в 1,48 раз (p≤0,05), Mg – в 1,3 раз по сравнению с I опытной группой. Незначительно уменьшилось содержание Mn и Р на 18,69 % и 8,81 %.

В V опытной группе значимых изменений в костной ткани не наблюдалось. Небольшое уменьшение Fe, Cu, Mn, Mg, Ca, P на 1,45 %, 8,47 %, 19,88 %, 3,41 %, 2,05 %, 0,43 % в отличие от группы с экструдированными отрубями. Значимо увеличился цинк в 1,17 раз по сравнению с I опытной группой.

Рассматривая содержание химических элементов в бедренной кости, было выявлено повышение содержания Fe, Cu, Mg в I опытной группе на 3,81 %, 4,0 %, 5,94 % по сравнению с группой контроля (таблица 39).

Таблица 39 – Влияние процесса экструзии на содержание химических элементов в бедренной кости подопытной птицы, мг/100 г

Элемент	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Fe	3,804±0,215	3,949±0,309	3,486±0,328	3,216±0,279	3,184±0,309
Cu	0,025±0,001	0,026±0,002	0,023±0,002	0,027±0,002	0,026±0,003
Zn	5,219±0,295	4,352±0,340	4,331±0,407	4,040±0,350	5,351±0,519
Mn	0,076±0,004	0,066±0,005	0,047±0,004 ^{*(2)}	0,055±0,005	0,070±0,007
Mg	8,41±0,476	8,91±0,696	5,98±0,562 ^{** (2)}	8,82±0,765	10,73±1,041
Ca, %	6,592±0,373	6,302±0,492	7,060±0,664	7,372±0,639	4,611±3,673
P, %	4,520±0,256	4,276±0,334	4,385±0,412	3,579±0,310	1,986±1,582

Примечание:

(1) – разница между значениями показателей контрольной группы и I опытной группы;

(2) – разница между значениями показателей I опытной и другими опытными группами.

*p≤0,05, **p≤0,01, ***p≤0,001

Другие элементы (Ni, Zn, Mn, Ca, P) в группе с экструдированными отрубями уменьшались на 66,66 % (p≤0,001), 16,61 %, 13,15 %, 4,39 %, 5,39 %.

В группе с дополнительным введением 10 % карбоната кальция во II опытной группе наблюдалось понижение содержания Fe, Cu, Zn, Mn, Mg на 11,72 %, 11,53 %, 0,48 %, 28,78 %, 32,88 % (p≤0,05) в отличие от I опытной группы. Ca и P повышаются на 12,02 % и 2,54 %.

Введение в рацион 15 % карбоната кальция в III опытной группе способствовало снижению элементов в бедренной кости, а именно Fe, Zn, Mn, Mg, P на 18,56 %, 7,16 %, 16,66 %, 1,01 %, 16,3 % по отношению к I опытной группе. Однако, на фоне этого увеличилось содержание Cu и Ca на 3,84 % и 16,97 %.

В IV опытной группе содержание Cu, Ni и Cd практически не менялось по сравнению с I опытной группой. Было отмечено снижение Fe, Ca, P на 19,37 %, 26,83 %, 53,55 %. Также наблюдалось повышение Zn, Mn и Mg на 22,95 %, 6,06 % и 20,42 % в отличие от группы с экструдатом.

В I опытной группе при добавлении экструдированных отрубей в теле птицы повышалась концентрация Fe, Ni в 1,29 раз ($p \leq 0,001$) и в 2,6 раз ($p \leq 0,001$) по отношению к группе контроля (таблица 40).

Таблица 40 – Влияние процесса экструзии на концентрацию химических элементов в теле птицы, мг/кг

Элемент	Группа					
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
Fe	34,665 ±1,012	44,760 ±0,732 *** ⁽¹⁾	46,784 ±0,905	44,803 ±1,626	55,292 ±2,5885 ** ⁽²⁾	39,399 ±0,907 *** ⁽²⁾
Cu	1,708 ±0,048	1,470 ±0,007 *** ⁽¹⁾	1,717 ±0,030 *** ⁽²⁾	1,711 ±0,039 *** ⁽²⁾	1,565 ±0,0687	1,414 ±0,028
Ni	0,087 ±0,001	0,227 ±0,005*** ⁽¹⁾	0,078 ±0,002*** ⁽²⁾	0,076 ±0,0003** * ⁽²⁾	0,052 ±0,0028 *** ⁽²⁾	0,041 ±0,001 *** ⁽²⁾
Zn	60,284 ±0,679	60,173 ±0,378	62,467 ±0,238 *** ⁽²⁾	58,463 ±0,3741 ** ⁽²⁾	68,196 ±2,928 * ⁽²⁾	53,810 ±0,453 *** ⁽²⁾
Mn	0,757 ±0,029	0,754 ±0,025	0,809 ±0,008	0,680 ±0,013 * ⁽²⁾	0,754 ±0,028	0,672 ±0,017 * ⁽²⁾
Mg	231,289 ±9,430	164,256 ±1,542 *** ⁽¹⁾	154,771 ±0,5400 *** ⁽²⁾	141,201 ±0,423 *** ⁽²⁾	223,132 ±10,5180 *** ⁽²⁾	170,801 ±1,393 * ⁽²⁾
Cd	0,039 ±0,0003	0,025 ±0,0002 *** ⁽¹⁾	0,026 ±0,0003 ** ⁽²⁾	0,027 ±0,0008 * ⁽²⁾	0,030 ±0,001 ** ⁽²⁾	0,031 ±0,0008 *** ⁽²⁾
Pb	0,001 ±0,0001	0,003 ±0,0001	0,001 ±0,0000 *** ⁽²⁾	не обн.	не обн.	0,030 ±0,0023 *** ⁽²⁾

Примечание:

(1) – разница между значениями показателей контрольной группы и I опытной группы;

(2) – разница между значениями показателей I опытной и другими опытными группами.

* $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$

Среди микроэлементов также изменениям подверглись Cu – снижение на 13,9 % ($p \leq 0,001$), концентрация Zn и Mn подверглась незначительным изменениям. Концентрация магния достоверно снижалась в I опытной группе

на 28,98 % ($p \leq 0,001$) в отличие от контроля. Также уровень кадмия был ниже на 35,89 % ($p \leq 0,001$).

II опытная группа характеризовалась повышением концентрации Fe, Cu, Zn, Mn на 4,52 %, 16,8 % ($p \leq 0,001$), 3,81 % ($p \leq 0,001$) и 7,29 % по сравнению с I опытной группой. На фоне этого наблюдалось снижение Ni и Mg на 65,63 % ($p \leq 0,001$) и 5,77 % ($p \leq 0,001$) в отличие от I опытной. Незначительно увеличивается Cd на 4,0 % ($p \leq 0,01$).

Введение в рацион экструдата с 15 % карбонатом кальция в III опытной группе, привело к тенденции снижения следующих микроэлементов: Ni на – 66,51 % ($p \leq 0,001$), Zn на – 2,84 % ($p \leq 0,01$), Mn – 9,81 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с I опытной группой. Также уменьшилась концентрация Mg на 14,03 % ($p \leq 0,001$). Концентрация других микроэлементов увеличилась: Fe на – 0,09 %, Cu на – 16,39 % ($p \leq 0,001$).

Внесение в рацион экструдированных отрубей с 20 % содержанием карбоната кальция в IV опытной группе отмечено повышение концентрации микроэлементов Fe, Cu, Zn на 23,52 % ($p \leq 0,01$), 6,46 %, 13,3 % ($p \leq 0,05$) по отношению к I опытной группе. Также отмечено увеличение Mg и Cd на 35,84 % ($p \leq 0,001$) и 20,0 % ($p \leq 0,01$). Достоверно уменьшалась концентрация Ni на 77,09 % ($p \leq 0,001$) в отличие от группы с экструдированными отрубями.

Добавление в рацион экструдата с 25 % карбонатом кальция в V опытной группе было зафиксировано уменьшение всех исследуемых микроэлементов (Fe, Cu, Ni, Zn, Mn) на 11,97 % ($p \leq 0,001$), 3,8 %, 81,93 % ($p \leq 0,001$), 10,57 % ($p \leq 0,001$), 10,87 % ($p \leq 0,05$) по отношению к I опытной группе. Однако наблюдалось повышение Mg и Cd на 3,98 % ($p \leq 0,05$) и 24,0 % ($p \leq 0,001$).

2.2.2.7 Обмен энергии в организме подопытной птицы

Энергия является одним из основных факторов, определяющим уровень продуктивности животных, поэтому вопросы энергетического баланса и состояния межклеточного обмена требует особого внимания. Для животных

основным источником энергии является энергия химических связей. На баланс энергии влияет как состав рациона, так и степень использования нутриентов корма организмов.

Экструзия является доступным технологическим процессом, влияющим на использование питательных веществ рациона организмом птицы, что в первую очередь повлияет на уровень энергии. Так, в исследовании установлено, использование экструдированных отрубей характеризовалось неоднозначным влиянием на доступность энергии для обмена (таблица 41).

В частности, изучено, замена 10% зерновой части на экструдированные отруби приводила к увеличению валовой энергии корма на 18,95 % с соответственным повышением обменной энергии на 15,54 % в сравнении контролем. В то же время наблюдается потери энергии с пометом и теплопродукцией на 2,12%, 2,06% соответственно.

Чистая энергия прироста имела значение 18,48 МДж/гол против контрольных – 17,98 МДж/гол, разница составила 2,78 %. Доля чистой энергии прироста от валовой составила 26,56 %, что на 4,18% ниже контрольной группы.

При дополнительном введении CaCO_3 (от 10 до 25 %) к экструдату отрубей ситуация складывалась иным образом. Так, при добавлении 10 % CaCO_3 во II опытной группе наблюдалось снижение валовой энергии на 10,99 %, обменной на 13,29 % в сравнении с группой, получавшей исключительно экструдат. Потери энергии с пометом были выше на 1,83 %, одновременно с этим потери энергии с теплопродукцией были ниже на 8,14 % в сравнении с I группой. Такое снижение потерь энергии с теплопродукцией говорит об эффективном использовании энергии, что в первую очередь отразилось на чистой энергии прироста. Введение 10 % CaCO_3 приводило к увеличению чистой энергии прироста на 10,12 %, по отношению к I опытной группе. При этом доля чистой энергии от объёма валовой составила 32,88 %, что на 6,32 % больше значений II группы.

Таблица 41 – Баланс энергии в организме подопытных бройлеров за эксперимент

Группа	Валовая энергия корма (ВЭ) МДж/гол	Потери энергии с пометом, % от ВЭ	Обменная энергия, МДж/гол	Потери энергии с теплопродукцией, % от ВЭ	Чистая энергия прироста	
					МДж/гол	% от ВЭ
Контроль	58,48	26,27	43,12	42,99	17,98	30,74
I опытная	69,56	28,39	49,82	45,05	18,48	26,56
II опытная	61,91	30,22	43,20	36,91	20,35	32,88
III опытная	59,32	26,87	43,38	40,82	19,17	32,31
IV опытная	58,98	28,09	42,42	42,61	17,28	29,31
V опытная	61,53	28,13	44,23	42,96	17,79	28,92

Дальнейшее увеличение доли CaCO_3 сопровождалось схожей тенденций к снижению как валовой энергией, поступившей с кормом, так и обменной, полученной в процессе распада химических связей макроэргических соединений. В частности, при введении 15 % CaCO_3 , в сравнении с I опытной группой отметим снижение валовой энергии на 14,72%, обменной на 12,93 %. Внесение 20 % CaCO_3 в IV и 25 % CaCO_3 в V опытной группе сопровождалось аналогичным снижением валовой энергии на 15,21% и 11,54 %, обменной на 14,85 % и 11,22 %, соответственно в сравнении с I опытной группой. Несмотря на вышеизложенное, чистая энергия прироста была выше в III опытной группе и составила 19,17 МДж/гол против 18,48 МДж/гол в I опытной группе, получавшей только экструдат. В IV и V опытных группах данный показатель был ниже на 6,49% и 3,73% в сравнении со значениями I группы.

Одним из этапов увеличения эффективности выращивания является снижение непродуктивных энергопотерь. Введения CaCO_3 в диапазоне концентраций от 15 до 25 % сопровождается снижением энергопотерь. Так, при введении 15% CaCO_3 в III опытной группе отметим максимальное снижение потерь энергии как с пометом, так и с теплопродукцией на 1,83 % и

на 8,14 % в сравнении со I группой соответственно. В IV и V опытных группах разница с I группой по потери энергии с пометом была незначительной, при этом потери с теплопродукцией были ниже на 2,44 % и 2,09 % соответственно.

Анализируя полученные данные, отметим, цыплята II и III опытных групп лучше использовали энергию корма для формирования продуктивности.

Наличие клетчатки в рационе способствуют ограничению использования обменной энергии.

Таким образом, кормление цыплят-бройлеров кормосмесью с заменой 10% зерновой части на отруби после барогидротермической обработки, сопровождалось изменением баланса энергии. В частности, увеличением обменной энергии на 15,54 % и чистой энергии прироста на 7,1 %. При этом дополнительное введение CaCO_3 совместно с экструдированными отрубями оказывало влияние на чистую энергию продукции. Количество чистой энергии было наибольшим в группе получавшей в составе рациона экструдат с включением 10% карбоната кальция значение показателя увеличилось на 2,37 МДж/гол относительно контроля.

По снижению непродуктивных энергопотерь с теплопродукцией, лидерами стали II группа – 10 % CaCO_3 и III – 15 % CaCO_3 .

Влияние экструзии на эффективность межуточного обмена. В ходе обмена веществ в организме происходит ряд промежуточных стадий, в которых процессы синтеза и распада тесно взаимосвязаны. Изменения в энергетическом статусе оказывают влияние на состояние метаболизма, поэтому необходимо детальное рассмотрение особенностей межуточного обмена под действием изучаемых факторов (таблица 42).

При замене 10% зерна пшеница на экструдат отрубей в рационе цыплят-бройлеров наблюдались стойкие изменения межуточного обмена. Так, в сравнении с контролем происходило увеличение обменной энергии сверхподдержания на 22,19 % и чистой энергии поддержания на 4,81 %.

Таблица 42 – Особенности межуточного обмена энергии в организме цыплят-бройлеров за период опыта

Показатель	Группа					
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
Обменная энергия сверхподдержания, МДж/гол	26,63	32,54	26,07	26,52	25,57	27,65
Чистая энергия поддержания, МДж/гол	13,52	14,17	14,05	13,84	13,82	13,59
Коэффициент полезного использования обменной энергии	0,675	0,568	0,781	0,723	0,676	0,644
Уровень питания	1,329	1,304	1,449	1,385	1,251	1,309
Коэффициент соответствия	0,046	0,040	0,057	0,051	0,049	0,046
Энергопротеиновое отношение	0,211	0,223	0,214	0,170	0,212	0,202

С учётом соблюдения закона сохранения вещества и энергии, обменная энергия сверхподдержания выступает своеобразным критерием полноценности питания. Со снижением продуктивности, растёт доля затрат на поддержание жизни для установления равновесия между обменом энергетическим и пластическим. Обменная энергия сверхподдержания включает себя энергию продукции и энергию, затраченную на синтез этой продукции.

Таким образом, во I опытной группе изменения чистой энергии прироста составили 2,78 %, а обменной энергии сверхподдержания - 22,19 % в сравнении с контрольной группой, что говорит о наличии несоответствия между энергетическими и пластическими обменов. Данный факт подтверждается снижением коэффициента полезного использования обменной энергии на 12,48 % и коэффициента соответствия на 9,09% по отношению к контрольной группе.

При недостатке энергии протеин непроизводительно расходуется на энергетические цели, при избытке энергии происходит ожирение. Следовательно, протеин должен находиться в оптимальном соотношении с обменной энергией. В исследовании выявлено, замене 10% зерна пшеница на экструдат отрубей сопровождается увеличением энергопротеинового отношения, так во II группе данный показатель составил 0,223, против 0,211 в I группе. Что говорит об оптимальном соответствии протеина с обменной энергией.

При введении комплекса CaCO_3 (от 10 до 25 %) – экструдат отрубей, также наблюдались сдвиги в эффективности межуточного обмена. Так, 10 % CaCO_3 во II опытной группе способствовал снижению обменной энергии сверхподдержания на 19,9 % в сравнении с I группой. При этом чистая энергия поддержания также была снижена незначительно. Что свидетельствует о том, что основная часть энергии сверхподдержания была затрачена на синтез продукции. Так, непосредственно чистая энергия продукция была повышена в данной группе на 10,12 %. Таким образом, стратегия введения 10 % CaCO_3 приводит к увеличению эффективности межуточного обмена. Об этом свидетельствует также увеличение коэффициента полезного использования обменной энергии на 37,5 %.

Увеличение концентрации CaCO_3 до 25 % сопровождалось схожей тенденцией, что и 10 % CaCO_3 , а именно снижение доли обменной энергии сверхподдержания и чистой энергии поддержания. В частности, при введении 15 % CaCO_3 в III опытной группе происходило снижение обменной энергии сверхподдержания на 18,5 % и чистой энергии поддержания на 2,33%, при добавлении 20 % CaCO_3 изменения составили 21,42 % и 2,47 %, соответственно в сравнении с I опытной группой. Однако в V группе, при введении 25 % CaCO_3 разница по уменьшению доли чистой энергии поддержания в сравнении с I опытной группой составила 4,09 %, по обменной энергии сверхподдержания – 15,03 %. Коэффициент соответствия прямо пропорционально снижался в ряду увеличения концентрации CaCO_3 , с

0,057 до 0,046. Что свидетельствует об увеличении затрат обменной энергии на трансформацию поступающих с кормом метаболитов в наиболее оптимальную форму для организма. Аналогичная ситуация сложилась и в отношении коэффициента полезного использования обменной энергии, значение данного показателя во I опытной группе составило 0,568, в группе введения 10 % CaCO_3 - 0,781; 15 % CaCO_3 – 0,723; 20 % CaCO_3 – 0,676; 25 % CaCO_3 – 0,644.

Энергопротеиновое отношение во II группе было ниже на 4,04 %, в IV группе на 4,93 % и в V на 9,42 % по отношению к I группе. Парадоксально, но энергопротеиновое отношение в III группе было в 1,32 раз ниже значений I группы, что говорит о несоответствии соотношения протеина к уровню обменной энергии.

Таким образом, в отношении эффективности преобразования энергии корма и включения метаболитов в систему гомеостатирования организма выгодной стратегией является скормливания экструдата с добавлением 10 % CaCO_3 . Анализ межуточного обмена позволяет заключить, что дальнейшее увеличение концентрации CaCO_3 не имеет целесообразности в отношении соразмерности пластического и энергетического обменов.

Замена 10% зерновой части на экструдированные отруби повышает биохимическую эффективность процессов использования субстратов, о чем свидетельствует увеличение ряда показателей межуточного обмена, в частности обменной энергии сверхподдержания и чистой энергии поддержания.

2.2.2.8 Мясная продуктивность цыплят-бройлеров

Оценивая мясную продуктивность птицы, мы не получили достоверной разницы по предубойной живой массе в опытных группах, за исключением II группы, получавшей в составе рациона экструдат пшеничных отрубей с 10% CaCO_3 превысившей контроль на 13,3% (таблица 43). При этом количество

мышечной ткани в этой группе было наибольшим – 1332,9г, дальнейшее увеличение дозировок вводимого CaCO_3 снижало выход мяса относительно II опытной группы на 3,1% - при введении 15% CaCO_3 в экструдат; 8,4% - при введении 20% CaCO_3 в экструдат, наибольшее снижение на 12,5% наблюдалось в группе, получавшей 25% карбоната в составе экструдированных отрубей.

Таблица 43 – Мясная продуктивность подопытной птицы

Показатель	группа					
	контроль	I группа	II группа	III группа	IV группа	V группа
Предубойная живая масса	2 398,00 ±61,79	2 618,00 ±149,80	2 718,00 ±122,66*	2 602,67 ±143,30	2 528,67 ±167,56	2 416,67 ±168,02
Потрошенная тушка	1 709,33 ±54,53	1 900,67 ±77,05*	1 943,00 ±123,22	1 833,00 ±117,69	1 797,67 ±140,98	1 704,67 ±123,53
Мышечная ткань	1 179,15 ±63,93	1 293,28 ±60,69	1 332,87 ±72,28	1 291,80 ±87,87	1 220,82 ±89,43	1 166,23 ±114,32
Костная ткань	307,78 ±15,19	337,22 ±43,32	365,18 ±53,42	311,03 ±18,65	348,22 ±41,95	321,13 ±16,79
Съедобная часть	1 489,70 ±62,82	1 631,45 ±84,07	1 689,28 ±76,64*	1 626,69 ±97,23	1 533,78 ±102,16	1 490,60 ±138,14
Убойный выход, %	71,3	72,6	71,5	70,4	71,1	70,5

Введение экструдата стимулировало рост костной ткани во всех опытных группах относительно контроля, однако включение 10 и 20% CaCO_3 во II и IV группах привело к увеличению массы костей на 18,7 и 13,1% соответственно.

Костно-мышечное соотношение менялось в опытных группах от 3,83 при введении экструдата, до 3,5 при созкструзии отрубей с 20% кальция.

Наилучшие показатели по убойному выходу были в группе, получавшей экструдированные отруби – 72,6%. Созкструзия с кальцием не оказала значимого влияния на этот показатель.

2.2.2.9 Результаты производственной проверки

Производственная проверка осуществлялась в условиях хозяйства ИП Тузикова Т.П. Оренбургской области, было отобрано 600 цыплят-бройлеров.

Контрольная группа получала базовый рацион, используемый в производственных условиях, в рационах птиц опытных групп производили замену отрубей на экструдированные, с дополнительным вводом кальция, а именно I – БР+(ЭО + 10% известняка) и II - БР+ (ЭО + 15% известняка).

В результате апробации был подтвержден продуктивный эффект, полученный ранее (таблица 44).

Таблица 44 – Экономическая эффективность производства мяса цыплят-бройлеров при скормливании

Показатель	Вариант		
	базовый	I опытный	II опытный
Поголовье цыплят: на начало опыта	600	600	600
на конец опыта	567	583	591
Живая масса 1 гол.	2391,6	2539,6	2450,4
Расход корма на 1 гол, кг	3,17	3,4	3,27
Убойный вес: 1 гол, г	2398	2718	2602,67
общий, кг	1359,666	1584,594	1538,17797
Масса потрошеной тушки, г	1709,33	1943	1833
Производственные затраты, всего	148946,3	155368,2	151876,9
Себестоимость 1 кг мяса, руб.	109,8	104,9	104,89
Средняя реализационная цена 1 кг мяса, руб.	110	110	110
Общая выручка от реализации, руб.	163867,0	185820,8	178935,9
Прибыль от реализации мяса, руб.	14920,7	30452,6	27059,0
Рентабельность, %	10,0	19,6	17,8

По результатам научно-хозяйственного опыта подтверждается эффективность введения в рацион экструдированных пшеничных отрубей с включением 10% CaCO₃. Себестоимость 1 кг мяса снижается на 4,5%, с увеличением рентабельности с 10% до 19,6%. Полученный экономический эффект совпадает с результатами проведенного эксперимента.

2.2.3 Влияние экструдатов на основе высококрахмалистых компонентов кормов с различной концентрацией карбоната кальция на обмен веществ и продуктивные качества цыплят-бройлеров

2.2.3.1 Корма и кормление подопытной птицы

Контрольная и опытные группы на протяжении всего эксперимента находились в одинаковых условиях. Комбикорма соответствовали рекомендациям ВНИТИПа. Стартовый и ростовой рацион формировались на пшенично-кукурузной основе, энергетическая ценность кормов в эксперименте составляла 12,72 – 13,23 МДж/кг (таблица 45, 46). К концу исследования сохранность поголовья равнялась 100%.

Таблица 45 – Питательность и состав стартового комбикорма, г/кг

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса вещества
Состав комбикорма:		Глицина, %	0,52
Пшеница	467	Изолейцина, %	0,85
Кукуруза	100	Лейцина, %	1,43
Шрот соевый	210	Фенилаланина+тирозина, %	0,82
Шрот подсолнечный	75	Фенилаланина, %	0,49
Мука рыбная	48	Кальция, %	1,01
Масло подсолнечное	50	Фосфора, %	0,7
Монохлоргидрат лизина	2,3	Фосфора усв. %	0,45
DL-метионин	1,1	Натрия, %	0,22
L-треонин	0,9	Железа, мг	17,14
Соль поваренная	3,6	Меди, мг	2,42
Монокальций фосфат	8	Цинка, мг	11,42
Мел кормовой	6	Марганца, мг	22,86
Известняковая мука	8	Кобальта, мг	0,06
Сода пищевая	0,1	Йода, мг	0,38
БВМД ЭРА-2 (ВС-107)	20	Витаминов:	
В комбикорме содержится:		А, тыс МЕ	2,58
Обм.энергии, МДж/кг	12,72	Д, тыс МЕ	0,8
Сырого протеина, %	23,01	Е, мг	9
Сырой жир, %	9,75	В ₁ , мг	0,76
Сырой клетчатки, %	4,14	В ₂ , мг	1,6

Продолжение таблицы 45

Лизина, %	1,36	В ₃ , мг	3
Метионина, %	0,53	В ₄ , мг	60
Метионина+цистина, %	0,87	В ₅ , мг	9
Треонина, %	0,90	В ₆ , мг	1
Триптофана, %	0,29	В ₁₂ , мг	0,008
Аргинина, %	1,37	В _с , мг	0,6
Валина, %	0,98	Н, мг	0,04
Гистидина, %	0,24		

Таблица 46 – Питательность и состав ростового комбикорма, г/кг

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса вещества
Состав комбикорма:		Кальция, %	0,8
Пшеница	323	Фосфора, %	0,65
Кукуруза	320	Натрия, %	0,24
Шрот соевый	145	Железа, мг	17,14
Шрот подсолнечный	70	Меди, мг	2,42
Мука рыбная	52,7	Цинка, мг	11,42
Масло подсолнечное	50	Марганца, мг	22,8
Монохлоргидрат лизина	0,1	Кобальта, мг	0,06
DL-метионин	0,1	Йода, мг	0,38
L-треонин	0,1	Витаминов:	
Соль поваренная	3	А, тыс МЕ	2,58
Монокальций фосфат	7	Д, тыс МЕ	0,80
Мел кормовой	3	Е, мг	9,00
Известняковая мука	5	В ₁ , мг	1,08
Сода пищевая	1	В ₂ , мг	0,76
БВМД ЭРА-2 (ВС-107)	20	В ₃ , мг	1,60
В комбикорме содержится:		В ₄ , мг	3,00
Обменной энергии, МДж/кг	13,23	В ₅ , мг	60,00
Сырого протеина, %	19,99	В ₆ , мг	9,00
Сырой клетчатки, %	3,66	В ₁₂ , мг	1,00
Сырой жир, %	7,5	В _с , мг	0,008
Лизина, %	1,02	Н, мг	0,60
Метионина, %	0,4		
Метионина+цистина, %	0,71		
Треонина, %	0,72		

Введение экструдированной кукурузы способствовало увеличению поедаемости кормов во всех опытных группах, наибольшее потребление корма за период эксперимента наблюдалось в I опытной группе, которая превысила по данному показателю контроль на 29,7% (таблица 47).

Введение кальция в экструдат не способствовало увеличению потребления кормов, на фоне I опытной группы наблюдалось снижение показателя на 12% во II опытной группе и в III опытной на 19,9%

Однако относительно контроля поедаемость увеличивалась от 14,1% во II опытной группе до 3,9% в III группе.

Таблица 47 – Потребление кормов с учетом дифференцированного кормления, г/гол

Показатель	Группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Стартовый комбикорм	1233,2	1321,8	1290,8	1209
Ростовой комбикорм	1519,4	2247,15	1850	1649,6
Всего за эксперимент	2752,6	3568,95	3140,8	2858,6

Введение экструдированных компонентов в стартовый и ростовой рацион увеличило поедаемость кормов относительно контрольной группы.

2.2.3.2 Рост и развитие подопытной птицы

Значимых различий в динамике живой массы на протяжении эксперимента между группами не обнаружено. На конец эксперимента во II опытной группе показатель живой массы достоверно превышал показатели контроля на 3,2 % ($p \leq 0,05$). В то время как в I группе разница с контролем составила 13,7 % (таблица 48).

Таблица 48 – Динамика живой массы подопытных цыплят-бройлеров, г/гол

Неделя опыта	Группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
0	664,2 ±30,81	663,4 ±30,109	663,0 ±30,15	663,8 ±30,38
1	1101,0 ±31,23	1 093,6 ±56,69	1077,8 ±37,61	1044,8 ±38,67
2	1610,2 ±55,85	1 717,0 ±76,87	1683,4 ±64,60	1624,6 ±44,76
3	2107,8 ±74,78	2 346,6 ±100,19	2274,0 ±82,01	2095,2 ±78,14
4	2098,8 ±78,52	2 448,0 ±110,33	2386,6 ±81,80*	2165,6 ±78,41

Экструдирование кукурузы способствовало росту опытной птицы во всех группах. Так, наибольшая живая масса на конец эксперимента – 2448,0 г зафиксирована в I опытной группе, абсолютный прирост за эксперимент составил 1784,6 г/гол.

2.2.3.3 Морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров

Содержание глюкозы в крови во многом зависит от ее обмена, происходящего из процессов, происходящих в организме, их метаболизма на уровне клеток и тканей (таблица 49).

Экструдированная кукуруза с включением 10% кальция повышает уровень сахара в крови с 12,2ммоль/л в I опытной группе до 14,4ммоль /л, экструдат без минерального компонента достоверно снижает глюкозу крови относительно контрольной группы. Последующее увеличение дозы кальция снижает показатель до уровня контроля.

Таблица 49 – Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров кросса Арбор-Айкрес в возрасте 42 дня

Показатель	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Глюкоза, ммоль/л	13,9 ±0,23	12,2 ±0,26 ^{aa}	14,4 ±0,31 ^{bb}	13,6 ±0,49
Общий белок, г/л	40,6 ±0,65	40,4 ±0,91	46,3 ±0,82 ^{aabb}	43,7 ±0,70 ^{ab}
Альбумин, г/л	17,7 ±0,33	17,0 ±0,87	19,7 ±0,33 ^{ab}	18,7 ±1,20
АЛТ, Ед/л	2,57 ±0,49	2,67 ±0,24	1,07 ±0,37 ^b	2,87 ±0,29
АСТ, Ед/л	315,4 ±12,65	298,9 ±8,34	330,5 ±12,61	315,1 ±11,60
Бил.общий, мкмоль/л	0,90 ±0,081	0,68 ±0,097	0,81 ±0,093	0,57 ±0,015 ^a
Бил.прямой, мкмоль/л	0,29 ±0,031	0,28 ±0,027	0,40 ±0,037 ^b	0,57 ±0,079 ^{ab}
Tg, ммоль/л	0,29 ±0,025	0,32 ±0,026	0,31 ±0,083	0,33 ±0,009
Креатинин, мкмоль/л	25,8 ±0,809	25,4 ±0,404	25,8 ±0,994	23,5 ±0,233 ^b
Щелочная фосфатаза, Ед/л	176,4 ±12,1	174,6 ±14,2	200,4 ±11,5	87,5 ±14,4 [*]
А-Амилаза, Ед/л	271,7 ±17,98	191,7 ±19,342 ^a	223,0 ±14,048	148,3 ±11,289 ^{aa}
г-ГТ, Ед/л	31,7 ±1,45	22,7 ±3,28	24,7 ±2,60	24,3 ±2,33
Мочевая кислот, мкмоль/л	208,4 ±14,50	193,5 ±18,05	132,6 ±17,41 ^a	159,4 ±15,47
Fe, мкмоль/л	14,9 ±2,10	17,1 ±2,48	13,3 ±1,60	21,8 ±2,55
р-Амилаза, Ед/л	350 ±41,0	229 ±35,3	289 ±35,5	339 ±23,3
ЛДГ, Ед/л	1 373 ±121	1 481 ±117	1 594 ±140	1 478 ±155
Липаза, Ед/л	15,1 ±1,33	15,4 ±1,065	17,0 ±1,02	8,90 ±2,31
Mg, ммоль/л	1,34 ±0,03	1,36 ±0,038	1,36 ±0,03	1,58 ±0,066 ^{ab}
Ca, ммоль/л	3,69 ±0,14	3,63 ±0,22	3,72 ±0,155	5,34 ±0,200 ^{aabb}
Фосфор, ммоль/л	7,80 ±0,07	7,70 ±0,06	6,72 ±0,413	10,6 ±0,561 ^{aabb}

Примечание:

Различия с контрольной группой достоверны при ^a - p≤0,05; ^{aa} - p≤0,01; ^{aaa} - p≤0,001

Различия с I группой достоверны при ^b - p≤0,05; ^{bb} - p≤0,01; ^{bbb} - p≤0,001

Однако, замена кукурузы в рационе I группы на экструдированную привело к достоверному снижению концентрации глюкозы на 12,3 % ($p \leq 0,01$) по отношению к контролю.

В результате исследований установлено, что введение в рацион цыплят карбоната кальция оказало влияние на белковый обмен. Так, уровень белка в крови цыплят-бройлеров достоверно повышается во II и III опытных группах, разница с контролем составила 46,3 % ($p \leq 0,01$) и 43,7 % ($p \leq 0,05$), аналогично, при сравнении с I опытной группой, разница составила 14,6 % ($p \leq 0,01$) и 8,2 % ($p \leq 0,05$), соответственно.

Концентрация альбумина, при внесении в рацион II группы 10 % карбоната кальция, повышается на 11,3 % ($p \leq 0,05$) при сравнении с контролем, и на 15,7 % ($p \leq 0,05$) при сравнении с I опытной.

Активность ферментов исследуется с целью оценки гомеостатического ответа печени на метаболиты, а также в качестве индикаторов состояния печени. Активность АЛТ во II группе снижается на 60 % ($p \leq 0,05$), с повышением активности АСТ на 10,6 % при сравнении с I группой.

В III группе достоверно снижается концентрация общего билирубина на 36,3 % ($p \leq 0,05$) при сравнении с контролем.

Креатинин в крови цыплят I и II опытных групп находился на уровне контрольных значений. Однако, данный показатель в III группе (20 % карбоната кальция) достоверно снижается на 7,4 % ($p \leq 0,05$) при сравнении с I опытной группой.

Большая часть сывороточной щелочной фосфатазы имеет печеночное происхождение, так как этот фермент содержится в клетках билиарного эпителия и в каникулярных мембранах гепатоцитов (González F. H. D., Silva S. C. 2006). Активность щелочной фосфатазы снижается в III группе на 50,4 % ($p \leq 0,01$) при сравнении с контролем.

По активности α -амилазы мы можем судить о состоянии поджелудочной железы. В нашем исследовании активность α -амилазы достоверно снижается

в I и III группах на 29,5 % ($p \leq 0,05$) и 45,4 % ($p \leq 0,01$) относительно показателей контрольной группы.

Мочевая кислота в сыворотке крови цыплят II группы достоверно снижается на 36,4 % ($p \leq 0,05$) при сравнении с контролем.

При внесении в рацион III опытной группы 20% карбоната кальция наблюдается повышение минералов в сыворотке крови опытных цыплят-бройлеров. При введении в рацион цыплят карбоната кальция наблюдаются изменения морфологических показателей крови (таблица 50).

Таблица 50 – Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров кросса Арбор-Айкрес в возрасте 42 дня

Показатель	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
лейкоциты, $10^9/\text{л}$	26,3 $\pm 0,97$	31,9 $\pm 1,89$	33,7 $\pm 3,07$	33,8 $\pm 1,47^a$
лимфоциты, %	53,3 $\pm 0,29$	53,6 $\pm 1,34$	53,4 $\pm 2,29$	49,7 $\pm 2,31$
моноциты, %	7,2 $\pm 0,57$	7,2 $\pm 0,47$	7,7 $\pm 0,49$	8,23 $\pm 1,04$
гранулоциты, %	39,5 $\pm 0,39$	39,1 $\pm 0,87$	38,9 $\pm 1,81$	42,1 $\pm 1,10$
эритроциты, $10^{12}/\text{л}$	3,9 $\pm 0,02$	3,36 $\pm 0,26$	3,60 $\pm 0,27$	3,48 $\pm 0,19$
гемоглобин, г/л	115,0 $\pm 2,52$	120,7 \pm 3,18	117,3 $\pm 5,67$	110,0 $\pm 4,04$
гематокрит, %	20,2 $\pm 0,32$	21,7 $\pm 0,35^a$	21,0 $\pm 1,24$	20,2 $\pm 1,31$
объем эритроцитов, fL	105,4 $\pm 0,98$	107,6 $\pm 1,97$	108,6 $\pm 0,78$	112,4 $\pm 1,35^a$
гемоглобин, пг	59,7 $\pm 0,77$	59,6 $\pm 1,09$	60,6 $\pm 0,65$	60,7 $\pm 1,56$
клеточный гемоглобин, г/л	568,7 $\pm 4,05$	555,3 $\pm 6,01$	559,7 $\pm 8,65$	542,3 $\pm 12,77$
точн.распред. эритроцитов,%	101,0 $\pm 0,15$	11,1 $\pm 0,19$	11,0 $\pm 0,06$	10,7 $\pm 0,24$
шир.распред.эритроцитов,fL	35,1 $\pm 0,75$	37,3 $\pm 0,43$	36,4 $\pm 0,75$	36,8 $\pm 0,433$
тромбоциты, $10^9/\text{л}$	109,0 \pm 1,16	113,3 $\pm 3,84$	106,3 $\pm 12,41$	117,3 $\pm 9,28$
Средний объем тромбоцитов, fL	18,2 $\pm 0,19$	18,8 $\pm 0,38$	18,2 $\pm 0,18$	18,45 0,43
тромбокрит, %	0,19 $\pm 0,01$	0,21 $\pm 0,01$	0,19 $\pm 0,02$	0,2 $\pm 0,02$

Примечание:

Различия с I группой достоверны при ^a - $p \leq 0,05$; ^{aa} - $p \leq 0,01$; ^{aaa} - $p \leq 0,001$

Различия с II группой достоверны при ^b - $p \leq 0,05$; ^{bb} - $p \leq 0,01$; ^{bbb} - $p \leq 0,001$

Наблюдается тенденция повышения лейкоцитов в крови цыплят опытных групп. Однако, достоверные различия отмечены в III группе, разница с контролем составила 28,6 % ($p \leq 0,05$).

Схожая тенденция наблюдается в отношении уровня гематокрита. Так, в крови цыплят I группы данный показатель на 7,4 % ($p \leq 0,05$) превышает показатели контроля.

Следует отметить, что в опытных группах отмечено увеличение содержания объема эритроцитов. Так, данный показатель в I группе превысил контроль на 2,1 %, во II – на 3 % и в III – на 6,7 % ($p \leq 0,05$), соответственно.

Профиль крови связан с состоянием здоровья и уровнем обмена веществ, так и его значения являются отличными индикатором метаболизма. На основании проведенных исследований установлено, что заменой зерновой части (отруби и кукуруза) рациона на экструдированные корма, с различными дозами карбоната кальция, способствует стимуляции гемопоэза, не меняя стабильности кроветворения и постоянства ее состава, а также вызывает изменения в метаболизме некоторых микроэлементов и приводит к нарушению их всасывания.

2.2.3.4 Переваримость питательных веществ корма подопытной птицей

Развитие производства кормов возможно за счет повышения качества продукции и снижения затрат на их производство. Применяя метод экструзии можно улучшить качество кормов за счет повышения усвояемости и питательной ценности (Abd El-Khalek, E., and G. P. J. Janssens et al 2010). Данный метод особо эффективен для таких культур как кукуруза, соевая мука, рыбная мука, рапс, рапсовая мука и рисовые отруби, поскольку эти кормовые ингредиенты одни из важнейших источников энергии и белка корма (Tangjaidee P et al 2019).

Одним из этапов оценки эффективности применения экструдированных кормов является оценка использования питательных компонентов рациона,

что отображается в коэффициентах переваримости питательных веществ (таблица 51 и 52).

Полученные результаты показывают, что замена 10% зерна на экструдированную кукурузу (I группа) на стартовом рационе способствует незначительному повышению переваримости сырого протеина (СП) на 1,39 %, сырой клетчатки (СК) на 1%, относительно контроля.

Введение экструдата кукурузы с включением 10% CaCO_3 в рацион птиц II опытной группы снижает усвоение жира на 1,2%, органического вещества (ОВ) на 2% и БЭВ на 3,4 % ($P \leq 0,05$) в сравнении с контролем.

В III опытной группе, при скормливания экструдированной кукурузы с 20% карбоната кальция, достоверно повышается переваримость СЖ и СП на 3,2 % ($P \leq 0,01$) и 2,9 соответственно. Однако, наблюдается тенденция к снижению БЭВ на 1,9% и углеводов на 0,8% относительно контрольных значений.

Таблица 51 – Коэффициенты переваримости питательных веществ стартового рациона, %

Группа	Сухое веществ о	Органиче ское вещество	Сырой жир	Сырой протеин	Сырая клетчатка	БЭВ
контроль	77,40 $\pm 1,33$	80,51 $\pm 1,15$	87,83 $\pm 0,72$	85,92 $\pm 0,83$	12,93 $\pm 5,12$	82,40 $\pm 1,04$
I опытная	78,35 $\pm 1,20$	81,10 $\pm 1,05$	88,32 $\pm 0,65$	87,31 $\pm 0,70$	13,94 $\pm 4,78$	82,20 $\pm 0,99$
II опытная	75,81 $\pm 1,12$	78,42 $\pm 1,00$	86,65 $\pm 0,62$	87,67 $\pm 0,57$	13,32 $\pm 4,03$	78,97 $\pm 0,9^{a,b}$
III опытная	77,38 $\pm 1,55$	80,89 $\pm 1,31$	91,03 $\pm 0,62^{a,b}$	88,81 $\pm 0,77$	15,49 $\pm 5,80$	80,51 $\pm 1,34$

Примечание: ^a - $p \leq 0,05$ при сравнении контрольной и опытных групп;

^b - $p \leq 0,05$ при сравнении с ЭК.

Внесение в ростовые рационы цыплят – бройлеров экструдированной кукурузы вызывает значительное достоверное увеличение переваримости СЖ во всех опытных группах. Так, показатель I группы выше на 6,4 % ($P \leq 0,01$), во II на 8% ($P \leq 0,01$) относительно контроля. Максимальная переваримость СЖ

отмечена в III опытной группе, и составила 92%, при разнице с контролем 9,8 % ($P \leq 0,001$).

Значения переваримости СК в I, II и III опытных группах имеют недостоверные различия и положительные коэффициенты переваримости по сравнению с контрольной группой: 0,8 %, 0,6 % и 2,4 % соответственно. Таким образом, птицы этих групп намного лучше переваривали клетчатку.

Однако, нами отмечена тенденция к недостоверному снижению переваримости СП в I и II опытных группах, разница с контролем составила 6,6 % и 1,9 % соответственно.

Переваримость сухого вещества (СВ) обеспечивает поступление в организм необходимого количества питательных веществ и является решающим фактором в регуляции энергии в организме птицы. Несмотря на это, переваримость суховещества в опытных группах имела тенденцию к снижению по сравнению с контрольной группой, при этом лучше усваивается сырой жир и сырая клетчатка. Так у цыплят контрольной группы переваримость СВ ростового рациона находилась на уровне 74,4 %, то в I группе коэффициент переваримости ниже на 1,8 %, во II – на 3,5 %, в III на 0,5 %.

Таблица 52 – Коэффициенты переваримости питательных веществ ростового рациона, %

Группа	Сухое веществ о	Органичес кое вещество	Сырой жир	Сырой протеин	Сырая клетчатка	БЭВ
контроль	74,40 ±1,95	76,70 ±1,77	82,25 ±1,35	76,30 ±1,80	17,77 ±6,25	79,47 ±1,56
I опытная	72,63 ±2,43	75,02 ±2,21	88,62 ±1,01 ^a	69,72 ±2,68	18,55 ±7,22	77,64 ±1,98
II опытная	70,91 ±3,23	75,81 ±2,69	90,30 ±1,08 ^a	74,40 ±2,84	18,36 ±9,07	77,00 ±2,56
III опытная	73,95 ±2,97	79,28 ±2,36	92,02 ±0,91 ^{a, b}	77,60 ±2,55	20,15 ±9,10	80,11 ±2,27

Примечание: ^a - $p \leq 0,05$ при сравнении контрольной и опытных групп;

^b - $p \leq 0,05$ при сравнении с I опытной группой.

Таким образом, полученные результаты показывают, что экструдированный корм повышает усвояемость питательных компонентов рациона в большей степени, чем не экструдированный корм.

2.2.3.5 Оценка влияния экструзии компонентов кормов на изменение микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров

Введение в рацион опытных групп кальция в составе экструдатов приводит к значительному росту бифидобактерий во II и III опытной группе относительно контрольной и I опытной (таблица 53).

Таблица 53 – Изменение микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров

Наименование микроорганизма	Группа, КОЕ/г			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Грибы рода <i>Candida</i>	18550	33200	32960	32560
Бактерии рода <i>Salmonella</i>	1140	7360	-	870
Бактерии рода <i>Staphylococcus</i>	149×10^3	244×10^3	364×10^3	588×10^3
Бактерии рода <i>Lactobacillus</i>	960×10^6	370×10^6	2160×10^6	3760×10^6
<i>Clostridium perfringens</i>	500×10^3	+	-	-
Бактерии рода <i>Enterococcus</i> (<i>E. faecalis</i> , <i>E. faecium</i>)	2520000	2840000	5200000	3520000
Бактерии рода <i>Escherichia</i>	164×10^6	5×10^6	200×10^6	29×10^6
Бактерии рода <i>Bifidobacterium</i>	+	+	++	++
Бактерии рода <i>Proteus</i>	-	-	-	-

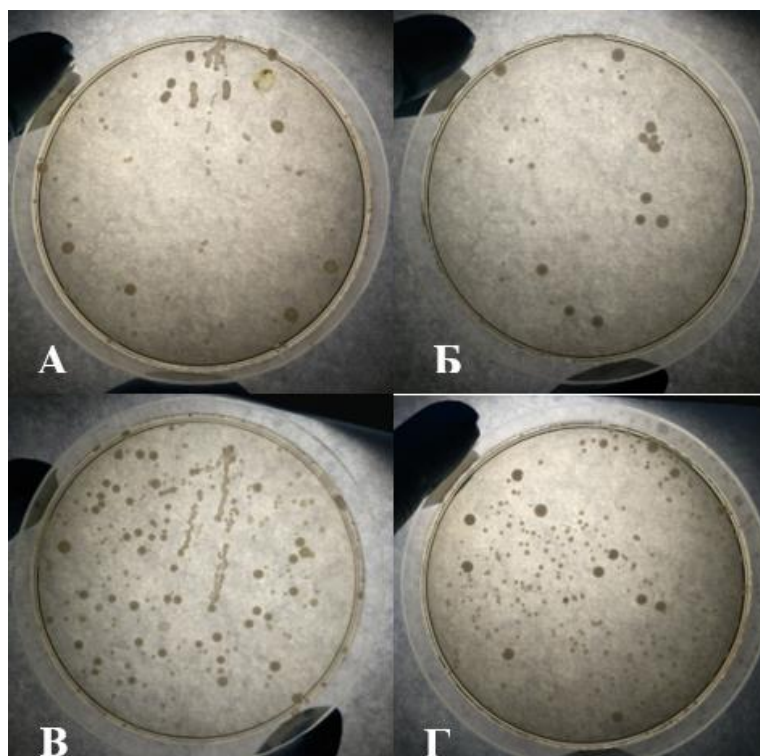
Примечание: «+» - рост, «-» - нет роста, «+/-» - слабый рост

Но в отличие от I группы, в которой колонии представлены утолщенными «кометами», во всех остальных наблюдаются более тонкие колонии в виде «тяжей». В контрольной группе отмечен минимальный рост бифидобактерий (рисунок 30).



Рисунок 30 – Рост бактерий рода *Bifidobacterium* (группы К-III опытная, слева на право)

Следующий представитель облигатной группы – бактерии рода *Lactobacillus spp.* Во всех исследуемых группах были обнаружены два вида данных бактерий, отличающихся цветом и диаметром колоний (рисунок 31).



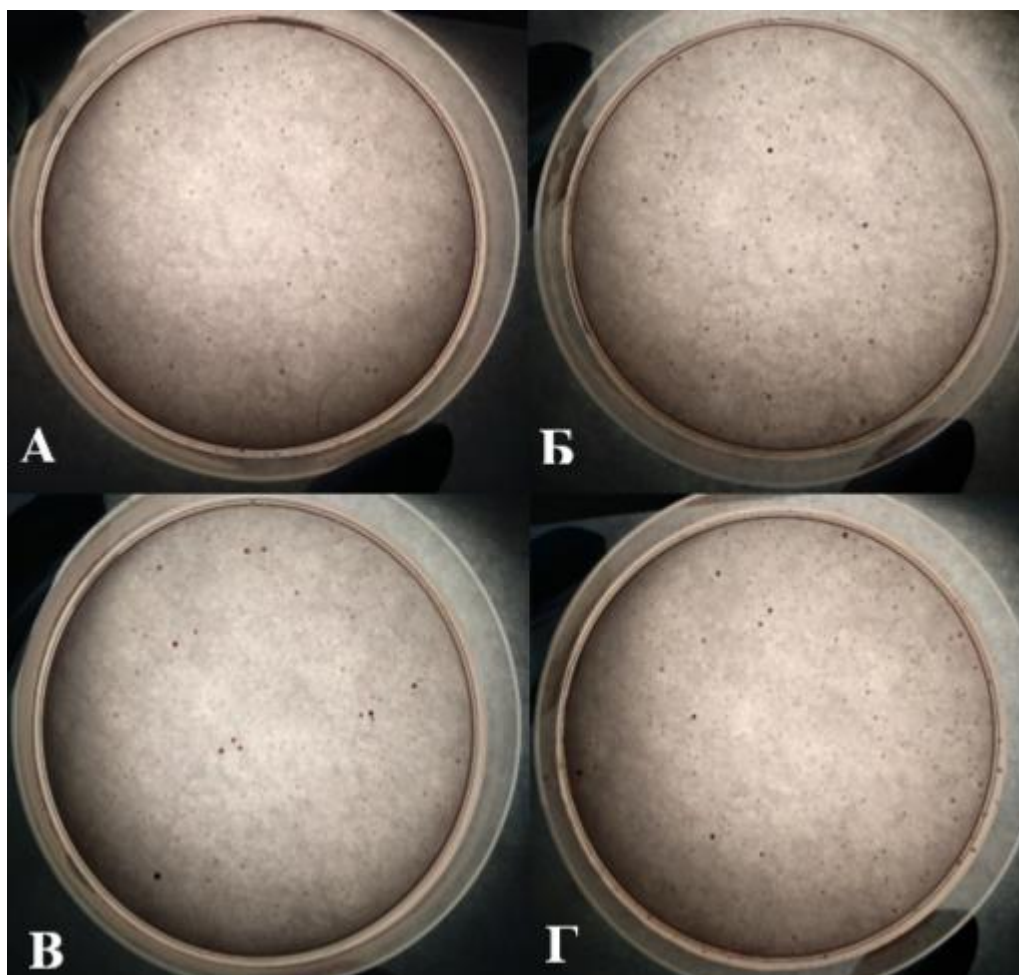
А – контроль, Б – I опытная группа, В – II опытная группа, Г – III опытная группа

Рисунок 31 – Рост бактерий рода *Lactobacillus*

Минимальный рост лактобактерий наблюдается в группе, получавшей экструдированную кукурузу. Включение кальция в состав экструдата в количестве 20% максимально - в 10,2 раза стимулирует развитие этих бактерий. В целом увеличение роста происходит в следующей последовательности $I < II < III$. Относительно контроля во II опытной группе количество бактерий увеличилось в 2,2, в III опытной – в 3,9 раз. Экструдат кукурузы в рационе снижает количество лактобактерий в 2,6 раза (как отмечалось ранее)

По морфологическим свойствам были выделены два вида бактерии рода *Enterococcus* – *E. faecalis* (гладкие, круглые, бордовые, блестящие, не менее 1 мм), *E. Faecium* (гладкие, круглые, сиренево-розовые со светлым ободком, диаметром не менее 1,5 мм). Количество колоний данных бактерий значительно не различалось между группами. Рост фиксировался в следующей последовательности $K < I$ (в 1,12 раз) $< III$ (в 1,4 раза) $< II$ (в 2 раза) (рисунок 32).

Оценка бактерий рода *Escherichia* показала, что во всех группах наблюдается увеличение роста по сравнению с группой, получавшей экструдированную кукурузу. В порядке интенсивности роста – в III опытной группе в 5,8 раз, в контрольной группе в 32,8 раз и максимальная разница со II опытной группой в 40 раз больше. Если сравнивать с контрольной группой, то зафиксировано небольшое увеличение в III и II опытных группах (в 0,17 и в 1 раз, соответственно) и только в I опытной группе снижение роста в 32,8 раз (как было описано выше) (рисунок 33).

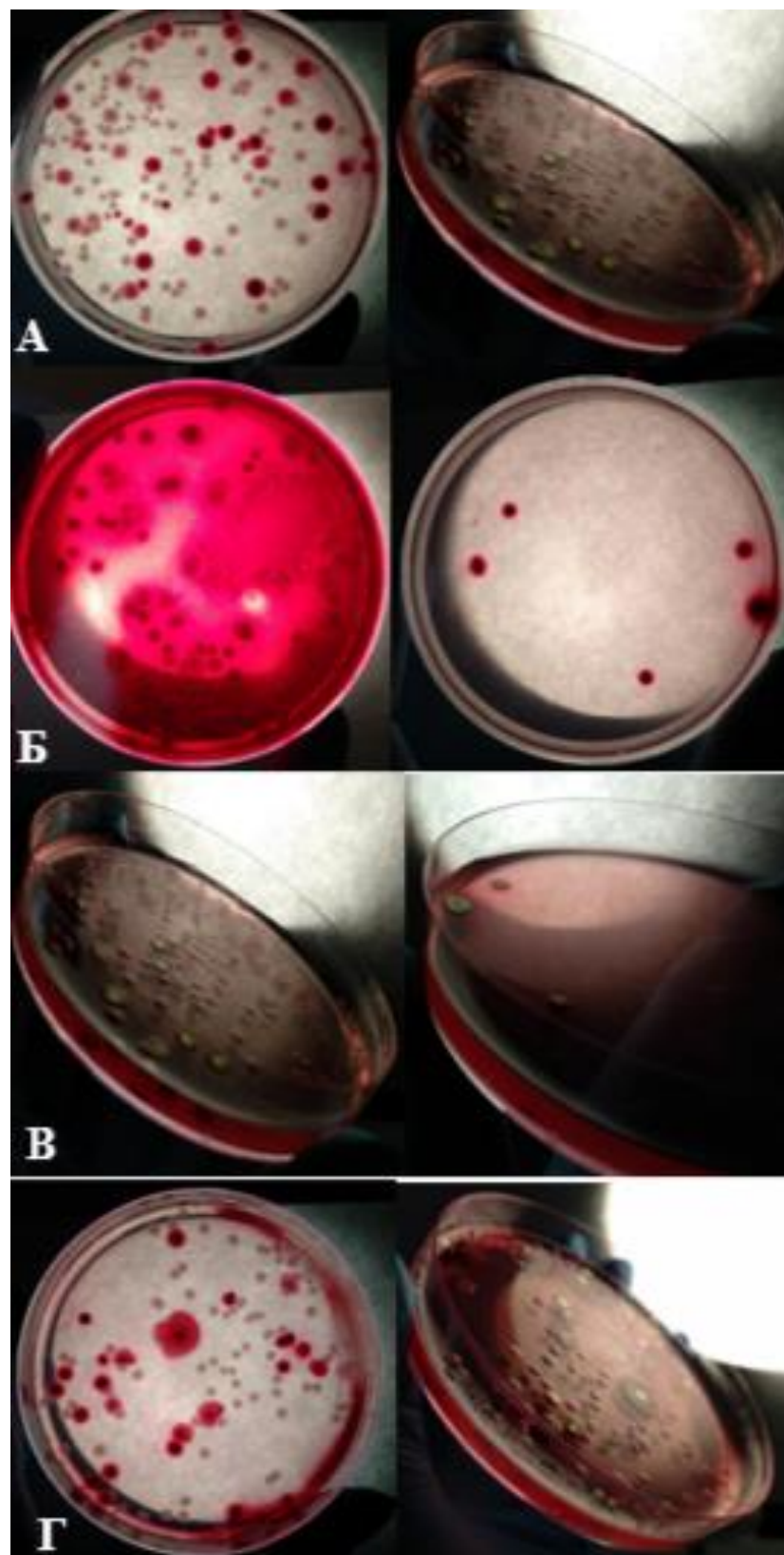


А – контроль, Б – I опытная группа, В – II опытная группа, Г – III опытная группа

Рисунок 32 – Рост бактерий рода *Enterococcus*

Далее мы исследовали условно-патогенную микрофлору. В состав этой группы входят бактерии рода *Proteus*, *Clostridium*, *Staphylococcus*, грибы рода *Candida*.

Культуру, полученную на дифференциально-диагностическом агаре для идентификации бактерий рода *Proteus*, пересевали на мясопептонный агар для подтверждения "роения". В результате такой специфический рост нами не был зафиксирован, следует сделать вывод, что бактерии данного рода в кишечнике бройлеров не были обнаружены.



А – контроль, Б – I опытная группа, В – II опытная группа, Г – III опытная группа

Рисунок 33 – Рост бактерий *Escherichia coli*

Рост бактерии *Clostridium perfringens* в II и III опытных группах отсутствовал. В контрольной группе обнаружено незначительное количество колоний, а в I опытной группе сплошной рост в столбике пробирки, без возможности подсчета КОЕ (рисунок 34).

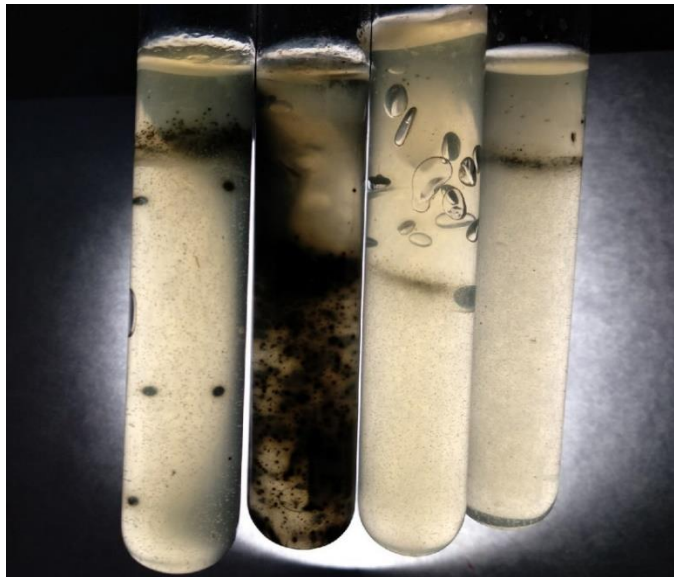
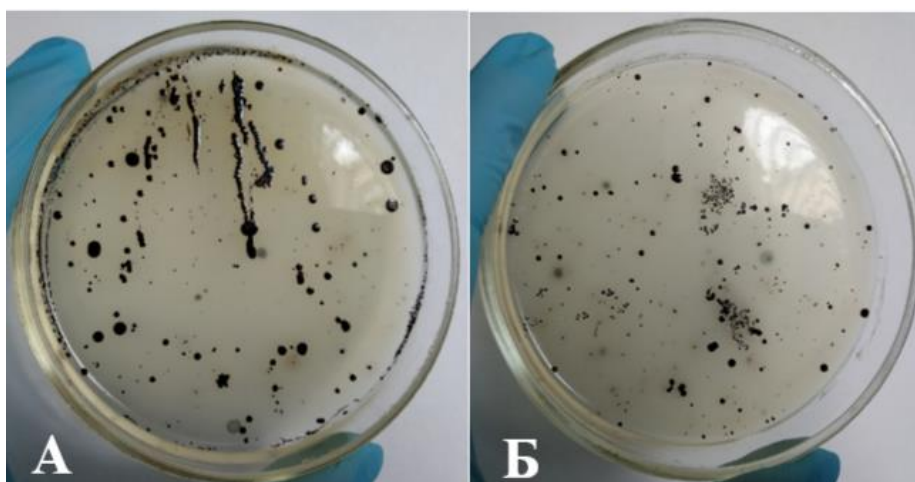
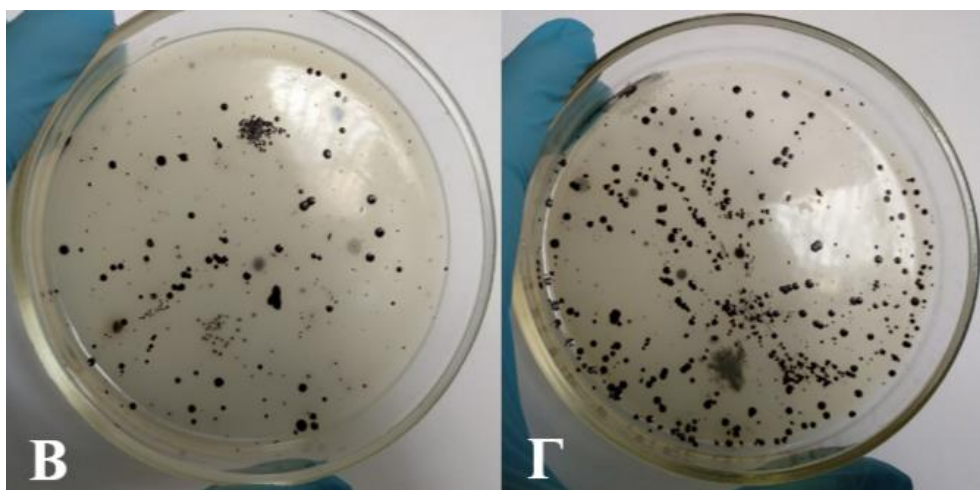


Рисунок 34 – Рост бактерий *Clostridium perfringens* (контроль→опытные группы)

Интенсивность роста бактерий рода *Staphylococcus* повышалась в ряду групп К < I < II < III, по отношению к контролю в 1,6 раз, в 2,4 раза и в 3,9 раз больше, соответственно. В сравнении с I опытной группой – повышение отмечалось в II и III группах (в 1,5 и в 2,4 раза, соответственно). Уменьшение в контроле (в 1,6 раз, как описывалось выше) (рисунок 35).

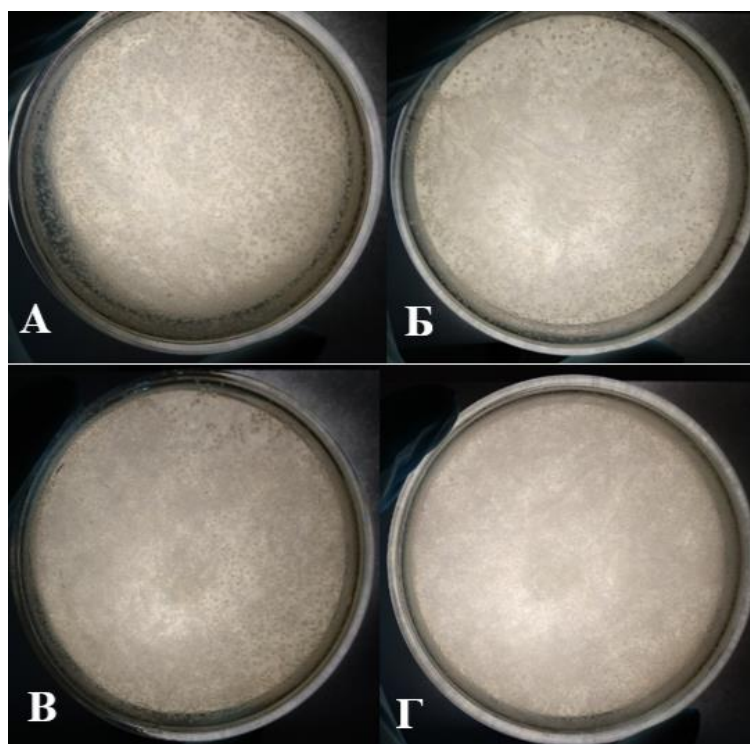




А –контроль, Б –I группа, В – II группа, Г – III группа

Рисунок 35– Рост бактерий рода *Staphylococcus*

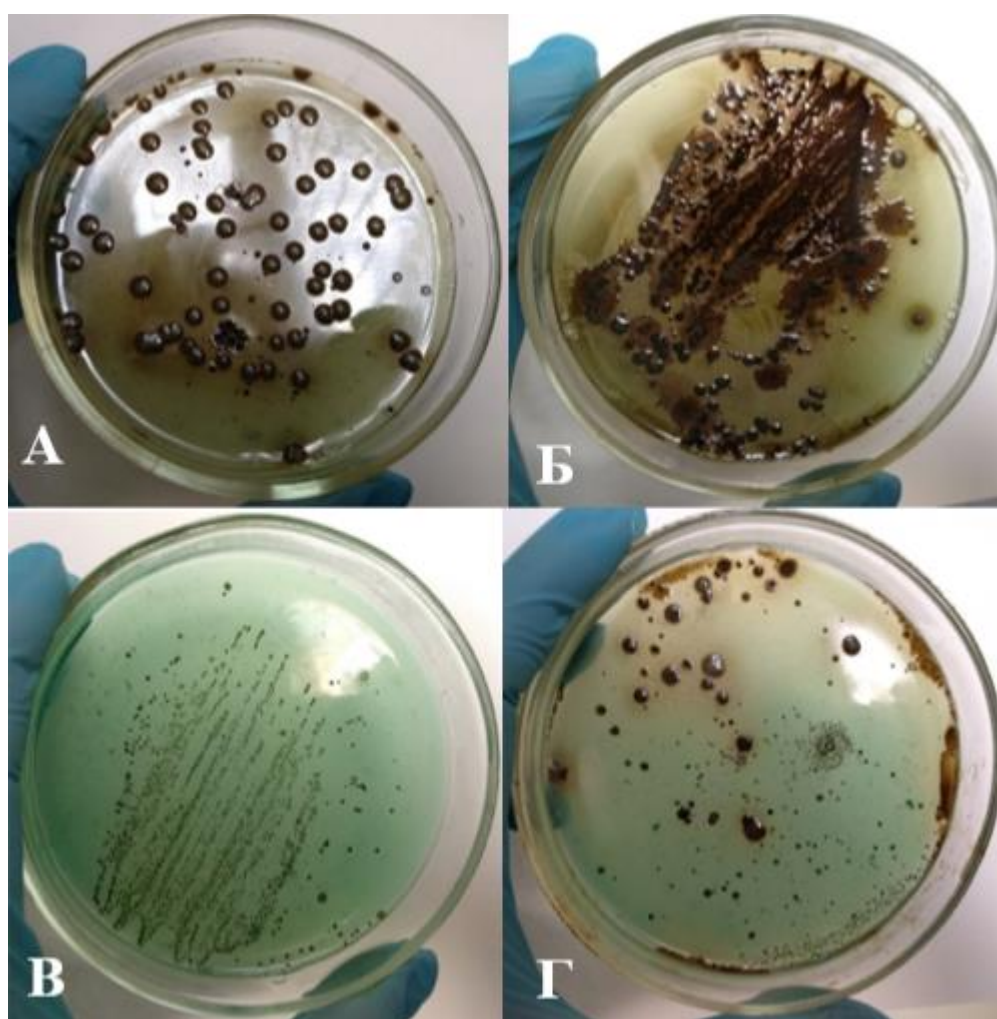
Максимальный рост грибов рода *Candida* зафиксирован для I группы, который совсем не отличается от II и III опытных групп (всего в 1 раз больше в обоих случаях), в 7 группе в 1,8 раз меньше (рисунок 36).



А –контроль, Б –I группа, В – II группа, Г – III группа

Рисунок 36 – Рост грибов рода *Candida*

Последняя группа микробиоценоза кишечника представлена патогенными бактериями родов *Salmonella*. В II опытной группе бактерии данного рода не были обнаружены. В I опытной группе зафиксирован максимальный рост, как в сравнении с контрольной, так и с III опытной группой (в 6,5 и 8,5 раз интенсивнее) (рисунок 37). По отношению к контрольной группе незначительное снижение роста, всего в 0,8 раз, наблюдается в III группе.



А – контроль, Б – I опытная группа, В – II опытная группа, Г – III опытная группа

Рисунок 37 – Рост бактерий рода *Salmonella*

2.2.3.6 Элементный состав тканей тела цыплят-бройлеров

Реактивная соэкструзия кукурузы и 20% CaCO₃ повышает содержание железа в мышцах на 60,41% ($p \leq 0,01$) относительно группы получавшей экструдированную кукурузу. Введение экструдата кукурузы приводит к накоплению Cd на 46,98 % ($p \leq 0,01$) и Pb на 88% ($p \leq 0,001$) к контролю. Остальные элементы в данной серии снижаются при включении CaCO₃ (таблица 54).

Таблица 54 – Содержание химических элементов в мышечной ткани подопытной птицы, мг/100г

Элемент	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Fe	7,67 ±0,261	6,7 ±0,629	4,9 ±0,447*(2)	10,7 ±0,734**(2)
Cu	1,74 ±0,059	1,38 ±0,130*(1)	0,956 ±0,086*(2)	1,072 ±0,073
Ni	0,044 ±0,001	0,045 ±0,004	0,034 ±0,003	0,027 ±0,002**(2)
Zn	38,0 ±1,290	29,7 ±2,796*(1)	23,5 ±2,121	24,3 ±1,663
Mn	0,331 ±0,011	0,201 ±0,019****(1)	0,090 ±0,008****(2)	0,189 ±0,013
Mg	80,3 ±2,728	77,1 ±24,579	87,9 ±16,589	60,7 ±14,116
Cd	0,014 ±0,000	0,022 ±0,002**(1)	0,024 ±0,002	0,021 ±0,001
Pb	0,044 ±0,001	0,083 ±0,008****(1)	0,04 4±0,004**(2)	0,061 ±0,004*(2)

Примечание:(1) – разница между значениями показателей контрольной группы и I опытной группы;

(2) – разница между значениями показателей I опытной и другими опытными группами.

* $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$

В костной ткани содержание всех изучаемых элементов кроме Mg, снижается во всех группах относительно контроля. При этом достоверно повышается содержание Cd и Pb (таблица 55).

Таблица 55 – Влияние процесса экструзии на содержание химических элементов в костной ткани, мг/100г

Элемент	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Fe	3,74 ±0,268	1,16 ±0,097*** ⁽¹⁾	2,54 ±0,373** ⁽²⁾	1,33 ±0,028
Cu	0,18 ±0,013	0,058 ±0,005*** ⁽¹⁾	0,18 ±0,026** ⁽²⁾	0,09 ±0,002*** ⁽²⁾
Ni	0,021 ±0,002	0,012 ±0,001*** ⁽¹⁾	0,015 ±0,002	0,009 ±0,000* ⁽²⁾
Zn	27,2 ±1,96	10,4 ±0,87*** ⁽¹⁾	20,5 ±3,01** ⁽²⁾	13,5 ±0,28** ⁽²⁾
Mn	0,34 ±0,024	0,35 ±0,030	0,38 ±0,056	0,34 ±0,007
Mg	38,8 ±2,79	54,6 ±4,58* ⁽¹⁾	41,4 ±6,08	39,6 ±0,83** ⁽²⁾
Cd	0,003 ±0,000	0,008 ±0,001*** ⁽¹⁾	0,008 ±0,001	0,006 ±0,000** ⁽²⁾
Pb	0,008 ±0,001	0,013 ±0,001** ⁽¹⁾	0,016 ±0,002	0,011 ±0,000

Примечание:(1) – разница между значениями показателей контрольной группы и I опытной группы;
(2) – разница между значениями показателей I опытной и другими опытными группами. *p≤0,05,
p≤0,01, *p≤0,001

Добавление экструдированной кукурузы в рацион цыплят-бройлеров I опытной группы привело к снижению концентрации Fe, Cu, Ni, Zn и Mn на 27,32 % (p≤0,001), 33,69 % (p≤0,001), 39,74 % (p≤0,001), 43,47 % (p≤0,001), 28,04 % (p≤0,001) в теле по сравнению с контрольной группой (таблица 56).

Таблица 56 – Влияние процесса экструзии на концентрацию химических элементов в теле птицы, мг/100г

Элемент	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Fe	17,758±0,1616	12,905±0,2315 *** ⁽¹⁾	16,069±0,6015 *** ⁽²⁾	15,143±0,2172 *** ⁽²⁾
Cu	1,834±0,0131	1,216±0,0144 *** ⁽¹⁾	1,010±0,0143 *** ⁽²⁾	1,248±0,0237
Ni	0,078±0,0008	0,047±0,0000 *** ⁽¹⁾	0,039±0,0007 *** ⁽²⁾	0,038±0,0003 *** ⁽²⁾
Zn	56,061±0,4557	31,686±0,0993 *** ⁽¹⁾	31,366±0,8504	30,617±0,2277 ** ⁽²⁾
Mn	0,681±0,0068	0,490±0,0080 *** ⁽¹⁾	0,375±0,0183 *** ⁽²⁾	0,504±0,0168
Mg	93,877±0,5837	90,267±19,9354	81,755±4,9670	73,536±10,5087
Cd	0,019±0,0001	0,028±0,0002 *** ⁽¹⁾	0,023±0,0003 *** ⁽²⁾	0,024±0,0005 *** ⁽²⁾
Pb	0,049±0,0002	0,064±0,0001 *** ⁽¹⁾	0,049±0,0011 *** ⁽²⁾	0,061±0,0002 *** ⁽²⁾

Примечание:(1) – разница между значениями показателей контрольной группы и I опытной группы;
(2) – разница между значениями показателей I опытной и другими опытными группами.

*p≤0,05, **p≤0,01, ***p≤0,001

Концентрация токсических элементов (Cd и Pb) повышалась на 47,36 % ($p \leq 0,001$) и 30,61 % ($p \leq 0,001$) по отношению к группе контроля.

В группе с введением экструдированной кукурузы и 10 % карбонатом кальция происходит повышение Fe на 24,51 % ($p \leq 0,001$) по сравнению с I опытной группой. Концентрация других микроэлементов уменьшается (Cu, Ni, Zn, Mn) на 16,94 % ($p \leq 0,001$), 17,02 % ($p \leq 0,001$), 1,0 % и 23,46 % ($p \leq 0,001$). Также достоверно уменьшаются токсические элементы (Cd и Pb) на 17,85 % ($p \leq 0,001$) и 23,43 % ($p \leq 0,001$) в отличие от группы с добавлением экструдированной кукурузы.

В III опытной группе отмечено увеличение Fe, Cu и Mn на 17,34 % ($p \leq 0,001$), 2,63 % и 2,85 % по отношению к I группе. Достоверно уменьшается концентрация Ni, Zn, Mn на 19,14 % ($p \leq 0,001$), 3,37 % ($p \leq 0,01$), 18,53 %. Токсические элементы уменьшаются на 14,28 % ($p \leq 0,001$) и 4,68 % ($p \leq 0,001$) по сравнению с I опытной группой.

2.2.3.7 Обмен энергии в организме подопытной птицы

При замене кукурузы в кормосмеси на экструдированную кукурузу в I опытной группе, наблюдались изменения в отношении энергетической составляющей рациона (таблица 57). Так, валовая энергия корма в этой группе закономерно увеличилась на 29,53 %, доступная энергия - на 29,34 %, на фоне небольших потерь энергии с пометом. Тогда как энергия на продуцирование тепла расходовалась интенсивнее на 6,88 %. Таким образом, в данной группе наблюдалось увеличение поступления обменной энергии в организм птицы в сравнении с группой, получавшей стандартный рацион с кукурузой в нативном виде. При этом, стратегия скормливания экструдированной кукурузы характеризовалась увеличением чистой энергии прироста.

При введении CaCO_3 в рацион с экструдированной кукурузой наблюдалось снижение энергетических показателей. В частности, было отмечено снижение как валовой, так и доступной энергии для обмена.

Таблица 57 – Баланс энергии в организме подопытных бройлеров за эксперимент

Группа	Валовая энергия корма (ВЭ) МДж/гол	Потери энергии с пометом, % от ВЭ	Обменная энергия, МДж/гол	Потери энергии с теплопродукцией, % от ВЭ	Чистая энергия прироста	
					МДж/гол	% от ВЭ
контроль	50,25	25,46	37,45	41,85	16,43	32,69
I опытная	65,08	25,57	48,44	48,72	16,73	25,71
II опытная	57,30	26,06	42,37	47,35	15,24	26,59
III опытная	51,80	23,27	39,75	52,53	12,54	24,20

Добавление 10 % CaCO_3 сопровождалось снижением валовой энергии на 11,96 %, обменной энергии на 12,53 %. При этом потери энергии с теплопродукцией снижались относительно групп с рационом исключительно экструдированной кукурузы (I группа) на 1,37 %, но выделение энергии с пометом осталось практически на том же уровне. Одновременно с этим было зафиксировано снижение чистой энергии прироста в данной группе на 8,91 %. Процент чистой энергии от валовой составил 26,59 %, что в целом идентично доли энергии прироста в валовой для группы экструдированной кукурузы.

Аналогичная тенденция сложилась в группе при добавлении к части экструдированной кукурузы 20 % CaCO_3 в III опытной группе. В данной группе наблюдалось снижение валовой энергии на 20,4 % и обменной энергии на 17,94 %. При рассмотрении непродуктивных энергопотерь, наблюдалось снижение потерь энергии с пометом на 2,3 %. Однако, потери энергии с теплопродукцией увеличились на 3,8 %. Результаты исследования свидетельствуют о том, что данная группа характеризовалась наименьшим отложением чистой энергии в прирост - 12,54 МДж/гол, что в процентном отношении составило 24,2 %. В сравнении с группой с экструдированной кукурузой разница по чистой энергии прироста составила 25,04 %. Таким образом, эффективность энергетического обмена в данной группе была снижена, фактором влияния стало добавление CaCO_3 . При этом процентное увеличение CaCO_3 характеризовалось угнетением обмена энергии, что

согласуется со снижением продуктивных показателей цыплят-бройлеров данной группы.

Эффективность межуточного обмена. Межуточный обмен характеризует интенсивность синтеза отдельных соединений таких как, углеводы, белки и жиры, а также их комплексов. Что впоследствии обуславливает перекрестную взаимосвязь отдельных метаболических путей, между процессами анаболизма и катаболизма. Результатом межуточного обмена является продукция энергоёмких соединений. Так, дополняя рацион различными факторами мы модулируем интенсивность метаболических процессов, соответственно эффективность межуточного обмена.

В эксперименте установлено, замена кукурузы в кормосмеси на экструдированную кукурузу сопровождается увеличением доступной энергии для обмена сверхподдержания на 46,57% (таблица 58).

Таблица 58 – Особенности межуточного обмена в организме цыплят-бройлеров за период опыта

Показатель	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Обменная энергия сверхподдержания, МДж/гол	21,43	31,41	25,61	23,72
Чистая энергия поддержания, МДж/гол	13,14	13,97	13,74	13,14
Коэффициент полезного использования обменной энергии	0,766	0,533	0,595	0,529
Уровень питания	1,250	1,198	1,109	0,954
Концентрация обменной энергии, МДж/кг СВ	14,66	14,54	14,46	14,85
Коэффициент соответствия	0,052	0,037	0,041	0,036
Энергопротеиновое отношение	0,199	0,175	0,193	0,186

При этом, чистая энергии поддержания в данной группе составила 13,97 МДж/гол, в группе стандартного рациона данный показатель находился на уровне 13,14 МДж/гол, таким образом разница составила 6,32%. Парадоксально, с учётом продуктивных показателей, в группе замены нативной кукурузы на экструдат наблюдалось снижение коэффициентов

полезного использования обменной энергии и соответствия. Так, в контрольной группе коэффициент полезного использования обменной энергии составил 0,766, тогда как в I опытной группе наблюдалось снижение до 0,533, коэффициент соответствия был также снижен с 0,052 до 0,037. В ходе оценки соразмерности энергетического и пластического обменов, установлено, что коэффициент энергопротеинового отношения снижался на 12,05 % с одновременным понижением коэффициента соответствия на 29,91%.

При введении CaCO_3 в рацион с экструдированной кукурузой происходил изменение эффективности межуточного обмена в организме цыплят-бройлеров, на основании данных по поступлению в тело обменной энергии корма с затратами на поддержание жизни и с отложением чистой энергии в продукции. Добавление 10 % CaCO_3 приводило к снижению обменной энергии сверхподдержания на 18,46 % и чистой энергии поддержания на 1,65 %. Однако, несмотря на снижение ключевых показателей межуточного обмена, наблюдалось увеличение энергопротеинового отношения на 10,11 % и коэффициента соответствия на 13,44 %. При увеличении процентного содержания CaCO_3 наблюдалось прямо пропорциональное снижение показателей межуточного обмена таких как обменная энергия сверхподдержания и чистая энергия поддержания. В частности, аналогично II опытной группе при добавлении к экструдированной кукурузе 20 % CaCO_3 происходило снижение обменной энергии сверхподдержания на 24,47 % и чистой энергии поддержания на 5,94 %. Коэффициент соответствия в данной группе находился на уровне показателей группы при добавлении в рацион только экструдированной кукурузы (I гр.). Энергопротеиновое отношение в III опытной группе было выше показателя группы сравнения - I опытной группы на 6,30 %.

2.2.3.8 Мясная продуктивность цыплят-бройлеров

Использование в рационах экструдатов на основе высококрахмалистых источников полисахаридов приводит к увеличению предубойной живой массы на 6,3% в I опытной и на 3,9% при введении в экструдат 10% CaCO₃. В этих же группах наблюдался наибольший выход мышечной массы. Дальнейшее увеличение содержания Са в экструдате приводит к снижению продуктивных показателей (таблица 59).

Достоверно значимых различий в массе костной ткани зафиксировано не было, наблюдалась тенденция к увеличению данного показателя при включении 10% CaCO₃ в состав экструдированной добавки на 11,8%.

Таблица 59 – Мясная продуктивность подопытной птицы

Показатель	группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Предубойная живая масса, г	2296,00 ±87,58	2441,33 ±191,74	2386,60 ±167,52	2165,60 ±68,51
Потрошенная тушка, г	1643,94 ±29,42	1823,67 ±169,18	1 756,00 ±149,75	1 564,00 ±79,76
Мышечная ткань, г	1 102,78 ±37,44	1 179,43 ±110,96	1 165,50 ±104,99	1 047,57 ±71,70
Костная ткань, г	266,88 ±19,01	277,33 ±15,85	298,33 ±30,75	272,33 ±7,16
Съедобная часть, г	1 409,72 ±50,36	1 504,02 ±141,82	1 534,90 ±85,33	1 323,97 ±80,86
Убойный выход, %	71,6	74,7	73,5	72,2

Костно-мышечное соотношение достигало максимума в группе, получавшей экструдированную кукурузу - 4,3, внесение в ее состав карбоната кальция выявило дозозависимое ухудшение этого показателя, снижение до 3,9-3,8 во II и III опытных группах.

2.2.3.9 Результаты производственной проверки

С целью оценки экономической эффективности полученных экспериментальных результатов, относительно ввода в рацион кормового комплекса (экструдированная кукуруза + 10% известняк) была проведена производственная проверка в условиях хозяйства ИП Тузикова Т.П. Оренбургской области.

Исследования проведены на цыплятах-бройлерах кросса «Арбор Айкрес». При постановке эксперимента нами сформированы две группы (n=600). Особи контрольной группы получали рацион, используемый в производственных условиях (базовый), опытная в свою очередь, дополнительно к базовому рациону с 21суток получала кормовую смесь (экструдированная кукуруза + 10% известняк). Полученные данные свидетельствуют о положительном продуктивном эффекте, полученном в результате производственной проверки (таблица 60).

Таблица 60 – Экономическая эффективность производства мяса цыплят-бройлеров при скормливании экструдированной кукурузы

Показатель	Вариант	
	Базовый	Опытный (ОР1 + К (экструдированная кукуруза + 10% известняк))
Поголовье цыплят: на начало опыта	600	600
на конец опыта	575	582
Живая масса 1 гол.	2098,8	2386,6
Расход корма на 1 гол, кг	2,75	3,14
Убойный вес: 1 гол, г	2296,0	2472,3
общий, кг	1320,2	1438,9
Масса потрошеной тушки, г	1 715,67	1756,0
Производственные затраты, всего	163990,4	177268,0
Себестоимость 1 кг мяса, руб.	124,2	123,2
Средняя реализационная цена 1 кг мяса, руб.	130	130
Общая выручка от реализации, руб.	183263,6	199537,0
Прибыль от реализации мяса, руб.	19273,2	22269,0
Рентабельность, %	11,8	12,6

Согласно полученным данным, использование исследуемой кормовой смеси в рационах цыплят-бройлеров способствует повышению среднесуточных приростов на 15,1%, что напрямую сказывается на показателях живой массы.

Сохранность поголовья была максимальной при скармливании опытного рациона, и составила 97 %.

Поедаемость кормов в оцениваемой группе увеличилась на 0,39 кг/гол относительно базового рациона. Увеличение выхода мяса повышает выручку от реализации на 15,6%, соответственно рентабельность производства увеличивается на 0,8%.

2.2.4 Сравнительная оценка влияния компонентов кормов, полученных методом соэкструзии различных источников полисахаридов и кальция на организм цыплят-бройлеров

2.2.4.1 Изменение содержания кальция в костной ткани цыплят-бройлеров

Нами проведена сравнительная оценка влияния соэкструзии полисахаридов и различных уровней кальция на прочность костной ткани. В качестве групп сравнения выбраны группы, получавшие экструдаты отрубей (ЭО) и кукурузы (ЭК) и группы с 10 и 20% добавкой Са в эти экструдаты.

Результаты отложения кальция в бедренной кости показывают, что введение экструдированных компонентов не зависимо от углеводного состава не способствует накоплению кальция (рисунок 38). Введение CaCO_3 в экструдат кукурузы несколько сократило разницу в содержании кальция, но не было выше контрольной группы. Включение в рацион экструдатов отрубей с карбонатом кальция в дозировке 10% увеличило отложение кальция на 12,9%, в дозировке 20% - на 32,4% относительно контрольной группы соответственно.

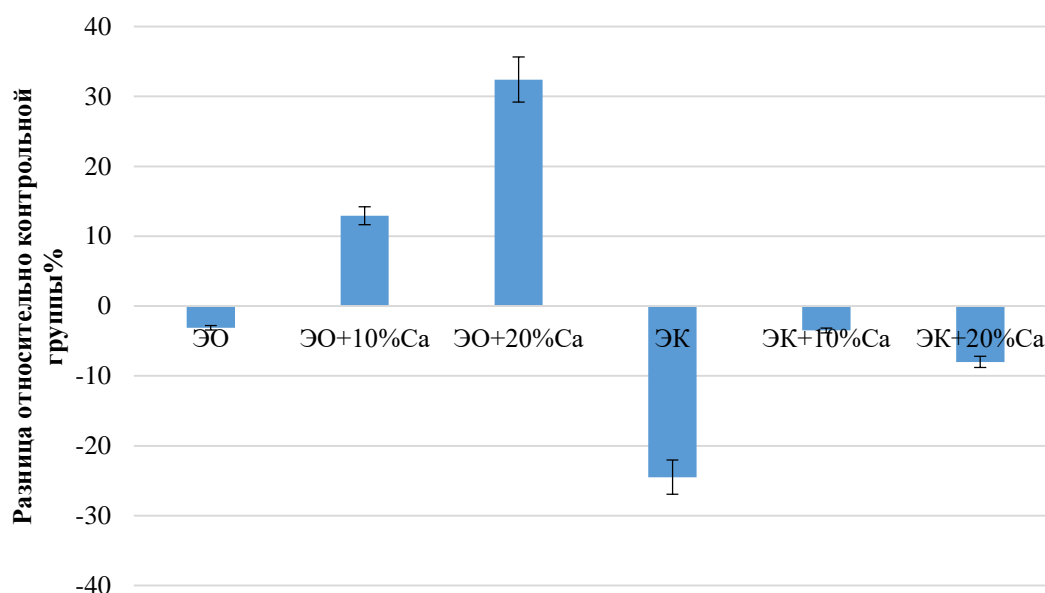


Рисунок 38 – Влияние добавки на содержание Ca в бедренной кости цыплят-бройлеров

Таким образом внесение экструдата кукурузы с кальцием не решает задачу укрепления костной ткани цыплят-бройлеров. Наиболее эффективным является применение комплексов некрахмальных полисахаридов, содержащихся в пшеничных отрубях с 20% карбоната кальция.

2.2.4.2 Изменение таксономического состава слепой кишки цыплят-бройлеров

Для сравнительной оценки таксономического состава были отобраны группы, получавшие экструдированные компоненты и 20% карбоната кальция.

Внесение экструдированных пшеничных отрубей и 20% карбоната кальция в корм цыплят-бройлеров способствовало увеличению доли бактерий филумов *Bacteroidota* (+7,59 %) и *Bacillota* (+19,2 %) в сравнении с обработанными отрубями без минеральной добавки (рисунок 39).

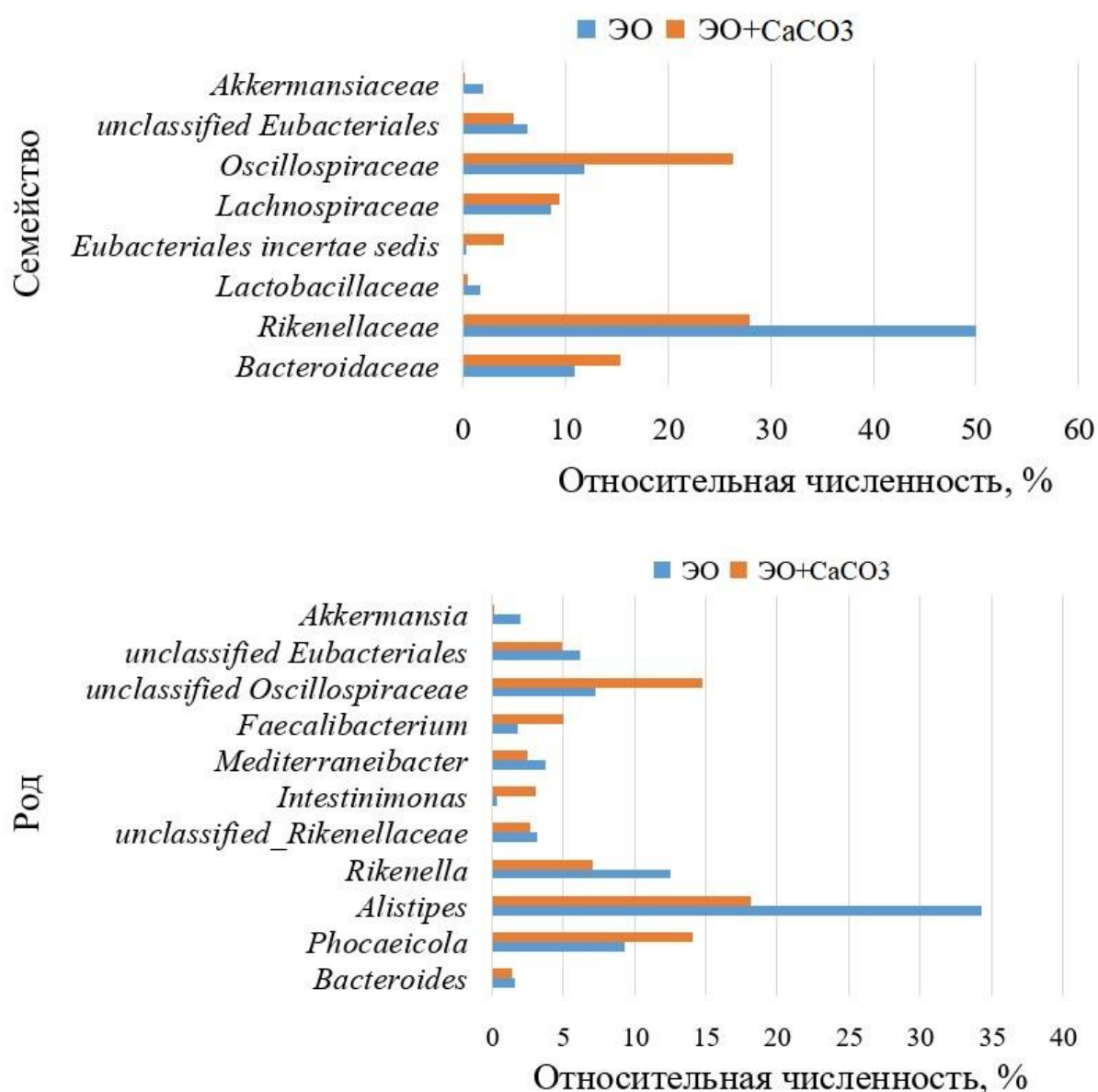


Рисунок 39 – Относительная численность (% от всех прочтений) основных таксономических групп микробиома цыплят-бройлеров, на уровне семейств и родов

Было отмечено более высокое содержание бактерий таксонов *Bacteroidaceae* (+4,57 %) и *Oscillospiraceae* (+14,5 %), *unclassified Oscillospiraceae* (+7,49 %), *Faecalibacterium* (+3,25 %) и *Phocaeicola* (+4,76 %). В то же время отмечалось снижение доли бактерий семейства *Rikenellaceae* (-22 %), что закономерно, на уровне рода, было связано с меньшим содержанием микроорганизмов таксонов *Alistipes* (-16,1 %) и *Rikenella* (-5,41 %) (рисунок 40).

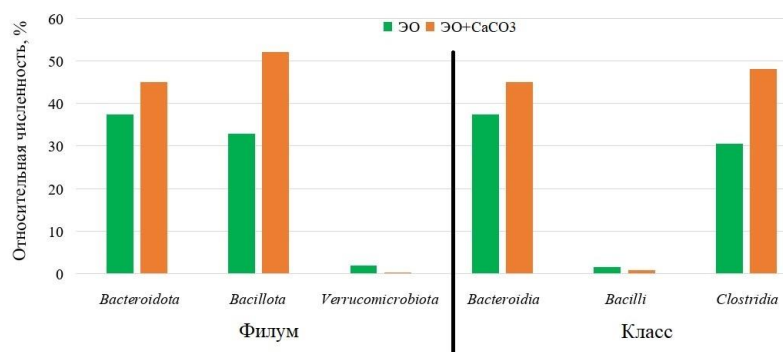


Рисунок 40 – Сравнение относительной численности (% от всех прочтений) основных таксономических групп (на уровне филума и класса) микробиома цыплят-бройлеров групп ЭО и ЭО+CaCO₃

Экструдированная кукуруза в сочетании с карбонатом кальция напротив способствовали снижению числа бактерий таксона *Bacillota* на 19 % и увеличению доли бактерий филума *Bacteroidota* на 24 % в микробиоме слепой кишки цыплят-бройлеров в сравнении с применением кукурузы без добавления кальция (рисунок 41).

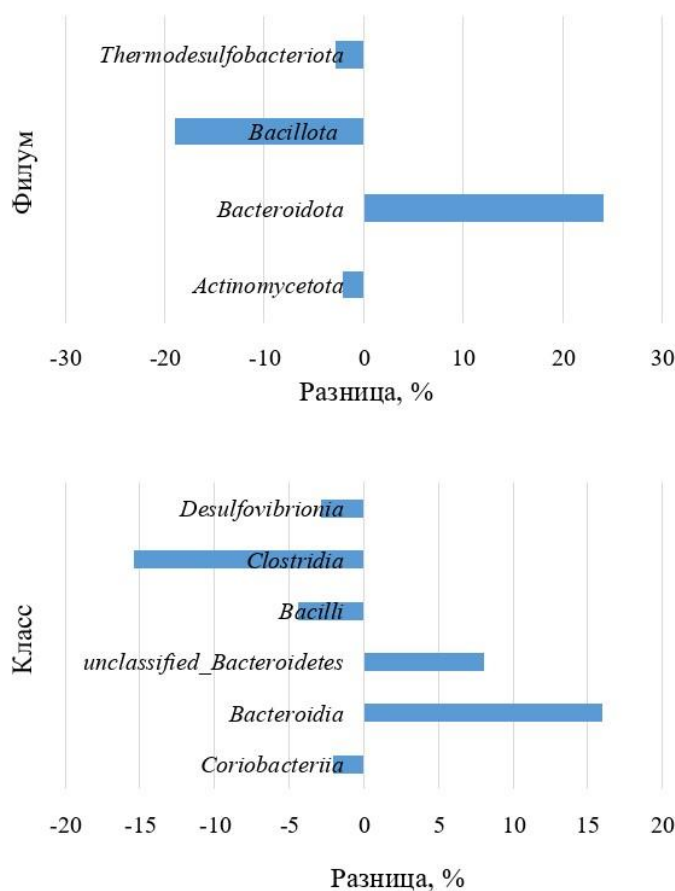


Рисунок 41 – Различия (разница), на уровне филума и класса, в численности микроорганизмов микробиоты слепой кишки цыплят-бройлеров, ЭО+ CaCO₃ в сравнении с группой ЭО

Наблюдалось снижение количества бактерий семейства *Lactobacillaceae* на 4,42 %, что в основном было связано со снижением доли микроорганизмов *p. Lactobacillus* на 3,42 % относительно группы без добавления кальция. Отмечалось снижение доли бактерий семейств *Lachnospiraceae* (- 8,56 %) и *Oscillospiraceae* (- 10,7 %). В рамках таксона *Bacteroidota*, в сравнении с данными от группы только с одной экструдированной кукурузой, было отмечено более высокое количество микроорганизмов семейства *Rikenellaceae* (+ 17 %), что было связано с изменением численности *p. Alistipes* (рисунок 42).

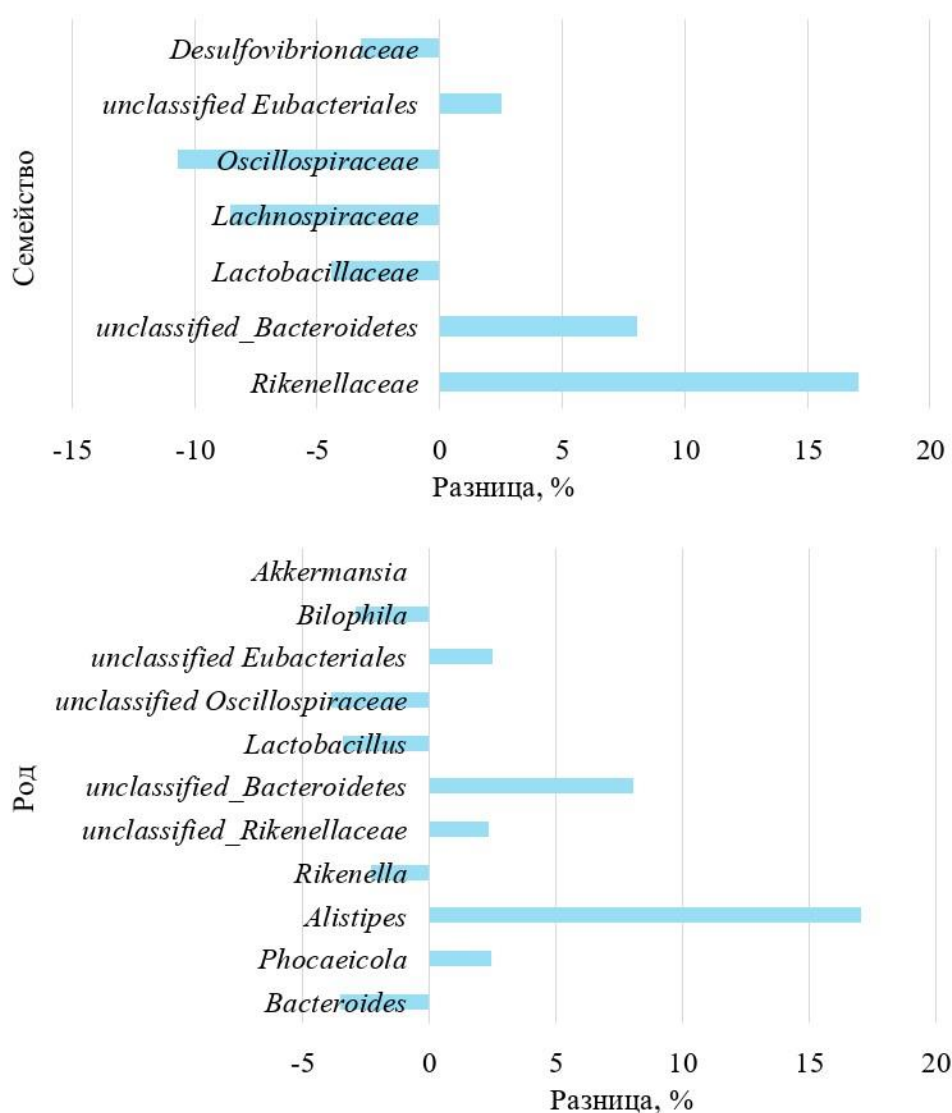


Рисунок 42 – Различия, на уровне семейства и рода, в численности микроорганизмов микробиоты слепой кишки цыплят-бройлеров, которые получали ЭК+CaCO₃ в сравнении с группой ЭК

Расчет индексов Chao1 и ACE показал достоверно более высокие значения во второй группе относительно первой, что свидетельствовало о большем богатстве бактериального сообщества при использовании экструдированных отрубей вместе с кальцием, и снижение данных показателей в четвертой группе в сравнении с третьей, что закономерно говорило о снижении таксономического разнообразия. Однако сравнение значений индексов Chao1 и ACE для групп ЭО +CaCO₃ и ЭК+ CaCO₃ показало отсутствие значимых различий (таблица 61).

Таблица 61 – Индексы альфа-разнообразия для контрольной и опытных групп

Показатель	Группа				P-value
	I контроль	I опытная	II контроль	II опытная	
Chao1	212,5 ±2,5	243,5 ±9,5	297,5 ±4,5	233 ±12	0,042
ACE	219,7 ±2,49	250,9 ±9,32	306 ±4,54	240,6 ±12,2	0,048
Fisher's alpha	32,4 ±0,35	38,3 ±2,7	48,7 ±0,14	39,4 ±2,54	0,07
simpson	0,85 ±0,06	0,96 ±0,02	0,97 ±0,005	0,92 ±0,04	0,39
shannon	3,4 ±0,49	4,05 ±0,45	4,3 ±0,07	3,63 ±0,27	0,25

Анализ индексов альфа-разнообразия таких как: Fisher's alpha, Simpson и Shannon достоверных различий при сравнении экспериментальных групп не показал.

Вычисление показателей бета-разнообразия показало различия в организации бактериальных сообществ в слепой кишке цыплят-бройлеров при сравнении групп (рисунок 43).

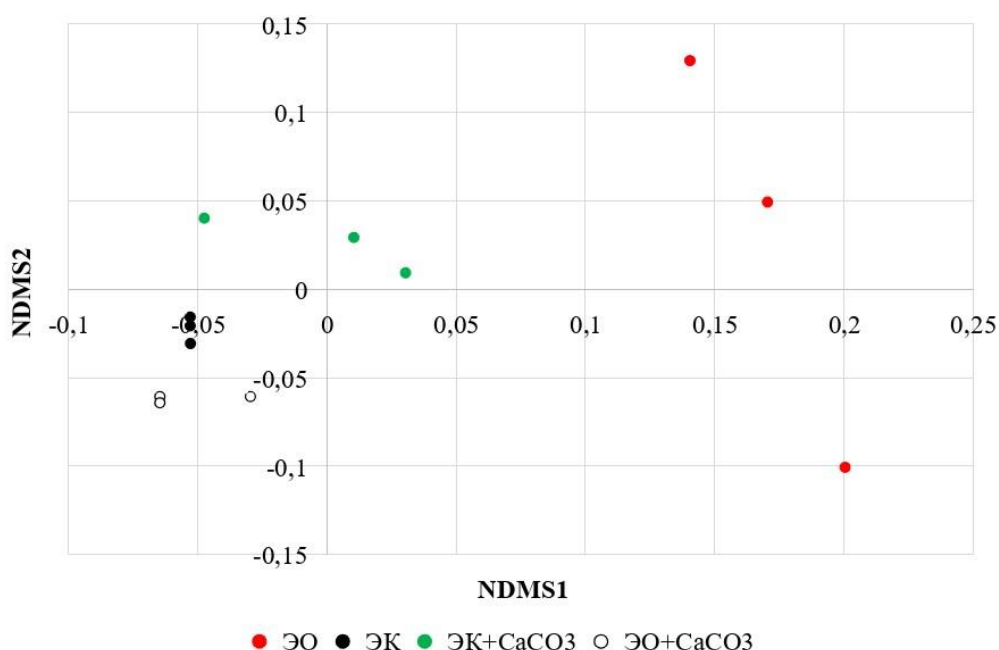


Рисунок 43 – Бета разнообразие микробиты кишечника птиц исследуемых групп с использованием статистического метода PERMANOVA, не метрического многомерного масштабирования и несходства Брея-Кертиса.

2.3 Биологическая оценка различных источников кальция, синтезированных из осадочной горной породы Ново-Пашийского месторождения (Пермский край)

2.3.1 Результаты лабораторных исследований

2.3.1.1 Исследование биологической активности синтезированных препаратов ОКД1 и ОКД3 на модели инфузорий *Stylonychia mytilus*

Исследуемые соли ОКД1 и ОКД3 не обладали токсическим эффектом во всем диапазоне концентраций веществ, что объясняется высоким уровнем выживаемости стилонихий (таблица 62).

Таблица 62 – Биотоксичность ОКД 1 и ОКД3 (модель *S. mytilus*)*

Исследуемые соли	Время экспозиции, ч	концентрация, мг/мл				
		0,313	0,625	1,25	2,5	5
ОКД3	1	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC
	3	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC
ОКД1	1	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC
	3	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC

*Примечание. Тох – 0-39 % выживаемость тест-объекта; LOEC – 40-69 % выживаемость тест-объекта; NOEC – 70-100 % выживаемость тест-объекта (Jackson P. et al., 2013).

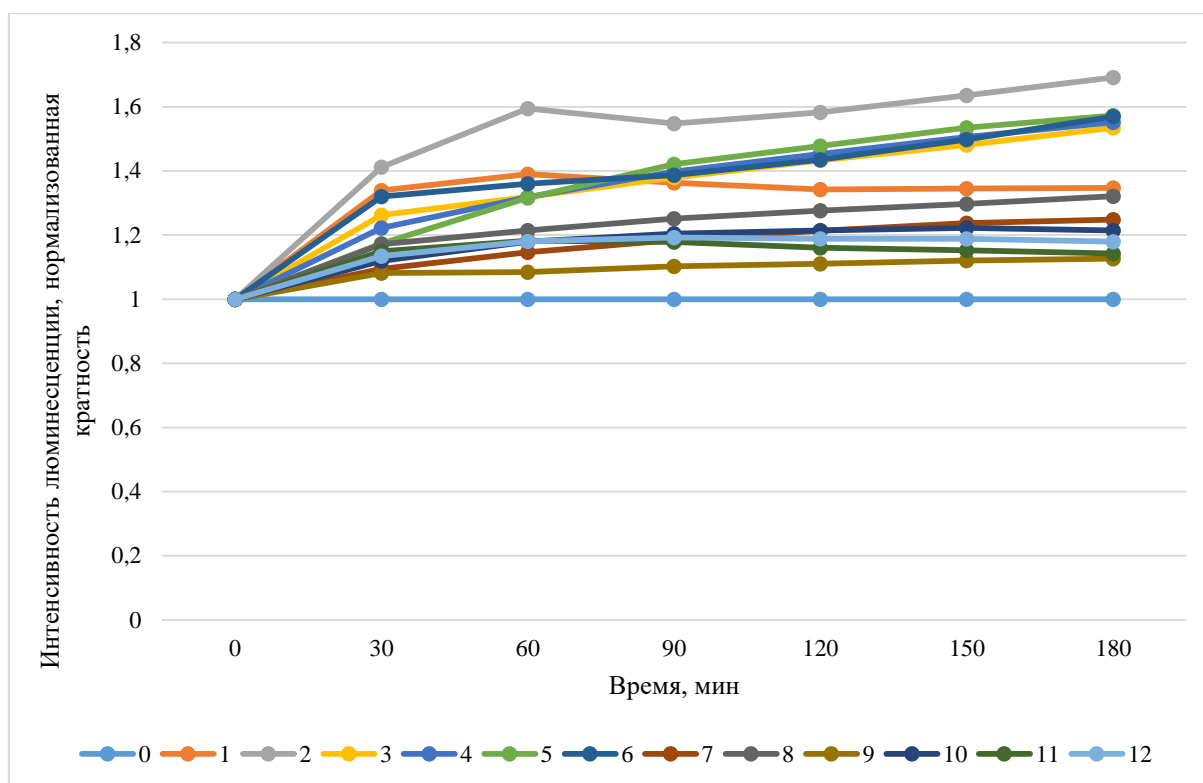
2.3.1.2 Биологическая оценка синтезированных препаратов кальция на модели бактериальной-люминесцентной тест-системы

Установлено, что все исследуемые источники кальция стимулировали свечение бактериального штамма – ингибирующих значений не выявлено. Так на 180 минуте экспозиции известняковая/доломитовая мука в концентрациях от $4,88 \times 10^{-3}$ до 10 мг/мл потенцировала биолюминесценцию в диапазоне от 203,5 до 378,7 % относительно контроля. ОКД1 и ОКД3 в концентрациях от $4,70 \times 10^{-5}$ до 0,096 мг/мл, стимулировали свечение, соответственно, в пределах от 109,2 до 269,1; от 107,4 до 165,6 и от 234,2 до 500,4 %. При этом максимальным пребиотическим эффектом обладали следующие дозировки: известняковая/доломитовая мука – 5 мг/мл; ОКД3 – 0,024 мг/мл; ОКД1 – 0,048 мг/мл (таблица 63-65, рисунок 44-46).

Таблица 63 – Нормализованное значение относительной биолюминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 при внесении различных дозировок ОКД1

Время, мин	Концентрация, мг/мл												
	9,6× 10 ⁻²	4,8× 10 ⁻²	2,4× 10 ⁻²	1,2× 10 ⁻²	6,0× 10 ⁻³	3,0× 10 ⁻³	1,5× 10 ⁻³	7,2× 10 ⁻⁴	3,7× 10 ⁻⁴	1,8× 10 ⁻⁴	9,4× 10 ⁻⁵	4,7× 10 ⁻⁵	Контроль
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
30	133,9	141,2	126,2	122,2	117,3	132,0	109,4	117,2	108,1	112,0	114,9	113,4	100
60	139,0	159,4	131,9	131,8	131,7	136,0	114,6	121,5	108,5	118,0	118,2	118,1	100
90	136,3	154,8	137,9	139,8	142,1	138,7	118,5	125,1	110,2	120,5	117,8	119,2	100
120	134,2	158,2	143,3	145,3	147,8	143,5	121,4	127,6	111,1	121,5	116,1	118,8	100
150	134,5	163,5	148,1	150,6	153,5	149,8	123,7	129,7	112,0	122,3	115,2	118,8	100
180	134,7	169,1	153,5	155,2	157,3	157,0	124,8	132,1	112,7	121,4	114,2	117,9	100
Среднее	135,4	157,7	140,1	140,8	141,6	142,8	118,7	125,5	110,4	119,3	116,1	117,7	100

*Примечание: Числовые значения соответствуют величине относительного значения биолюминесценции А (%). Цветовая заливка – показателям ● – NTOX⁺, ● – NTOX²⁺, то есть концентрациям исследуемого вещества, стимулирующим свечение более чем на 5 и 50 %, соответственно.



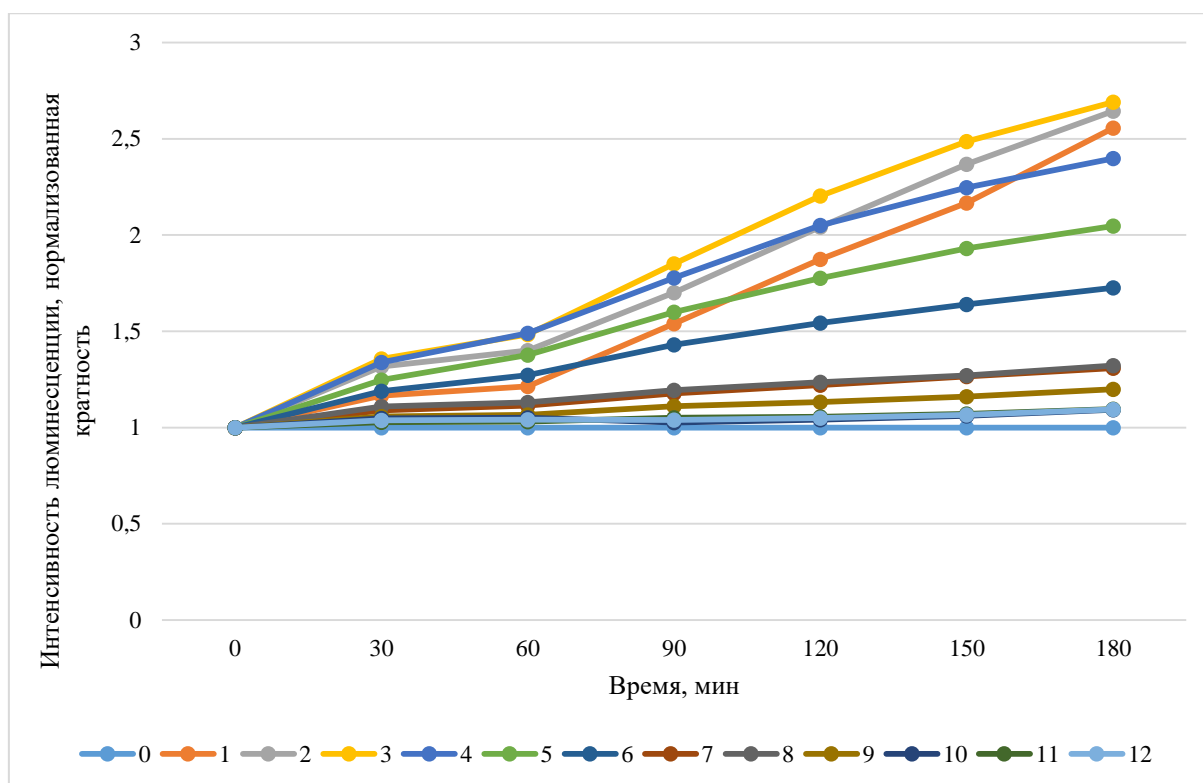
Примечание: Концентрации исследуемого вещества (мг/мл): 0 – контроль; 1 – $9,6 \times 10^{-2}$; 2 – $4,8 \times 10^{-2}$; 3 – $2,4 \times 10^{-2}$; 4 – $1,2 \times 10^{-2}$; 5 – $6,0 \times 10^{-3}$; 6 – $3,0 \times 10^{-3}$; 7 – $1,5 \times 10^{-3}$; 8 – $7,2 \times 10^{-4}$; 9 – $3,7 \times 10^{-4}$; 10 – $1,8 \times 10^{-4}$; 11 – $9,4 \times 10^{-5}$; 12 – $4,7 \times 10^{-5}$

Рисунок 44 – Интенсивность люминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 при внесении различных дозровок ОКД1, нормализованная относительно контроля

Таблица 64 – Нормализованное значение относительной биолуминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 при внесении различных дозровок ОКД3

Время, мин	Концентрация, мг/мл												
	9,6×10 ⁻²	4,8×10 ⁻²	2,4×10 ⁻²	1,2×10 ⁻²	6,0×10 ⁻³	3,0×10 ⁻³	1,5×10 ⁻³	7,2×10 ⁻⁴	3,7×10 ⁻⁴	1,8×10 ⁻⁴	9,4×10 ⁻⁵	4,7×10 ⁻⁵	Контроль
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
30	116,6	131,7	135,6	133,8	124,7	118,8	109,0	110,9	105,8	104,7	102,8	103,7	100
60	121,4	140,0	148,2	149,0	137,7	127,1	111,3	113,0	106,5	105,1	103,1	104,1	100
90	154,1	170,1	185,2	177,8	159,9	143,0	117,8	119,5	111,1	102,6	105,1	103,9	100
120	187,4	204,3	220,3	205,1	177,7	154,4	122,1	123,6	113,2	104,1	105,6	104,8	100
150	216,7	236,8	248,7	224,7	193,0	163,9	126,5	127,0	116,0	106,1	107,0	106,6	100
180	255,6	264,5	269,1	239,7	204,6	172,6	130,9	132,2	119,8	109,2	109,6	109,4	100
Среднее	175,3	191,2	201,2	188,4	166,3	146,6	119,6	121,0	112,1	105,3	105,5	105,4	100

*Примечание: Числовые значения соответствуют величине относительного значения биолуминесценции А (%). Цветовая заливка – показателям ● – NTOX⁺, ● – NTOX²⁺, ● – NTOX³⁺, то есть концентрациям исследуемого вещества, стимулирующим свечение более чем на 5, 50 и 100 %, соответственно.



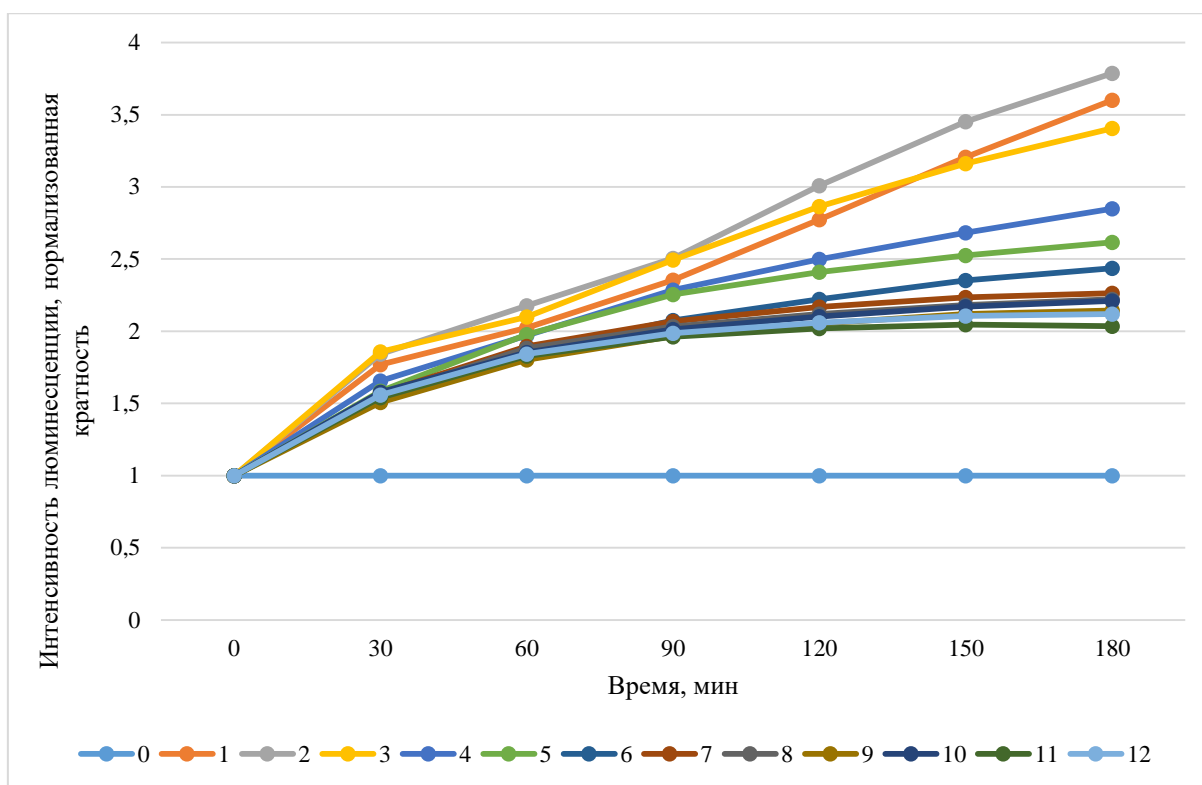
Примечание: Концентрации исследуемого вещества (мг/мл): 0 – контроль; 1 – $9,6 \times 10^{-2}$; 2 – $4,8 \times 10^{-2}$; 3 – $2,4 \times 10^{-2}$; 4 – $1,2 \times 10^{-2}$; 5 – $6,0 \times 10^{-3}$; 6 – $3,0 \times 10^{-3}$; 7 – $1,5 \times 10^{-3}$; 8 – $7,2 \times 10^{-4}$; 9 – $3,7 \times 10^{-4}$; 10 – $1,8 \times 10^{-4}$; 11 – $9,4 \times 10^{-5}$; 12 – $4,7 \times 10^{-5}$

Рисунок 45 – Интенсивность люминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 при внесении различных дозровок ОКДЗ, нормализованная относительно контроля

Таблица 65 – Нормализованное значение относительной биолуминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 при внесении различных дозровок ОКД2

Время, мин	Концентрация, мг/мл												
	10	5	2,5	1,25	6,2× 10 ⁻¹	3,1× 10 ⁻¹	1,5× 10 ⁻¹	7,8× 10 ⁻²	3,9× 10 ⁻²	1,9× 10 ⁻²	9,7× 10 ⁻³	4,8× 10 ⁻³	Контроль
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
30	176,9	184,1	185,8	165,7	158,4	153,7	156,9	155,8	150,8	157,8	154,1	155,9	100
60	202,3	217,6	210,0	197,1	197,7	184,6	189,5	188,3	180,2	185,3	183,0	184,1	100
90	235,5	250,6	249,5	228,5	225,5	207,4	206,9	203,4	196,7	201,4	196,2	198,7	100
120	277,3	301,0	286,4	249,9	240,9	222,1	216,8	212,0	205,3	210,2	201,9	205,9	100
150	320,7	345,4	316,3	268,2	252,5	235,2	223,5	218,1	211,9	217,1	204,6	210,7	100
180	360,1	378,8	340,6	284,9	261,6	243,7	226,4	222,2	214,5	221,2	203,5	212,0	100
Среднее	262,1	279,6	264,8	232,4	222,8	207,8	203,4	200,0	193,2	198,8	190,6	194,6	100

*Примечание: Числовые значения соответствуют величине относительного значения биолуминесценции А (%). Цветовая заливка – показателям ● – NTOX²⁺ и ● – NTOX³⁺, то есть концентрациям исследуемого вещества, стимулирующим свечение более чем на 50, и 100 %, соответственно.



Примечание: Концентрации исследуемого вещества (мг/мл): 0 – контроль; 1 – 10; 2 – 5; 3 – 2,5; 4 – 1,2; 5 – $6,2 \times 10^{-1}$; 6 – $3,1 \times 10^{-1}$; 7 – $1,5 \times 10^{-1}$; 8 – $7,8 \times 10^{-2}$; 9 – $3,9 \times 10^{-2}$

Рисунок 46 – Интенсивность люминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 при внесении различных доз ОКД2, нормализованная относительно контроля

2.3.1.3 Биологическая оценка синтезированных препаратов кальция на лабораторных животных

Оценку влияния кальцийсодержащих препаратов на физиологические параметры лабораторных животных проводили при помощи исследований морфологических и биохимических показателей крови. При вводе в рацион животных ОКД3 наблюдается достоверное снижение уровня билирубина во всех опытных группах на 47% ($p \leq 0,001$); 29% ($p \leq 0,05$) и 38,5% ($p \leq 0,01$) (таблица 66).

Таблица 66 – Биохимические показатели крови животных при вводе в рацион ОКДЗ

Показатель	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Глюкоза, ммоль/л	4,03±0,110	3,87±0,079	3,77±0,060	4,13±0,090 ^c
Общий белок, г/л	78,32±2,966	74,24±1,141	76,43±1,836	78,91±3,423
Альбумин, г/л	33,80±1,020	32,75±1,067	34,00±0,949	34,50±1,118
Билирубин общий, мкмоль/л	3,14±0,210	1,66±0,052 ^{aaa}	2,23±0,301 ^a	1,92±0,228 ^{aa}
Холестерин, ммоль/л	2,03±0,135	2,04±0,071	2,21±0,110	2,33±0,084 ^b
Триглицериды, ммоль/л	1,06±0,087	0,81±0,102	1,02±0,077	1,12±0,029 ^b
Мочевина, ммоль/л	9,36±1,035	7,10±1,465	9,45±0,940	7,78±1,335
Креатинин, мкмоль/л	60,22±3,153	57,43±3,242	57,43±2,848	64,10±3,060
Мочевая кис-та, мкмоль/л	29,16±1,543	39,55±3,681 ^a	35,23±0,628	43,73±3,880 ^b
Железо, мкмоль/л	42,84±1,841	35,08±1,209 ^{aa}	35,23±0,628 ^{aa}	43,73±3,880
Кальций мкмоль/л	2,78±0,043	2,67±0,063	2,76±0,052	2,81±0,085
Фосфор, ммоль/л	3,08±0,095	2,94±0,073	2,82±0,103	4,21±0,198 ^{aaabbbccc}

Примечание: а – (p≤0,05); aa – (p≤0,01); aaa – (p≤0,001) при сравнении с контрольной группой

b – (p≤0,05); bbb – (p≤0,001) при сравнении с I группой;

c – (p≤0,05); cc – (p≤0,01); ccc – (p≤0,001) при сравнении с первой II группой.

Показатели лейкоцитов выше при вводе ОКДЗ в дозировке 30-45% на 28,6% (p≤0,05) и 25,4% соответственно (таблица 67).

Таблица 67 – Морфологические показатели крови при вводе в рацион ОКДЗ

Показатель	группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Лейкоциты 10 ⁹ /л	12,32±1,038	11,58±1,612	15,85±0,808 ^{ab}	15,46±3,295
Нейтрофилы %	23,64±1,989	35,00±2,495 ^{aa}	24,53±1,691 ^{bb}	24,63±2,817 ^b
Лимфоциты %	70,58±0,777	57,20±2,316 ^{aaa}	67,53±2,394 ^{ab}	63,22±5,073
Моноциты %	2,96±0,983	3,63±0,414	3,95±1,125	8,90±5,507
Эозинофилы %	1,50±0,344	2,95±0,285 ^a	2,96±0,302 ^a	2,25±0,384
Базофилы %	1,32±0,185	1,22±0,037	1,03±0,086	1,00±0,108
Эритроциты 10 ¹² /л	8,58±0,232	8,56±0,069	8,44±0,159	8,26±0,782
Гемоглобин g/l	143,00±4,593	139,50±2,291	139,00±3,564	136,11±12,206
Гематокрит %	41,04±1,398	39,18±0,742	39,15±1,158	50,98±9,406
Тромбоциты 10 ⁹ /л	559,60±38,540	565,25±33,650	598,50±31,046	522,11±31,454

Примечание: а – (p≤0,05); aa – (p≤0,01); aaa – (p≤0,001) при сравнении с контрольной группой

b – (p≤0,05); bbb – (p≤0,001) при сравнении с I группой;

c – (p≤0,05); cc – (p≤0,01); ccc – (p≤0,001) при сравнении с первой II группой.

Элементный анализ сыворотки крови показал достоверное увеличение фосфора при вводе ОКДЗ (15 %) на 8,7% ($p \leq 0,05$) (таблица 68).

Таблица 68 – Минеральный состав крови при вводе в рацион ОКДЗ

Элемент	группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
B	0,58±0,160	0,18±0,009 ^a	0,21±0,054	0,14±0,005 ^a
Na	3 382,16±65,793	3 307,60±30,156	3 254,91±27,895	3 282,68±10,392
Mg	25,78±5,340	29,77±3,114	27,05±3,182	23,56±5,783
Al	1,05±0,169	0,85±0,163	1,77±0,251 ^a	1,21±0,110
P	208,07±5,271	226,29±3,859 ^a	231,06±10,867	212,07±6,549
K	424,73±7,990	444,16±12,921	482,73±15,780 ^a	443,85±43,983
Ca	106,21±1,212	104,74±3,633	111,48±1,904	112,19±4,014
Mn	0,06±0,020	0,04±0,002	0,06±0,016	0,05±0,006
Co	0,01±0,002	0,00±0,000 ^a	0,01±0,001	0,01±0,005
Ni	0,24±0,088	0,22±0,045	0,21±0,072	0,13±0,004
Cu	1,99±0,187	1,84±0,133	1,77±0,096	1,97±0,238
Sr	0,08±0,010	0,07±0,004	0,07±0,009	0,07±0,002
Mo	0,05±0,013 ^a	1,21±0,478	0,43±0,368	1,17±0,601
Ag	0,06±0,031	0,02±0,002	0,04±0,015	0,02±0,002
Cd	не обн.	не обн.	не обн.	0,01±0,002
Sn	0,05±0,019	0,01±0,002	0,15±0,058	0,03±0,008
I	0,74±0,185	0,74±0,172	0,52±0,146	0,46±0,107
Ba	0,02±0,007	0,01±0,001	0,02±0,007	0,02±0,006
Pb	0,01±0,003	не обн.	0,01±0,002	0,01±0,001
Cr	0,59±0,227	0,34±0,012	0,51±0,183	0,30±0,001
Fe	8,88±1,368	7,39±1,056	8,01±1,428	6,54±0,435
Zn	1,95±0,074	1,68±0,096	1,95±0,077	1,96±0,099
As	0,02±0,005	0,02±0,002	0,02±0,003	0,01±0,002
Se	0,75±0,053	0,72±0,032	0,64±0,035	0,72±0,030

Примечание: а – ($p \leq 0,05$); aa – ($p \leq 0,01$); aaa – ($p \leq 0,001$) при сравнении с контрольной группой

b – ($p \leq 0,05$); bb – ($p \leq 0,05$); bbb – ($p \leq 0,001$) при сравнении с I группой;

c – ($p \leq 0,05$); cc – ($p \leq 0,01$); ccc – ($p \leq 0,001$) при сравнении с первой II группой.

Влияние ОКД1 не оказало существенного влияния изменения морфо-биохимические показатели крови (таблица 69-70).

Таблица 69 – Биохимические показатели крови при вводе в рацион ОКД1

Показатель	группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Глюкоза, ммоль/л	4,03±0,110	4,08±0,172	3,88±0,072	3,83±0,132
Общий белок, г/л	78,32±2,966	73,62±1,632	75,88±2,216	76,37±1,566
Альбумин, г/л	33,80±1,020	32,60±0,748	34,75±0,581	44,40±9,673
Билирубин общий, мкмоль/л	3,14±0,210	2,02±0,437	1,53±0,176 ^{aaa}	2,04±0,231 ^{aa}
Холестерин, ммоль/л	2,03±0,135	2,06±0,081	2,05±0,092	1,99±0,072
Триглицериды, ммоль/л	1,06±0,087	1,04±0,134	0,92±0,038	0,98±0,094
Мочевина, ммоль/л	9,36±1,035	8,12±0,537	8,48±1,352	8,32±1,202
Креатинин, мкмоль/л	60,22±3,153	52,42±1,281	58,40±2,042 ^b	55,32±3,041
Мочевая кис-та, мкмоль/л	29,16±1,543	35,32±10,292	33,28±2,827	55,80±8,782 ^{ac}
Железо, мкмоль/л	42,84±1,841	42,24±1,605	43,43±2,952	36,38±3,325
Кальций мкмоль/л	2,78±0,043	2,85±0,196	2,73±0,039	2,71±0,040
Фосфор, ммоль/л	3,08±0,095	3,10±0,179	3,89±0,229 ^{ab}	3,52±0,137 ^a

Примечание: а – (p≤0,05); aa – (p≤0,01); aaa – (p≤0,001) при сравнении с контрольной группой;

b – (p≤0,05); bb – (p≤0,05); bbb – (p≤0,001) при сравнении с I группой;

c – (p≤0,05); cc – (p≤0,01); ccc – (p≤0,001) при сравнении с первой II группой.

Таблица 70 – Морфологические показатели крови при вводе в рацион ОКД1

Показатель	группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Лейкоциты 10 ⁹ /л	12,32±1,038	13,20±0,980	10,66±1,124	13,39±1,056
Нейтрофилы %	23,64±1,989	27,64±2,085	23,45±2,718	26,00±2,564
Лимфоциты %	70,58±0,777	63,36±2,145 ^a	64,63±4,630	65,52±2,866
Моноциты %	2,96±0,983	4,32±2,381	7,73±5,435	3,72±0,987
Эозинофилы %	1,50±0,344	3,60±0,572 ^a	3,17±0,352 ^{aa}	3,84±0,739 ^a
Базофилы %	1,32±0,185	1,08±0,196	1,02±0,196	0,92±0,136
Эритроциты 10 ¹² /л	8,58±0,232	8,30±0,224	8,05±0,776	8,83±0,171
Гемоглобин g/l	143,00±4,593	135,80±2,853	132,66±12,537	142,40±0,678
Гематокрит %	41,04±1,398	38,00±0,668	49,36±9,540	39,50±0,100
Тромбоциты 10 ⁹ /л	559,60±38,540	599,80±51,200	531,87±53,737	524,40±37,194

Примечание: а – (p≤0,05); aa – (p≤0,01); aaa – (p≤0,001) при сравнении с контрольной группой

b – (p≤0,05); bb – (p≤0,05); bbb – (p≤0,001) при сравнении с I группой;

c – (p≤0,05); cc – (p≤0,01); ccc – (p≤0,001) при сравнении с первой II группой.

При введении в рацион ОКД1 зафиксировано статистически значимое снижение уровня билирубина во всех опытных группах на 35,7%; 51,2% (p≤0,01) и 35% (p≤0,01). Уровень фосфора в крови достоверно снижается на 21,5% (p≤0,01) (таблица 71).

Таблица 71 – Минеральный состав крови при вводе в рацион ОКД1

Элемент	группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
B	0,58±0,160	0,16±0,017 ^a	0,11±0,026 ^a	0,42±0,148
Na	3 382,16±65,793	3 029,68±46,692 ^{aa}	3 035,43±192,788	2 916,65±159,530 ^a
Mg	25,78±5,340	25,80±1,400	19,15±3,357	19,32±2,113
Al	1,05±0,169	1,44±0,347	0,96±0,157	1,23±0,417
P	208,07±5,271	185,16±16,361	183,21±11,039	163,17±8,175 ^{aa}
K	424,73±7,990	415,56±46,546	406,61±19,181	377,58±20,857
Ca	106,21±1,212	105,97±2,729	101,21±4,032	103,50±6,045
Mn	0,06±0,020	0,09±0,049	0,05±0,009	0,04±0,004
Co	0,01±0,002	0,01±0,003	0,01±0,002	0,01±0,000
Ni	0,24±0,088	0,20±0,040	0,16±0,030	0,14±0,015
Cu	1,99±0,187	1,67±0,065	1,47±0,130	1,91±0,150
Sr	0,08±0,010	0,08±0,009	0,07±0,005	0,07±0,005
Mo	0,05±0,013	0,26±0,161	1,27±0,741	0,31±0,171
Ag	0,06±0,031	0,02±0,004	0,01±0,004	0,02±0,005
Sn	0,05±0,019	0,02±0,006	0,02±0,009	0,04±0,010
I	0,74±0,185	0,64±0,200	0,59±0,154	0,85±0,162
Ba	0,02±0,007	0,01±0,002	0,01±0,003	0,02±0,010
Cr	0,59±0,227	0,48±0,109	0,45±0,076	0,35±0,032
Fe	8,88±1,368	8,60±1,870	7,08±0,761	6,03±0,690
Zn	1,95±0,074	1,92±0,056	2,08±0,097	1,99±0,159
As	0,02±0,005	0,02±0,005	0,01±0,002	0,01±0,001
Se	0,75±0,053	0,62±0,033	0,65±0,019	0,63±0,037

Примечание: а – (p≤0,05); aa – (p≤0,01); aaa – (p≤0,001) при сравнении с контрольной группой

b – (p≤0,05); bb – (p≤0,05); bbb – (p≤0,001) при сравнении с I группой;

c – (p≤0,05); cc – (p≤0,01); ccc – (p≤0,001) при сравнении с первой II группой.

Аналогично, при вводе в рацион ОКД2 биохимические и морфологические показатели находились в пределах нормы (таблица 72, 73).

Таблица 72 – Биохимические показатели крови при вводе в рацион ОКД2

Показатель	группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Глюкоза, ммоль/л	4,03±0,110	3,63±0,136 ^a	3,80±0,121	3,64±0,117 ^a
Общий белок, г/л	78,32±2,966	75,63±0,865	71,61±0,985 ^b	68,52±4,689
Альбумин, г/л	33,80±1,020	34,02±0,020	32,00±0,548 ^{bb}	33,00±0,837
Билирубин общий, мкмоль/л	3,14±0,210	1,89±0,250 ^{aa}	1,86±0,235 ^{aa}	2,31±0,130 ^a
Холестерин, ммоль/л	2,03±0,135	2,07±0,070	1,95±0,073	1,98±0,119
Триглицериды, ммоль/л	1,06±0,087	1,07±0,174	0,88±0,072	0,73±0,086 ^a
Мочевина, ммоль/л	9,36±1,035	10,66±0,772	7,94±1,139	10,14±1,289
Креатинин, мкмоль/л	60,22±3,153	51,66±0,826 ^a	53,60±3,864	55,48±0,970 ^b
Мочевая кис-та, мкмоль/л	29,16±1,543	57,26±13,763	48,42±10,002	51,24±8,118 ^a

Продолжение таблицы 72

Железо, мкмоль/л	42,84±1,841	38,70±1,665	33,82±1,660 ^{aa}	38,64±4,259
Кальций мкмоль/л	2,78±0,043	2,73±0,051	2,66±0,019 ^a	2,66±0,046
Фосфор, ммоль/л	3,08±0,095	5,51±2,152	2,79±0,152	3,46±0,299

Примечание: а – ($p \leq 0,05$); aa – ($p \leq 0,01$); aaa – ($p \leq 0,001$) при сравнении с контрольной группой
 б – ($p \leq 0,05$); bb – ($p \leq 0,05$); bbb – ($p \leq 0,001$) при сравнении с I группой;
 с – ($p \leq 0,05$); cc – ($p \leq 0,01$); ccc – ($p \leq 0,001$) при сравнении с первой II группой.

Таблица 73 – Морфологические показатели крови при вводе в рацион ОКД2

Показатель	группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Лейкоциты $10^9/л$	12,32±1,038	15,14±2,527	13,34±1,354	15,19±0,812
Нейтрофилы %	23,64±1,989	28,06±2,118	27,32±2,606	29,34±4,343
Лимфоциты %	70,58±0,777	65,80±2,192	66,44±2,425	63,98±5,079
Моноциты %	2,96±0,983	2,78±0,873	2,84±0,497	3,26±0,636
Эозинофилы %	1,50±0,344	2,04±0,291	2,36±0,479	2,36±0,408
Базофилы %	1,32±0,185	1,32±0,177	1,04±0,117	1,06±0,103
Эритроциты $10^{12}/л$	8,58±0,232	8,99±0,206	8,34±0,099 ^b	8,81±0,117 ^c
Гемоглобин g/l	143,00±4,593	146,20±1,855	135,40±1,720 ^{bb}	142,40±1,568 ^c
Гематокрит %	559,60±38,540	579,20±54,295	521,80±78,719	545,80±38,624
Тромбоциты $10^9/л$	12,32±1,038	15,14±2,527	13,34±1,354	15,19±0,812

Примечание: b – ($p \leq 0,05$); bb – ($p \leq 0,05$) при сравнении с I группой;
 с – ($p \leq 0,05$); cc – ($p \leq 0,01$) при сравнении с первой II группой.

Достоверно снижается уровень бария при введении ОКД 2 у I, II и III опытных групп на 81% ($p \leq 0,05$), 75% ($p \leq 0,05$) и на 87% ($p \leq 0,05$), соответственно ниже контроля (таблица 74).

Таблица 74 – Минеральный состав крови при вводе в рацион ОКД2

Элемент	группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
B	0,58±0,160	0,11±0,013 ^a	0,14±0,020 ^a	0,07±0,009 ^a
Na	3 382,16±65,793	2 674,58±25,158 ^{aaa}	2 542,64±16,077 ^{aaa}	2 492,59±15,588 ^{aaa}
Mg	25,78±5,340	18,36±0,596	18,37±1,283	14,55±1,412
Al	1,05±0,169	0,66±0,037	1,39±0,515	1,02±0,199
P	208,07±5,271	152,85±5,984 ^{aaa}	128,11±7,234 ^{aaa}	127,01±10,757 ^{aaa}
K	424,73±7,990	339,83±11,399 ^{aaa}	355,34±28,917 ^a	329,43±22,775 ^{aa}
Ca	106,21±1,212	93,83±1,678 ^{aaa}	88,35±2,136 ^{aaa}	88,19±1,575 ^{aaa}
Mn	0,06±0,020	0,03±0,001	0,05±0,012	0,03±0,003
Co	0,01±0,002	0,01±0,002	0,01±0,002	0,01±0,001
Ni	0,24±0,088	0,11±0,002	0,18±0,050	0,12±0,006
Cu	1,99±0,187	1,57±0,093	1,57±0,150	1,53±0,092
Sr	0,08±0,010	0,06±0,002	0,07±0,006	0,06±0,003

Продолжение таблицы 74

Mo	0,05±0,013	0,23±0,197	0,04±0,006	0,17±0,094
Ag	0,06±0,031	0,01±0,002	0,02±0,003	0,01±0,004
Sn	0,05±0,019	0,02±0,005	0,06±0,020	0,03±0,011
I	0,74±0,185	0,35±0,012	0,93±0,300	0,39±0,089
Ba	0,02±0,007	0,01±0,000	0,01±0,002	0,01±0,002
Cr	0,59±0,227	0,28±0,003	0,47±0,120	0,32±0,014
Fe	8,88±1,368	5,35±0,209 ^a	5,66±0,912	4,71±0,210 ^a
Zn	1,95±0,074	1,76±0,085	1,53±0,085 ^{aa}	1,61±0,052 ^{aa}
As	0,02±0,005	0,01±0,001	0,01±0,002	0,01±0,001
Se	0,75±0,053	0,60±0,037 ^a	0,57±0,017 ^a	0,54±0,016 ^{aa}

Примечание: а – (p≤0,05); aa – (p≤0,01); aaa – (p≤0,001) при сравнении с контрольной группой
 b – (p≤0,05); bb – (p≤0,05); bbb – (p≤0,001) при сравнении с I группой;
 c – (p≤0,05); cc – (p≤0,01); ccc – (p≤0,001) при сравнении с первой II группой.

Оценка баланса кальция свидетельствует о положительном влиянии кальцийсодержащих препаратов на его усвояемость (таблица 75).

Таблица 75 – Усвояемость кальция, расчет на 1 голову

Показатель	Контр оль	ОКДЗ			ОКД1			ОКД2		
		15%	30%	45%	15%	30%	45%	15%	30%	45%
Внесено корма, г	870	870	870	870	870	870	870	870	870	870
Внесено воды, мл	5190	5190	5190	5190	5190	5190	5190	5190	5190	5190
Собрано помета, г	288,0	281,2	308,0	312,8	318,2	283,2	322,6	288,4	292,1	303,8
Остаток корма, г	175,4	281,7	131,3	165,3	178,9	47,3	103,7	97,6	130,8	82,3
Остаток воды с концентратом, мл	0	68,2	70,2	66,8	0	0	0	0	0	0
Са принято с кормом, г	7,1	6,0	7,5	7,2	7,0	8,4	7,8	7,8	7,5	8,0
Са выделено с пометом, г	6,13	6,20	6,72	7,73	6,68	7,06	8,88	7,60	7,92	8,43
Са принято с водой, г	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Са в остатке воды	0	0,047	0,049	0,046	0	0	0	0	0	0
Са с добавкой, г	0	0,9	1,8	2,6	0,9	1,8	2,6	0,9	1,8	2,6
Са усвоено, г	1,26	0,93	2,82	2,35	1,56	3,39	1,88	1,46	1,68	2,55
Коэффициент усвоения, %	17,8	15,6	37,6	32,9	22,2	40,6	24,2	18,6	22,4	31,9

При вводе ОКДЗ в дозе 30 % коэффициент усвоения составил 37,6 % (2,8 г), что превышает показатели контроля на 19,8 %. Однако, при вводе ОКДЗ в

дозе 45 % усвояемость кальция снижается, разница с контролем 15 %. Максимальная усвояемость отмечена при вводе 30 % ОКД1, коэффициент усвоения составил 40,6 % (3,39 г), что превышает показатели контроля на 22,8 %. При вводе доломитовой муки усвояемость кальция в пределах 18,5 -31,8 %. Повышение доли кальция в рационе сказалось на усвояемости основных макро и микроэлементов (таблица 76). При вводе ОКД3 отношение кальция к фосфору колеблется от 1,2 до 2,1, ОКД1 – 1,4- 1,5, СаМg (СО3)2 – 0,84-1,4.

Таблица 76 – Биодоступность минералов, при использовании кальцийсодержащих веществ, г/гол

Показатель	К	ОКД3			ОКД1			ОКД2			
		15%	30%	45%	15%	30%	45%	15%	30%	45%	
Фосфор											
Принято кормом, г	с	4,23	3,58	4,50	4,29	4,21	5,01	4,67	4,70	4,50	4,80
Выделено пометом,г	с	0,27	2,81	2,89	3,20	3,14	2,74	3,40	2,99	2,91	3,07
С добавкой, г		0,00	0,01	0,02	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
Усвоено, г		3,95	0,77	1,61	1,10	1,07	2,27	1,27	1,72	1,60	1,73
Коэффициент усвоения, %		93,5	21,5	35,7	25,4	25,4	45,2	27,2	36,4	35,5	35,9
Калий											
Принято кормом, г	с	5,20	4,40	5,53	5,27	5,17	6,16	5,73	5,78	5,53	5,89
Выделено пометом,г	с	0,10	0,93	1,05	1,12	1,09	0,95	1,09	1,02	0,94	0,95
С добавкой, г		0,00	0,01	0,03	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03
Усвоено, г		5,10	3,49	4,51	4,19	4,09	5,22	4,66	4,78	4,62	4,98
Коэффициент усвоения, %		98,1	78,9	81,1	78,7	79,0	84,6	80,9	82,4	83,1	83,9
Железо											
Принято кормом, г	с	0,20	0,17	0,21	0,20	0,20	0,23	0,22	0,22	0,21	0,22
Выделено пометом,г	с	0,015	0,143	0,14	0,16	0,15	0,14	0,17	0,15	0,15	0,17
С добавкой, г		0	0,0018	0,003	0,005	0,0004	0,0009	0,001	0,001	0,003	0,004
Усвоено, г		0,18	0,02	0,06	0,04	0,047	0,098	0,05	0,06	0,063	0,062
Коэффициент усвоения, %		92,5	16,2	30,8	18,6	23,4	40,8	23,6	29,7	28,2	24,9
Цинк											
Принято кормом, г	с	0,163	0,138	0,173	0,165	0,162	0,193	0,179	0,181	0,173	0,184
Выделено пометом,г	с	0,015	0,137	0,147	0,159	0,156	0,137	0,160	0,157	0,146	0,144

С добавкой, г	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Усвоено, г	0,148	0,001	0,026	0,007	0,006	0,056	0,020	0,024	0,027	0,041
Коэффициент усвоения, %	90,9	0,66	15,1	3,9	3,5	28,8	11,0	13,4	15,8	22,2
Магний										
Принято кормом, г	1,67	1,42	1,78	1,70	1,66	1,98	1,85	1,86	1,78	1,90
Выделено пометом, г	1,12	0,99	1,06	1,15	1,11	1,02	1,19	1,12	1,11	1,08
С добавкой, г	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
Усвоено, г	0,56	0,44	0,74	0,58	0,55	0,97	0,66	0,75	0,69	0,84
Коэффициент усвоения, %	33,3	30,5	40,4	32,1	33,0	48,7	35,4	39,8	37,7	42,9

Оценка минерального состава тела при вводе ОКДЗ зафиксировала значимые изменения концентрации ряда микроэлементов (таблица 77).

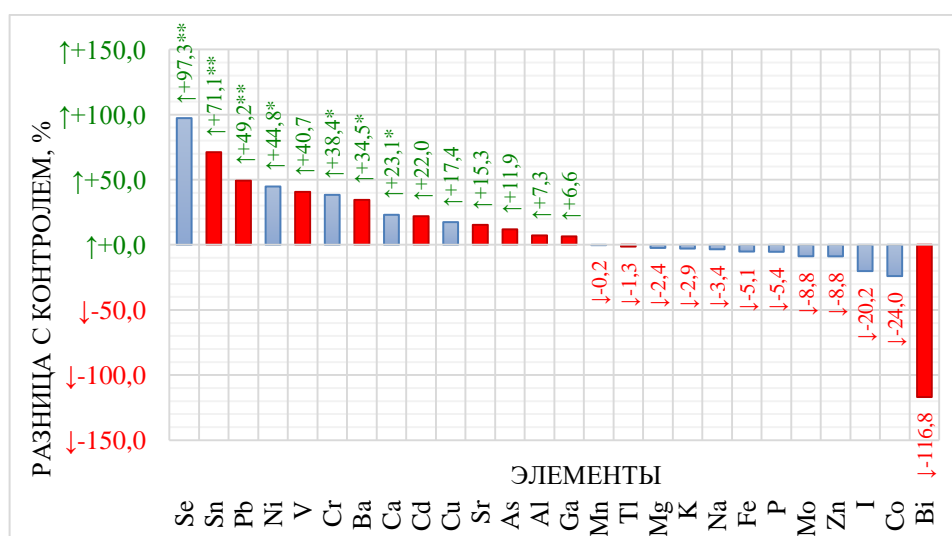
Таблица 77 – Минеральный состав тела при вводе ОКДЗ, мг/кг

Элемент	Контроль	ОКДЗ		
		15%	30%	45%
Na	2942,32±39,495	2880,42±37,854	2870,04±34,374	2654,55±32,086***
Mg	1028,45±17,674	1017,96±12,115	881,20±10,581**	943,95±13,432**
Al	3,62±0,066	15,30±0,333***	14,36±0,273***	19,63±0,732***
P	20511,46±273,278	21551,90±260,617*	15575,19±180,759***	18834,30±392,496**
K	8059,43±102,753	7688,94±110,633*	8649,50±105,833**	7446,48±98,625**
Ca	30709,57±419,937	33698,93±394,698***	21467,69±255,272***	36726,82±528,811***
Mn	1,40±0,018	2,21±0,026***	2,22±0,033***	1,19±0,016***
Co	0,07±0,001	0,08±0,001**	0,08±0,001	0,076±0,002
Ni	0,50±0,012	0,64±0,009***	0,62±0,008***	0,72±0,014***
Cu	5,3±0,064	4,89±0,062***	5,05±0,062*	4,84±0,057***
Ga	0,03±0,001	0,04±0,001	0,03±0,001***	0,03±0,0007**
Sr	15,6±0,266	16,71±0,206*	11,53±0,132***	18,56±0,437***
Ag	0,01±0,001	0,01±0,001**	0,009±0,0004***	0,008±0,0003***
Cd	0,24±0,006	0,41±0,008***	0,48±0,007***	0,37±0,047*
I	1,80±0,027	1,86±0,022	1,41±0,023***	1,37±0,016***
Ba	1,89±0,058	2,26±0,054**	1,45±0,024***	2,41±0,057***
Tl	0,03±0,001	0,03±0,001	0,029±0,001**	0,027±0,0004***
Pb	0,04±0,002	0,06±0,002***	0,055±0,001	0,056±0,001**
Bi	0,02±0,002	0,02±0,001**	0,019±0,001**	0,023±0,0008
Cr	1,75±0,026	2,05±0,033***	2,16±0,046***	2,017±0,030***
Fe	121,23±2,083	132,8±1,599**	133,73±1,98**	125,54±2,045
Zn	82,49±1,148	91,15±1,072***	76,17±0,894**	87,22±1,098
As	0,32±0,008	0,37±0,006**	0,32±0,009	0,31±0,005
Se	1,15±0,061	1,03±0,059	1,21±0,095	1,24±0,029

Примечание: * - $p \leq 0,05$ при сравнении с контрольной группой;
 ** - $p \leq 0,01$ при сравнении с контрольной группой;
 *** - $p \leq 0,001$ при сравнении с контрольной группой.

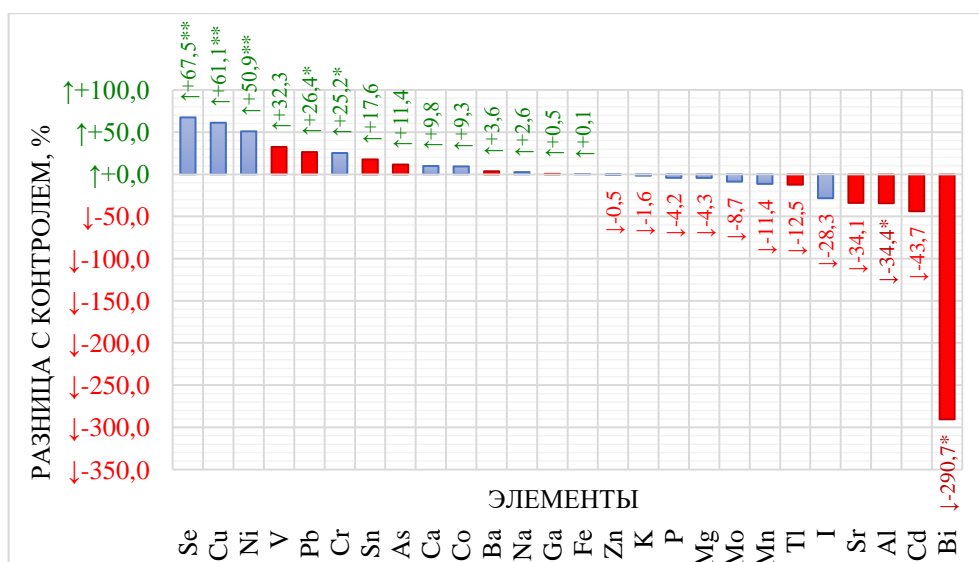
Ввод 15 % ОКДЗ способствует повышению концентраций Fe на 9,6 % ($p \leq 0,01$), Zn на 10,5 % ($p \leq 0,001$), Co на 10,3 % ($p \leq 0,01$), Mn на 58,3 % ($P \leq 0,001$) и Cr на 16,8 % ($P \leq 0,001$) при снижении Cu на 8,1 % ($P \leq 0,001$). Повышение ОКДЗ до 30 % способствует увеличению концентраций Fe на 10,3 % ($P \leq 0,01$), Cr на 22,9 % ($P \leq 0,001$), Mn на 58,8 % ($P \leq 0,001$). Увеличение дозы ОКДЗ до 45 % способствовало повышению концентраций Ca в теле, разница с контролем составила 19,6 % ($P \leq 0,001$). Примечательно, что при введении ОКДЗ (45 %) наблюдаются снижение концентраций таких элементов как K, P, Mg и Na в диапазоне от 7,6 до 9,8 % ($P \leq 0,01$).

Внесение в рацион ОКДЗ в количестве 30 и 45 % способствовало аккумуляции никеля и хрома в почках, как и в печени, с одновременным снижением уровней бария и олова (рисунок 47-52).



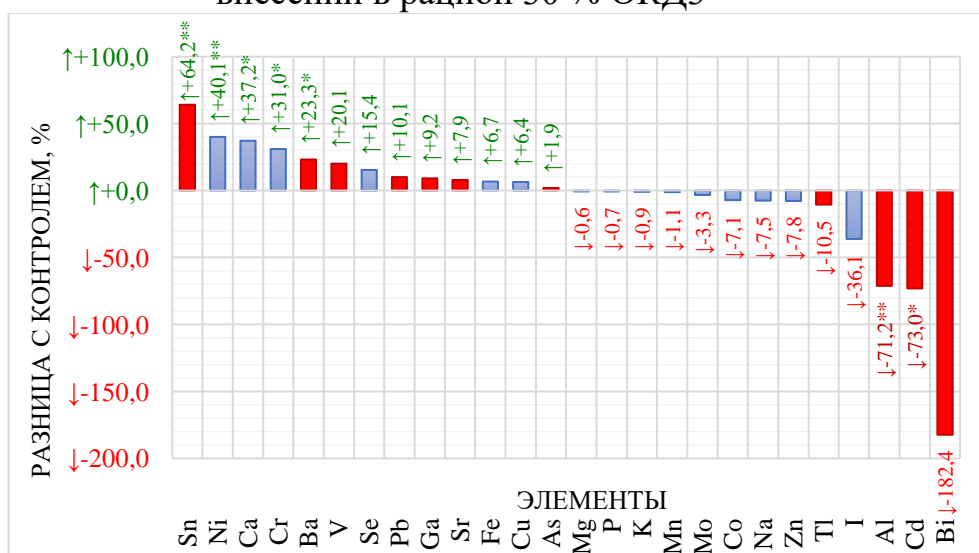
*Примечание: * - $P \leq 0,1$; ** - $P \leq 0,05$

Рисунок 47 – Элементный состав тканей печени в равнении с контролем при внесении в рацион 15 % ОКДЗ



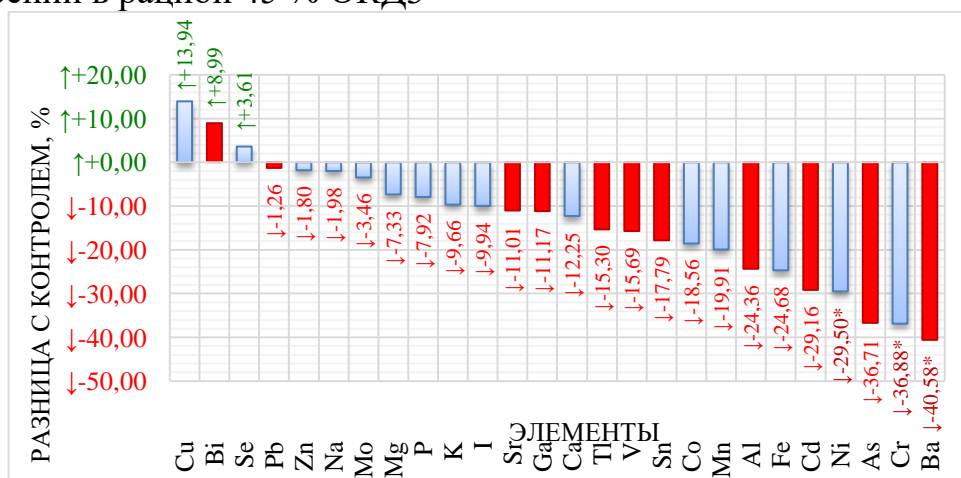
*Примечание: * - $p \leq 0,1$; ** - $p \leq 0,05$

Рисунок 48 – Элементный состав тканей печени в сравнении с контролем при внесении в рацион 30 % ОКДЗ



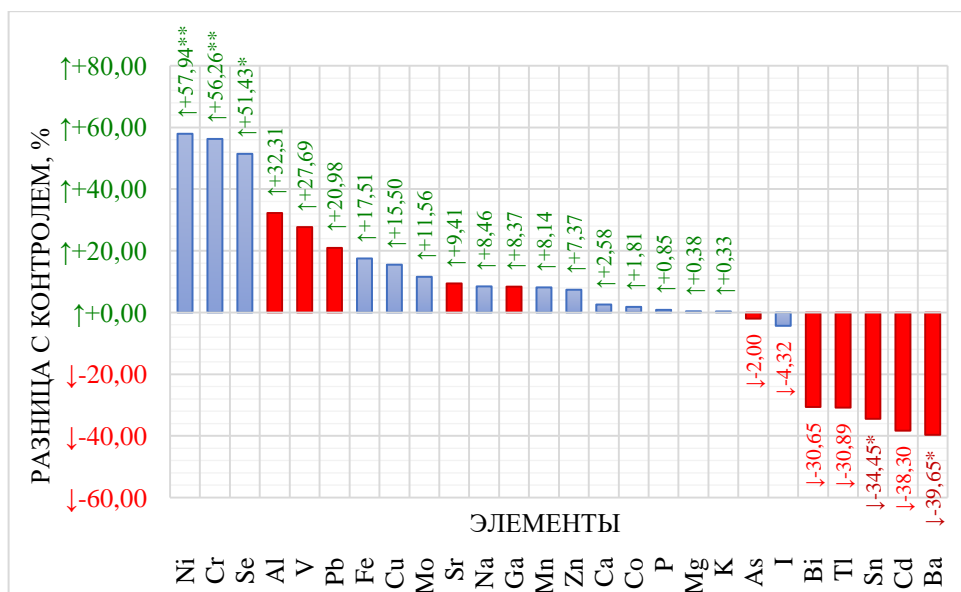
*Примечание: * - $p \leq 0,1$; ** - $p \leq 0,05$

Рисунок 49 – Элементный состав тканей печени в сравнении с контролем при внесении в рацион 45 % ОКДЗ



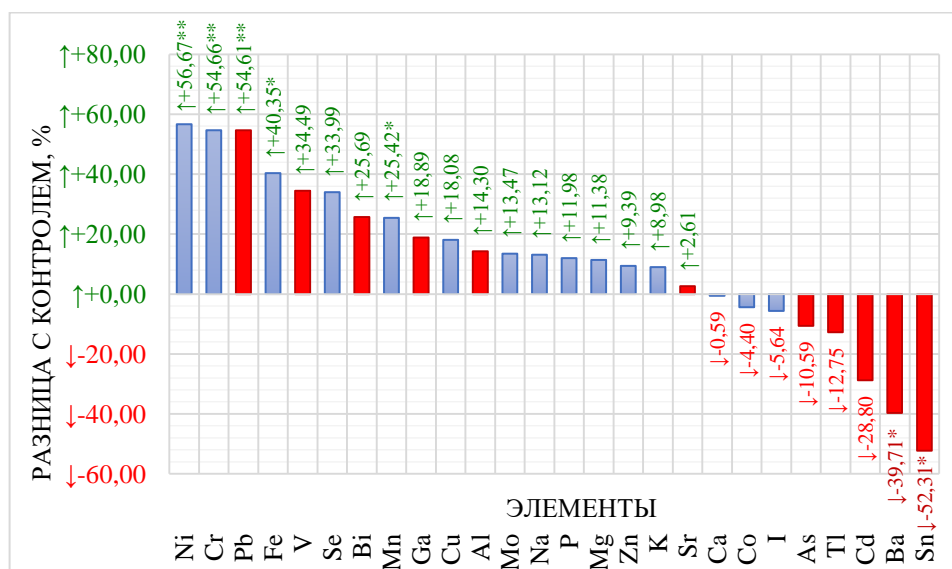
*Примечание: * - $p \leq 0,1$

Рисунок 50 – Элементный состав тканей почек при внесении в рацион 15 % ОКДЗ



*Примечание: * - $p \leq 0,1$; ** - $p \leq 0,05$

Рисунок 51 – Элементный состав тканей почек при внесении в рацион 30 % ОКДЗ



*Примечание: * - $p \leq 0,1$; ** - $p \leq 0,05$

Рисунок 52 – Элементный состав тканей почек при внесении в рацион 45 % ОКДЗ

Ввод ОКД1 в различных дозировках способствовал значимым изменениям в концентрациях ряда минералов в теле животных (таблица 78). 15 % ОКД1 в рационе способствует повышению уровня Mn на 17,9 % ($P \leq 0,001$) с параллельным снижением уровня Cu на 13,8 % ($P \leq 0,001$). При повышении дозы ОКД1 до 30 % наблюдается повышение Mn на 17,6 % ($P \leq 0,001$) на фоне снижения Co на 10,7 % ($P \leq 0,01$), Sr и Cu на 13,4 % ($P \leq 0,001$),

а также Se на 31,6 % ($P \leq 0,05$). Повышение ОКД1 до 45 % способствует достоверному снижению Р на 10,7 % ($P \leq 0,001$), Mg на 9,4 % ($P \leq 0,01$) и Na на 6,1 % ($P \leq 0,05$).

Таблица 78 – Минеральный состав тела при вводе ОКД1, мг/кг

Элемент	Контроль	ОКД1		
		15%	30%	45%
Na	2942,3±39,5	2697,3±40,9**	2563,5±30,1***	2763,3±42,4*
Mg	1028,4±17,6	1027,7±12,7	899,7±13,3***	931,7±14,2**
Al	3,62±0,066	21,15±0,65***	2,56±0,072***	7,41±0,132***
P	20511,5±273,3	21185,8±264,2	16340,6±242,1***	18310,82±326,141** *
K	8059,4±102,7	7242,01±93,033***	7354,4±95,8***	7754,3±99,1
Ca	30709,6±419,9	34370,3±383,2***	25344,4±339,7***	29969,4±519,7
Mn	1,40±0,018	1,653±0,021***	1,64±0,022***	1,18±0,016***
Co	0,07±0,001	0,07±0,002	0,07±0,001**	0,07±0,001*
Ni	0,50±0,012	0,59±0,013***	0,51±0,007	0,67±0,011***
Cu	5,3±0,064	4,59±0,069***	4,62±0,059***	4,85±0,086**
Ga	0,03±0,001	0,029±0,0004***	0,02±0,0005***	0,02±0,0005***
Sr	15,6±0,266	19,34±0,281***	13,56±0,183***	15,85±0,238
Ag	0,01±0,001	0,01±0,0003***	0,007±0,0001***	0,01±0,0004***
Cd	0,24±0,006	0,36±0,012***	0,34±0,007***	0,23±0,006
I	1,80±0,027	2,08±0,036***	1,75±0,025	2,15±0,025***
Ba	1,89±0,058	1,88±0,044	1,45±0,042***	1,55±0,032***
Tl	0,03±0,001	0,03±0,0004***	0,03±0,0004*	0,03±0,0004***
Pb	0,04±0,002	0,06±0,001***	0,04±0,0009***	0,03±0,001***
Bi	0,02±0,002	0,03±0,001	0,03±0,0013	0,011±0,0002***
Cr	1,75±0,026	1,86±0,027*	1,73±0,027	1,83±0,035
Fe	121,23±2,083	121,36±1,422	122,26±2,142	123,99±1,971
Zn	82,49±1,148	84,94±1,138	80,62±1,184	84,33±1,079
As	0,32±0,008	0,323±0,012	0,22±0,0139***	0,27±0,01**
Se	1,15±0,061	1,0011±0,0929	0,7919±0,1352*	0,92±0,07*

Примечание: * - $P \leq 0,05$ при сравнении с контрольной группой;

** - $P \leq 0,01$ при сравнении с контрольной группой;

*** - $P \leq 0,001$ при сравнении с контрольной группой.

Внесение в рацион ОКД1 в количестве 15 % сопровождалось аккумуляцией в тканях печени таких токсичных элементов как барий (+75,9 % к контролю, $p \leq 0,05$), ванадий (+70,8 % к контролю, $p \leq 0,1$), алюминий (+69,9 % к контролю, $p \leq 0,05$), свинец (+56,0 % к контролю, $p \leq 0,05$), стронций (+48,2 % к контролю, $p \leq 0,1$) и кадмий (+38,3 % к контролю, $p \leq 0,05$), а также эссенциальных селена (+99,7 % к контролю, $p \leq 0,05$), никеля (+60,1 % к контролю, $p \leq 0,05$), кальция (+55,8 % к контролю, $p \leq 0,05$) и хрома (+52,5 % к

контролю, $p \leq 0,05$), при этом падал уровень висмута (-223,1 % к контролю, $p \leq 0,05$) (рисунок 53). Аналогичные изменения наблюдались и при повышении дозировки до 30 % (рисунок 54). Рост нагрузки до 45 % (рисунок 55), напротив, способствовал снижению доли никеля, стронция, алюминия и висмута в тканях печени на 41,7; 57,2; 87,8 и 265,2 %, соответственно.

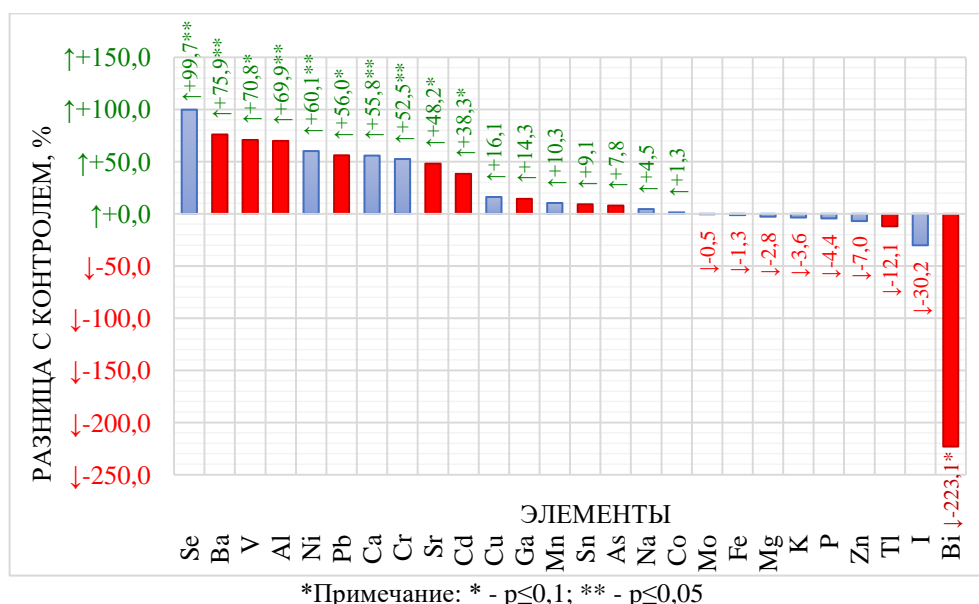


Рисунок 53 – Элементный состав тканей печени в сравнении с контролем при внесении в рацион 15 % ОКД1

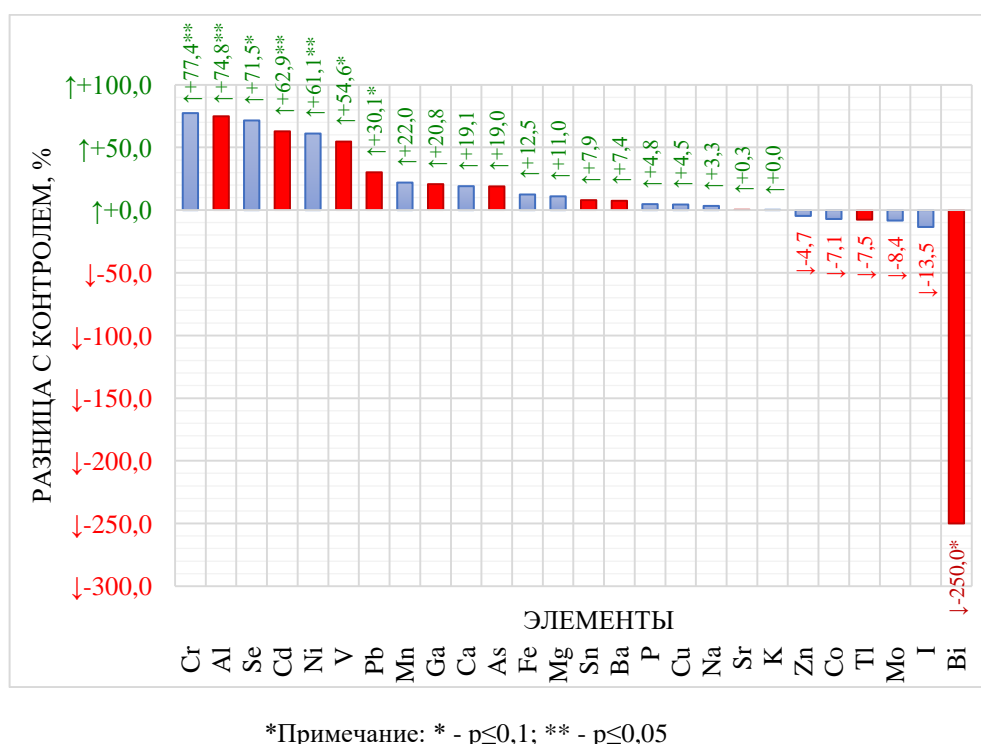
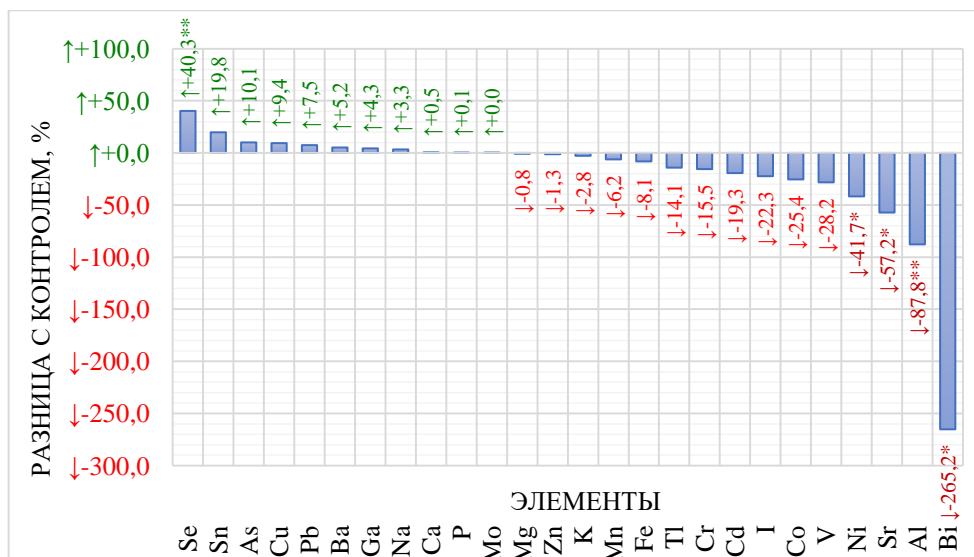


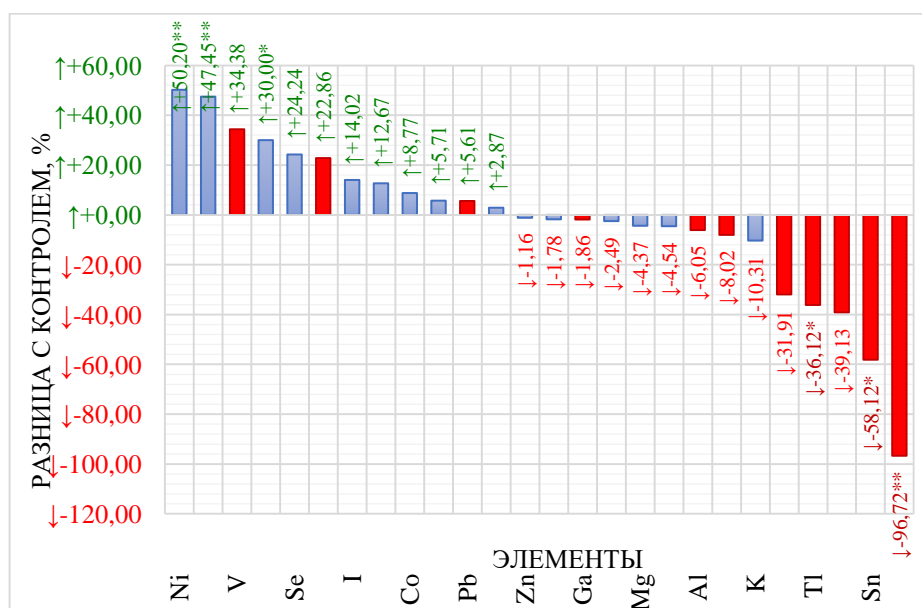
Рисунок 54 – Элементный состав тканей печени в сравнении с контролем при внесении в рацион 30 % ОКД1



*Примечание: * - $p \leq 0,1$; ** - $p \leq 0,05$

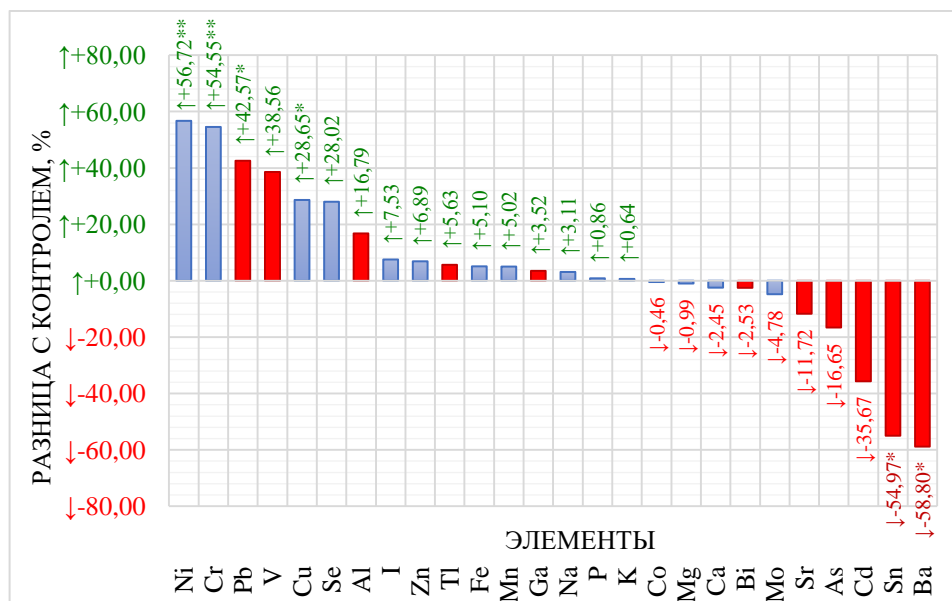
Рисунок 55 – Элементный состав тканей печени в сравнении с контролем при внесении в рацион 45 % ОКД1

При 15 % содержании ОКД1 в рационе отмечался прирост по концентрациям никеля (+50,2 % к контролю, $p \leq 0,05$), хрома (+47,5 % к контролю, $p \leq 0,05$) и меди (+30,0 % к контролю, $p \leq 0,1$) при одновременном снижении уровней токсичных таллия, олова и бария на 36,1; 58,1 и 96,7 %, соответственно (рисунок 56). Далее тенденция сохранялась (рисунок 57), однако отмечалось достоверное превышение по свинцу (+42,6 % к контролю, $p \leq 0,1$).



*Примечание: * - $p \leq 0,1$; ** - $p \leq 0,05$

Рисунок 56 – Элементный состав тканей почек в сравнении с контролем при внесении в рацион 15 % ОКД1



*Примечание: * - $p \leq 0,1$; ** - $p \leq 0,05$

Рисунок 57 – Элементный состав тканей почек в сравнении с контролем при внесении в рацион 30 % ОКД1

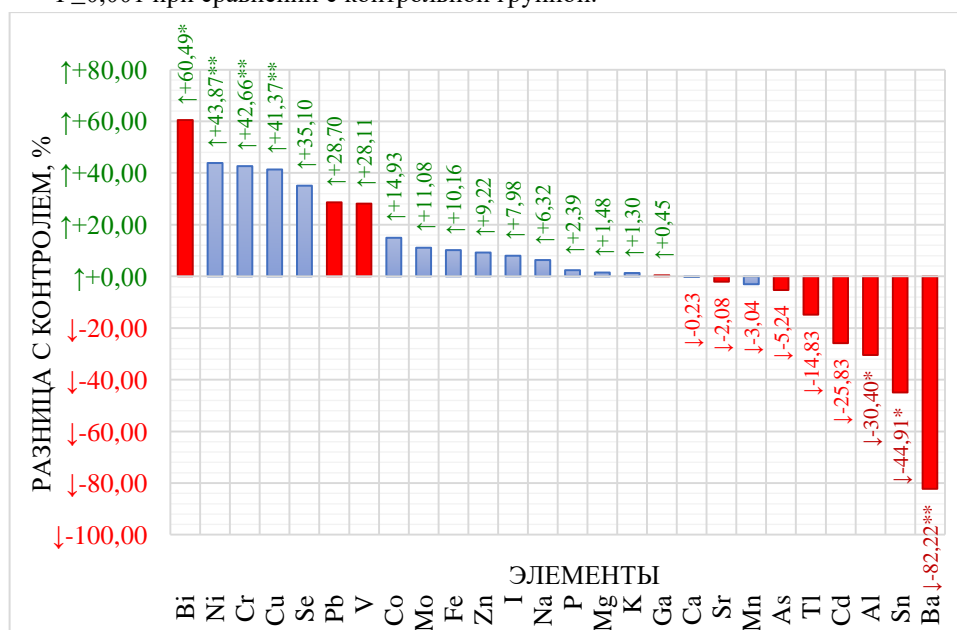
30 % доза ОКД1 (рисунок 57) способствовала аккумуляции никеля (+43,9 % к контролю, $p \leq 0,05$), хрома (+42,7 % к контролю, $p \leq 0,05$), меди (+41,4 % к контролю, $p \leq 0,05$) и висмута (+60,5 % к контролю, $p \leq 0,1$) при когерентном нивелировании уровней алюминия (-30,4 % к контролю, $p \leq 0,1$), олова (-44,9 % к контролю, $p \leq 0,1$) и бария (-82,2 % к контролю, $p \leq 0,05$). Кальций-магниевое соотношение в тканях почек менялось незначительно от 0,39 до 0,38 единиц при росте доли ОКД1 в корме.

Ввод 15 % ОКД2 способствовал повышению в теле I на 8,8 % ($P \leq 0,01$) и Mn на 8,2 % ($p \leq 0,01$) (таблица 79). Однако, также наблюдается снижение уровня Fe на 7,9 % ($p \leq 0,01$), Co на 8 % ($p \leq 0,05$), Cr на 8,1 % ($p \leq 0,01$), Cd на 13,3 % ($p \leq 0,01$), Cu на 14,9 % ($p \leq 0,001$), Ga на 46,3 % ($p \leq 0,001$), Bi на 41,7 % ($p \leq 0,001$). Доломитовая мука в дозе 30 % способствует снижению Ca и P на 21,9 % ($p \leq 0,001$) и 22,9 % ($p \leq 0,001$). Наблюдается снижение ряда макроэлементов, при повышении дозы ОКД2 до 45 %, а именно Ca на 5,3 % ($p \leq 0,05$), Mg на 7,7 % ($p \leq 0,01$), K на 9,8 % ($p \leq 0,001$), P на 10,1 % ($p \leq 0,001$) и Na на 15 % ($p \leq 0,001$).

Таблица 79 – Минеральный состав тела при вводе ОКД2 в различных дозах, мг/кг

Элемент	Контроль	ОКД2		
		15%	30%	45%
Na	2942,3±39,5	2462,2±30,8***	2611,3±29,6***	2499,5±28,3***
Mg	1028,5±17,7	892,93±15,3***	850,7±11,4***	948,8±12,8**
Al	3,62±0,066	7,03±0,131***	11,96±0,915***	12,33±0,821***
P	20511,5±273,3	17086,72±275,3***	15805,89±210,433***	18440,5±225,8***
K	8059,4±102,7	7127,8±87,9***	7186,99±84,601***	7271,7±87,3***
Ca	30709,6±419,9	26303,7±400,3***	23994,56±280,390***	29075,5±356,6*
Mn	1,40±0,018	1,52±0,018**	5,003±0,079***	3,44±0,040***
Co	0,07±0,001	0,07±0,001*	0,096±0,002***	0,08±0,001***
Ni	0,50±0,012	0,46±0,007*	0,89±0,025***	0,56±0,009**
Cu	5,3±0,064	4,54±0,061***	5,03±0,06**	4,77±0,06***
Ga	0,03±0,001	0,02±0,001***	0,02±0,0005***	0,03±0,0004***
Sr	15,6±0,266	16,15±0,224	13,48±0,172***	15,84±0,233
Ag	0,01±0,001	0,01±0,0002***	0,04±0,002***	0,009±0,001***
Cd	0,24±0,006	0,22±0,005**	0,47±0,015***	0,37±0,005***
I	1,80±0,027	1,96±0,025**	1,43±0,027***	1,51±0,017***
Ba	1,89±0,058	1,96±0,04	2,46±0,057***	2,16±0,217
Tl	0,03±0,001	0,02±0,0004***	0,03±0,001**	0,02±0,0006***
Pb	0,04±0,002	0,03±0,002***	0,33±0,009***	0,05±0,001
Bi	0,02±0,002	0,02±0,001***	0,45±0,007***	0,03±0,001
Cr	1,75±0,026	1,61±0,024**	2,63±0,072***	2,07±0,158
Fe	121,23±2,083	111,66±1,625**	323,47±5,51***	137,76±2,36***
Zn	82,49±1,148	80,16±1,069	88,86±1,302**	85,60±1,067
As	0,32±0,008	0,24±0,007***	0,31±0,005	0,32±0,008
Se	1,15±0,061	1,01±0,042	0,79±0,060**	0,78±0,047***

Примечание: * - $P \leq 0,05$ при сравнении с контрольной группой;
 ** - $P \leq 0,01$ при сравнении с контрольной группой;
 *** - $P \leq 0,001$ при сравнении с контрольной группой.



*Примечание: * - $p \leq 0,1$; ** - $p \leq 0,05$

Рисунок 58 – Элементный состав тканей почек в сравнении с контролем при внесении в рацион 45 % ОКД1

При введении в рацион животных 15 % доломитовой муки в тканях печени (рисунок 59) установлено увеличение концентраций никеля (+22,5 % к контролю, $p \leq 0,1$) и селена (+83,3 % к контролю, $p \leq 0,05$), а также свинца (+30,9 % к контролю, $p \leq 0,05$) при одновременном снижении уровня висмута (-250,0% к контролю, $p \leq 0,05$) при одновременном снижении уровня висмута (-250,0% к контролю, $p \leq 0,1$). При повышении дозировки до 30 % $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ динамика сохранялась (рисунок 60), однако, отмечалось также прибавление в количестве цинка (+36,2 % к контролю, $p \leq 0,1$). Далее при 45 % нагрузке выявлено повышение уровней никеля, селена, хрома, бария, свинца и ванадия на 30,8; 58,8; 32,8; 55,0; 64,6 и 46,3 %, соответственно (рисунок 61). Кальций-магниевое соотношение дозозависимо увеличивалось от 0,25 до 0,28 единиц.

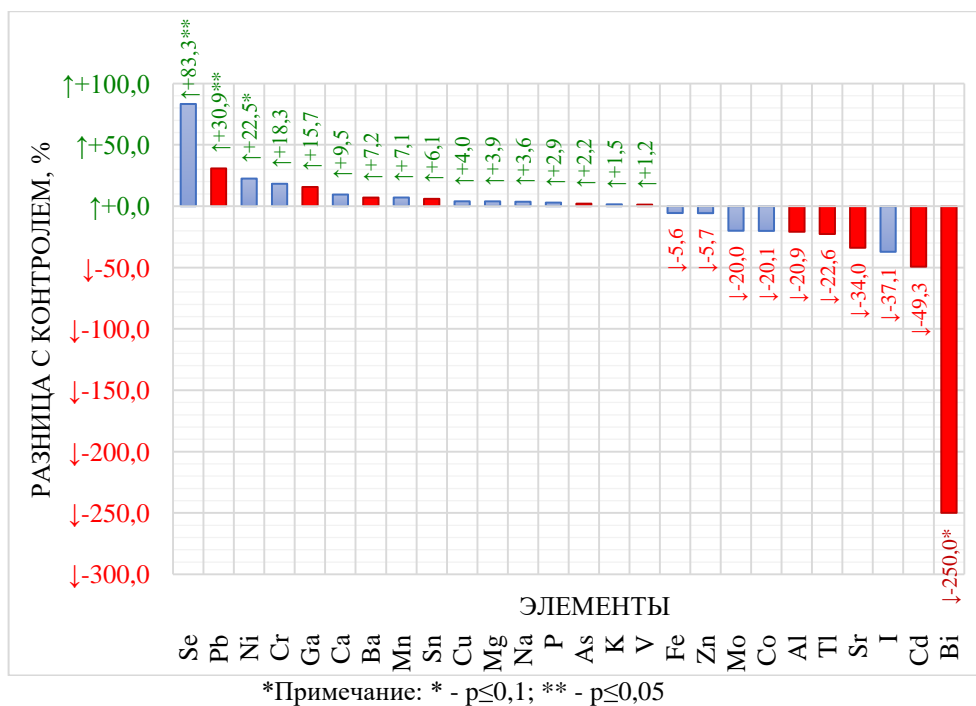


Рисунок 59 – Элементный состав тканей печени в сравнении с контролем при внесении в рацион 15 % $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

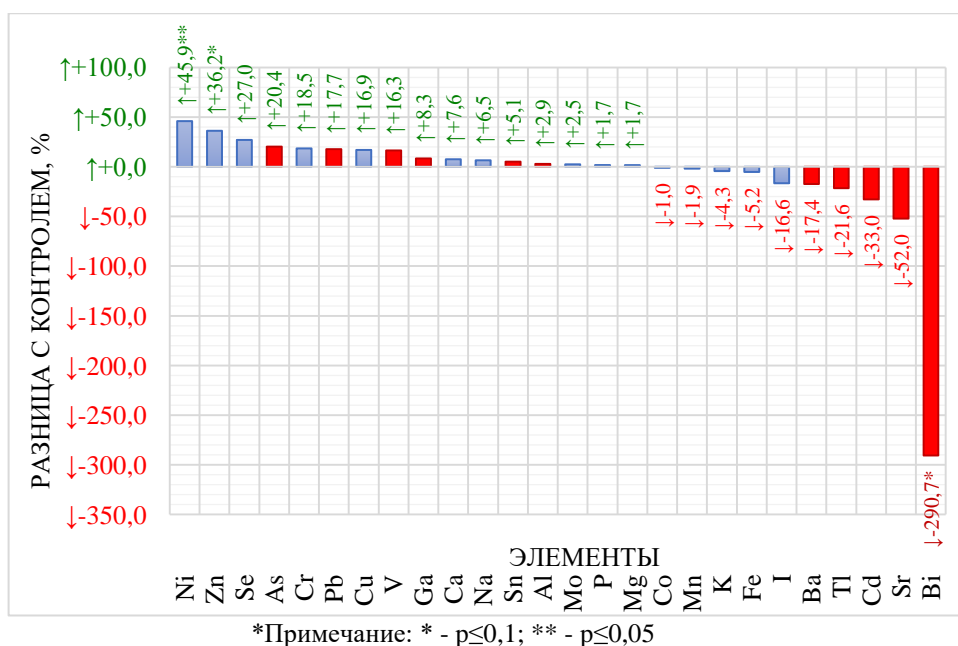


Рисунок 60 – Элементный состав тканей печени в сравнении с контролем при внесении в рацион 30 % $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

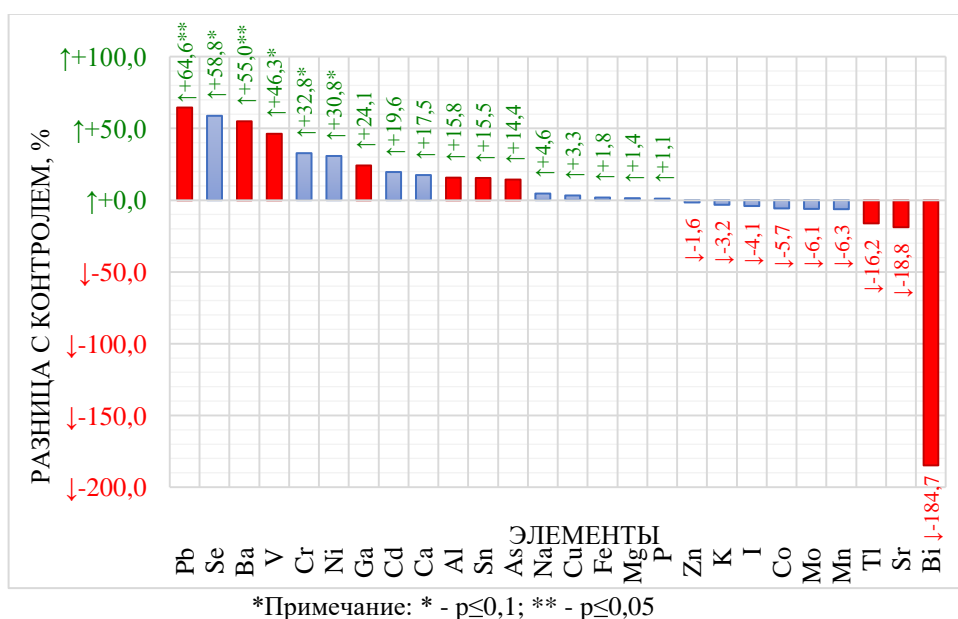
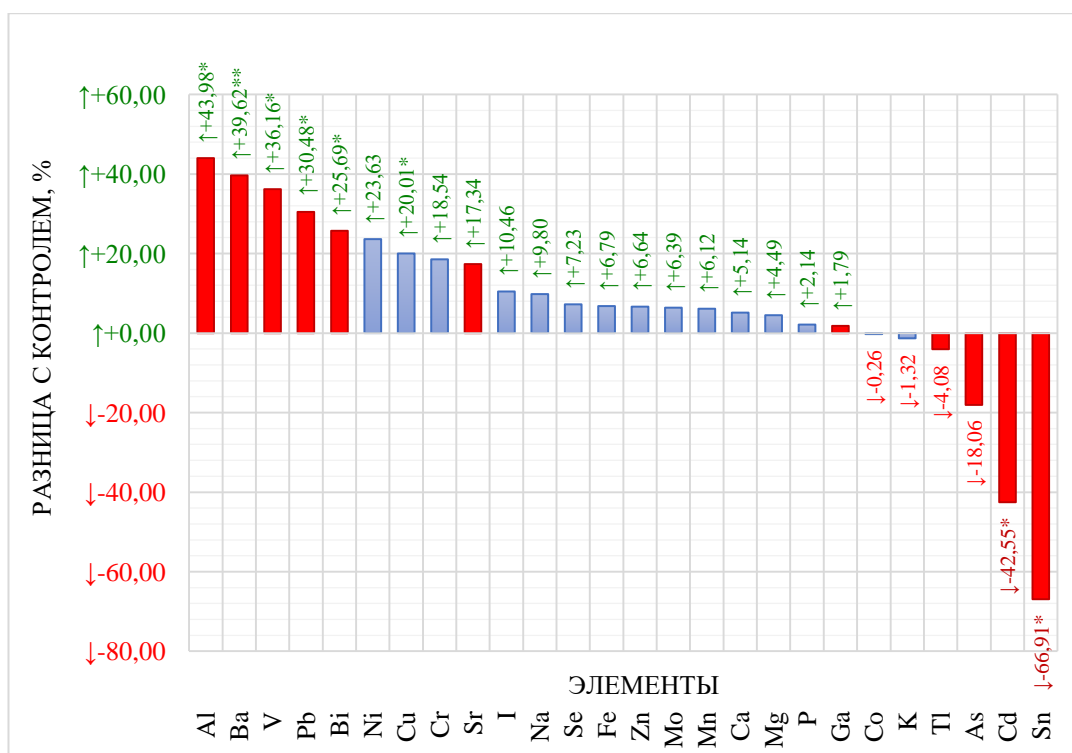


Рисунок 61 – Элементный состав тканей печени в сравнении с контролем при внесении в рацион 45 % $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

В тканях почек (15 % ОКД2) установлено превышение по алюминию (+44,0 % к контролю, $p \leq 0,1$), барию (+39,6 % к контролю, $p \leq 0,05$), ванадию (+36,2 % к контролю, $p \leq 0,1$), свинцу (+30,48 % к контролю, $p \leq 0,1$), висмуту (+25,7 % к контролю, $p \leq 0,1$) и меди (+20,0 % к контролю, $p \leq 0,05$) при соответствующем снижении доли кадмия (-42,6 % к контролю, $p \leq 0,1$) и олова

(-66,9 % к контролю, $p \leq 0,1$) (рисунок 62). При повышении уровня ОКД2 до 30 % распределение элементов несколько смещалось (рисунок 63), в частности установлено достоверное повышение уровня никеля и хрома на 56,8 и 55,2 %, соответственно. Сохранялась динамика по свинцу, кадмию и олову. Выявлено снижение концентрации бария (-98,5 % к контролю, $p \leq 0,05$). Повышение доломита до 45 % сопровождалось так же ростом количества никеля (+50,4 % к контролю, $p \leq 0,05$) и хрома (+49,8 % к контролю, $p \leq 0,05$) в тканях почек, помимо чего повышались уровни висмута (+32,5 % к контролю, $p \leq 0,1$), меди (+29,6 % к контролю, $p \leq 0,1$), селена (+28,5 % к контролю, $p \leq 0,1$), железа (+22,4 % к контролю, $p \leq 0,1$) и молибдена (+20,7 % к контролю, $p \leq 0,1$), падала концентрация олова (-54,5 % к контролю, $p \leq 0,05$). Кальций-магниевое соотношение при всех дозах оставалось на уровне 0,38 единиц (рисунок 64).



*Примечание: * - $p \leq 0,1$; ** - $p \leq 0,05$

Рисунок 62 – Элементный состав тканей почек в сравнении с контролем при внесении в рацион 15 % $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

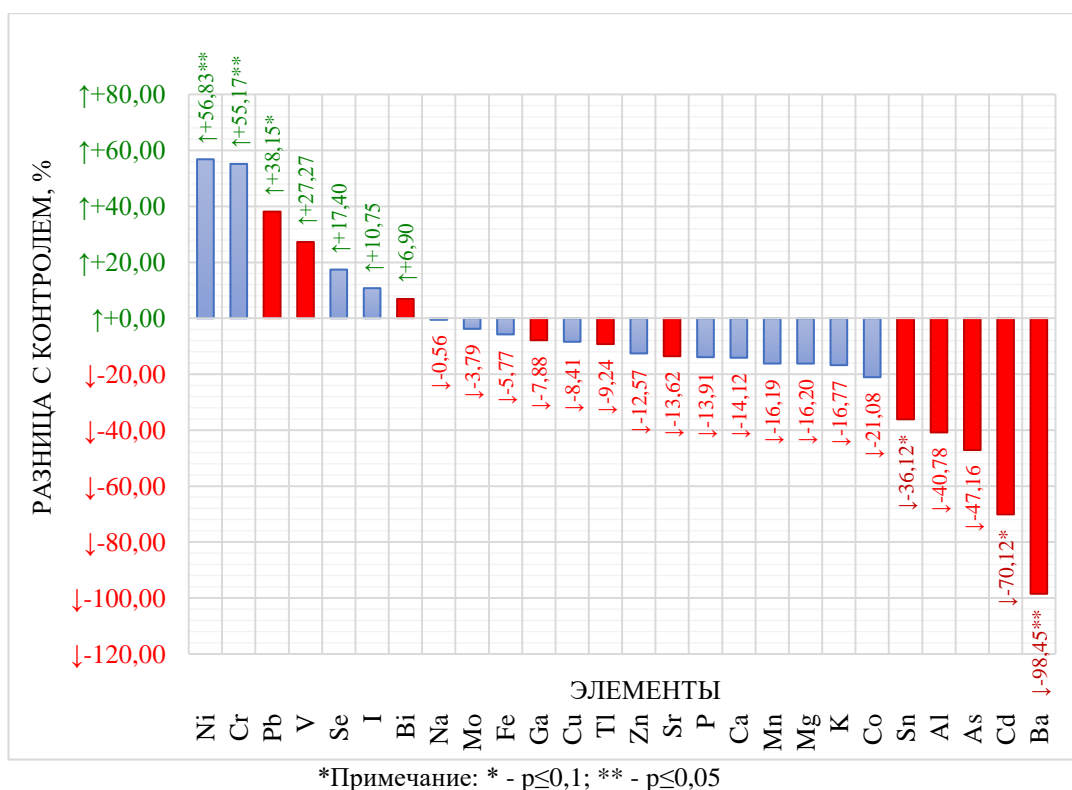


Рисунок 63 – Элементный состав тканей почек в сравнении с контролем при внесении в рацион 30 % $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

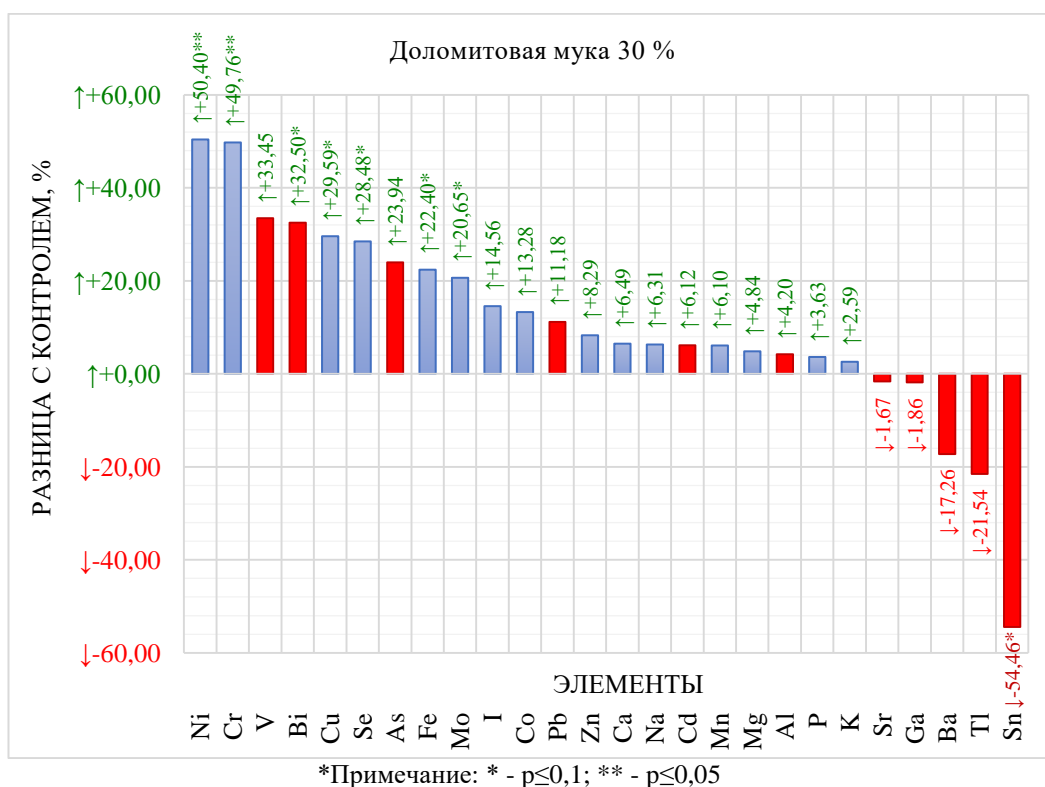


Рисунок 64 – Элементный состав тканей почек в сравнении с контролем при внесении в рацион 45 % $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

При гистологической оценке образцов контрольной и опытных групп фрагменты ткани печени умеренного кровенаполнения, в просвете сосудов отсутствуют явления эритроцитарной агрегации и сгустка, а также их гемолиза. Дольковая структура, а также балочное строение печеночной паренхимы четко выражено. Гепатоциты полигональной формы с четкими ядрами и контурами, эозинофильной цитоплазмой. Встречаются двухъядерные гепатоциты. Портальные тракты умеренно выражены, стенки сосудов четкие, тонкие (рисунок 65-74).

В представленных образцах контрольной и опытных групп фрагменты ткани почек с четкой границей коркового и мозгового вещества. В корковом слое равномерно распределены клубочки, капиллярные петли, которые плотно прилегают друг к другу. Эпителий проксимальных извитых канальцев имеет эозинофильную окраску, базофильные ядра. Просветы канальцев неширокие, свободные. Просвет собирательных трубочек более широкий, эпителий имеет меньшую высоту и бледнее окрашен (рисунок 75-84).

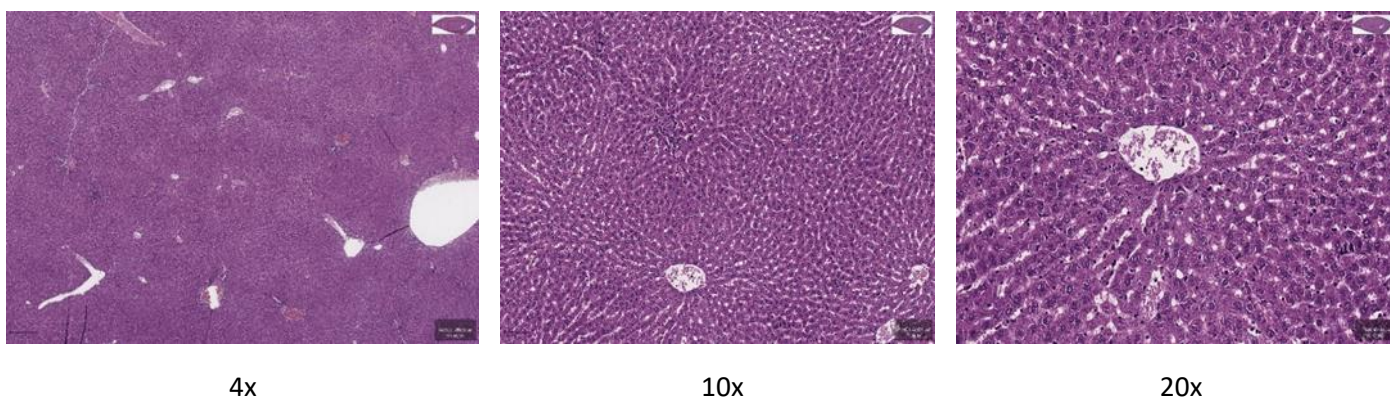
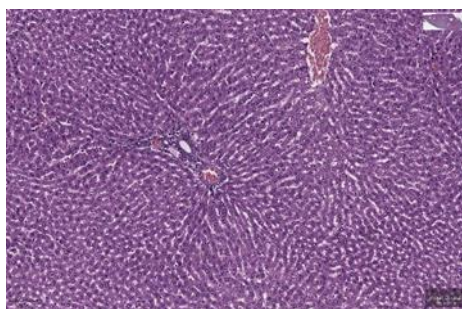


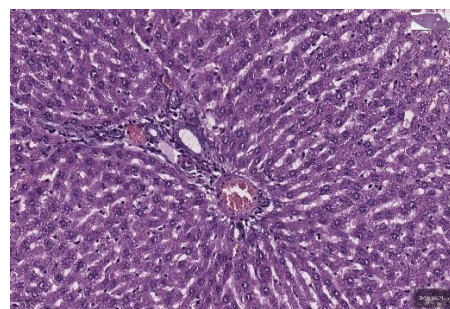
Рисунок 65 – Ткани печени контрольной группы



4x

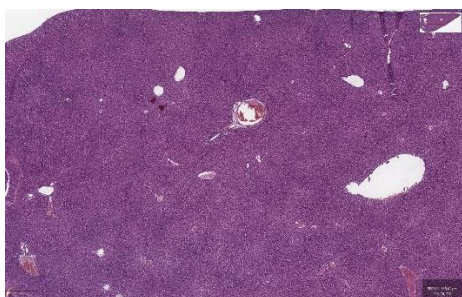


10x

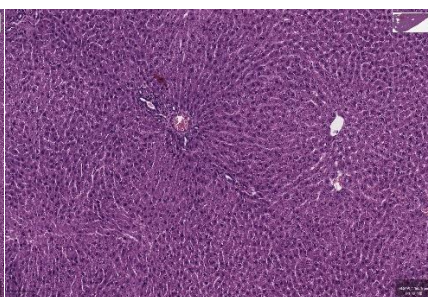


20x

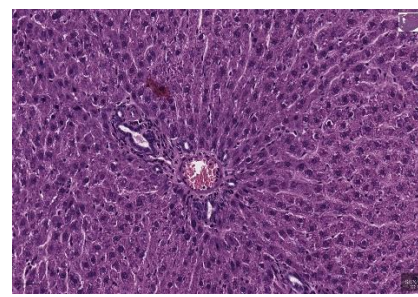
Рисунок 66 – Ткани печени I опытной группы, при вводе в рацион ОКДЗ, в дозировке 15 % от суточной потребности Са



4x



10x

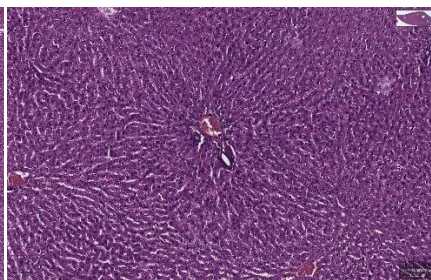


20x

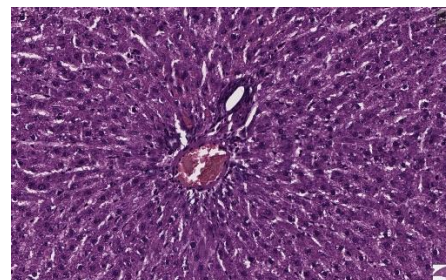
Рисунок 67 – Ткани печени II опытной группы, при вводе в рацион ОКДЗ, в дозировке 30 % от суточной потребности Са



4x

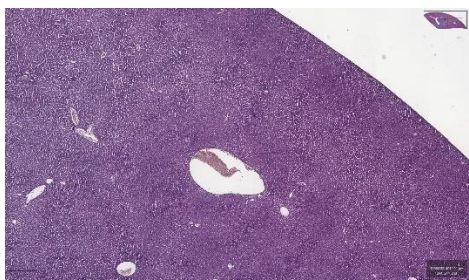


10x

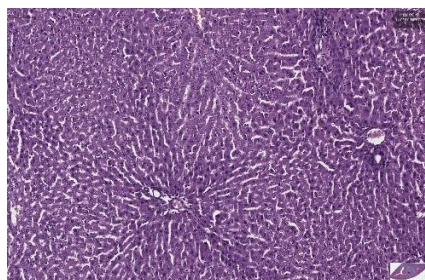


20x

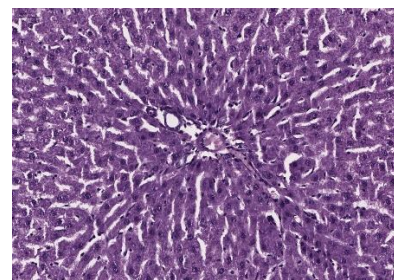
Рисунок 68 – Ткани печени III опытной группы, при вводе в рацион ОКДЗ, в дозировке 45 % от суточной потребности Са



4x

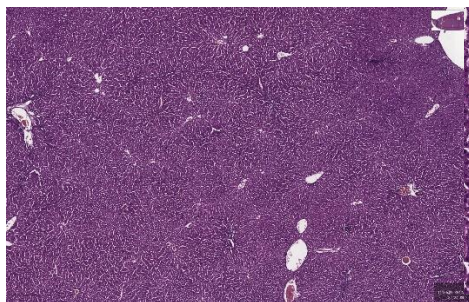


10x

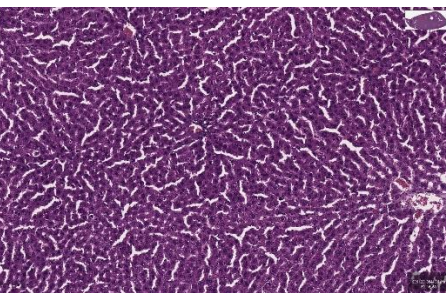


20x

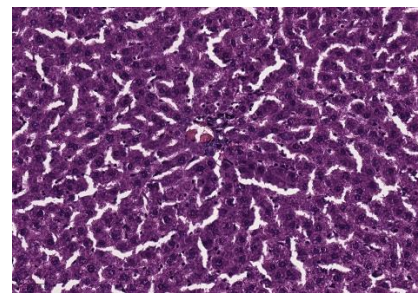
Рисунок 69 – Ткани печени I опытной группы, при вводе в рацион ОКД1, в дозировке 15 % от суточной потребности Са



4x

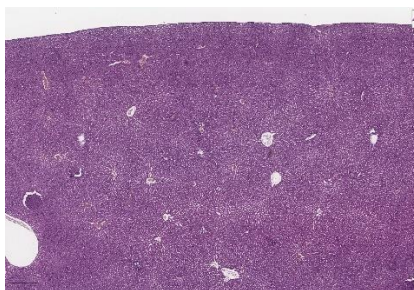


10x

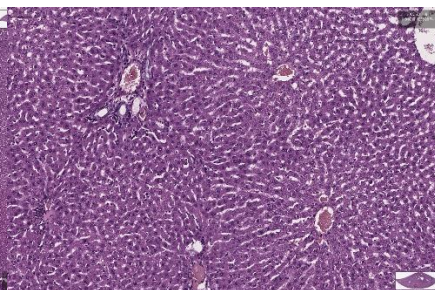


20x

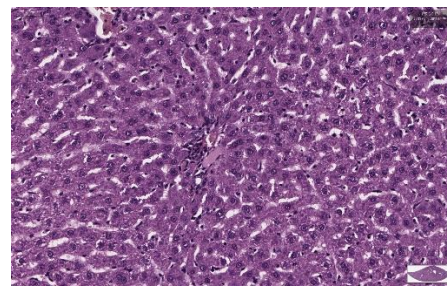
Рисунок 70 – Ткани печени II опытной группы, при вводе в рацион ОКД1, в дозировке 30 % от суточной потребности Са



4x



10x



20x

Рисунок 71 – Ткани печени III опытной группы, при вводе в рацион ОКД1, в дозировке 45 % от суточной потребности Са

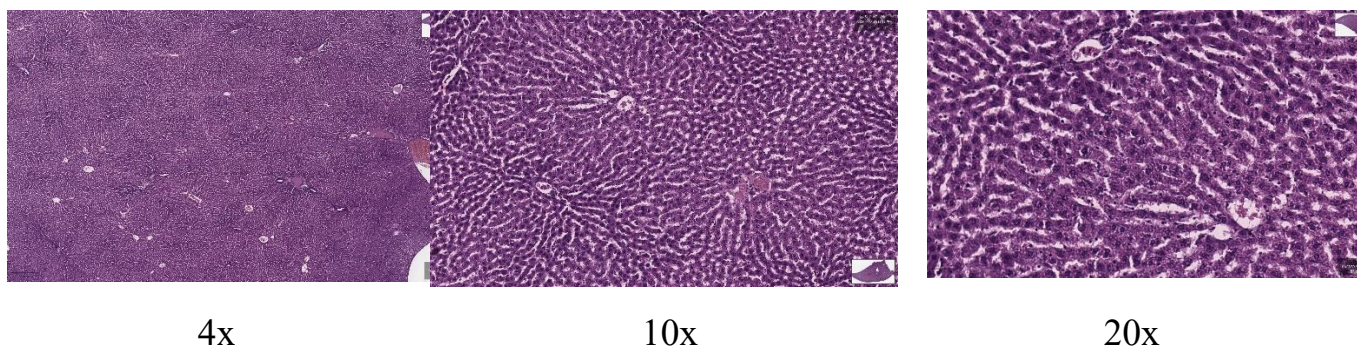


Рисунок 72 – Ткани печени I опытной группы, при вводе в рацион $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, в дозировке 15 % от суточной потребности Ca

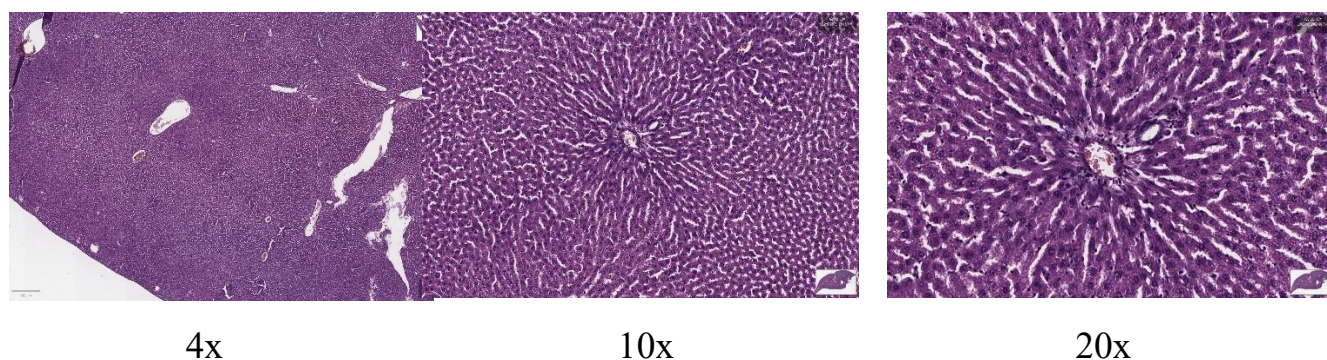


Рисунок 73 – Ткани печени II опытной группы, при вводе в рацион $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, в дозировке 30 % от суточной потребности Ca

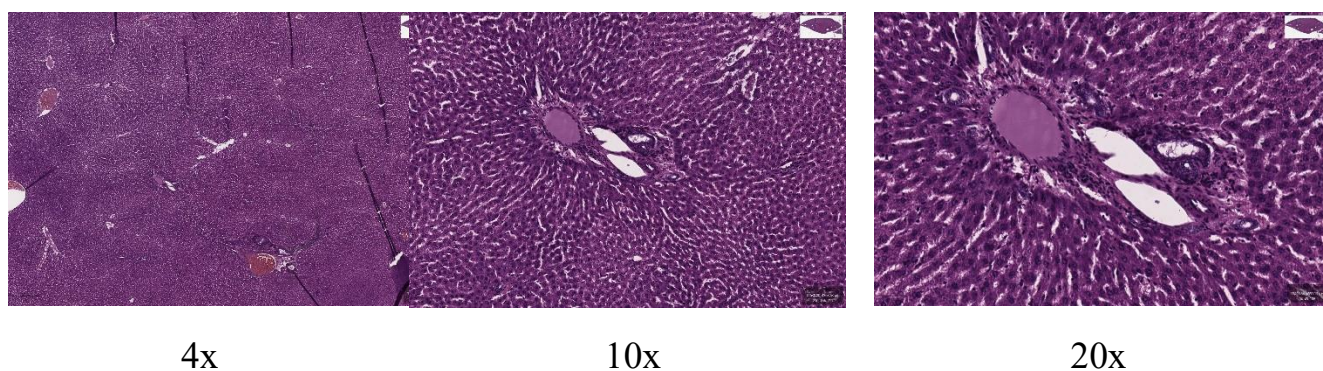
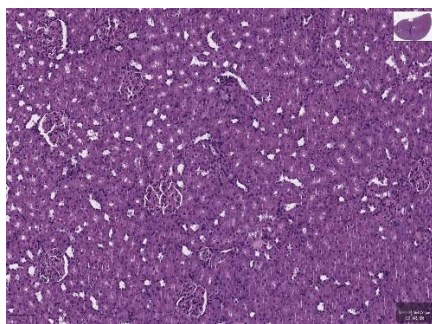


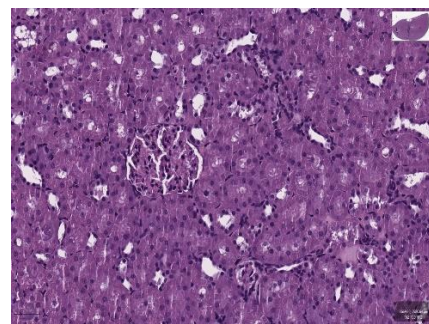
Рисунок 74 – Ткани печени III опытной группы, при вводе в рацион $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, в дозировке 45 % от суточной потребности Ca



4x

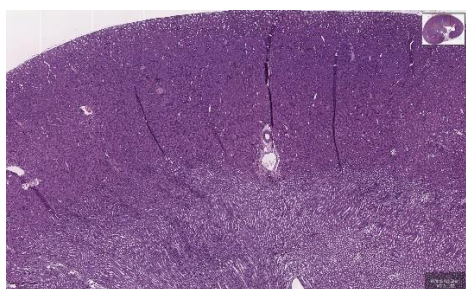


10x

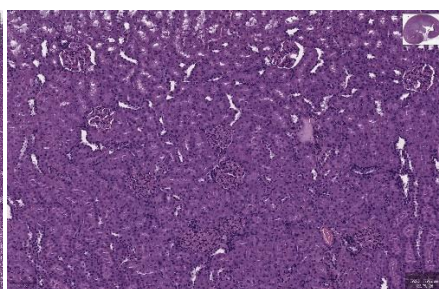


20x

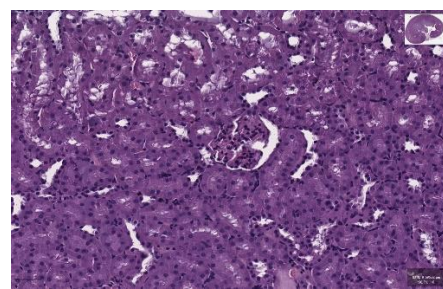
Рисунок 75 – Ткани почек контрольной группы



4x



10x

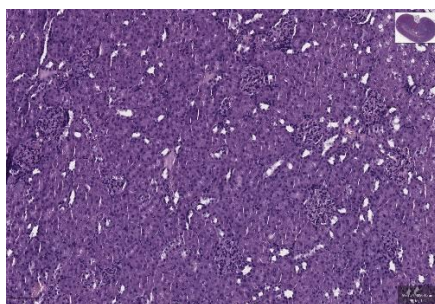


20x

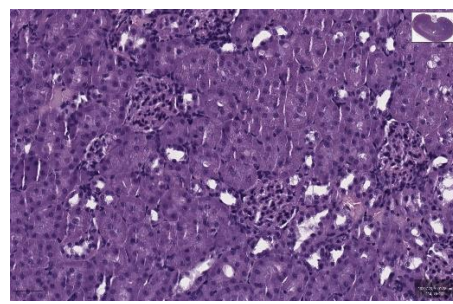
Рисунок 76 – Ткани почек I опытной группы, при вводе в рацион ОКДЗ, в дозировке 15 % от суточной потребности Са



4x



10x

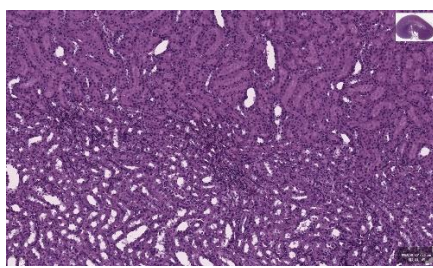


20x

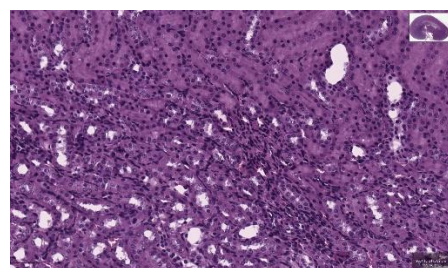
Рисунок 77 – Ткани почек II опытной группы, при вводе в рацион ОКДЗ, в дозировке 30 % от суточной потребности Са



4x

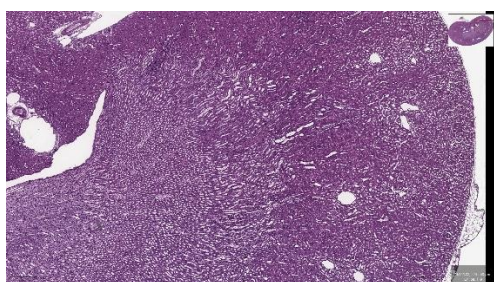


10x

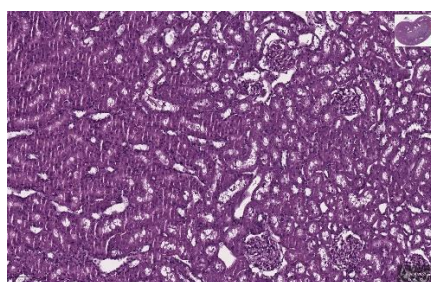


20x

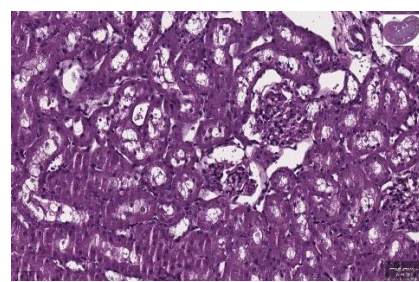
Рисунок 78 – Ткани почек III опытной группы, при вводе в рацион ОКД3, в дозировке 45 % от суточной потребности Са



4x

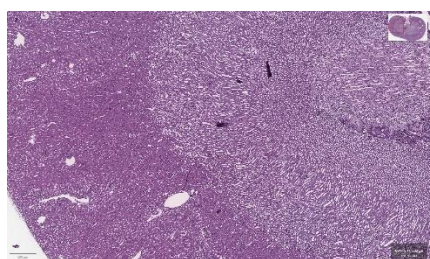


10x

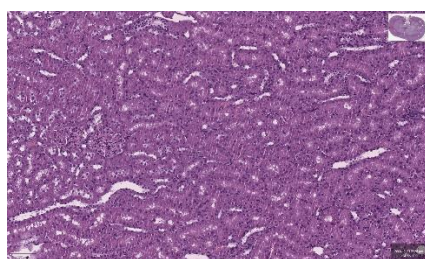


20x

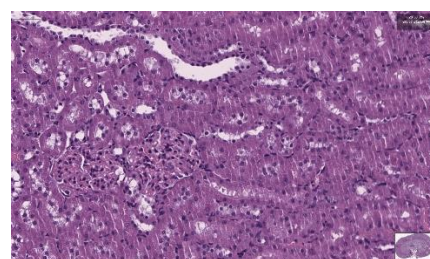
Рисунок 79 –Ткани почек I опытной группы, при вводе в рацион ОКД1, в дозировке 15 % от суточной потребности Са



4x



10x



20x

Рисунок 80 – Ткани почек II опытной группы, при вводе в рацион ОКД1, в дозировке 30 % от суточной потребности Са

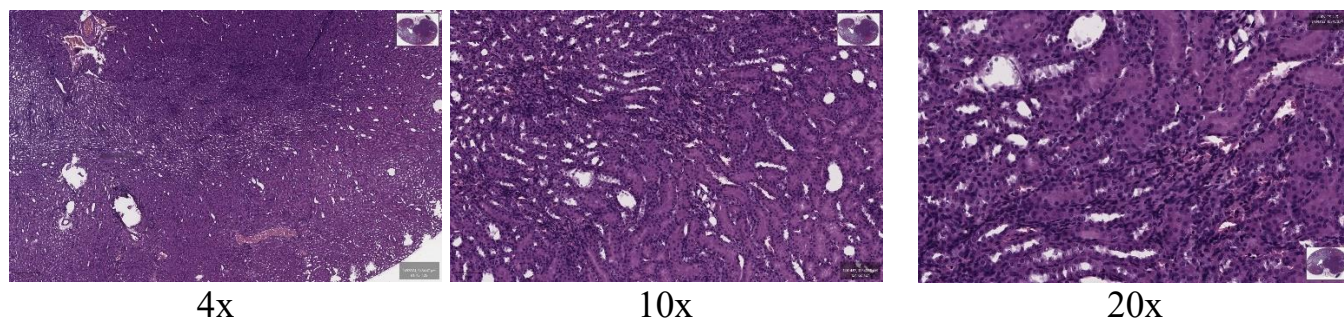


Рисунок 81 – Ткани почек III опытной группы, при вводе в рацион ОКД1, в дозировке 45 % от суточной потребности Са

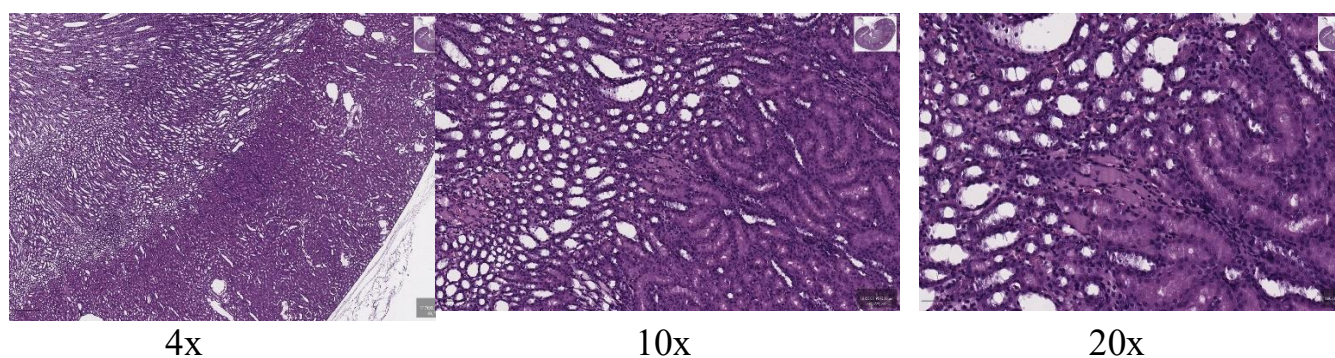


Рисунок 82 – Ткани почек I опытной группы, при вводе в рацион ОКД2, в дозировке 15 % от суточной потребности Са

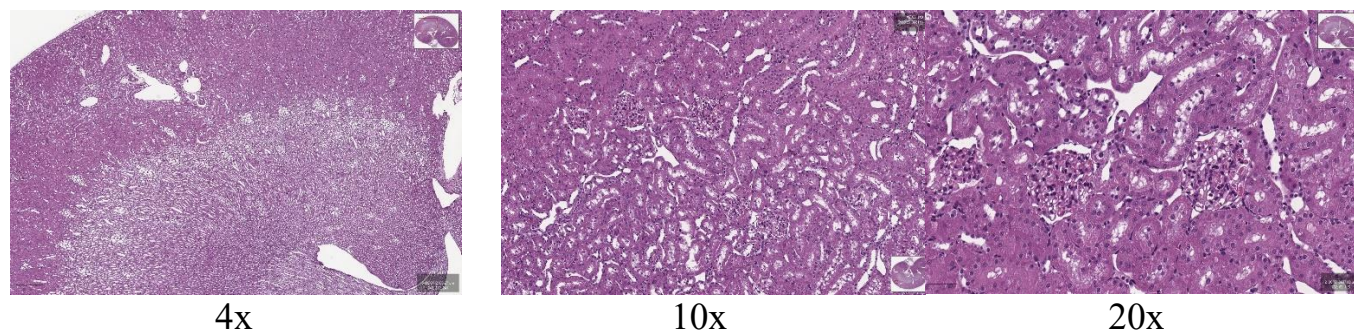


Рисунок 83 – Ткани почек II опытной группы, при вводе в рацион ОКД2, в дозировке 30 % от суточной потребности Са

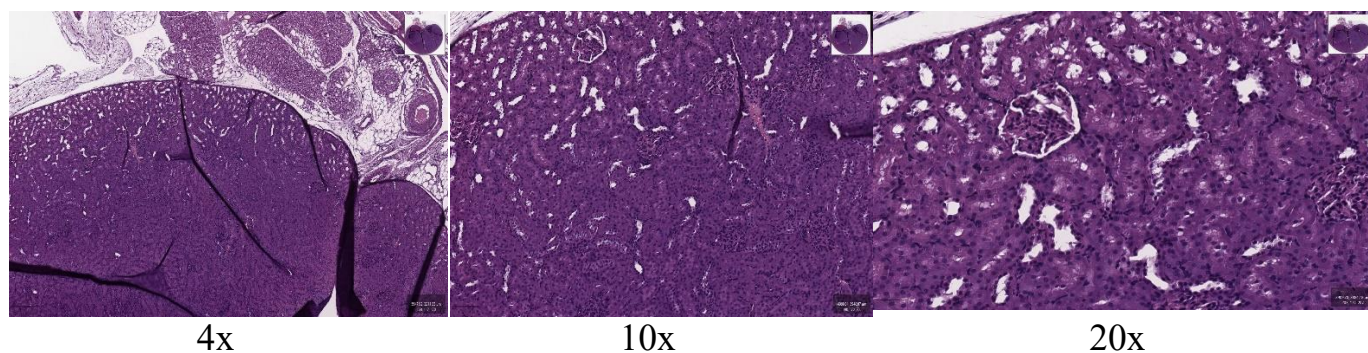


Рисунок 84 – Ткани почек III опытной группы, при вводе в рацион ОКД2, в дозировке 45 % от суточной потребности Са

Оценка токсической нагрузки на органы –мишени показала, что наиболее эффективной следует считать дозировку в 30% от суточной потребности, которая сопровождается максимальной усвояемостью минералов, а также аккумуляцией эссенциальных микроэлементов при допустимых уровнях накопления токсичных и условно-токсичных форм в органах и тканях (таблица 80, 81).

Таблица 80 – Коэффициент токсической нагрузки тканей печени при вводе в рацион различных источников кальция

Коэффициент токсичности												
	№	Al	Ga	Sr	Cd	Sn	Ba	Tl	Pb	Bi	V	As
Контроль	1	0,9853	0,9124	1,0857	1,0881	0,8756	0,9271	1,1230	0,7169	3,3600	0,7327	0,8923
ОКДЗ 15 %	2	1,0625	0,9770	1,2811	1,3950	3,0334	1,4160	1,1087	1,4110	1,5500	1,2350	1,0134
ОКДЗ 30 %	3	0,7330	0,9171	0,8094	0,7573	1,0630	0,9621	0,9982	0,9746	0,8600	1,0829	1,0075
ОКДЗ 45 %	4	0,5754	1,0046	1,1791	0,6289	2,4471	1,2095	1,0160	0,7975	1,1900	0,9171	0,9098
ОКД1 15 %	5	3,2710	1,0645	2,0963	1,7650	0,9633	3,8451	1,0018	1,6284	1,0400	2,5069	0,9681
ОКД1 30 %	6	3,9062	1,1521	1,0891	2,9336	0,9510	1,0013	1,0446	1,0254	0,9600	1,6129	1,1017
ОКД1 45 %	7	0,5248	0,9539	0,6906	0,9119	1,0915	0,9782	0,9840	0,7748	0,9200	0,5714	0,9925
ОКД2 15 %	8	0,8153	1,0829	0,8103	0,7291	0,9320	0,9987	0,9162	1,0377	0,9600	0,7419	0,9127
ОКД2 30 %	9	1,0147	0,9954	0,7141	0,8183	0,9225	0,7900	0,9234	0,8712	0,8600	0,8756	1,1206
ОКД2 45 %	10	1,1707	1,2028	0,9143	1,3536	1,0367	2,0613	0,9661	2,0228	1,1800	1,3641	1,0426
Процентиль 50		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Примечание: ● – повышенная нагрузка; ● – низкая нагрузка												

Таблица 81 – Коэффициент токсической нагрузки тканей почек при вводе в рацион различных источников кальция

Коэффициент токсичности												
	№	Al	Ga	Sr	Cd	Sn	Ba	Tl	Pb	Bi	V	As
Контроль	1	0,9785	0,9977	1,0187	1,3234	1,4852	1,4015	1,1378	0,7496	0,8351	0,6912	1,1354
ОКДЗ 15 %	2	0,7868	0,8975	0,9177	1,0246	1,2608	0,9969	0,9868	0,7403	0,9175	0,5974	0,8305
ОКДЗ 30 %	3	1,4456	1,0888	1,1245	0,9569	1,1046	1,0036	0,8693	0,9487	0,6392	0,9559	1,1132
ОКДЗ 45 %	4	1,1418	1,2301	1,0460	1,0275	0,9751	1,0031	1,0091	1,6516	1,1237	1,0551	1,0266
ОКД1 15 %	5	0,9227	0,9795	0,9431	0,9512	0,9392	0,7124	0,8359	0,7942	1,0825	1,0533	0,8607
ОКД1 30 %	6	1,1761	1,0342	0,9119	0,9754	0,9584	0,8825	1,2057	1,3053	0,8144	1,1250	0,9734
ОКД1 45 %	7	0,7504	1,0023	0,9980	1,0517	1,0249	0,7691	0,9909	1,0513	2,1134	0,9614	1,0789
ОКД2 15 %	8	1,7467	1,0159	1,2324	0,9283	0,8898	2,3212	1,0932	1,0783	1,1237	1,0827	0,9617
ОКД2 30 %	9	0,6951	0,9248	0,8966	0,7779	1,0911	0,7062	1,0415	1,2120	0,8969	0,9504	0,7716
ОКД2 45 %	10	1,0215	0,9795	1,0020	1,4096	0,9615	1,1951	0,9362	0,8440	1,2371	1,0386	1,4927
Процентиль 50		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Примечание: ● – повышенная нагрузка; ● – низкая нагрузка												

2.3.2 Оценка влияния различных источников кальция на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров

2.3.2.1 Корма и кормление подопытной птицы

Используемые в эксперименте рационы нормировались по питательным веществам в соответствии с рекомендациями ВНИТИП (таблица 82, 83), основными компонентами были пшеница и кукуруза, количество энергии доступной для обмена в стартовом рационе -12,5 МДж/кг, в ростовом – 12,9 МДж/кг.

Таблица 82 – Состав и питательность стартового комбикорма, г/кг

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса вещества
Состав комбикорма:		Кальция, %	0,89
Пшеница	465	Фосфора, %	0,72
Кукуруза	78	Фосфора усв. %	0,47
Шрот соевый	250	Натрия, %	0,2
Шрот подсолнечный	70	Железа, мг	17,14
Мука рыбная	48	Меди, мг	2,42
Масло подсолнечное	50	Цинка, мг	11,42
Монохлоргидрат лизина	1	Марганца, мг	22,86
DL-метионин	1,6	Кобальта, мг	0,06
L-треонин	5	Йода, мг	0,38
Соль поваренная	3,4	Селена, мг	
Монокальций фосфат	13	Витаминов:	
Мел кормовой	9	А, тыс МЕ	2,58
Известняковая мука	5	Д, тыс МЕ	0,8
Сода пищевая	1	Е, мг	9
В комбикорме содержится:		В ₁ , мг	0,76
Обм.энергии, МДж/кг	12,5	В ₂ , мг	1,6
Сырого протеина, %	22	В ₃ , мг	3
Сырой жир, %	4,0	В ₄ , мг	60
Сырой клетчатки, %	4,45	В ₅ , мг	9
Лизина, %	1,15	В ₆ , мг	1
Метионина, %	0,52	В ₁₂ , мг	0,008
Метионина+цистина, %	0,85	В _с , мг	0,6
Треонина, %	1,25	С, мг	
Триптофана, %	0,28	Н, мг	0,04
Аргинина, %	1,32		
Валина, %	0,9		
Гистидина, %	0,18		

Глицина, %	0,32		
Изолейцина, %	0,8		
Лейцина, %	1,34		
Фенилаланина+тирозина, %	0,6		
Фенилаланина, %	0,36		

Таблица 83 – Состав и питательность ростового комбикорма, г/кг

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса вещества
Состав комбикорма:		Лейцина, %	1,32
Пшеница	425	Фенилаланина+тирозина, %	0,66
Кукуруза	220	Фенилаланина, %	0,55
Шрот соевый	150		
Шрот подсолнечный	100	Кальция, %	0,8
Мука рыбная	20	Фосфора, %	0,61
Масло подсолнечное	50	Фосфора усвояемого, %	0,39
Монохлоргидрат лизина	2,3	Натрия, %	0,19
DL-метионин	1,2	Железа, мг	17,14
L-треонин	3,5	Меди, мг	2,42
Соль поваренная	3	Цинка, мг	11,42
Монокальций фосфат	10	Марганца, мг	22,86
Мел кормовой	13	Кобальта, мг	0,06
Известняковая мука	1	Йода, мг	0,38
Сода пищевая	1	Селена, мг	
В комбикорме содержится:		Витаминов:	
Обменной энергии, МДж/кг	12,9	А, тыс МЕ	2,58
Сырого протеина, %	18,98	Д, тыс МЕ	0,8
Сырой клетчатки, %	4,22	Е, мг	9
Сырой жир, %	5,2	В ₁ , мг	0,76
Лизина, %	1	В ₂ , мг	1,6
Метионина, %	0,45	В ₃ , мг	3
Метионина+цистина, %	0,75	В ₄ , мг	60
Треонина, %	0,98		
Триптофана, %	0,23	В ₅ , мг	9
Аргинина, %	1,09	В ₆ , мг	1
Валина, %	0,77	В ₁₂ , мг	0,008
Гистидина, %	0,28	В _с , мг	0,6
Глицина, %	0,60	С, мг	
Изолейцина, %	0,77	Н, мг	0,04

Включение кальцийсодержащих добавок непосредственно влияло на уровень поедаемости корма (таблица 84). Так, в стартовый период уровень фактической поедаемости находился ниже контрольных значений в I опытной группе на 12,08 %, во II опытной группе на 1,81 % и в III опытной группе на 7,41 %. В ростовой период в I опытной группе характер изменений был аналогичным со стартовым, разница составила 5,85 %. Во II опытной группе наблюдалось увеличение поедаемости на 3,56 %. Таким образом, за весь период выращивания потребление корма в I опытной группе ниже контроля на 9 %, в III опытной группе на 3,76 %.

Таблица 84 – Потребление кормов с учетом дифференцированного кормления, г/гол

Показатель	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Стартовый комбикорм	1633,2	1435,8	1603,7	1512,2
Ростовой комбикорм	1582,2	1490,2	1638,5	1582,2
Всего за эксперимент	3215,3	2926,0	3242,2	3094,3

2.3.2.2 Рост и развитие подопытной птицы

За период эксперимента наблюдалась положительная динамика набора живой массы цыплят-бройлеров во всех опытных группах (таблица 85). Однако, для III группы достоверных различий выявлено не было. В I опытной группе увеличение живой массы к концу эксперимента составило 14,9 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с контролем. При этом, во II опытной группе начиная с первой недели эксперимента наблюдалось увеличение живой массы на 9,62 % ($p \leq 0,05$), во второй неделе на 20,54 % ($p \leq 0,05$) и к концу эксперимента (пятая неделя) - 15,94 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с контролем.

Таблица 85 – Динамика живой массы подопытных цыплят-бройлеров, г/гол в неделю

Неделя опыта	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
1	509,3±7,9	531,5±20,4	558,3±15,3**	505,7±27,7
2	720,7±53,3	812,5±9,5	868,7±20,2**	708,3±24,7
3	1067,7±31,9	1160,7±87,9	1245,8±23,9*	1023,7±55,4
4	1525,5±3,5	1525,8±109,2	1717,8±23,2*	1621,8±95,7
5	1887±27,74	2168±33,15	2187,8±18,09*	1979±48,61

Соответственно с учетом набора живой массы, коэффициент конверсии корма (таблица 86) был снижен в I опытной группе на 21,9 %, во II опытной группе на 14,37 %, в III опытной группе на 8,21 % в сравнении с контролем. При этом, в контрольной группе показатель конверсии корма был максимальным и составил 1,95.

Таблица 86 – Показатели продуктивности цыплят-бройлеров

Показатель	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Живая масса, г: конец эксперимента	1887 ±27,74	2168 ±33,15	2187,8 ±18,09*	1979 ±48,61
Расход корма на 1 кг прирост живой массы	1,95	1,52	1,67	1,79
Абсолютный прирост за эксперимент, г	1652	1926	1945	1732

2.3.2.3 Морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров

Для контроля обменных процессов и оценки воздействия опытных комплексов на организм исследовались морфологические (таблица 87) и биохимические (таблица 88) показатели крови.

При этом на фоне введения ОКДЗ (I опытная группа) наблюдалось увеличение среднего объема эритроцита на 2,1 % и среднего содержания гемоглобина в эритроците на 3,19 %. Введение ОКД1 (II опытная группа)

сопровождалось снижением уровня лейкоцитов на 26,27 %, эритроцитов на 15,48 %, значение распределение эритроцитов по объему также ниже на 6,82 % в сравнении с контролем. При внесении ОКД2 (III опытная группа) уровень эритроцитов был ниже контроля на 22,77 %. Подобные изменения находились в рамках физиологической нормы цыплят-бройлеров, что говорит об отсутствии негативных эффектов исследуемых добавок.

Таблица 87 – Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров

Показатель	Группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Лейкоциты, $10^9/l$	38,71±2,9	36,62±0,88	28,54±2,06**	32,89±2,23
Эритроциты, $10^{12}/l$	2,02±0,14	2,17±0,01	1,7±0,08*	1,56±0,19*
Гемоглобин, g/l	109,33±7,15	121,5±0,43	93,67±4,84	91,83±7,04
Гематокрит, %	24,45±1,65	26,9±0,07	20,9±1,19	19,9±1,9
Средний объём эритроцита, fl	121,45±1,04	124±0,3*	122,57±1,19	133,75±10,66
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, pg	54,25±0,52	55,98±0,18*	55,08±0,19	63,13±7,54
Распределение эритроцитов по объему, %	9,53±0,28	9,72±0,05	8,88±0,13*	9,43±0,42
Ширина распределения эритроцитов по объему, стандартное отклонение, fl	46,83±1,44	48,45±0,28	44±1,09	52,98±7,79

Анализируя биохимический анализ крови, установлено, что в опытных группах изменения углеводного (глюкоза), белкового (общий белок, альбумин) и липидного (холестерин, триглицериды) обмена относительно группы контроля находились на уровне тенденции и не выходили за пределы нормальных значений. Во II опытной группе наблюдалось увеличение уровня АЛТ на 13,77 %. Среди показателей азотистого обмена, при введении ОКД3 (I опытная группа) и ОКД1 (II опытная группа) наблюдалось увеличение уровня мочевины на 122,2 % и 96,3 % в сравнении с контролем. ОКД2 (III опытная группа) оказал противоположный эффект, снижение уровня мочевины в данной группе составило 55,56 %. Подобные изменения отражают состояние всего азотистого обмена в организме. При стабильном уровне креатинина,

который является показателем состояния мышечной ткани, в I и II опытных группах отметим преобладание анаболических процессов. В III опытной группе уровень креатинина был снижен на 20 %, что может свидетельствовать об увеличении экскреции данного метаболита в ходе азотистого обмена. Уровень сывороточного железа был увеличен в 2,8 р в I опытной группе и на 68 % во II опытной группе в сравнении с контрольными значениями. Данные изменения уровня транспортируемого железа в плазме крови связаны с течением метаболических процессов.

Таблица 88 – Биохимические показатели сыворотки крови цыплят-бройлеров

Показатель	Группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Глюкоза, ммоль/л	13,83±0,17	13,82±0,36	11,98±1,94	13,07±1,35
Общий белок, г/л	32,32±1,24	30,96±1,33	29,03±4,27	30,26±2,83
Альбумин, г/л	15±0,63	13,83±0,65	13,17±1,54	13,5±1,18
АЛТ, Ед/л	15,03±1,04	20,47±2,8*	17,1±2,97	12,67±3,32
АСТ, Ед/л	373,5±14,4	355,5±20,3	342,2±57,8	324,0±26,6
Билирубин общий, мкмоль/л	0,35±0,13	0,55±0,11	0,62±0,19	0,39±0,08
Холестерин, ммоль/л	3,94±0,31	4,28±0,3	3,45±0,64	65,15±61,37
Триглицериды, ммоль/л	0,37±0,1	0,53±0,09	0,36±0,08	0,5±0,11
Мочевина, ммоль/л	0,27±0,07	0,6±0,09**	0,53±0,09*	0,12±0,03*
Креатинин, мкмоль/л	33,15±2,79	33,7±3,01	28,68±4,3	26,52±1,92*
Мочевая кислота, мкмоль/л	78,88±7,38	117,68±16,83*	77,85±16,18	110,35±21,88
Железо, мкмоль/л	13,72±1,68	38,55±3,07***	23,05±4,02*	15,07±1,54

Оценивая доступность кальция из представленных добавок, подробно остановимся на показателях фосфорно-кальциевого обмена сыворотки крови цыплят-бройлеров (таблица 89).

В результате повышенной абсорбции кальция мы наблюдаем каскад взаимосвязанных биохимических реакций. Кальций, выступая основным внутриклеточным катионом, является физиологически активным только в ионизированной форме. Кальций, фиксированный в костной ткани, находится во взаимодействии с ионами сыворотки крови.

Таблица 89 – Показатели фосфорно-кальциевого обмена сыворотки крови цыплят-бройлеров

Показатель	Группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Щелочная фосфатаза, Ед/л	1935,25±42,08	2079,5±6,5*	2220±55,2**	2200,2±79,38*
Магний, ммоль/л	0,64±0,03	1,07±0,11**	1,37±0,1**	0,77±0,05
Кальций, ммоль/л	3,65±0,08	4,84±0,21***	5,41±0,67*	3,57±0,28
Кальций скорректированный, ммоль/л	4,17±0,08	5,37±0,2***	5,92±0,65*	3,22±0,93
Фосфор, ммоль/л	0,82±0,05	0,72±0,06	0,82±0,07	0,56±0,12
Кальцитонин пг/мл	58,92±8,86	60,65±4,31	53,47±10,21	38,25±2,42*
Витамин Д нг/мл	14,02±2,66	28,72±4,9*	26,35±3,84*	8,42±4,56

Действуя как буферная система, депонированный кальций предотвращает колебания его содержания в сыворотке в больших диапазонах. В эксперименте наблюдалось увеличение уровня кальция в сыворотке в I группе на 32,6 %, во II на 48,2 % в сравнении с контролем. Половина фракции кальция находится в связанном состоянии с альбумином. Во всех опытных группах наблюдалась тенденция к снижению уровня альбумина. Анализируя концентрацию кальция с поправкой на альбумин, изменения носят аналогичный характер, так разница с контролем в I опытной группе составила 29,24 %, во II опытной группе 43,29%. Известно, что кальций и фосфор в организме вступают в сложные взаимоотношения. Высокий уровень кальция препятствует доступности фосфора и магния. Однако, увеличение уровня кальция в крови не сопровождалось снижением фосфора и магния. Напротив, в I и II опытной группе наблюдалось увеличение уровня магния на 67,19 % и 114,1 % соответственно в сравнении с контролем. Данные изменения говорят о высокой метаболической активности клеток. Таким образом увеличение уровня магний, при стабильном уровне фосфора, свидетельствует об адекватной и сбалансированной абсорбции кальция в кишечнике и отсутствии избыточности.

Еще одним маркером состояния кальциевого обмена является щелочная фосфатаза. Уровень данного ферменты был увеличен в I опытной группе на 7,45 %, во II на 14,71 % в III на 13,69 % в сравнении с контролем. С учетом

анализа предыдущих показателей, можно заключить, что увеличение уровня в I и II опытной группе свидетельствует об активном росте и формировании костной ткани.

Пути транспорта кальция находятся под контролем гормонов, в частности кальцитонина и витамина Д. Уровень витамина Д был выше в I опытной группе на 104,9 %, во II на 87,9%. Витамин Д индуцирует Ca^{2+} -переносящих белков, которые обеспечивают всасывание ионов Ca^{2+} из кишечника и их дальнейшую реабсорбцию. Повышение уровня витамина Д свидетельствует об увеличении абсорбции кальция в кишечнике. Динамика кальцитонина в эксперименте не имела достоверных значений. В опытных группах, за исключением I группы, наблюдалась тенденция снижения его уровня. Уровень кальцитонина в III опытной группе снизился на 35,08 % ($P \leq 0,05$). Кальцитонин снижает активность остеокластов, ингибирует освобождение Ca^{2+} из костной ткани и стимулирует экскрецию кальция.

Таким образом, учитывая, что концентрация макроэлементов в плазме и показатели фосфорно-кальциевого обмена отражают баланс между поступлением кальция с пищей с последующим всасыванием в желудочно-кишечном тракте и выведением его из организма, высокодоступными источниками кальция для цыплят-бройлеров являются ОКДЗ (I опытная группа) и ОКД1 (II опытная группа).

2.3.2.4 Переваримость питательных веществ корма подопытной птицей

Изучение коэффициентов переваримости является важным аспектом в зоотехнии и кормлении животных, так как они позволяют оценить, насколько эффективно животные используют питательные вещества из корма. Так в эксперименте выявлено, что в стартовом периоде (таблица 90) на фоне введения ОКДЗ (I опытная группа), переваримость питательных компонентов рациона находилась на уровне контрольных значений. Однако, при введении ОКД1 (II опытная группа) и доломита (III опытная группа), наблюдалось

увеличение переваримости органического вещества на 2,42 % ($P \leq 0,05$) и 5,38 % ($P \leq 0,01$), сырого жира на 3,14 % ($P \leq 0,01$) и 4,27 % ($P \leq 0,01$), сырого протеина на 6,08 % ($P \leq 0,01$) и 7,32 % ($P \leq 0,01$), безазотистых экстрактивных веществ на 1,34 % ($P \leq 0,05$) и 4,28 % ($P \leq 0,01$) соответственно в сравнении с контролем. Уровень переваримости сырой клетчатки находился в пределах 24,8 – 26,7 % во всех группах и не имел достоверной разницы в сравнении с контролем.

Таблица 90 – Переваримость питательных веществ стартового рациона

Группа	Органическое вещество	Сырой жир	Сырой протеин	Сырая клетчатка	БЭВ
Контрольная	85,85±0,71	85,79±0,72	85,31±0,74	24,83±2,54	89,16±0,55
I опытная	86,43±0,73	86,36±0,74	85,91±0,76	25,85±2,60	89,60±0,56
II опытная	88,27±0,50*	88,93±0,47**	91,39±0,36**	23,34±2,26	90,50±0,40*
III опытная	91,23±0,44**	90,06±0,50**	92,63±0,37**	26,74±2,33	93,44±0,33**

В ростовом периоде (таблица 91) сложилась иная тенденция в отношении коэффициентов переваримости сырого жира и сырого протеина. На фоне введения исследуемых кальцийсодержащих добавок наблюдалось снижение переваримости сырого жира на 9 % ($P \leq 0,05$) в I опытной группе, на 8,26 % ($P \leq 0,01$) во II опытной группе и на 16,65 % ($P \leq 0,001$) в III опытной группе в сравнении с контролем. Подобные изменения связаны с тем, что кальций препятствует полноценной утилизации жиров. При подобном состоянии нарушается всасывание жирорастворимых витаминов, в частности витамина Д. Учитывая тот факт, что в I и II группах витамин Д находился выше контрольных значений, соответственно степень снижения переваримости жира является не критичной. Однако, в III опытной группе разница с контролем была максимальной и уровень витамина Д имел тенденцию к снижению. Во II опытной группе отметим снижение переваримости сырого протеина на 8,81 % ($P \leq 0,01$).

Таблица 91 – Переваримость питательных веществ ростового рациона

Группа	Органическое вещество	Сырой жир	Сырой протеин	Сырая клетчатка	БЭВ
Контрольная	73,10±2,39	78,16±1,94	77,24±2,02	11,84±3,10	78,36±1,92
I опытная	74,29±3,14	69,16±3,77*	70,40±3,62	18,04±5,08	81,95±2,21
II опытная	69,98±2,92	69,90±2,93**	68,43±3,07**	11,87±4,03	76,84±2,25
III опытная	72,76±2,80	61,51±3,96***	73,36±2,74	15,27±3,45	80,41±2,01

Таким образом, влияние высокодоступных источников кальция на переваримость кормов для цыплят-бройлеров является многоаспектным и имеет значительное значение для оптимизации рациона, повышения продуктивности и улучшения здоровья птиц.

2.3.2.5 Элементный состав тканей тела цыплят-бройлеров

В эксперименте выявлено влияние исследуемых форм кальция на элементный состав костной ткани. Так, среди макроэлементов (рисунок 85) выявлено в I группе повышение уровня Ca на 8,1 % ($P \leq 0,01$), P на 12,7 % ($P \leq 0,001$), Mg на 35,0 % ($P \leq 0,05$), Na на 32,6 % ($P \leq 0,01$), K на 40,6 % ($P \leq 0,01$). Для II группы было отмечено понижение уровня Ca на 22,9 % ($P \leq 0,05$). Уровни P и Mg изменились недостоверно. Содержание Na и K повысилось на 8,8 % ($P \leq 0,01$) и 21,9 % ($P \leq 0,05$) соответственно. В группе III было зафиксировано снижение уровней Ca и P на 11,9 % ($P \leq 0,05$) и 13,2 % ($P \leq 0,001$) соответственно относительно контроля.

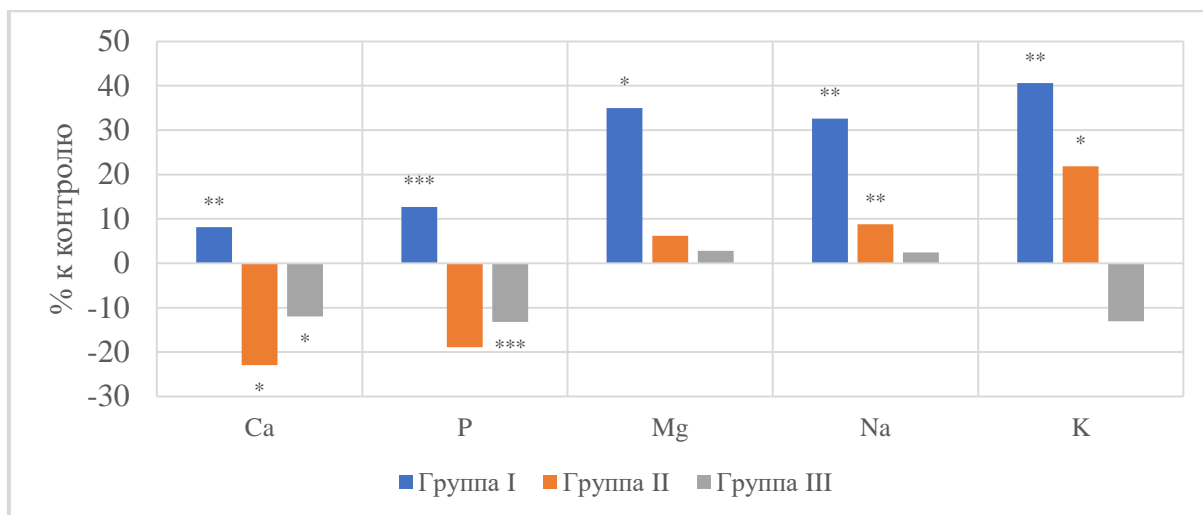


Рисунок 85 – Разница макроэлементного состава костной ткани в опытных группах по отношению к контролю

Среди эссенциальных и условно-эссенциальных элементов в костной ткани (рисунок 86) выявлено для I группы повышение уровней Co на 7,7 % ($P \leq 0,05$), Cr на 32,8 % ($P \leq 0,05$), Se на 94,1 % ($P \leq 0,05$), Zn на 16,8 % ($P \leq 0,05$), B на 28,5 % ($P \leq 0,05$). При этом отмечено снижение уровня Fe на 34,4 % ($P \leq 0,01$). Уровни Cu, Mn, As, Ni и Sr меняются недостоверно относительно контроля. Для группы II наблюдалось повышение Cu на 18,9 % ($P \leq 0,05$), Se на 39,4 % ($P \leq 0,05$), Zn на 23,6 % ($P \leq 0,05$), B на 31,9 % ($P \leq 0,05$). Наблюдалось снижение уровня Fe на 34,1 % ($P \leq 0,01$). Для III группы было характерно снижение уровней Co на 11,0 % ($P \leq 0,01$), Cu на 40,8 % ($P \leq 0,001$), Fe на 44,0 % ($P \leq 0,01$), As на 44,1 % ($P \leq 0,05$). При этом уровни Cr, Mn, Se, Zn, B, Ni и Sr менялись недостоверно относительно контрольных значений.

Распределение токсичных и потенциально-токсичных элементов в костной ткани опытных групп относительно контроля представлено на рисунке 87. Для группы I наблюдалось повышение уровня In на 17,1 %. При этом снижался уровень Cd на 60,0 % ($P \leq 0,05$) и Ag на 56,8 % ($P \leq 0,05$).

Для группы II выявлено повышение Bi на 82,1 % ($P \leq 0,05$), Tl на 44,0 % ($P \leq 0,05$), In на 12,8 % ($P \leq 0,05$), при этом на 29,8 % снижался Ag ($P \leq 0,05$). Изменение Al, Ba, Cd, Pb, Ga было недостоверно относительно контроля.

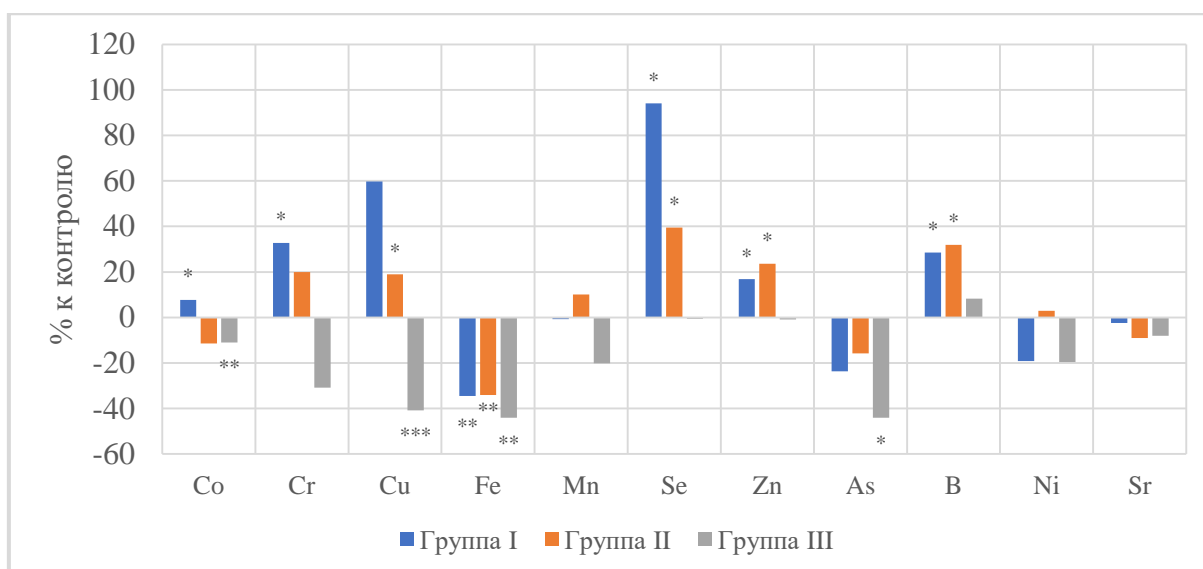


Рисунок 86 – Разница содержания эссенциальных и условно-эссенциальных элементов в костной ткани опытных групп по отношению к контролю

Для группы III наблюдалось снижение уровней Bi на 27,1 % ($P \leq 0,05$), Cd на 67,4 % ($P \leq 0,05$), Tl на 8,3 % ($P \leq 0,05$), Ag на 38,7 % ($P \leq 0,01$).

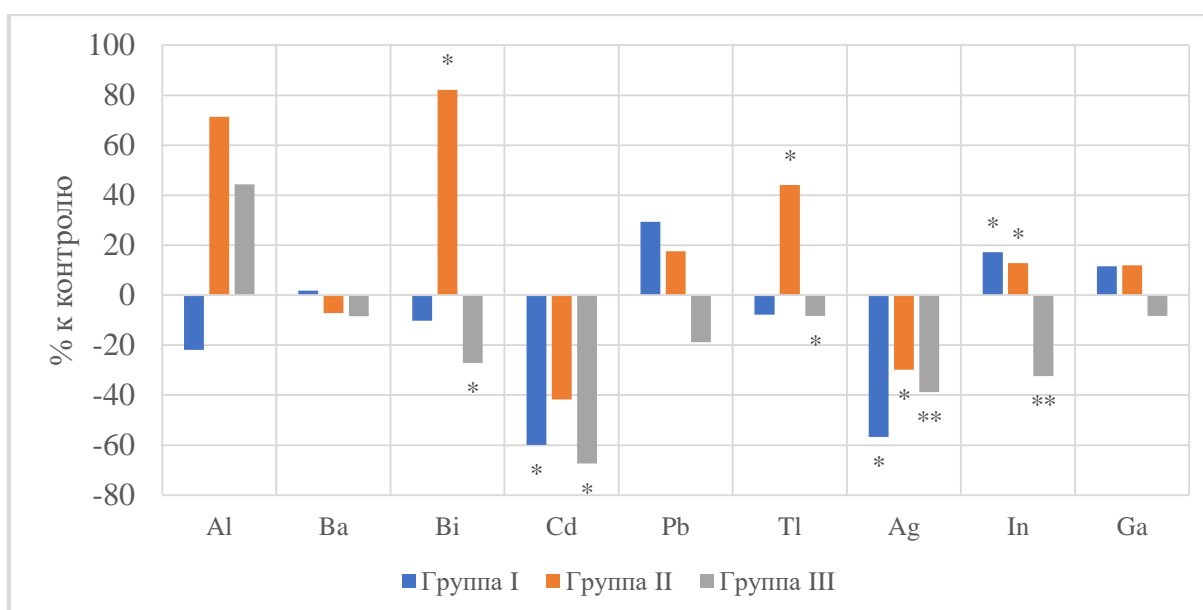


Рисунок 87 – Разница содержания токсичных и потенциально-токсичных элементов в костной ткани опытных групп по отношению к контролю

Анализируя изменения содержания элементов во внутренних органах (рисунок 88-90), выявлено в I группе увеличение уровня Ga на 17,22 % ($P \leq 0,01$), Cu на 18,42 % ($P \leq 0,05$), Mg на 20,03 % ($P \leq 0,05$), K на 20,87 % ($P \leq 0,05$), I на 23,53 % ($P \leq 0,01$), P на 23,74 % ($P \leq 0,05$), As на 25,92 % ($P \leq 0,05$),

Cd на 29,71 % ($P \leq 0,05$), S 34,68 % ($P \leq 0,05$), Ca 34,82 % ($P \leq 0,05$), Co на 37,27 % ($P \leq 0,05$), Na на 39,28 % ($P \leq 0,05$), Tl на 62,08 % ($P \leq 0,05$), Ba на 80,14 % ($P \leq 0,05$), B на 81,19 % ($P \leq 0,05$) в сравнении с контролем.

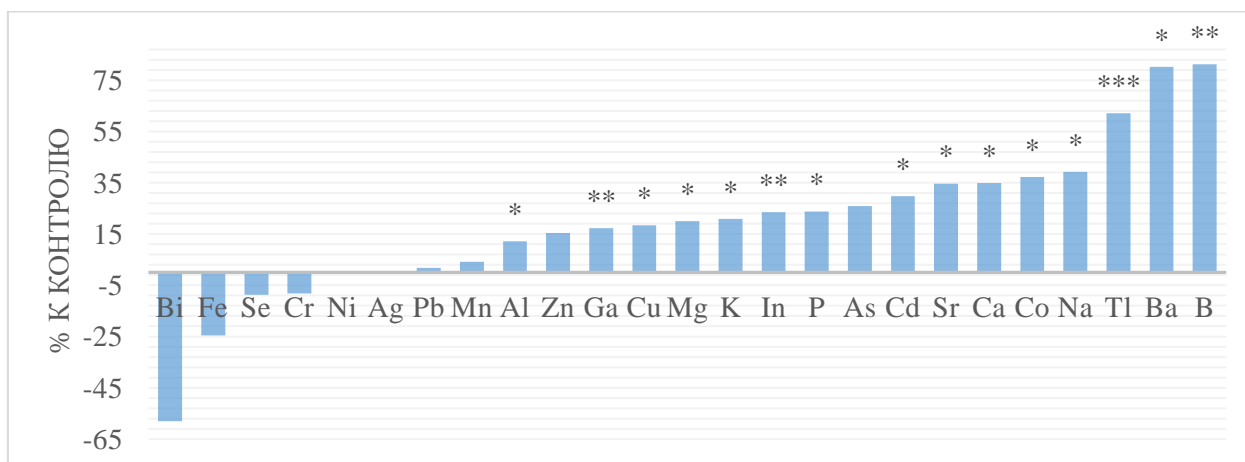


Рисунок 88 – Разница концентрации химических элементов во внутренних органах цыплят-бройлеров I группы по отношению к контролю, %

При этом во II группе наблюдалось увеличение Mg на 16,53 % ($P \leq 0,001$), Sr на 21 % ($P \leq 0,05$), P на 21,33 % ($P \leq 0,01$), As на 22,38 % ($P \leq 0,05$), Cr на 26,46 % ($P \leq 0,05$), Cu на 27,8 % ($P \leq 0,05$), K на 32,9 % ($P \leq 0,001$), Ca на 34,7 % ($P \leq 0,01$), Na на 37,28 % ($P \leq 0,01$), Tl на 46,69 % ($P \leq 0,01$), Co на 53,41 % ($P \leq 0,01$), B на 57,05 % ($P \leq 0,01$) по отношению к контрольным значениям.

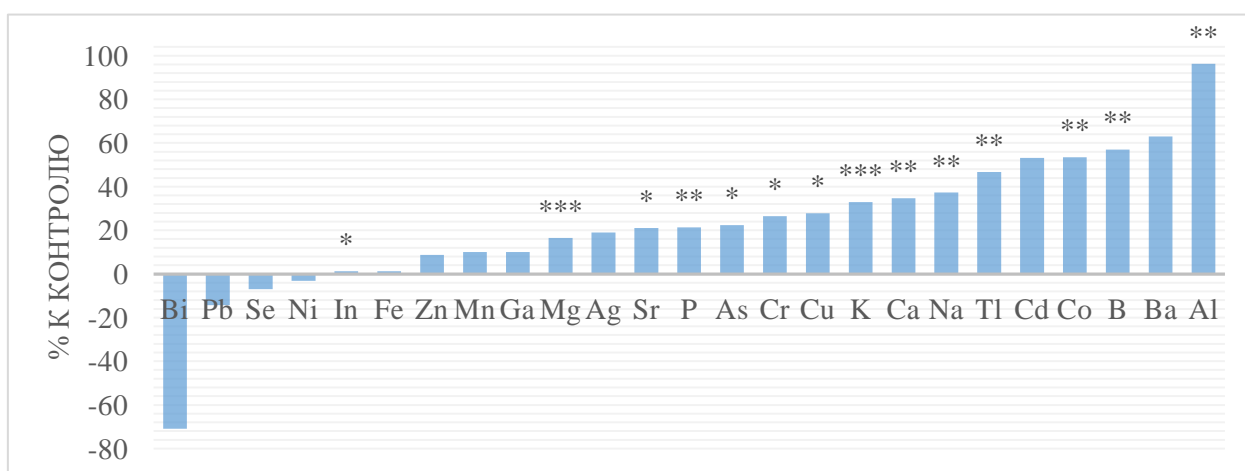


Рисунок 89 – Разница концентрации химических элементов во внутренних органах цыплят-бройлеров II группы по отношению к контролю, %

В III группе снижался уровень As на 50,28 % ($P \leq 0,05$), Cr на 30,21 % ($P \leq 0,05$), Sr на 18,78 % ($P \leq 0,05$), с одновременным увеличением Mg на 7,07 % ($P \leq 0,01$), In на 9,95 % ($P \leq 0,05$), K на 12,43 % ($P \leq 0,05$), Cu на 17,79 % ($P \leq 0,05$), Na на 17,91 % ($P \leq 0,05$), Tl на 22,38 % ($P \leq 0,01$) в сравнении с контролем.

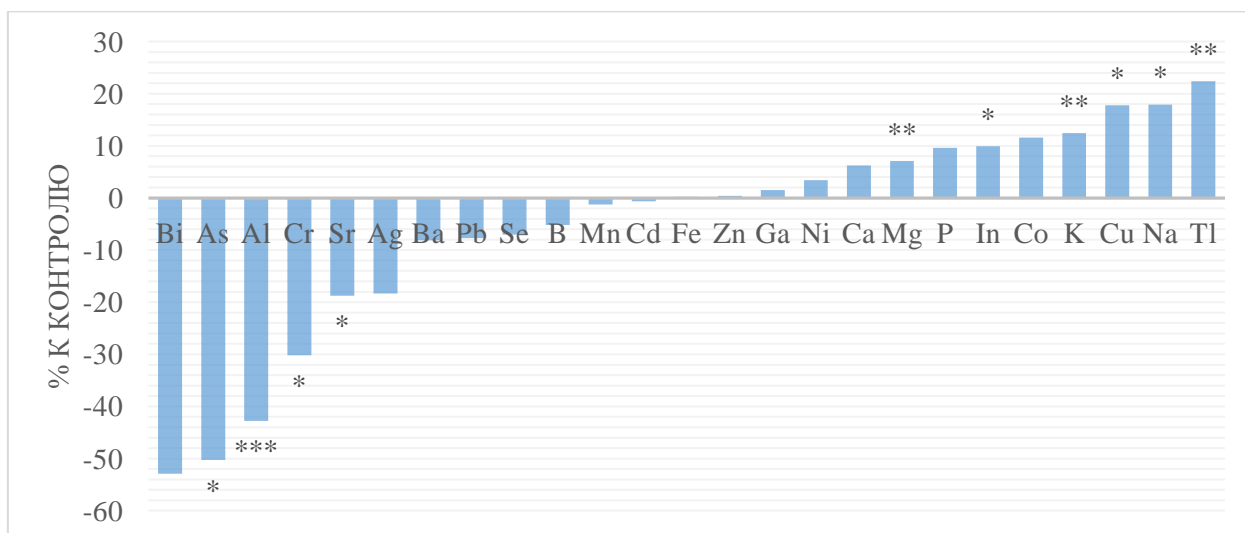


Рисунок 90 – Разница концентрации химических элементов во внутренних органах цыплят-бройлеров III группы по отношению к контролю, %

Оценивая содержание элементов в коже цыплят-бройлеров (таблица 92), выявлено увеличение Ca на 150,3 % ($P \leq 0,05$), Mn на 58,2 % ($P \leq 0,05$), Cu на 34,4 % ($P \leq 0,05$), Co на 39,5 % ($P \leq 0,05$), Mg на 31,29 % ($P \leq 0,05$), K на 10,39 % ($P \leq 0,05$), P на 10,02 % ($P \leq 0,05$) в сравнении с контролем. Во II и III группе наблюдалось снижение Ba на 33,49 % ($P \leq 0,05$) и 34,98 % ($P \leq 0,05$), Cu на 10,29 % ($P \leq 0,05$) и 15,56 % ($P \leq 0,01$), Cd на 9,03 % ($P \leq 0,05$) 15,8 % ($P \leq 0,01$) соответственно. При этом, II группа характеризовалась увеличением P на 8,57 % ($P \leq 0,05$), In на 9,59 % ($P \leq 0,05$), Ga на 10,91 % ($P \leq 0,05$), B на 37,48 % ($P \leq 0,001$) по отношению к контрольным значениям.

Таблица 92 – Концентрация и динамика химических элементов в коже цыплят-бройлеров, мг/кг

Элемент	Группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
B	2,68±0,015	7,609±0,511**	3,681±0,034***	2,185±0,063**
Na	4950,9±39,8	5195,6±298,1	5118,9±78,30	4696,17±68,28*
Mg	623,25±27,23	818,28±17,39*	620,78±16,45	550,26±3,01
Al	19,557±1,641	18,835±1,338	16,271±0,738	16,1947±0,218
P	5146,3±7,4	5662,243±71,3**	5587,5±108,4*	5215,6±88,4
K	8686,1±287,9	9588,6±162,5*	8463,5±59,9	8021,9±111,9
Ca	1032,4±29,4	2584,0±287,2*	1141,1±58,9	1183,9±44,5
Mn	3,81±0,6	6,02±0,1*	3,25±0,03	3,74±0,31
Co	0,0408±0,0029	0,0569±0,0011*	0,0389±0,0004	0,0317±0,0007
Ni	0,4853±0,0063	0,8311±0,0118***	0,668±0,006**	0,6149±0,0621
Cu	2,7637±0,0269	3,7143±0,2146*	2,4794±0,0427*	2,3338±0,0317**
Ga	0,0113±0,0001	0,0167±0,0003**	0,0125±0,0004*	0,0111±0,0001
Sr	0,9123±0,1165	1,8408±0,1813*	0,8635±0,0581	0,9881±0,0563
Ag	0,0074±0,0017	0,019±0,0036*	0,015±0,0007*	0,0148±0,0038
Cd	0,0109±0,0001	0,0165±0,0015*	0,0099±0,0003*	0,0092±0,0001**
In	0,0041±0,0001	0,006±0,0002**	0,0045±0,0001*	0,0039±0,0001*
Ba	0,5646±0,0422	0,5381±0,1365	0,3755±0,0015*	0,3671±0,0336*
Tl	0,002±0,0001	0,0048±0,0001***	0,0026±0,0001**	0,0015±0**
Pb	0,159±0,0056	0,1733±0,0015	0,1489±0,0008	0,1381±0,0159
Bi	0,0079±0,0006	0,0211±0,0041*	0,0127±0,0011*	0,0092±0,0013
Cr	29,69±6,64	46,19±4,04	24,4788±0,7479	32,8938±0,3475
Fe	68,11±4,67	78,86±1,12	75,4122±2,7022	79,3637±4,3632
Zn	72,93±1,22	75,73±2,09	72,8697±0,9254	67,2971±0,1897*
As	0,405±0,0023	0,626±0,0094***	0,363±0,0075*	0,232±0,0038***
Se	0,834±0,098	1,061±0,016	0,796±0,069	0,91±0,014

В мышечной ткани (рисунок 91-93) выявлено увеличение P и Na, в I группе на 9,92 % ($P \leq 0,05$) и 15,09 % ($P \leq 0,05$), во II гр на 7,66 % ($P \leq 0,01$) и 22,27 % ($P \leq 0,05$), в III гр на 8,19 % ($P \leq 0,01$) и 23,2 % ($P \leq 0,05$).

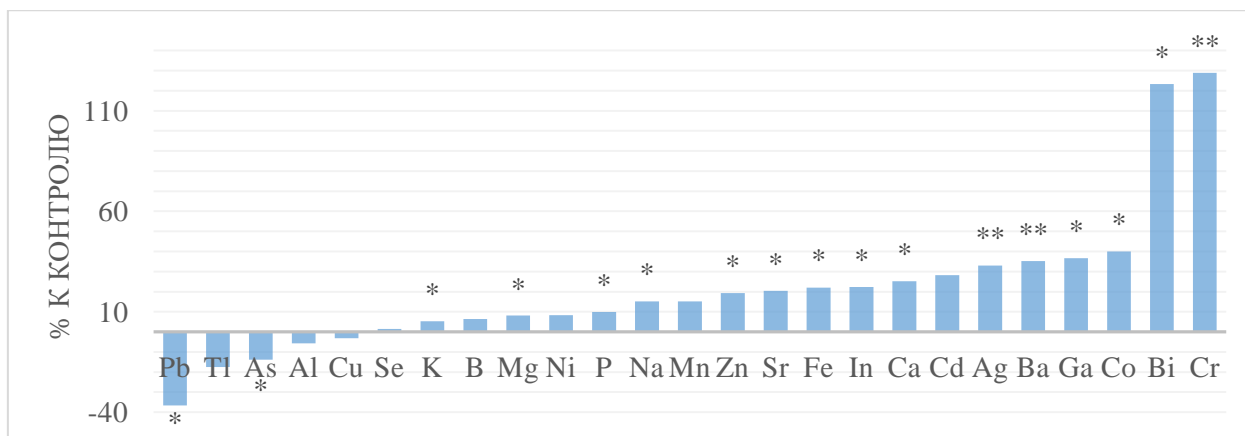


Рисунок 91 – Разница концентрации химических элементов в мышечной ткани цыплят-бройлеров I группы по отношению к контролю, %

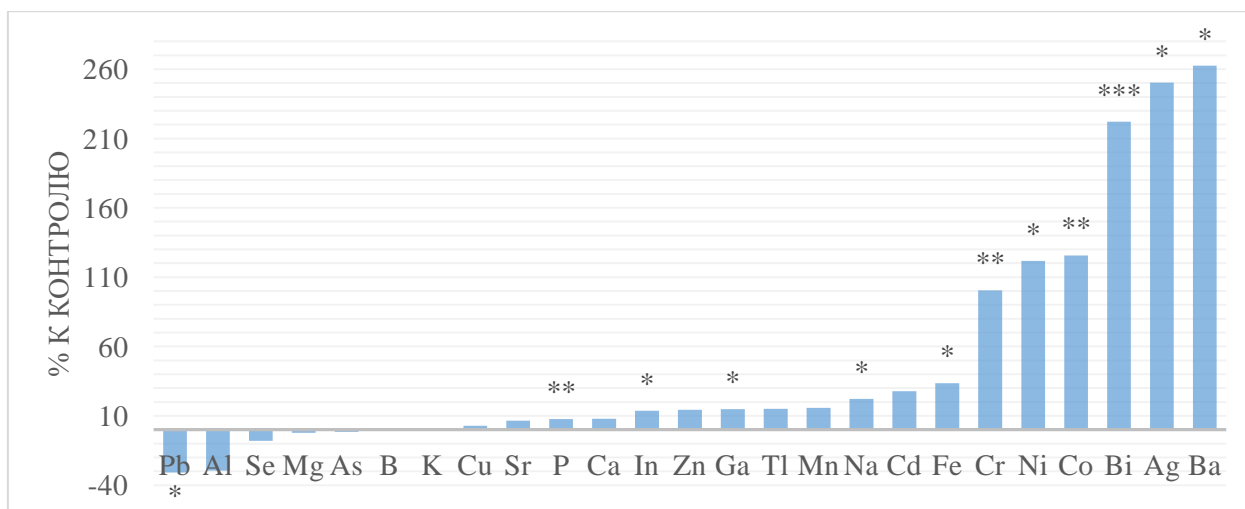


Рисунок 92 – Разница концентрации химических элементов в мышечной ткани цыплят-бройлеров II группы по отношению к контролю, %

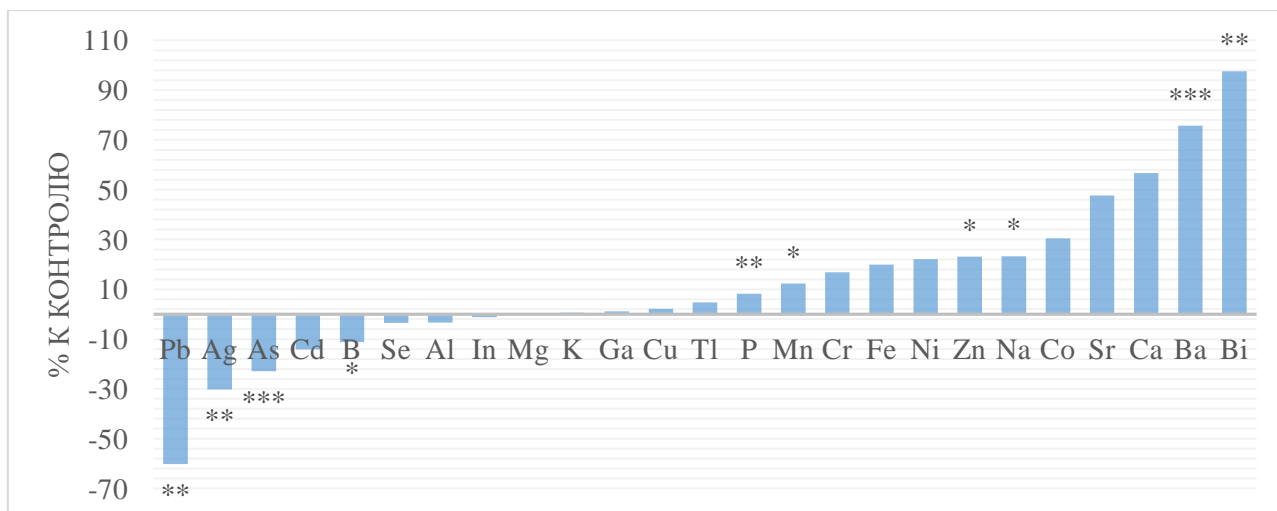


Рисунок 93 – Разница концентрации химических элементов в мышечной ткани цыплят-бройлеров III группы по отношению к контролю, %

Кальций является очень активным элементом, доминирующее положение в конкуренции с другими металлами и соединениями за активные участки белков определяется химическими особенностями – наличием двух валентностей и сравнительно небольшим атомным радиусом. В связи с тем, что в исследовании мы используем высоко доступные источники кальция, необходимо рассмотреть положительное или отрицательное взаимодействие данного элемента с другими (рисунок 94-96).

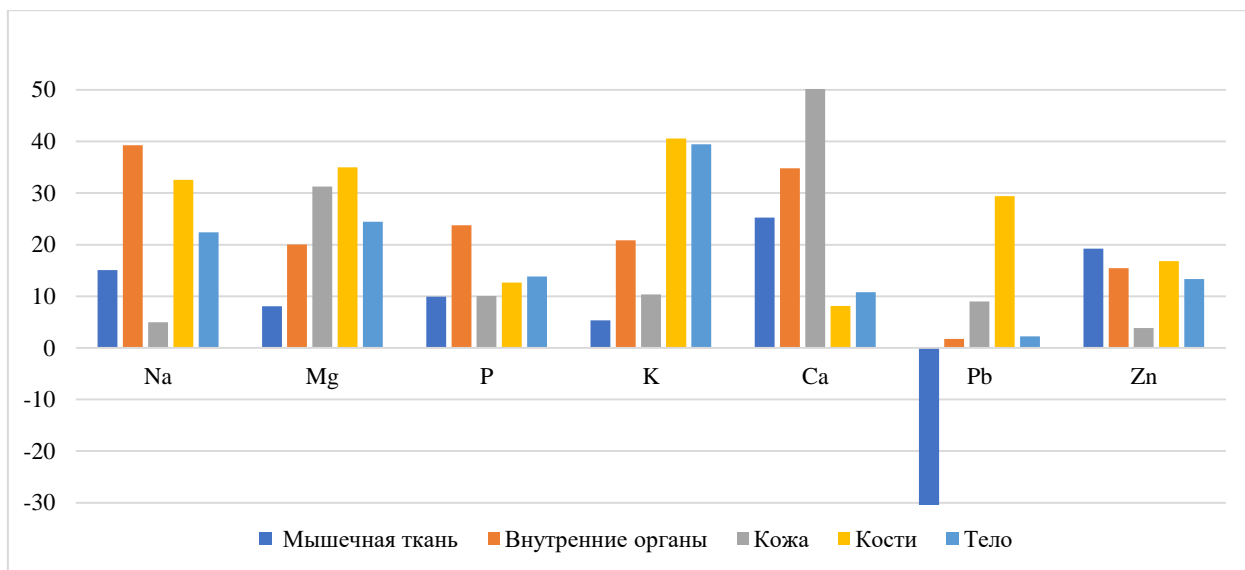


Рисунок 94 – Разница концентрации антагонистов и синергистов кальция в биосубстратах тела цыплят-бройлеров I группы по отношению к контролю, %

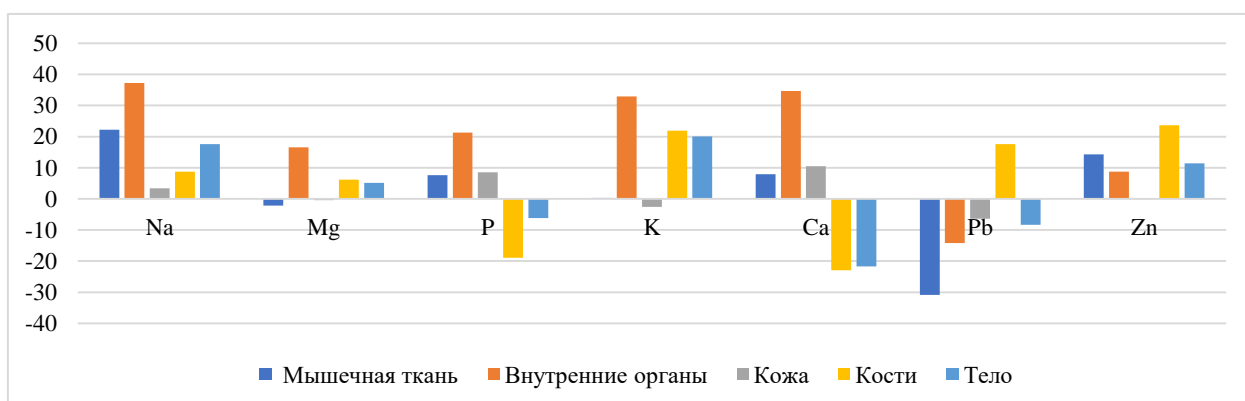


Рисунок 95 – Разница концентрации антагонистов и синергистов кальция в биосубстратах тела цыплят-бройлеров II группы по отношению к контролю, %

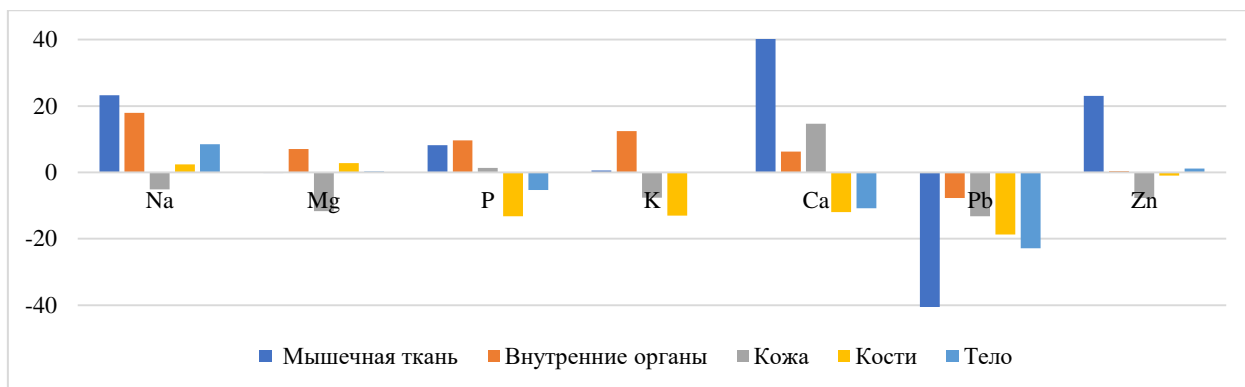


Рисунок 96 – Разница концентрации антагонистов и синергистов кальция в биосубстратах тела цыплят-бройлеров III группы по отношению к контролю, %

Антагонистами кальция являются Mg, Na, P, Zn, Pb, избыток данного макроэлемента способен снижать их уровень. В организме существует выявленный синергизм между Ca, Mg и P в отношении поддержания правильной структуры костной ткани. Так, на фоне введения ОКДЗ (I группа) выявлено увеличение кальция во всех биосубстратах тела цыплят-бройлеров, при этом в отношении ряда антагонистов выявлена тесная прямая связь, в частности Mg ($r = 0,880$; $P \leq 0,05$), P ($r = 0,597$; $P \leq 0,05$), Pb ($r = 0,703$; $P \leq 0,05$), Fe ($r = 0,717$; $P \leq 0,05$) (рисунок 97). Выявлена тесная обратная взаимосвязь между концентрацией Ca и K ($r = -0,993$; $P \leq 0,05$). Введение ОКД1 сопровождается снижением Ca в костной ткани и биосубстрате тела цыплят-бройлеров, коррелятивными взаимодействиями между Mg ($r = 0,830$; $P \leq 0,05$), P ($r = 0,894$; $P \leq 0,05$), Ba ($r = 0,696$; $P \leq 0,05$), Fe ($r = 0,742$; $P \leq 0,05$) тесная прямая связь, при этом обратная связь выявлена в отношении K ($r = -0,788$; $P \leq 0,05$). Введение ОКД2 сопровождается снижением Ca в костной ткани, при этом данное изменение повлияло на концентрацию Mg ($r = 0,823$; $P \leq 0,05$), Na ($r = -0,866$; $P \leq 0,05$), P ($r = 0,816$; $P \leq 0,05$), K ($r = -0,703$; $P \leq 0,05$). Таким образом, на фоне введения исследуемых добавок выраженного антагонизма в концентрации химических элементов не наблюдалось, это свидетельствует о том, что выбранные источники и дозировка является адекватной, высокодоступной и не препятствует усвояемости других химических элементов.

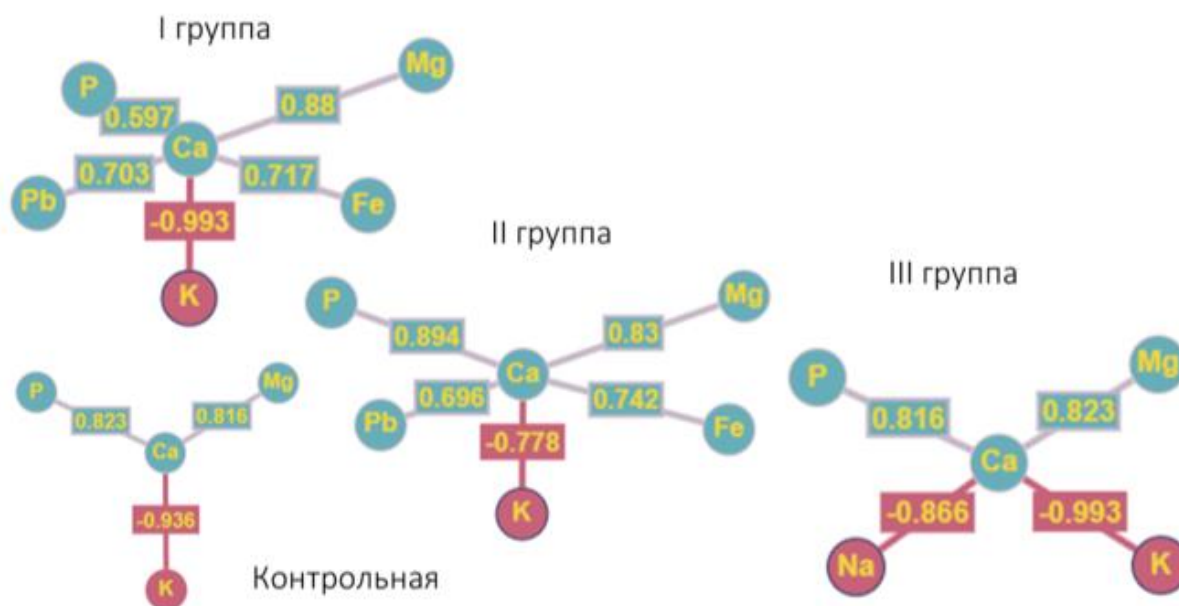


Рисунок 97 – Коррелятивные взаимодействия кальция

2.3.2.6 Оценка качества костной ткани - остеометрические показатели

Применение ОКД в рационах опытных групп привели к положительным структурным изменениям в большеберцовой кости, испытывающей повышенную нагрузку (рисунок 98). При введении ОКД1 и ОКД3 происходит улучшение биомеханики и устойчивости сустава к нагрузкам, что является ключом к профилактике переломов, об этом говорит увеличение наибольшей длины проксимального эпифиза на 24,8 % ($P \leq 0,05$) и 21,2 % ($P \leq 0,001$) соответственно. ОКД 1 и ОКД3 увеличивают диаметр дистального эпифиза на 22,6 % ($P \leq 0,05$) и 16,8 % ($P \leq 0,05$) в I и III опытных группах соответственно.

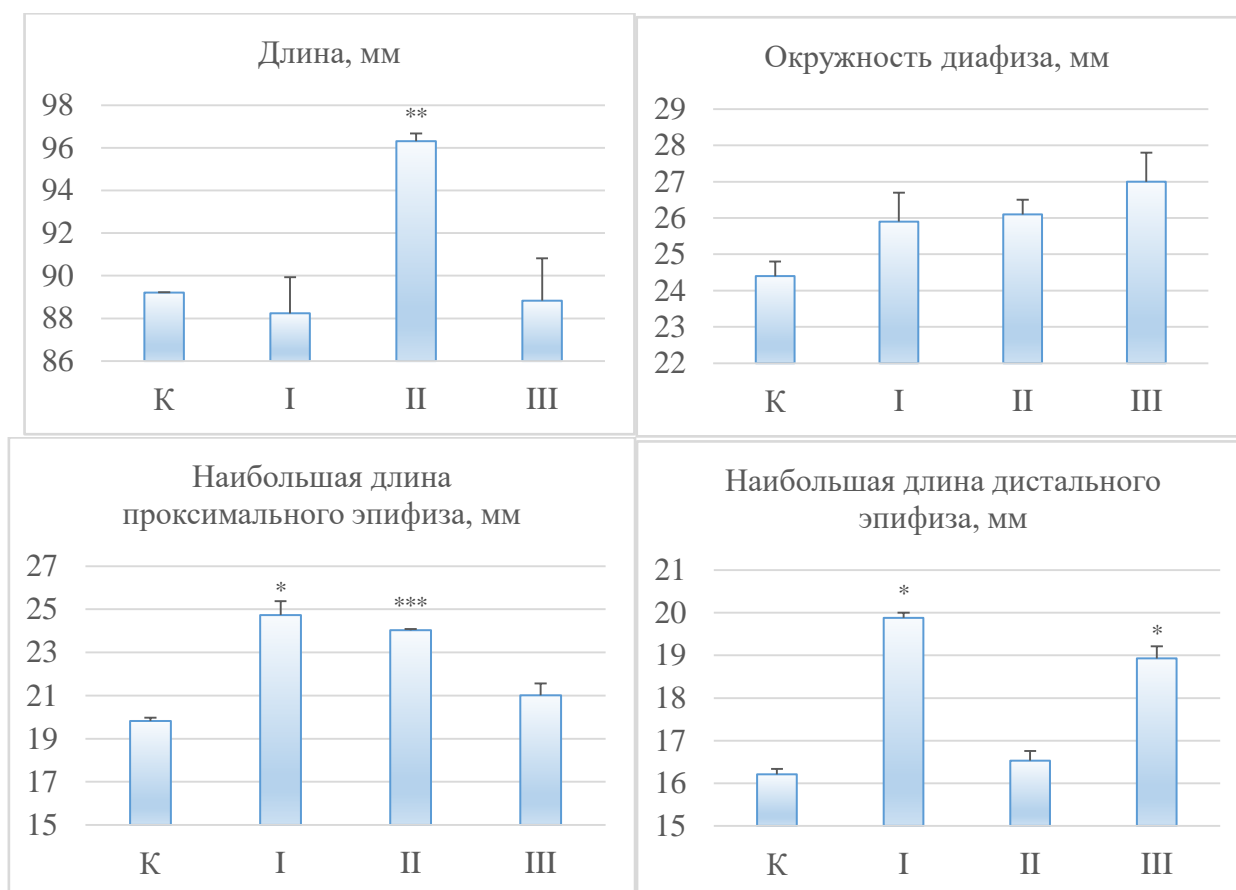


Рисунок 98 – Остеометрические показатели берцовых костей

Оценивая влияние добавок на остеометрию бедренной кости, мы видим, что происходит перераспределение роста костной ткани, происходит так же, как и в большеберцовых костях развитие суставных отделов (рисунок 99). Длина проксимального эпифиза в группе применения ОКД3 увеличивается на 9,14 % ($p \leq 0,01$), ОКД 1 увеличивает показатель на 9,34 % ($p \leq 0,01$) во II опытной группе. Дистальный эпифизувеличивался во всех опытных группах: для группы I на 24,4 % ($P \leq 0,01$), для группы II на 17,2 % (0,05), для группы III на 11,6 % ($P \leq 0,05$). Окружность диафиза не менялась относительно контроля.

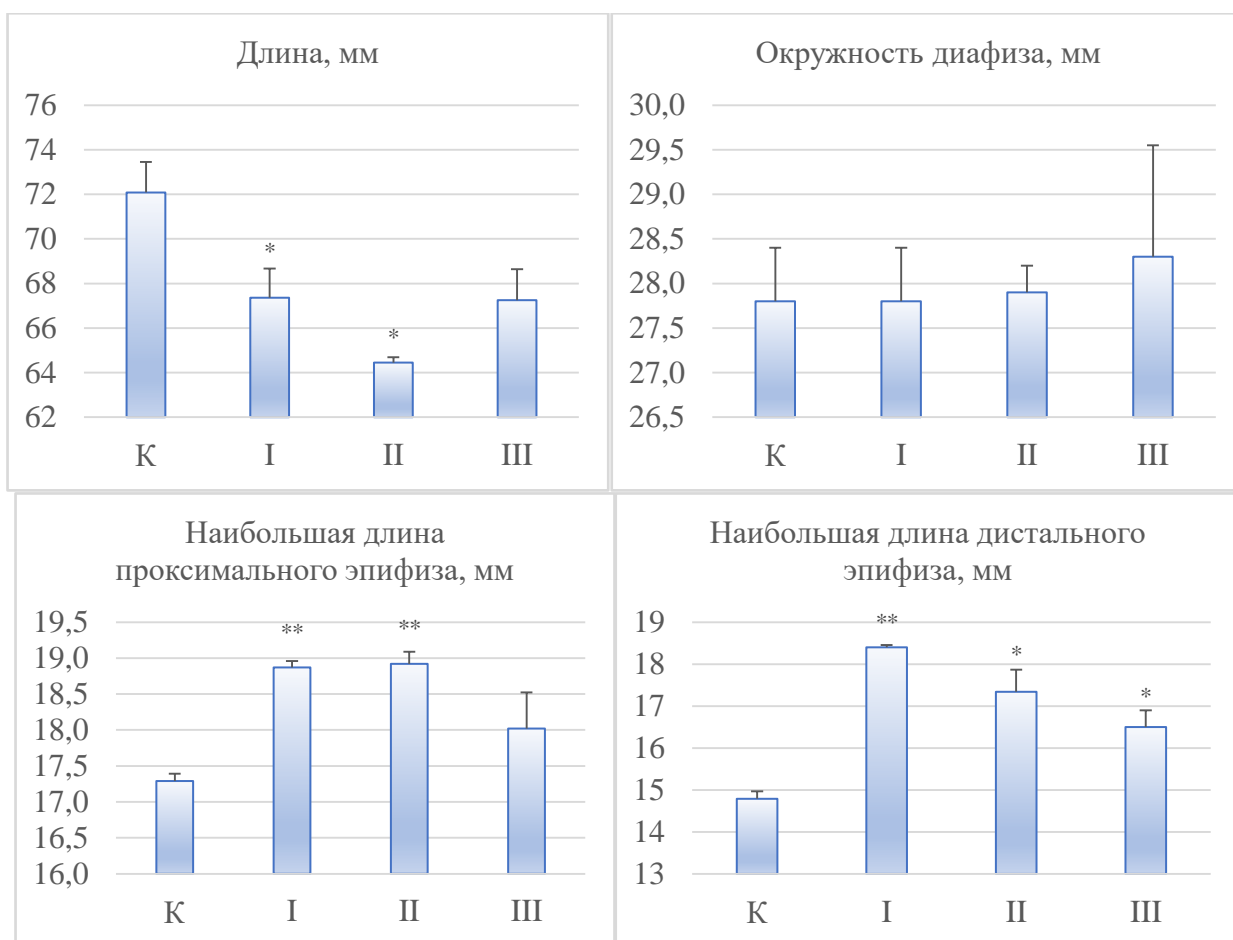


Рисунок 99 – Остеометрические показатели бедренных костей

Оценка плотностных показателей большеберцовых костей (рисунок 100) показала увеличение индекса индекса Seedora на 28,8% - 44,6% в опытных группах, что свидетельствует о увеличении минеральной плотности кости, что делает её твёрже и прочнее и снижает частоту спонтанных переломов и переломов при вылове/транспортировке. Этот факт согласуется с увеличением плотности при включении ОКДЗ на 70,4 % ($p \leq 0,05$), ОКД1- на 36,4 % ($P \leq 0,05$) и ОКД3 на 56,9 % ($p \leq 0,05$). Увеличение показателя ТДУ в опытных группах свидетельствует о формировании коротких и толстых костей, для I опытной группы значение увеличилось на 2,9 % ($p \leq 0,05$), для II группы на 3,4 % ($p \leq 0,05$), для III группы на 30,4 % ($p \leq 0,015$)

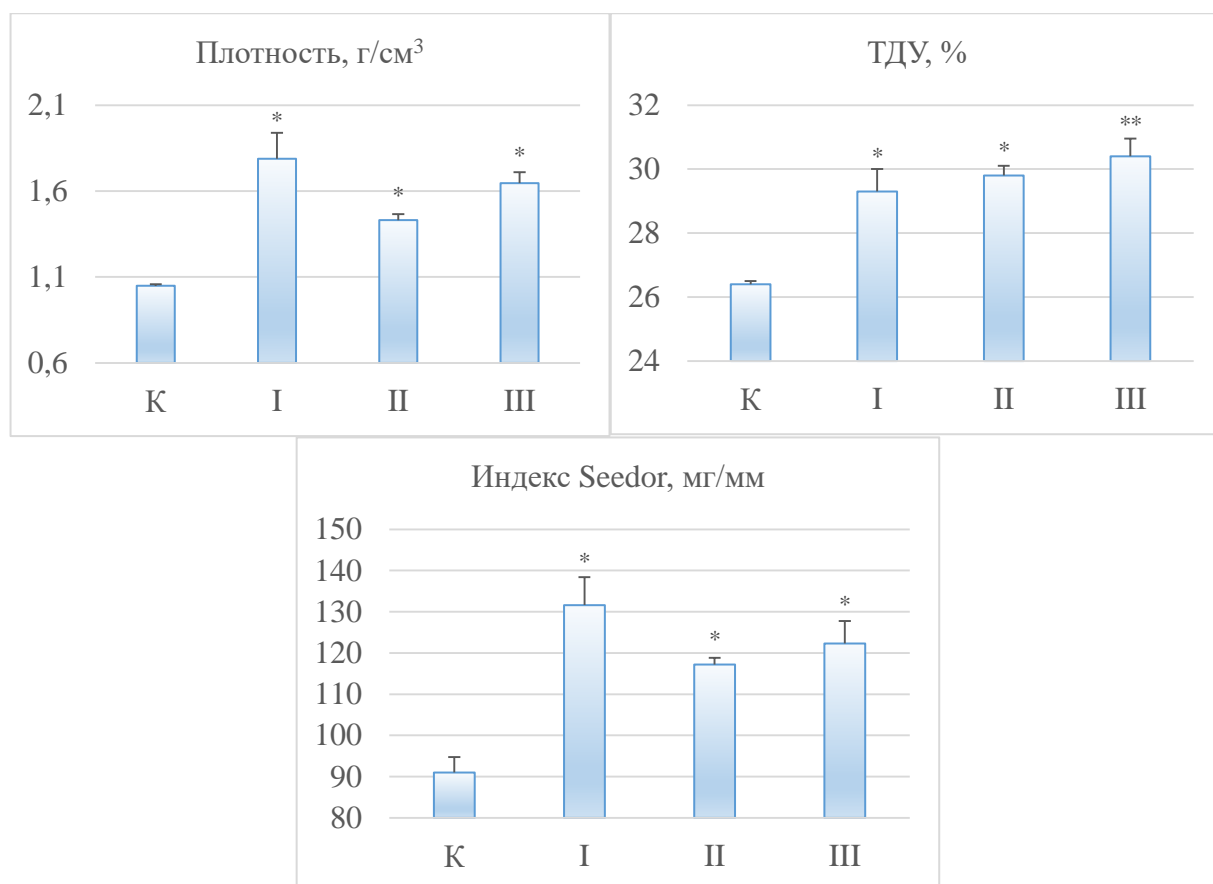


Рисунок 100 – Плотностные показатели берцовых костей

Рацион I опытной группы, содержащий 20% ОКДЗ способствовал повышению плотности бедренной кости на 78,2 % ($p \leq 0,05$), а прочность кости (индекс *Seedora*) увеличилась на 15,3% (рисунок 101).

При введении в рацион цыплят-бройлеров лимонной соли кальция во II опытной группе происходило формирование массивных и коротких костей, индекс *Seedora* характеризующий прочность кости увеличивался на 14,3 % ($p \leq 0,01$). В этой же группе плотность бедренных костей была выше контроля на 27,2 % ($p \leq 0,05$), параметр ТДУ был выше на 4,7%.

Применение доломитовой муки в той же дозировке значительно на 60,4% ($p \leq 0,05$) увеличивает плотность кости, а прочность остается на уровне контрольной группы.

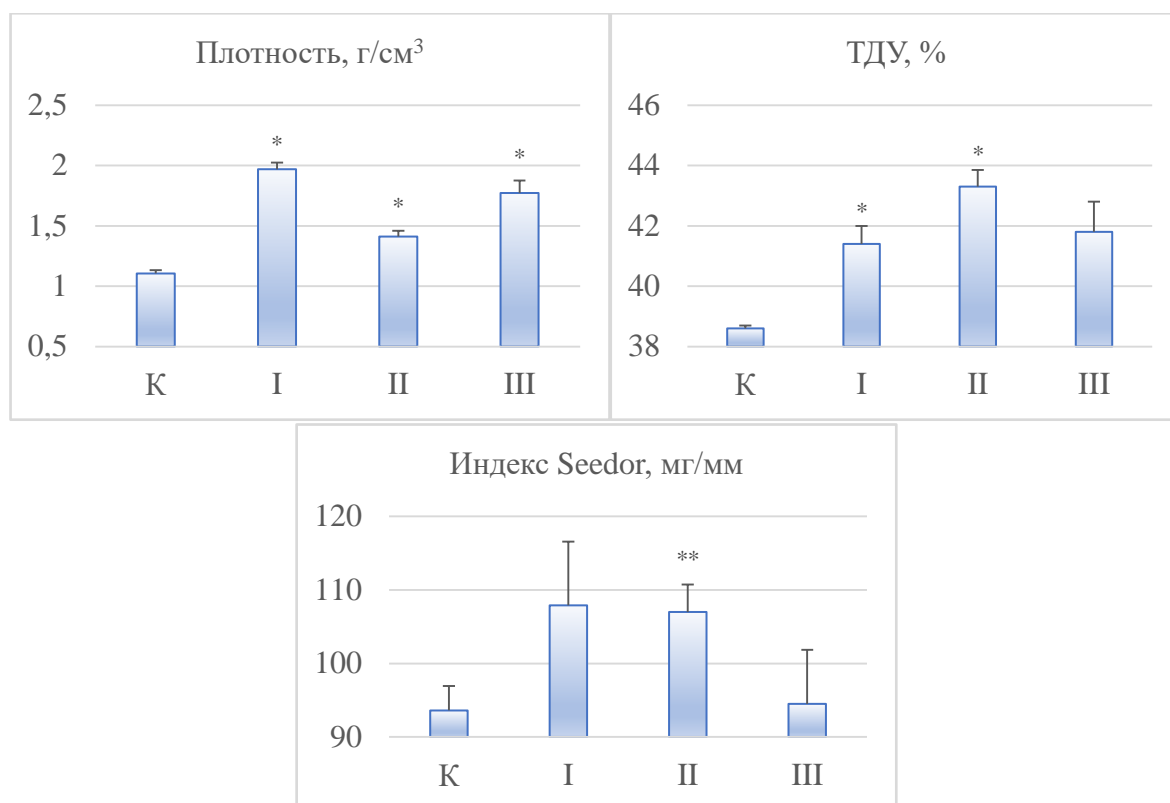


Рисунок 101 – Плотностные показатели бедренных костей

При этом для всех групп отсутствует статистически значимая разница средних коэффициентов костно-мышечного отношения (рисунок 102).

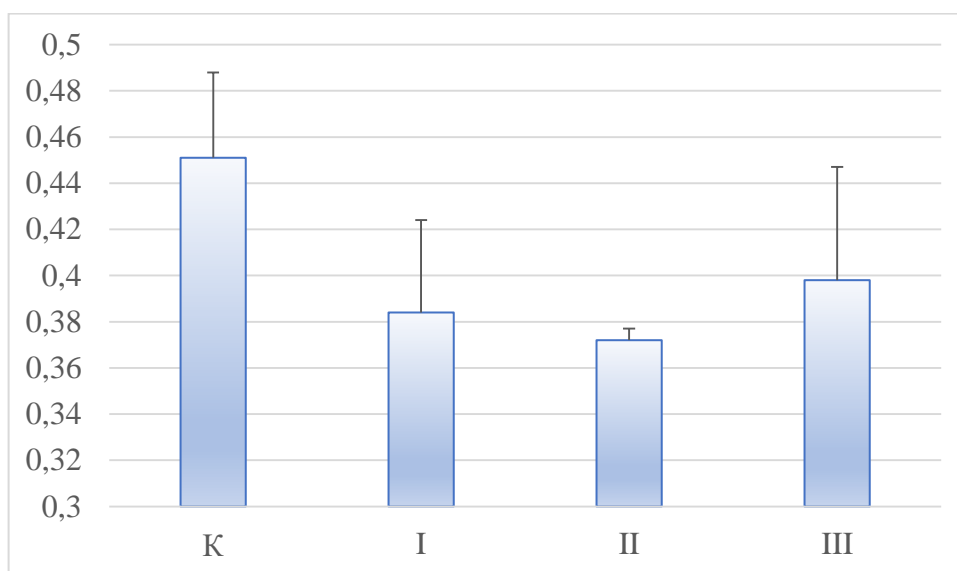


Рисунок 102 – Коэффициенты костно-мышечного отношения

Следовательно, испытываемые формы кальция не оказывали негативного влияния на производственные показатели птицы в данном аспекте. Однако этот показатель был ниже контроля в опытных группах.

2.3.2.7 Обмен энергии в организме подопытной птицы

В соответствии с живой массой бройлеры I и II опытных групп превосходили по предубойной живой массе на 15,8 % ($p \leq 0,05$) и 13,1% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольной птицей.

Уровень поступающей обменной энергией с кормом цыплят-бройлеров был ниже во всех опытных группах был ниже. При этом минимальные потери с энергией были отмечены в I опытной группе – 24,7 % и с теплопродукцией во II опытной группе – 49,8 %. Подобные изменения напрямую отражались на чистой энергии прироста, так в I опытной группе показатель выше на 8,84 % и во II на 11,57 %. (таблица 93-95).

Таблица 93 – Баланс энергии в организме бройлеров за период опыта

Группа	Валовая энергия корма (ВЭ) МДж/гол	Потери энергии с пометом, % от ВЭ	Обменная энергия, МДж/гол	Потери энергии с теплопродукцией, % от ВЭ	Чистая энергия прироста	
					МДж/гол	% от ВЭ
Контрольная	56,95	25,2	42,62	53,8	12,00	21,07
I опытная	54,81	24,7	41,29	51,5	13,06	25,12
II опытная	56,56	26,6	41,54	49,8	13,39	23,67
III опытная	54,35	24,0	41,29	53,5	12,24	22,52

Таблица 94 – Особенности межуточного обмена в организме цыплят-бройлеров за период опыта

Показатель	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Обменная энергия сверхподдержания, МДж/гол	28,835	24,289	26,195	27,179
Коэффициент полезного использования обменной энергии	0,416	0,538	0,511	0,450
Уровень питания	1,062	1,083	1,064	1,057
Концентрация обменной энергии, МДж/кг СВ	14,450	14,479	14,158	14,565
Коэффициент соответствия	0,029	0,037	0,036	0,031
Энергопротеиновое отношение	0,198	0,189	0,225	0,220

Таблица 95 – Трансформация энергии и протеина корма в тело бройлеров за учетный период

Показатель	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Отложилось				
Протеин, г	217,60±23,52	248,48±5,76	239,05±4,55	217,42±4,21
Энергия, МДж	10,80±1,53	11,86±0,87	12,19±0,95	11,03±0,83
Коэффициент конверсии, %				
Протеин	37,22±4,02	44,28±1,07	36,61±0,70	35,34±0,68
Энергия	25,34±3,59	28,73±2,23	29,34±2,30	26,72±2,02

Накопление чистой энергии продукции и увеличение коэффициента использования обменной энергии в группах, получавших исследуемые ОКД выражалось в увеличении продуктивности цыплят-бройлеров.

Трансформация энергии и протеина кормов в тело птицы наиболее эффективно происходила в I опытной группе – выше на 3,39 %, во II опытной группе- на 4 %, протеина - на 7,06 % в I группе. Таким образом, результаты анализа подтверждают выраженным ростостимулирующий эффект в I и II группе на фоне высокой трансформации энергии и протеина корма.

2.3.2.8 Мясная продуктивность цыплят-бройлеров

Так, на конец экспериментального периода лидерство по предубойной живой массе отмечено в группе, получавшей Са в форме цитрата (II опытная), при этом разница с контролем составила 15,9% ($P \leq 0,05$). Высокие показатели роста также отмечены при вводе хлорида Са, разница с контролем составила 14,9% (таблица 96).

Использование ОКД1 увеличило предубойную живую массу на 15,9% ($P \leq 0,05$), схожие результаты отмечены и в группе, получавшей ОКД3 разница с контролем составила 14,9%. В опытных группах выход мышечной массы был выше, чем в контроле, наибольший показатель наблюдался в группе применения ОКД1. Значимых различий в изменениях костной ткани не обнаружено. Костно-мышечное соотношение было максимальным в группе,

получавшей ОКД1 – 2,93, что на 25% выше значений контрольной группы, группа с введением ОКД1 превосходила контроль на 5%.

Таблица 96 – Мясная продуктивность подопытной птицы

Показатель	Контроль	Опытные группы		
		I	II	III
Предубойная живая масса, г	1 887,2±27,74	2 168,3±33,15	2 187,8±18,09*	1 979,1±48,61
Полупотрошенная тушка, г	1 664,5±39,32	1 859,9±31,27	1 898,8±39,33	1 808,8 ±44,95
Потрошенная тушка, г	1 318,3±30,38	1 539,6±16,70	1 632,3±27,85	1 480,7±52,86
Мышечная ткань, г	854,5±9,29	966,1±14,22	990,1±17,82*	951,8±26,96
Убойный выход, %	69,42	72,28	74,16	71,01
МКИ	2,34	2,93	2,46	2,55

Примечание: * – достоверная разница опытных групп с контрольной ($P \leq 0,05$).

Лучшие показатели по убойному выходу также показали опытные группы, наибольшее значение 74,1% во II опытной группе.

2.3.2.9 Результаты производственной проверки

На основании положительных результатов исследований при введении в рацион цыплят-бройлеров синтезированных источников кальция в условиях ЗАО «Птицефабрика Оренбургская» был проведен научно-хозяйственный эксперимент. Из цыплят-бройлеров кросса «Арбор Айкрес» нами сформированы три опытные группы (n=600). Особи контрольной группы получали рацион, используемый в производственных условиях (базовый). I опытная группа совместно с базовым рационом с 7 суточного возраста получала 20 % кальция рациона в форме ОКД3, II опытная - в форме ОКД1.

Экономические расчеты показали, что введение исследуемых кальцийсодержащих добавок в опытные группы сопровождалось повышением среднесуточного прироста и итоговой живой массой цыплят-бройлеров.

Однако, в I группе, при вводе ОКД3 наблюдается снижение расходов корма, и как следствие затрат корма на прирост.

Ввод ОКДЗ в рацион бройлеров также сопровождается снижением себестоимости 1 кг мяса на 13,9 руб., что влечет за собой повышение рентабельности производства на 3,5 %.

Введение ОКД1 в состав рациона увеличивает убойный выход на 4,7%, при этом себестоимость 1 кг мяса снижается на 3,3%. Сохранность поголовья в группе повысилась до 98,1%, соответственно рентабельность производства увеличивается на 1,8%

Таблица 97 – Экономическая эффективность производства мяса цыплят-бройлеров при включении в рацион различных источников кальция

Показатель	Вариант		
	Базовый	I опытный (20 % хлорид кальция)	II опытный (20 % цитрат кальция)
Поголовье цыплят: на начало опыта	600	600	600
на конец опыта	572	583	589
Живая масса 1 гол.	1887,2	2168,3	2187,8
Расход корма на 1 гол, кг	3,2152	2,926	3,2422
Убойный вес: 1 гол, г	1887,2	2168,3	2187,8
общий, кг	1079,48	1264,12	1288,61
Масса потрошенной тушки, г	1 318,30	1 539,60	1 632,30
Производственные затраты, всего	137932,3	143952,2	159323,8
Себестоимость 1 кг мяса, руб.	127,8	113,9	123,6
Средняя реализационная цена 1 кг мяса, руб.	130	130	130
Общая выручка от реализации, руб.	146640,0	158093,0	172250,0
Прибыль от реализации мяса, руб.	8707,7	14140,8	12926,2
Рентабельность, %	6,3	9,8	8,1

Таким образом, проведенная производственная проверка подтвердила основные результаты исследований и показала экономическую эффективность введения в рационы цыплят-бройлеров 20% кальция в форме ОКД1 и ОКДЗ.

2.3.3 Оценка влияния различных источников кальция на обмен веществ и продуктивность кур-несушек

2.3.3.1 Корма и кормление подопытной птицы

Кормление осуществлялось в соответствии с возрастными нормами, согласно рекомендациям ВНИТИП (Егоров Е.А. и др., 2018). Поение птицы осуществлялось без ограничений. Состав основного рациона представлен в таблице 98.

Таблица 98 – Состав основного рациона кур-несушек

Компонент	Масса, г/кг
Пшеница	500
Ячмень	200
Кукуруза	20
Жмых подсолнечный	50
Шрот соевый	50
Рыбная мука	50
Подсолнечное масло	10
Дрожжи кормовые	5
Отруби	40
Известняковая мука	65
Премикс	10

Примечание: в 100 г основного рациона содержится обменной энергии 11,3 МДж/кг; сырого протеина 16 %; сырого жира 4,5 %; сырой клетчатки 4,5 %; крахмала 2,8 %; лизина – 0,71 %; метионина 0,37 %, метионина+цистина 0,58 %; кальция 2,4 %; фосфора общего 0,6 %, фосфора, усвояемого 0,51 %;

Применение хлорида и ОКД1 в кормлении кур-несушек достоверно снижало потребление комбикорма в опытных группах (таблица 99).

Таблица 99 – Потребление корма птицей в зависимости от возраста

Возраст кур, нед.	Группа						
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	Контроль
	г/гол в неделю						
16-20	700,81 ±34,37	716,58 ±44,61	695,84 ±49,83	713,91 ±31,91	700,88 ±31,98	752,14 ±41,73	724,43 ±41,65
21-25	762,23 ±28,76a	823,35 ±20,37	809,23 ±10,46	753,95 ±8,47a	736,94 ±12,81a***	865,85 ±7,98a**	838,63 ±9,95
26-30	730,55 ±19,62a*	861,73 ±5,85a	758,47 ±58,39a	789,32 ±17,28a	762,31 ±6,80a***	876,31 ±6,66a**	836,90 ±8,98

Продолжение таблицы 99

31-35	770,49 ±19,05a*	848,99 ±6,06a	837,96 ±13,10	804,41 ±10,08a	780,56 ±8,16a***	884,70 ±6,87a**	832,41 ±8,45
36-40	783,44 ±5,71a*	864,68 ±4,49***	842,92 ±6,35**	819,72 ±6,13a*	785,03 ±4,40a***	841,47 ±20,76	855,57 ±3,25
г/гол в сутки							
16-20	100,12 ±4,91	102,37 ±6,37	99,41 ±7,12	101,99 ±4,56	100,13 ±4,57	107,45 ±5,96	103,49 ±5,95
21-25	108,89 ±4,11	117,62 ±2,91	115,60 ±1,49	107,71 ±1,21	105,28 ±1,83***	123,69 ±1,14**	119,80 ±1,42
26-30	104,36 ±2,80*	123,10 ±0,84	108,35 ±8,34	112,76 ±2,47	108,90 ±0,97***	125,19 ±0,95**	119,56 ±1,28
31-35	110,07 ±2,72*	121,28 ±0,87	119,71 ±1,87	114,92 ±1,44	111,51 ±1,17***	126,39 ±0,98**	118,92 ±1,21
35-40	111,92 ±0,82*	123,53 ±0,64***	120,42 ±0,91**	117,10 ±0,88*	112,15 ±0,63***	120,21 ±2,97	122,22 ±0,46

2.3.3.2 Рост и развитие подопытной птицы

Согласно методике эксперимента и требований руководства по работе с птицей кросса Хайсекс Браун (Хмельницкая Т.А. и др., 2007) еженедельный контроль динамики живой массы проводился нами до 32 недели. На протяжении всего периода наблюдения птица соответствовала стандартам живой массы. В целом птица в группах характеризовалась одинаковым развитием, достоверных изменений относительно контрольной группы по массе не наблюдалось (таблица 100).

Таблица 100 – Динамика живой массы кур-несушек.

Возраст, нед	группа						
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	Контроль
15	1 411,60 ±30,61	1 411,60 ±30,28	1 411,60 ±29,73	1 411,80 ±29,36	1 412,40 ±27,79	1 411,40 ±27,93	1 411,00 ±28,46
16	1 433,20 ±30,49	1 447,60 ±27,57	1 458,00 ±26,42	1 442,20 ±27,56	1 453,80 ±28,76	1 446,20 ±31,38	1 446,40 ±26,66
17	1 555,00 ±31,59	1 550,00 ±38,07	1 527,80 ±36,49	1 582,80 ±32,38	1 574,80 ±30,96	1 572,80 ±33,07	1 568,10 ±25,67
18	1 613,80 ±36,03	1 603,20 ±32,98	1 592,60 ±23,24	1 647,00 ±36,52	1 597,11 ±28,70	1 656,80 ±35,73	1 646,60 ±25,38
19	1 620,10 ±42,23	1 581,70 ±39,44	1 606,40 ±16,17	1 625,40 ±33,17	1 578,22 ±34,95	1 656,80 ±35,73	1 646,60 ±25,38
20	1 593,70 ±43,23	1 544,20 ±55,17	1 585,60 ±12,75	1 609,60 ±38,58	1 602,25 ±32,69	1 603,80 ±36,10	1 628,60 ±19,99
21	1 616,50 ±34,73	1 645,89 ±24,30	1 575,90 ±19,21	1 675,67 ±31,05	1 617,43 ±40,27	1 648,80 ±36,86	1 648,10 ±17,72

Продолжение таблицы 100

22	1 626,70 ±38,31	1 615,33 ±53,92	1 625,60 ±22,38	1 676,11 ±37,28	1 613,29 ±44,35	1 688,20 ±37,87	1 679,40 ±22,26
23	1 621,20 ±50,28	1 693,78 ±26,23	1 630,60 ±29,41	1 698,44 ±36,34	1 660,00 ±51,50	1 732,80 ±43,69	1 713,00 ±22,31
24	1 644,00 ±38,84	1 743,00 ±32,27	1 698,86 ±20,34	1 765,33 ±26,30	1 667,00 ±68,98	1 768,00 ±65,24	1 744,57 ±35,58
25	1 669,29 ±37,01	1 770,67 ±35,26	1 710,71 ±16,85	1 785,00 ±27,70	1 687,50 ±67,50	1 777,14 ±65,92	1 753,29 ±34,74
26	1 678,00 ±41,50	1 784,33 ±46,62	1 689,57 ±15,46	1 795,00 ±29,03	1 712,50 ±80,05	1 797,29 ±60,54	1 778,71 ±41,41
27	1 716,43 ±45,06	1 809,00 ±45,24	1 762,86 ±16,93	1 848,60 ±50,83	1 732,50 ±72,07	1 820,00 ±68,06	1 826,71 ±46,17
28	1 712,86 ±34,75	1 823,50 ±45,15	1 767,86 ±19,40	1 834,80 ±44,38	1 723,25 ±70,34	1 872,33 ±55,85	1 839,71 ±43,09
29	1 699,86 ±46,32	1 874,83 ±49,31	1 448,71 ±21,38	1 848,20 ±41,39	1 765,25 ±75,35	1 900,83 ±51,60	1 846,29 ±45,24
30	1 710,83 ±51,78	1 872,83 ±57,75	1 762,86 ±72,70	1 846,20 ±29,16	1 735,00 ±70,36	1 866,33 ±83,72	1 824,00 ±43,09
31	1 744,33 ±49,03	1 895,83 ±59,35	1 850,33 ±24,05	1 870,60 ±36,58	1 743,25 ±83,20	1 876,00 ±70,29	1 873,86 ±51,19
32	1 724,00 ±77,53	1 883,00 ±50,02	1 836,00 ±22,54	1 865,20 ±33,68	1 760,50 ±76,03	1 895,83 ±56,03	1 877,71 ±52,70

2.3.3.3 Яичная продуктивность кур-несушек

Оценка продуктивности в группах, получавших ОКД1 и ОКД3 в дозировке 30% показала увеличение количества яйцепродукта. В то же время применение ОКД1 повысило количество получаемого яйца во всех опытных группах, а применение ОКД3 – только в диапазоне 10-20% (таблица 101).

Таблица 101 – Производительность средней несушки в зависимости от возраста

Возраст кур, нед.	Группа						
	I опытная	I опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	Контроль
	получено яйцепродукта, г						
16-20	219,30 ±38,86	221,83 ±40,84	223,83 ±47,85	222,95 ±38,66	256,10 ±34,90	232,23 ±37,81	228,22 ±44,83
21-25	328,60 ±16,37	342,88 ±20,71	347,19 ±20,90	313,68 ±19,86	311,63 ±28,83	342,22 ±15,38	355,08 ±10,11
26-30	352,72 ±13,09a	392,48 ±4,57*	289,15 ±73,38	377,96 ±3,02a	360,90 ±2,70a*	373,24 ±13,34	393,12 ±5,68
31-35	391,51 ±0,79a**	394,61 ±4,36	416,08 ±0,95a***	385,56 ±3,58a**	375,46 ±14,74	408,51 ±4,48***	405,80 ±4,31
36-40	342,92 ±20,26**	404,63 ±5,84*	418,00 ±4,66a	360,48 ±27,60**	358,95 ±10,55	428,42 ±6,08a***	381,60 ±10,41

	получено яиц, шт/неделю						
16-20	5,54 ±0,86	5,65 ±0,68	5,46 ±0,92	5,77 ±0,71	6,07 ±0,60	6,08 ±0,87	5,62 ±0,90
21-25	6,33 ±0,25	6,48 ±0,34	6,55 ±0,28	6,28 ±0,39	6,43 ±0,44	6,67 ±0,28	6,60 ±0,26
26-30	6,50 ±0,21	6,93 ±0,07a	5,12 ±1,26	7,00 ±0,06a	7,00 ±0,04a***	6,63 ±0,10**	6,43 ±0,08
31-35	6,96 ±0,04*	6,73 ±0,08***	7,00 ±0,05	7,00 ±0,03	6,95 ±0,09	6,87 ±0,06**	6,80 ±0,11
36-40	6,84 ±0,04a	6,70 ±0,06***	6,90 ±0,04a	6,92 ±0,05a	6,75 ±0,19	6,78 ±0,08	6,57 ±0,10

Примечание: а) к контролю, * 1 к 2, 4 к 5

**1 к 3, 4 к 6

*** 2 к 3, 5 к 6

Применение 30% хлорида и ОКД1 достоверно снизили затраты корма на производство 1 кг яйцепродукта. В тоже время отмечено достоверное снижение затрат на производство 10 яиц в группах с 10% и 20% ОКД1 и 10% ОКД3 (таблица 102).

Таблица 102 – Затраты корма на производство продукции, кг

Возраст кур, нед.	Группа						
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	Контроль
	на 1 кг яйцепродукта						
16-20	3,78 ±0,88	3,83 ±0,90	4,01 ±1,17	3,65 ±0,72	2,97 ±0,45	3,75 ±0,86	4,07 ±1,25
21-25	2,33 ±0,08	2,43 ±0,13	2,36 ±0,13	2,44 ±0,15	2,46 ±0,28	2,55 ±0,11a	2,25 ±0,04
26-30	2,05 ±0,09	2,20 ±0,04	5,66 ±3,22	2,09 ±0,05**	2,11 ±0,01***	2,28 ±0,04	2,21 ±0,09
31-35	1,96 ±0,06a*	2,15 ±0,04***	2,01 ±0,03a	2,09 ±0,04	2,09 ±0,09	2,14 ±0,03	2,10 ±0,02
36-40	2,33 ±0,16	2,14 ±0,04***	2,02 ±0,03a	2,38 ±0,30	2,20 ±0,09	1,97 ±0,07a	2,25 ±0,08
	на 10 яиц						
16-20	1,41 ±0,24	1,33 ±0,18	1,43 ±0,25	1,32 ±0,21	1,16 ±0,13	1,39 ±0,27	1,48 ±0,32
21-25	1,16 ±0,02a*	1,22 ±0,02	1,19 ±0,04	1,14 ±0,03a**	1,09 ±0,02a	1,25 ±0,01***	1,23 ±0,02
26-30	1,07 ±0,04a*	1,24 ±0,01a	2,97 ±1,64	1,13 ±0,03a**	1,09 ±0,01a	1,30 ±0,02***	1,30 ±0,03
31-35	1,10 ±0,04a*	1,26 ±0,02***	1,20 ±0,02**	1,15 ±0,01a**	1,12 ±0,02a	1,25 ±0,02***	1,23 ±0,02
36-40	1,15 ±0,01a*	1,29 ±0,02***	1,22 ±0,01a**	1,18 ±0,01a	1,17 ±0,04a	1,22 ±0,06	1,30 ±0,02

Примечание: а) к контролю, * 1 к 2, 4 к 5

**1 к 3, 4 к 6

*** 2 к 3, 5 к 6

2.3.3.4 Морфологические и биохимические показатели крови кур-несушек

Результаты эксперимента на курах-несушках по оценке влияния различных форм кальция на физиологическое состояние показали изменения элементного состава сыворотки (таблица 103), а также морфологических и биохимических показателей крови (таблица 104).

Использование ОКДЗ в различной концентрации приводило к достоверным изменениям в содержании ряда элементов в сыворотке крови.

Замена 10 % известняковой муки на ОКДЗ приводила к снижению концентрации в крови кальция, фосфора и цинка на 24,7 ($p \leq 0,01$), 46,6 ($p \leq 0,01$) и 23,2 ($p \leq 0,05$) % в сравнении с контролем. Однако отмечалось, в сравнении с контролем, ярко выраженное увеличение в крови концентрации брома в 5,9 ($p \leq 0,001$) раз и содержание натрия на 5,69 ($p \leq 0,01$) %. Среди элементов, связанных с метаболизмом кальция, в сравнении с контролем, в организме опытной птицы отмечалась тенденция к увеличению в крови концентрации марганца, и снижению кобальта, меди, железа, селена и стронция.

Увеличение дозировки ОКДЗ в кормлении птицы до 20 % от известняковой муки достоверно снижало концентрацию фосфора и кобальта в крови на 27, 5 и 16,1 ($p \leq 0,05$) %, но повышало содержание брома и бария в 1,8 ($p \leq 0,05$) и 5,8 ($p \leq 0,01$) раз, в сравнении с контролем. Аналогично, действию меньшей дозировки была отмечена тенденция, в сравнении с контролем, к повышению содержания марганца и снижению в крови концентрации меди, железа и стронция.

Замена 30 % известняковой муки на ОКДЗ приводила к изменениям аналогичным 10 и 20 % замещениям, в сравнении с контролем. Уровень фосфора, кальция, стронция и сурьмы в крови у птицы опытной группы, в сравнении с контролем был ниже на 47,2 ($p \leq 0,01$), 21,5 ($p \leq 0,01$), 31,2 ($p \leq 0,01$) и 42,7 ($p \leq 0,05$) %.

Таблица 103 – Элементный состав сыворотки крови кур-несушек на фоне скармливания ОКД1 и ОКД3 в различной концентрации, мг/кг

Эле- мент	Группа						
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная
Li	0,007 ±0,001	0,013 ±0,003	0,008 ±0,0005	0,011 ±0,001	0,012 ±0,004	0,008 ±0,0004	0,008 ±0,002
Na	3 219 ±33,4	3 403 ±21,5**	3 319 ±13,7	3 321 ±18,4	3 268 ±60,7	3 089 ±75,3	3 188 ±29,4
Mg	37,3 ±1,45	28,7 ±2,6	36,3 ±2,18	34,3 ±2,03	32,7 ±1,33	38,7 ±0,88	32,3 ±1,45
Al	1,64 ±0,51	1,88 ±0,83	0,86 ±0,1	0,8 ±0,01	0,89 ±0,09	1,79 ±0,46	1,43 ±0,26
P	655 ±38	349,5 ±8,5**	474,7 ±10,3*	345,7 ±30,5**	344,5 ±26,5**	483 ±3,0*	413,3 ±10,3**
K	206,3 ±11,3	219 ±7,1	214,7 ±5,81	224,3 ±10,6	199 ±7,94	212,7 ±3,92	174 ±4,04**
Ca	289,3 ±4,05	218 ±9**	271,3 ±16,2	227 ±8,39**	231,7 ±2,6**	239,5 ±3,5**	236,7 ±4,63**
Mn	0,27 ±0,02	0,32 ±0,24	0,33 ±0,012	0,15 ±0,04	0,18 ±0,05	0,34 ±0,12	0,41 ±0,02**
Co	0,003 ±0,0001	0,002 ±0,001	0,002 ±0,0001*	0,003 ±0,0002	0,002 ±0,0004	0,003 ±0,0004	0,002 ±0,0001**
Ni	0,014 ±0,004	0,01 ±0,005	0,008 ±0,001	0,006 ±0,0004	0,006 ±0,002	0,013 ±0,004	0,005 ±0,001
Cu	0,34 ±0,01	0,25 ±0,03	0,28 ±0,02	0,25 ±0,005	0,27 ±0,03	0,29 ±0,02	0,28 ±0,01
Se	0,22 ±0,01	0,18 ±0,03	0,24 ±0,02	0,21 ±0,03	0,22 ±0,02	0,2 ±0,008	0,22 ±0,02
Br	5,67 ±0,06	28 ±0,5***	32,8 ±1,32***	40,3 ±0,79***	8,9 ±0,73*	6,17 ±0,39	5,43 ±0,32
Sr	0,17 ±0,005	0,1 ±0,03	0,15 ±0,01	0,12 ±0,004**	0,14 ±0,01	0,18 ±0,02	0,16 ±0,007
Mo	0,02 ±0,006	0,017 ±0,003	0,031 ±0,003	0,025 ±0,0057	0,024 ±0,006	0,017 ±0,002	0,019 ±0,002
Sb	0,003 ±0,0001	0,004 ±0,000	0,0023 ±0,0002	0,002 ±0,0002*	0,002 ±0,0004	0,003 ±0,0002	0,002 ±0,0002
I	0,062 ±0,007	0,057 ±0,01	0,06 ±0,0006	0,052 ±0,004	0,047 ±0,011	0,055 ±0,007	0,051 ±0,001
Ba	0,063 ±0,007	0,053 ±0,01	0,117 ±0,01	0,1 ±0,004	0,049 ±0,005	0,058 ±0,005	0,053 ±0,005
Hg	0,0008 ±0,0004	0,001 ±0,0001	0,0008 ±0,00001	0,0006 ±0,0001	0,0004 ±0,0001	0,0003 ±0,0001	0,0004 ±0,0001
Pb	0,02 ±0,01	0,004 ±0,002	0,004 ±0,003	0,003 ±0,001	0,007 ±0,004	0,006 ±0,004	0,0009 ±0,0005
Bi	0,002 ±0,0003	0,001 ±0,0001	0,001 ±0,0002	0,001 ±0,0003	0,001 ±0,0003	0,0009 ±0,0003	0,001 ±0,0005
Cr	0,09 ±0,03	0,11 ±0,06	0,07 ±0,003	0,05 ±0,01	0,05 ±0,008	0,1 ±0,03	0,06 ±0,013
Fe	8,34 ± 0,96	4,92 ±1,28	7,01 ±0,58	5,93 ±0,18	7,26 ±0,33	7,27 ±0,62	6,74 ±0,24
Zn	4,35 ±0,26	3,33 ±0,14*	3,83 ±0,37	2,92 ±0,38	3,39 ±0,37	3,88 ±0,54	4,32 ±0,23

Примечание: * - P ≤ 0,05; ** - P ≤ 0,01; *** - P ≤ 0,001

Концентрация брома, в сравнении с контролем, в крови птицы контрольной группы была выше на 7,1 ($p \leq 0,001$) раз. Также в сыворотке крови птицы опытной группы отмечалось увеличение содержания бария на 65,1 ($p \leq 0,05$) % в сравнении с контролем. Было отмечено в крови опытной группы, в сравнении с контролем, повышение уровня молибдена и селена, а также снижение концентрации магния, меди, железа, марганца и цинка.

Достоверных изменений в содержании токсичных элементов при сравнении опытных групп с контрольной не отмечалось. Однако наблюдалась ярко выраженная тенденция к снижению уровня никеля и свинца во всех опытных группах в сравнении с контролем.

Наименьшее влияние на уровень кальция и фосфора в крови птицы, относительно контроля, оказывала 20 % замена известняковой муки на ОКДЗ. Замена 20 % известняковой муки в рационе на ОКДЗ, в сравнении с замещением на 10 и 30 %, способствовала более высокому содержанию в крови фосфора на 35,8 ($p \leq 0,05$) и 37,7 ($p \leq 0,05$) %. Также замещение 20 % известняковой муки в сравнении с заменой на 10 % способствовало более высокому уровню молибдена (+78,8 %, $p \leq 0,05$), брома (+ 16,8 %, $p \leq 0,05$) и более низкому содержанию натрия (-2,46 %, $p \leq 0,05$) и сурьмы (-41,7 %, $p \leq 0,01$). В сравнении с 30 % заменой в группе с 20 % замещением были выявлены достоверно более высокая концентрация сурьмы (+ 18,6 %, $p \leq 0,01$) в крови и более низкое содержание брома (-18,7 %, $p \leq 0,001$). В группе с 10 % заменой известняковой муки в сравнении с 30 % замещением отмечались достоверные различия в уровнях брома (-30,4 %, $p \leq 0,001$) и сурьмы (+ 103,4 %, $p \leq 0,01$).

Анализ крови также показал различия между группами по ряду биохимических и морфологических показателей (таблица 104).

В группе с 10 % заменой известняковой муки на ОКДЗ, в сравнении с контролем, достоверно более высокий уровень креатинина на 171,4 ($p \leq 0,01$) %, и снижение содержания тромбоцитов и нейтрофилов на 17,3 и 11,9 ($p \leq 0,05$) %. В группе с 20 % замещением известняковой муки на ОКДЗ отмечался достоверно более высокий уровень АСТ (+22,2 % $p \leq 0,05$) в сравнении с

Таблица 104 – Биохимические и морфологические показатели сыворотки крови кур-несушек на фоне скармливания ОКД1 и ОКД3 в различной концентрации

Элемент	Группа						
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная
Глюкоза, ммоль/л	9,63 ±0,68	10,1 ±1,68	11,7 ±0,59	11,8 ±0,14*	8,45 ±2,75	8,41 ±1,24	9,06 ±0,57
Общий белок г/л	42,4 ±5,02	42,7 ±2,86	48,4 ±1,72	44,5 ±2,39	31,4 ±11,5	31,3 ±8,64	29,5 ±4,9
Альбумин, г/л	18,0 ±2,08	18,7 ±1,45	21,3 ±1,2	18,7 ±1,86	12 ±6,43	11,7 ±3,84	10,7 ±3,18
АЛТ, Ед/л	33,8 ±1,99	32,1 ±7,41	41 ±8,76	37,4 ±12,8	22,2 ±7,11	28,5 ±8,27	51,7 ±13,7
АСТ, Ед/л	150,4 ±7,25	165 ±21,66	183,7 ±3,64*	154,1 ±35,41	122,3 ±25,3	127,4 ±28,8	140,3 ±30,4
Билирубин общий, мкмоль/л	0,74 ±0,43	0,68 ±0,36	0,31 ±0,19	0,64 ±0,39	2,03 ±0,84	0,88 ±0,39	0,64 ±0,32
Холестерин, ммоль/л	3,30 ±0,89	3,50 ±1,04	3,16 ±0,41	2,35 ±0,06	1,81 ±0,67	2,00 ±0,65	1,80 ±0,33
Триглицериды, ммоль/л	10,4 ±3,66	5,88 ±2,67	13,2 ±2,22	7,37 ±1,02	7,73 ±2,87	10,6 ±3,71	8,94 ±2,73
Мочевина, ммоль/л	3,33 ±1,46	1,9 ±0,89	3,1 ±0,91	0,87 ±0,20	0,67 ±0,22	1,73 ±0,82	1,43 ±0,47
Мочевая кислота, мкмоль/л	249,6 ±66,2	202,1 ±36,2	210,7 ±15,9	311,0 ±60,8	148,3 ±42,4	156,1 ±18,3	86,5 ±8,47
WBC 10 ⁹ /л	37,80 ±8,81	32,30 ±1,8	33,18 ±3,07	31,90 ±1,99	36,80 ±0,11	26,50 ±1,61	30,00 ±3,82
Neu %	47,0 ±2,0	35,1 ±2,5*	51,9 ±0,9	39,5 ±17,4	42,7 ±0,11	35,7 ±14,70	46,1 ±3,6
Lym %	44,2 ±0,65	56,6 ±6,7	40,7 ±1,75	54,7 ±20,1	50,8 ±0,11**	58,1 ±17,1	43,60 ±3,9
Mon %	0,9 ±0,5	0,05 ±0,05	0,8 ±0,2	0,85 ±0,25	0,29 ±0,12	0,60 ±0,5	0,80 ±0,2
Eos %	7,5 ±1	7,80 ±3,9	6,2 ±2,2	4,45 ±1,05	5,39 ±0,12	4,55 ±2,25	9,15 ±0,45
Bas %	0,25 ±0,05	0,45 ±0,25	0,45 ±0,25	0,55 ±0,25	0,29 ±0,12	1,10 ±0,40	0,35 ±0,05
Neu, 10 ⁹ /л	17,6 ±3,3	10,9 ±0,2	17,2 ±1,9	12,2 ±4,76	15,7 ±0,12	9,2 ±3,3	14,0 ±2,85
Lym 10 ⁹ /л	16,7 ±4,1	17,9 ±3,65	13,5 ±1,8	17,8 ±7,5	18,6 ±0,12	15,7 ±5,45	12,9 ±0,5
Mon, 10 ⁹ /л	0,38 ±0,27	0,01 ±0,01	0,26 ±0,05	0,25 ±0,25	0,03 ±0,12	0,15 ±0,13	0,23 ±0,03
Eos, 10 ⁹ /л	2,93 ±1,04	2,33 ±1,00	1,99 ±0,54	1,38 ±0,57	1,92 ±0,12	1,17 ±0,52	2,76 ±0,49
Bas, 10 ⁹ /л	0,09 ±0,04	0,13 ±0,07	0,14 ±0,07	0,18 ±0,10	0,03 ±0,12	0,30 ±0,13	0,10 ±0,03

Продолжение таблицы 104

RBC, $10^{12}/l$	2,09 $\pm 0,19$	1,88 $\pm 0,11$	2,01 $\pm 0,15$	1,84 $\pm 0,04$	2,03 $\pm 0,12$	1,67 $\pm 0,01$	1,96 $\pm 0,13$
HGB, g/l	113,5 $\pm 6,5$	99,5 $\pm 5,5$	107,0 $\pm 5,0$	96,0 $\pm 4,0$	120,9 $\pm 0,12$	93,5 $\pm 0,5$	108,5 $\pm 6,5$
HCT, %	24,5 $\pm 1,9$	22,5 $\pm 1,1$	23,2 $\pm 1,3$	20,95 $\pm 0,45$	26,09 $\pm 0,12$	20,30 $\pm 4,3$	23,4 $\pm 0,95$
PLT, $10^9/l$	26 ± 1	23,50 $\pm 2,5$	25,0 $\pm 3,0$	22,0 $\pm 2,6$	23,0 ± 1	23,5 $\pm 0,5$	23,0 $\pm 2,0$

Примечание: WBC – лейкоциты; Neu – нейтрофилы; Lym – лимфоциты; Mon – моноциты; Eos – эозинофилы; Bas – базофилы; RBC – эритроциты; HGB- гемоглобин; HCT – гематокрит; PLT – тромбоциты; * - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,01$.

контролем. Замена 30 % известняковой муки на ОКДЗ приводила к более высокому уровню глюкозы (+22,5 %, $p \leq 0,05$) и креатинина (+ 105,5 %, $p \leq 0,05$), и более низкому уровню тромбоцитов (- 15,4 %, $p \leq 0,05$) в крови, в сравнении с контролем.

Во всех опытных группах в сравнении с контролем отмечалась тенденция к увеличению уровня глюкозы и общего белка в крови, и снижению концентрации холестерина. В группе с 10 % заменой известняковой муки на ОКДЗ, в сравнении с 30 % замещения отмечался достоверно более высокий уровень гемоглобина (+ 3,65 %, $p \leq 0,001$). Замена 20 % известняковой муки на ОКДЗ в сравнении с 10 % замещением способствовала достоверно более низкому содержанию креатинина (-34,8 %, $p \leq 0,05$) и более высокому уровню нейтрофилов (+ 56,8 %, $p \leq 0,05$).

Анализ корреляционных связей показал высокую отрицательную корреляцию между изменениями в крови птицы концентраций алюминия и фосфора, алюминия и кальция в группе с замещением известняковой муки на 10 % ОКДЗ. Также в группе с 10 % замещением известняковой муки отмечалась высокая положительная корреляция между кальцием и рядом элементов в крови, таких как молибден, кобальт, стронций, цинк и кобальт. В группе с заменой 30 % известняковой муки на ОКДЗ отмечалась высокая положительная корреляция между изменениями в крови концентраций хрома и кальция.

Оценка взаимосвязи с морфологическими и биохимическими показателями выявила положительную корреляцию между процентом нейтрофилов в крови и уровнем железа, между концентрациями кальция и гемоглобина в группе с 10 % заменой известняковой муки на ОКДЗ. Также в данной группе была выявлена отрицательная корреляция между концентрацией брома и процентом нейтрофилов в крови. В группе с 20 % заменой известняковой муки на ОКДЗ отмечалась положительная взаимосвязь между изменениями концентраций брома и АЛТ, АЛТ и глюкозой в крови подопытной птицы.

Таким образом использование в кормлении кур несушек 10, 20 и 30 % замен известняковой муки на ОКДЗ характеризовалось тенденциями в изменении концентраций в крови фосфора, кальция, стронция, железа, меди и цинка, при сравнении с контрольной группой. Отмечалось дозозависимое изменение концентрации брома в крови птицы опытных групп в сравнении с контрольной. По мере увеличения концентрации ОКДЗ в рационе наблюдалось закономерное повышение содержания брома. Однако, в сравнении с контрольной группой, изменения в крови концентраций кальция и элементов, связанных с его обменом, по мере увеличения процента ОКДЗ в рационе не были прямолинейными.

Замена в рационе кур несушек 10 % известняковой муки на ОКД1 способствовало снижению в крови концентрации фосфора ($-47,4 \%$, $p \leq 0,01$) и кальция ($-19,9 \%$, $p \leq 0,01$), в сравнении с контролем. В крови опытной птицы также отмечались более низкие концентрации магния, марганца, кобальта, меди, стронция, железа и цинка, относительно контрольных значений. Увеличение процента (до 20 %) замены известняковой муки на ОКД1 приводило к аналогичным изменениям в содержании фосфора ($-26,3 \%$, $p \leq 0,05$), и кальция ($-17,2 \%$, $p \leq 0,01$) в крови опытной птицы в сравнении с контролем. Наблюдалось, в сравнении с контролем, у опытной птицы более низкое содержание в крови кобальта, меди, селена, железа и цинка. Однако

отмечалась тенденция к увеличению марганца, магния и стронция относительно контрольных показателей.

Замещение 30 % известняковой муки в рационе на ОКД1 снижало концентрацию кальция (-18,2 %, $p \leq 0,01$), фосфора (-36,9 %, $p \leq 0,01$) и кобальта (-26,4 %, $p \leq 0,01$) в крови опытной птицы в сравнении с контролем, но увеличивало содержание марганца (+55,6 %, $p \leq 0,01$) и калия (+3,07 %, $p \leq 0,01$). Также в крови опытной птицы отмечалось более низкое содержание меди, железа и стронция, при сравнении с контролем. В отношении содержания токсичных элементов в крови опытных групп в сравнении с контрольной отмечалась тенденция к снижению содержания никеля и свинца.

Анализ биохимических параметров сыворотки крови в группах с 10 %, 20 и 30 % замещением известняковой муки на ОКД1 отмечалась тенденция к снижению уровня глюкозы, общего белка, альбумина, АЛТ и АСТ в сыворотке крови при сравнении с контрольными показателями. В группе с 10 % заменой известняковой муки на ОКД1, в сравнении с контролем, наблюдался более высокий процент лимфоцитов (+ 6,64 %, $p \leq 0,001$).

Замена 20 % известняковой муки на ОКД1 оказывала наименьшее влияние на уровень кальция и фосфора в крови. Уровень фосфора и магния в крови птицы при 20 % замене известняковой муки, в сравнении с 10 % замещениями, был достоверно выше на 40,2 ($p \leq 0,05$) и 18,4 ($p \leq 0,05$) %, тогда как содержание брома было ниже на 30,7 ($p \leq 0,05$) %. Содержание магния (+ 19,6 %, $p \leq 0,01$), фосфора (+ 16,9 %, $p \leq 0,01$), калия (+ 22,2 %, $p \leq 0,01$), и сурьмы (+ 40,3 %, $p \leq 0,05$) в сыворотке крови птицы с 20 % замене известняковой муки, в сравнении с 30 %. В группе с 10 % заменой известняковой муки в сравнении с 30 % замещением отмечались достоверные различия по уровню марганца (-56,2 %, $p \leq 0,01$) и брома (+ 64,2 %, $p \leq 0,01$). Сравнение опытных групп с ОКД1 в рационе между собой показало, что в группе с 20 % заменой известняковой муки на ОКД1 был отмечен наиболее низкий уровень эритроцитов и гемоглобина. Так, уровень эритроцитов и гемоглобина в группе с 20 % заменой был достоверно ниже в сравнении с 10

% заменой на 28 % ($p \leq 0,01$) и 22,7 % ($p \leq 0,001$) соответственно. Наиболее высокий уровень лимфоцитов среди опытных групп был отмечен при 10 % замене. Уровень лимфоцитов в группе с 10 % заменой был достоверно выше чем при 30 % замещении на 44,7 ($p \leq 0,05$) %.

Расчет корреляции по Пирсону показал высокую положительную взаимосвязь в группе с 10 % замещением известняковой муки на ОКД1 между изменениями в крови концентраций кальция и натрия (таблица 105). В группе с 20 % заменой известняковой муки на ОКД1 отмечалась сильная положительная корреляция между изменениями в крови концентраций кальция и кобальта, кальция и цинка, фосфора и цинка. В группе с использованием ОКД1 в корме птицы в количестве 30 % от известняковой муки наблюдалась высокая положительная корреляция между изменениями содержания в крови кальция и селена, кальция и стронция. Однако в этой группе отмечалась сильная отрицательная корреляция между изменениями в крови концентраций кальция и брома. Достоверных корреляционных взаимосвязей между биохимическими, морфологическими параметрами и элементным составом крови для групп с различными концентрациями ОКД1 выявлено не было.

Использование ОКД1 в рационе кур- несушек в различных дозировках приводило к достоверному снижению концентрации кальция и фосфора в сыворотке крови в сравнении с контрольной группой.

Сравнение действия различных дозировок ОКД3 и ОКД1 показало аналогичное действие на ряд элементов. Отмечалось достоверное снижение содержания в крови концентрации фосфора и кальция во всех опытных группах в сравнении с контролем. Однако использование ОКД3 в различных дозировках приводила к достоверному увеличению концентрации брома в крови. В результате использования в рационе кур-несушек ОКД1 уровень брома был достоверно увеличен только при 10 % замене известняковой муки.

Анализ корреляционных связей показал высокую отрицательную корреляцию между изменениями в крови птицы концентраций Al и P, Al и Ca

в группе с замещением известняковой муки на 10% ОКДЗ. В группе с заменой 30% известняковой муки на ОКДЗ отмечалась высокая положительная корреляция между Sr и Ca. Оценка взаимосвязи с морфологическими и биохимическими показателями выявила положительную корреляцию между процентом нейтрофилов в крови и уровнем Fe и отрицательную с Br, между концентрациями Ca и гемоглобина в группе с 10% заменой известняковой муки на ОКДЗ. В группе с 20% заменой известняковой муки на ОКДЗ отмечалась положительная взаимосвязь между изменениями концентраций Br и АЛТ, АЛТ и глюкозой в крови подопытной птицы.

Таблица 105 – Корреляция по Пирсону между отдельными биохимическими и морфологическими показателями, и элементами в крови кур-несушек при использовании ОКДЗ в различной концентрации

Элементы	Al	Mo	Co	Sr	Zn	Cr	Neu*	АЛТ
Группа с 10 % заменой известняковой муки								
Ca	-0,997	0,999	0,998	0,998	0,975	0,832	0,964	-0,653
P	-0,999	0,997	0,992	0,991	0,996	0,786	0,982	-0,711
Fe	-0,989	0,988	0,965	0,961	0,975	0,691	0,998	-0,803
Br	0,966	-0,964	-0,928	-0,922	-0,944	-0,604	-0,997	0,865
Глюкоза	0,694	-0,353	0,994	0,992	0,9395	0,7956	0,979	-0,7006
Группа с 20 % заменой известняковой муки								
Ca	0,132	-0,716	-0,082	0,983	0,974	-0,846	0,891	-0,9769
P	-0,934	-0,842	0,951	0,397	0,439	-0,711	-0,238	-0,014
Fe	-0,455	-0,982	0,511	0,911	0,928	0,671	-0,138	-0,681
Br	-0,268	0,612	0,219	-0,949	-0,934	0,764	-0,945	0,997
Глюкоза	-0,395	0,543	0,348	-0,899	-0,878	0,671	-0,981	0,998
Группа с 30 % заменой известняковой муки								
Ca	0,952	-0,949	0,754	-0,982	0,511	0,999	-0,984	-0,955
P	0,463	-0,474	-0,516	0,011	0,934	0,181	0,014	0,127
Fe	-0,034	0,022	-0,871	0,505	0,637	-0,328	0,506	0,643
Br	-0,866	0,871	-0,022	0,523	-0,979	-0,679	0,523	0,423
Глюкоза	0,245	-0,257	-0,701	0,245	0,827	-0,052	0,245	0,353

Примечание: * - нейтрофилы (%); цветом отмечены значимые корреляции на уровне $P \leq 0,05$

При введении 10% ОКД1 выявлена положительная взаимосвязь между концентрацией в крови Ca и Na (таблица 106).

Таблица 106 – Корреляция по Пирсону для оценки тесноты связи между элементами в сыворотке крови кур-несушек при использовании ОКД1 в различной концентрации

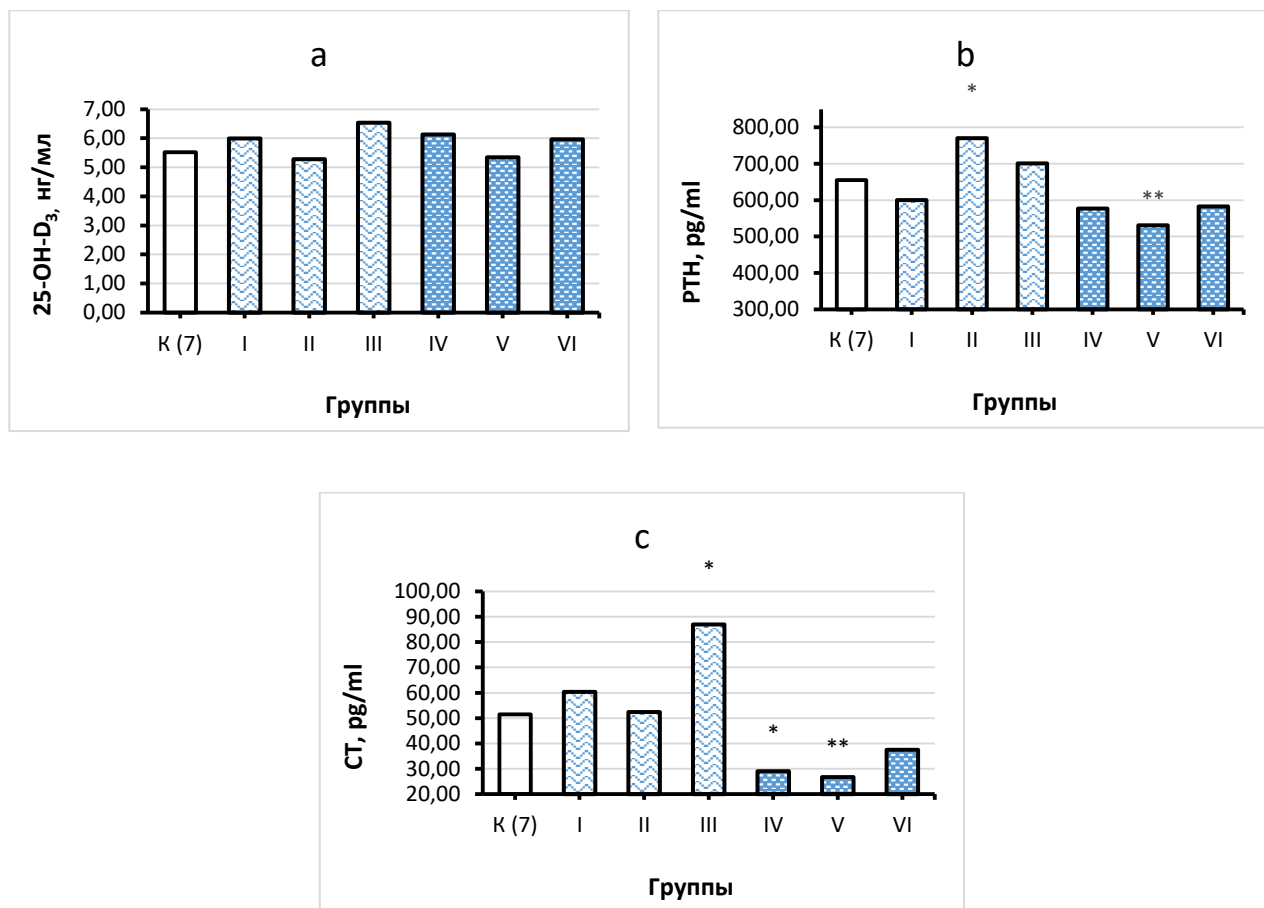
Элементы	Na	Se	Co	Sr	Zn	Br
Группа 4 (10 %)						
Ca	0,999893	0,832681	0,701704	0,052970	0,324678	0,174820
P	-0,152506	0,433504	0,608780	0,981723	0,891949	0,951041
Группа 5 (20 %)						
Ca	0,615233	0,642363	0,998387	0,321718	0,997341	-0,760405
P	0,717049	0,740930	0,996796	0,189514	0,997957	-0,841910
Группа 6 (30 %)						
Ca	-0,972854	0,999221	0,071982	0,997846	0,847003	-0,999857
P	-0,976328	0,916287	0,500000	0,926456	0,994074	-0,892255

Примечание: цветом отмечены значимые корреляции на уровне $P \leq 0,05$

В группе с 20% заменой положительная корреляция между изменениями концентраций Ca и Co, Ca и Zn, P и Zn; при 30% замене установлена положительная корреляция между Ca и Se, Ca и Sr и отрицательная корреляция между Ca и Br. Достоверных корреляционных взаимосвязей между биохимическими, морфологическими параметрами и элементным составом крови для групп с различными концентрациями ОКД1 выявлено не было.

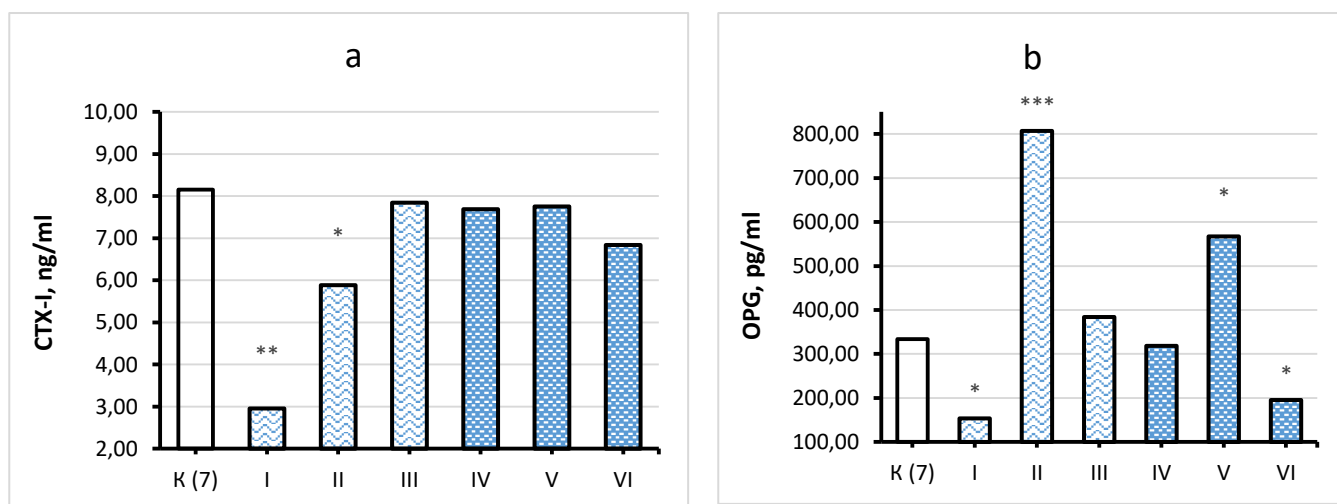
2.3.3.5 Оценка маркеров костного метаболизма

Анализ гормонов, регулирующих метаболизм Ca и P (рисунок 103, 104) показал отсутствие изменений в концентрации витамина D3, а также несмотря на снижение уровня Ca в опытных группах, повышение РТН наблюдалось только в группе с введением 20% ОКД3, при этом СТ так же был ниже контроля, кроме группы, получавшей 30% CaCl2. Сывороточный маркер резорбции костной ткани СТХ-I при введении CaCl2 в диапазоне 10-20% снижается. Маркер формирования кости OPG повышался в группах с 20% дозировкой изучаемых препаратов.



а-витамин D₃ (25-OH-D₃), б- паратиреоидный гормон (PTH);
в- кальцитонин (СТ);

Рисунок 103 – Влияние различных источников Са на гормоны, связанные с метаболизмом Са и Р в сыворотке крови у кур-несушек

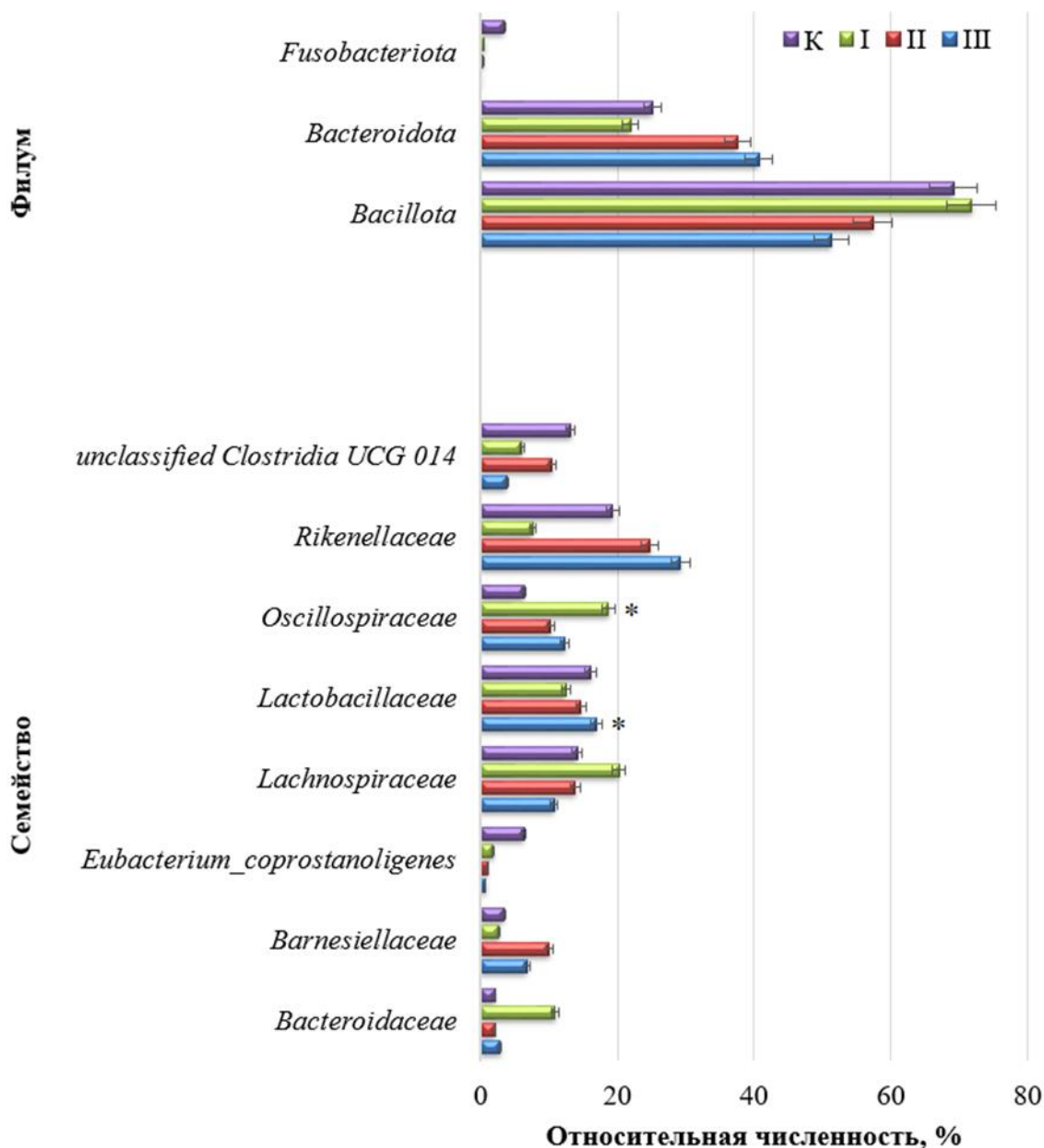


а- поперечно-сшитый карбоксиконцевой телопептид I типа (CTX-I);
б- остеопротегерин (OPG)

Рисунок 104 – Влияние различных источников Са на сывороточные маркеры обновления костной ткани у кур-несушек:

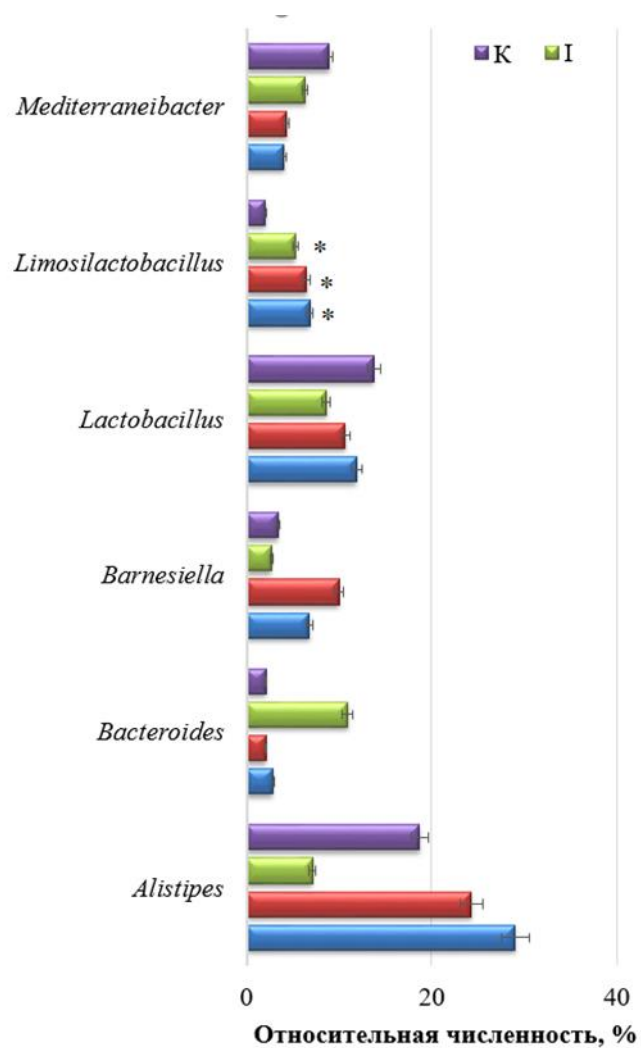
2.3.3.6 Оценка влияния различных источников кальция на изменение таксономического состава слепой кишки кур-несушек

Использование в рационе кур-несушек ОКДЗ приводило к незначительному снижению доли бактерий семейства *Lactobacillaceae* в микробиоме слепой кишки в сравнении с контрольной группой, однако только при использовании 10% концентрации (рисунок 105- 108).



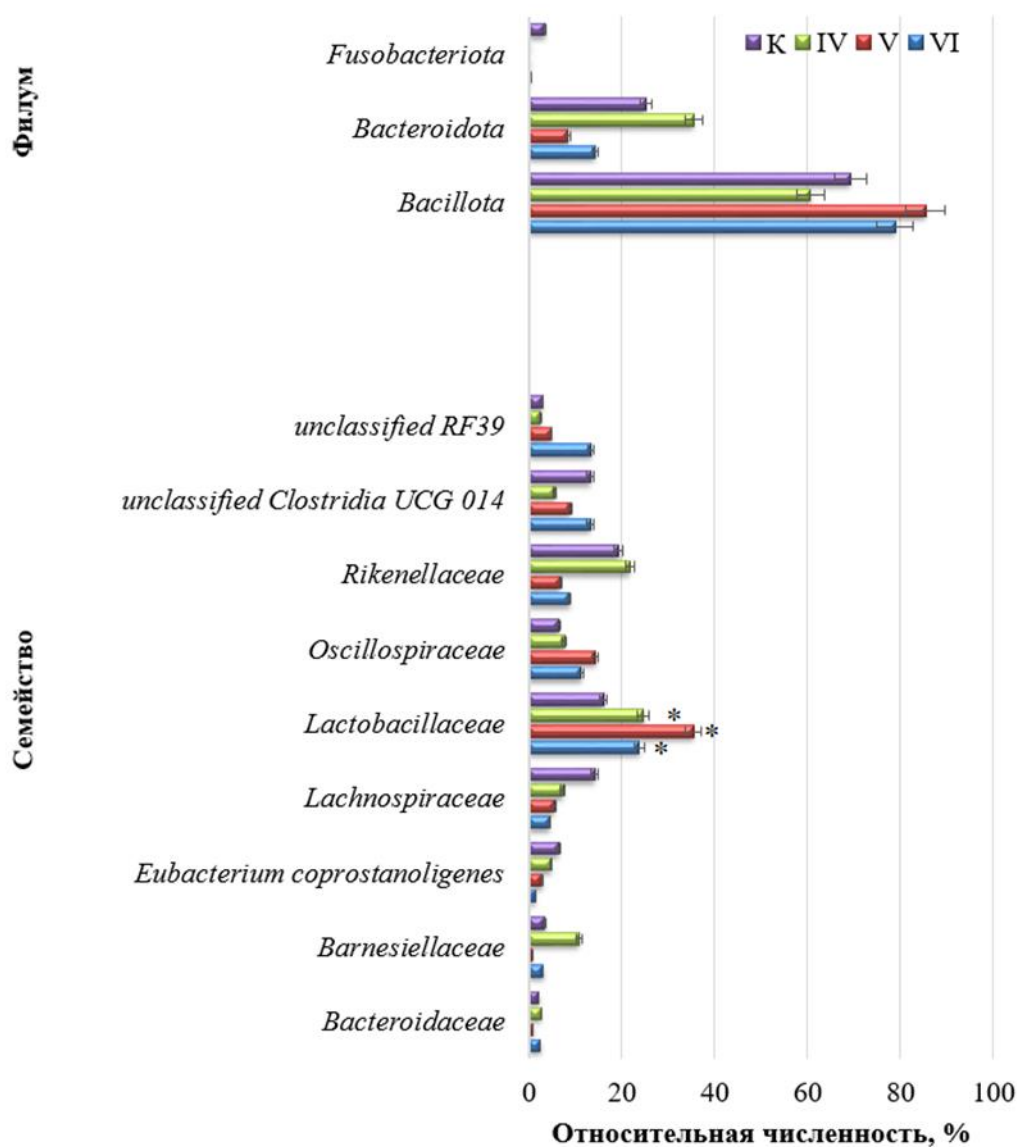
Примечание: * $p \leq 0,05$

Рисунок 105 – Обилие основных таксономических групп бактерий (на уровне филума и семейства) в микробиоме слепой кишки при использовании различных концентраций ОКДЗ в кормлении кур-несушек



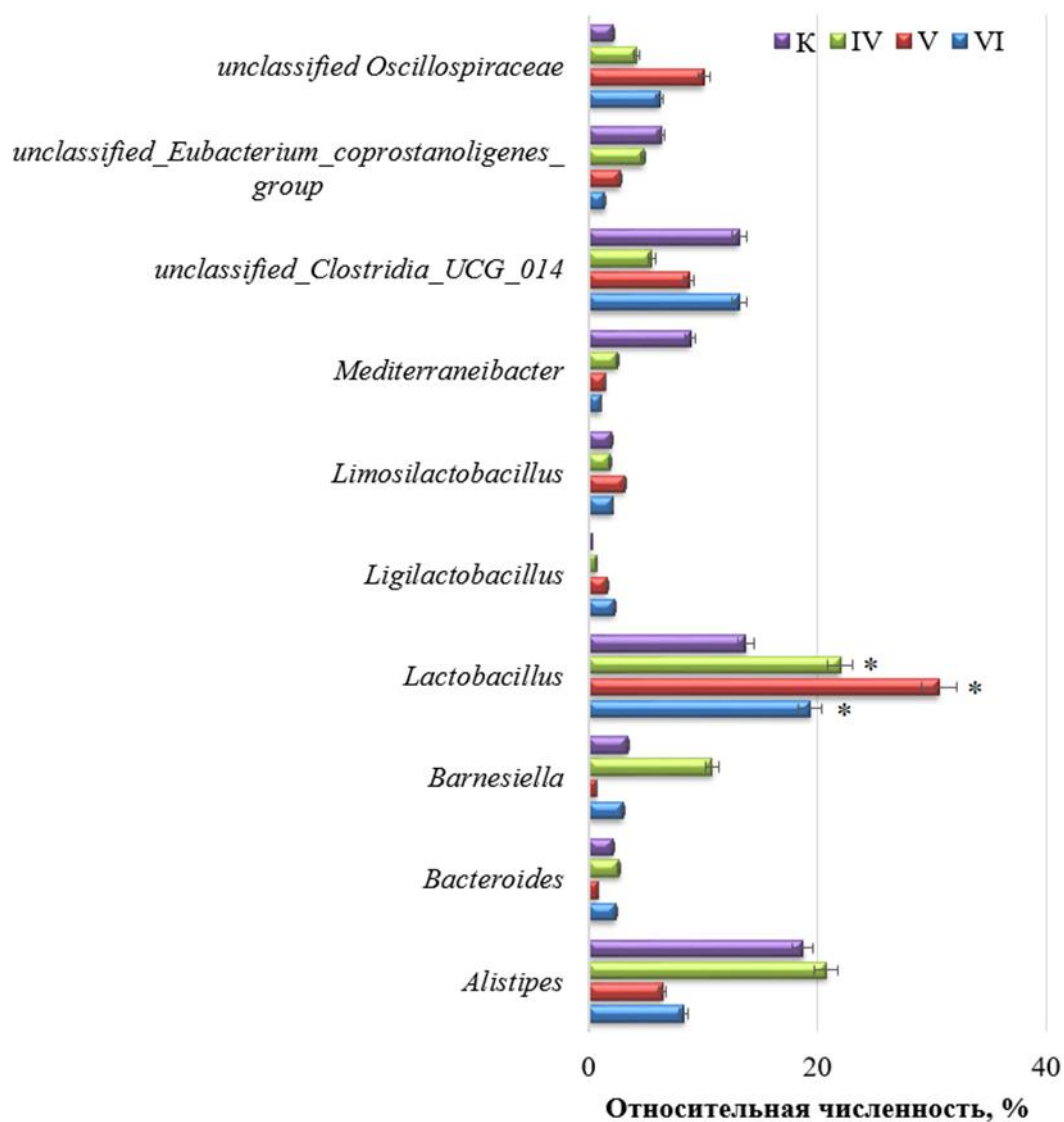
Примечание: * $p \leq 0,05$

Рисунок 106 – Обилие основных таксономических групп бактерий (на уровне рода) в микробиоме слепой кишки при использовании различных концентраций ОКДЗ в кормлении кур-несушек



Примечание: * $p \leq 0,05$

Рисунок 107 – Обилие основных таксономических групп бактерий (на уровне филума и семейства) в микробиоме слепой кишки при использовании различных концентраций ОКД1 в кормлении кур-несушек



Примечание: * $p \leq 0,05$

Рисунок 108 – Обилие основных таксономических групп бактерий (на уровне рода) в микробиоме слепой кишки при использовании различных концентраций ОКДЗ в кормлении кур-несушек

В рамках семейства *Lactobacillaceae*, являющегося пробиотической группой бактерий, отмечалось снижение доли бактерий р. *Lactobacillus* и повышение относительной численности микроорганизмов р. *Limosilactobacillus*. Кормление птицы ОКД1 в различной концентрации, в сравнении с показателями контрольной группы, способствовало увеличению доли бактерий семейства *Lactobacillaceae* (на 7,6-19,3%) в микробиоме слепой кишки, при этом наибольшие изменения были отмечены при использовании

дозировки 20%. Достоверных различий по индексам разнообразия микробиоты слепой кишки выявлено не было (таблица 107).

Таблица 107 – Индексы альфа-разнообразия микробиоты слепой кишки кур-несушек контрольной и опытных групп

Группа	Индексы		
	Chao1	Shannon	Simpson
Контроль	89±3	2,56±0,25	0,82±0,05
I опытная	89,7±6,64	3,25±0,15	0,92±0,01
II опытная	89±3	2,84±0,21	0,86±0,02
III опытная	85,3±2,02	2,89±0,15	0,87±0,02
IV опытная	80±5,51	2,65±0,14	0,85±0,03
V опытная	76,7±3,17	2,66±0,18	0,84±0,04
VI опытная	79,3±7,83	2,79±0,08	0,87±0,01

2.3.3.7 Оценка качества яйца

Применение ОКД1 и ОКД3 в комбикормах, позволило повысить массу получаемого яйца и его составных частей (таблица 108).

Таблица 108 – Морфометрические характеристики яиц, снесенных несушками в различном возрасте

Показатель	Группа						
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	контроль
Возраст кур-несушек 16-20 недель							
масса яйца	47,57 ±0,62	51,24 ±0,79	49,46 ±0,50	51,11 ±1,00	50,00 ±0,86	50,06 ±0,73	49,02 ±0,89
масса белка	27,73 ±0,64	31,24 ±1,14	30,36 ±0,51	30,36 ±1,08	29,96 ±0,92	30,60 ±0,91	29,69 ±0,93
масса желтка	12,59 ±0,24*	17,93 ±2,00*	12,67 ±0,44	12,54 ±0,34	12,50 ±0,38	12,46 ±0,48*	11,97 ±0,22
масса скорлупы	7,32 ±0,11*	7,62 ±0,17*	7,35 ±0,12*	7,66 ±0,17*	7,43 ±0,13*	7,38 ±0,13*	6,85 ±0,16
Возраст кур-несушек 21-25 недель							
масса яйца	52,47 ±0,94	54,93 ±0,64	55,59 ±0,42	52,15 ±1,17	50,20 ±1,22	63,08 ±2,29	55,92 ±0,69
масса белка	31,38 ±0,66	32,48 ±0,56	32,60 ±0,54	30,73 ±0,79	28,78 ±0,88	36,18 ±3,16	33,14 ±0,56
масса желтка	13,21 ±0,23	14,39 ±0,32	14,21 ±0,24	14,19 ±0,55	13,68 ±0,29	18,42 ±2,30	14,25 ±0,42
масса скорлупы	7,88 ±0,31	8,05 ±0,36	8,78 ±0,51	7,23 ±0,31	7,73 ±0,28	8,48 ±0,46	8,54 ±0,25
Возраст кур-несушек 26-30 недель							
масса яйца	56,82 ±1,44	58,66 ±0,70	60,32 ±1,08	57,27 ±0,76	56,77 ±1,19	60,46 ±0,71*	56,58 ±1,63

Продолжение таблицы 108

масса белка	30,40 ±1,02	32,09 ±0,98	32,79 ±0,77	28,63 ±1,21*	28,03 ±1,09*	32,67 ±0,72	31,79 ±0,59
масса желтка	18,41 ±0,84	18,19 ±0,46	18,57 ±0,91	18,69 ±0,47*	17,21 ±0,62	19,15 ±0,77*	16,38 ±0,78
масса скорлупы	8,59 ±0,19*	8,38 ±0,17*	8,96 ±0,29*	8,64±0,11 *	8,67 ±0,15*	8,56 ±0,13*	7,51 ±0,14
Возраст кур-несушек 31-35 недель							
масса яйца	55,00 ±1,03	57,89 ±0,84	58,99 ±0,50*	55,98 ±1,51	56,30 ±1,85	60,76 ±1,31*	55,90 ±1,09
масса белка	30,40 ±1,02	32,67 ±0,56	32,94 ±1,11	31,22 ±0,57	30,29 ±1,50	33,38 ±1,28	30,94±0,6 9
масса желтка	18,11 ±0,90	17,02 ±0,54	17,11 ±1,00	17,10 ±1,14	17,88 ±0,41	18,79 ±0,97	16,53 ±0,67
масса скорлупы	8,10 ±0,19	8,19 ±0,17	8,94 ±0,29	8,23 ±0,11	8,12 ±0,15	8,60 ±0,13	7,88 ±0,14
Возраст кур-несушек 36-40 недель							
масса яйца	53,95 ±0,52*	58,05 ±0,29*	58,82 ±0,35*	59,17 ±1,53*	58,96 ±0,21*	58,19 ±1,41*	55,63 ±0,20
масса белка	30,40 ±1,02	32,77 ±1,11*	29,51 ±0,50	30,29 ±1,14	32,77 ±0,44*	30,50 ±1,41*	30,17± 0,13
масса желтка	17,50 ±0,22	16,86 ±1,21	19,91 ±0,48	20,75 ±0,56	18,28 ±0,32	19,43 ±0,13	16,77 ±0,21
масса скорлупы	7,69 ±0,19	8,81 ±0,17*	9,40 ±0,29*	8,13 ±0,11	7,92 ±0,15	8,27 ±0,13	7,99 ±0,14

увеличило толщину скорлупы (таблица 109), тем самым повысив её прочность.

Таблица 109 – Толщина скорлупы яиц, снесенных несушками в различном возрасте

Возраст кур, нед	Группа						контроль
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	
16-20	0,405 ±0,007	0,404 ±0,006	0,407 ±0,005*	0,406 ±0,004*	0,404 ±0,007	0,407 ±0,005*	0,390 ±0,005
21-25	0,397 ±0,000*	0,398 ±0,005*	0,414 ±0,004*	0,392 ±0,004*	0,386 ±0,006	0,394 ±0,005*	0,376 ±0,006
26-30	0,409 ±0,006*	0,424 ±0,005*	0,432 ±0,009*	0,401 ±0,004	0,411 ±0,010*	0,408 ±0,006*	0,395 ±0,003
31-35	0,364 ±0,008	0,359 ±0,010	0,364 ±0,007	0,357 ±0,010	0,359 ±0,008	0,390 ±0,009	0,348 ±0,007
36-40	0,376 ±0,007*	0,367 ±0,009	0,377 ±0,002*	0,361 ±0,007	0,371 ±0,006*	0,370 ±0,008	0,347 ±0,008

Единицы Хау, характеризующие качество белка, были так же выше в опытных группах (таблица 110).

Таблица 110 – Качество белка в единицах Хау

Возраст кур, нед	Группа						
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	контроль
16-20	89,80 ±0,82	89,08 ±1,15	83,87 ±1,45*	89,59 ±1,02	94,13 ±0,79	88,03 ±0,99*	89,11 ±1,01
21-25	97,31 ±1,15*	93,86 ±0,89	96,39 ±0,79*	95,19 ±0,83*	97,78 ±0,73*	94,81 ±0,94*	91,25 ±0,88
26-30	94,55 ±1,54	95,17 ±2,71	95,15 ±2,19	91,70 ±1,15*	91,22 ±6,89	87,52 ±2,28	82,36 ±1,16
31-35	95,03 ±1,18*	88,83 ±2,55*	93,71 ±3,34*	93,51 ±1,91*	89,74 ±2,91*	90,22 ±2,59*	82,36 ±1,16
36-40	77,76 ±0,72*	86,87 ±2,25	82,47 ±1,10	86,72 ±1,31*	84,87 ±1,02	84,83 ±0,81	82,15 ±1,13

2.3.3.8 Оценка остеометрических и прочностных показателей большеберцовой и бедренной костей кур-несушек

Применение ОКД1 отразилось на увеличении дистального эпифиза большеберцовой кости, а использование ОКД3 отразилось на увеличении ее массы и объема. ТДУ и индекс *Seedor* был выше контроля на фоне применения ОКД3 в количестве 10% (таблица 111).

Таблица 111 – Морфометрические параметры костей кур-несушек (20 недельный возраст)

Показатель	Группа						
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	Конт-роль
Берцовая кость							
Масса, г	10,24 ±0,57	10,0 ±0,28	10,1 ±0,51	9,57 ±0,34	9,73 ±0,45	9,45 ±0,22	9,81 ±0,18
Длина, мм	117,9 ±0,47 ^a	119,5 ±1,10 ^{***}	115,9 ±1,02	116,9 ±0,77	115,3 ±3,04	118,4 ±1,06 ^a	114,9 ±0,97
Диафиз, окружность, мм	25,9 ±0,54 ^{**}	25,0 ±0,31	24,0 ±0,58	24,3 ±0,16 ^{*,**}	25,9 ±0,55	25,1 ±0,28	24,8 ±0,12
Проксимальный эпифиз, мм	15,4 ±0,22 ^a	13,3 ±0,36 ^{***}	15,0 ±0,43	15,1 ±0,21	15,3 ±0,38	14,9 ±0,30	14,2 ±0,39
Дистальный эпифиз, мм	18,3 ±0,38	18,2 ±0,28	17,8 ±0,28	18,0 ±0,47	18,5 ±0,40	17,8 ±0,57	18,3 ±0,36
Объем, мл	9,6 ±0,37	9,4 ±0,18 ^a	9,1 ±0,23	8,8 ±0,22	9,05 ±0,47	8,51 ±0,07	8,81 ±0,14
Плотность, г/см ³	1,06 ±0,03	1,06 ±0,01	1,11 ±0,04	1,09 ±0,01	1,08 ±0,01 ^a	1,11 ±0,02	1,11 ±0,01
ТДУ, %	22,0 ±0,44	21,0 ±0,29	20,8 ±0,60	20,8 ±0,24 [*]	22,5 ±0,50 ^{***}	21,2 ±0,22	21,6 ±0,23
Индекс Сидора, мг/мм	86,8 ±4,63	83,7 ±1,76	87,4 ±4,31	81,9 ±3,37	84,3 ±2,85	79,8 ±1,31 ^a	85,4 ±1,54

	Бедренная кость						
Масса, г	7,3 ±0,46	7,5 ±0,23	7,80 ±0,44 ^a	7,04 ±0,29	7,05 ±0,20	6,8 ±0,20	7,50 ±0,26
Длина, мм	79,1 ±4,92	83,9 ±0,46	83,14 ±0,66	82,8 ±0,35	82,0 ±1,37	83,7 ±0,90 ^a	81,2 ±0,61
Диафиз, окружность, мм	28,0 ±0,16	26,9 ±0,20	26,0 ±0,51	26,7 ±0,37	27,3 ±0,66	27,2 ±0,38	27,2 ±0,37
Проксимальны й эпифиз, мм	15,7 ±0,32 ^a	15,4 ±0,51	15,2 ±0,28	14,9 ±0,31	14,8 ±0,36	14,5 ±0,27	14,5 ±0,31
Дистальный эпифиз, мм	17,6 ±0,36	17,2 ±0,76	19,3 ±0,69	19,5 ±0,17 ^{**}	17,8 ±0,77	18,2 ±0,54	17,8 ±0,17
Объем, мл	7,33 ±0,20	7,34 ±0,12	7,08 ±0,25	6,96 ±0,21	7,09 ±0,31	6,88 ±0,12	7,37 ±0,19
Плотность, г/см ³	0,99 ±0,04 ^{**}	1,02 ±0,02 ^{***}	1,10 ±0,02	1,01 ±0,01	1,00 ±0,02	0,99 ±0,02	1,02 ±0,05
ТДУ, %	36,3 ±3,24	32,0 ±0,19 ^a	31,2 ±0,72	32,3 ±0,51	33,3 ±0,58	32,6 ±0,52	33,5 ±0,57
Индекс <i>Seedor</i> , мг/мм	95,8 ±12,37	88,9 ±2,43	93,8 ±5,06	85,0 ±3,33	85,9 ±1,54	81,5 ±1,54	92,4 ±3,09

Наблюдается достоверное увеличение продольной прочности большеберцовой кости с повышением доли ОКДЗ и ОКД1 в рационе от 20 до 30% (рисунок 109). В группе, получавшей 30% ОКДЗ зафиксирована максимальная прочность костной ткани – значения компрессионной нагрузки на 60% выше контрольной группы. При введении ОКД2 в количестве 20% выдерживаемая нагрузка на берцовую кость увеличилась на 29,6%, а в VI опытной группе на 25,6% ($p \leq 0,05$).

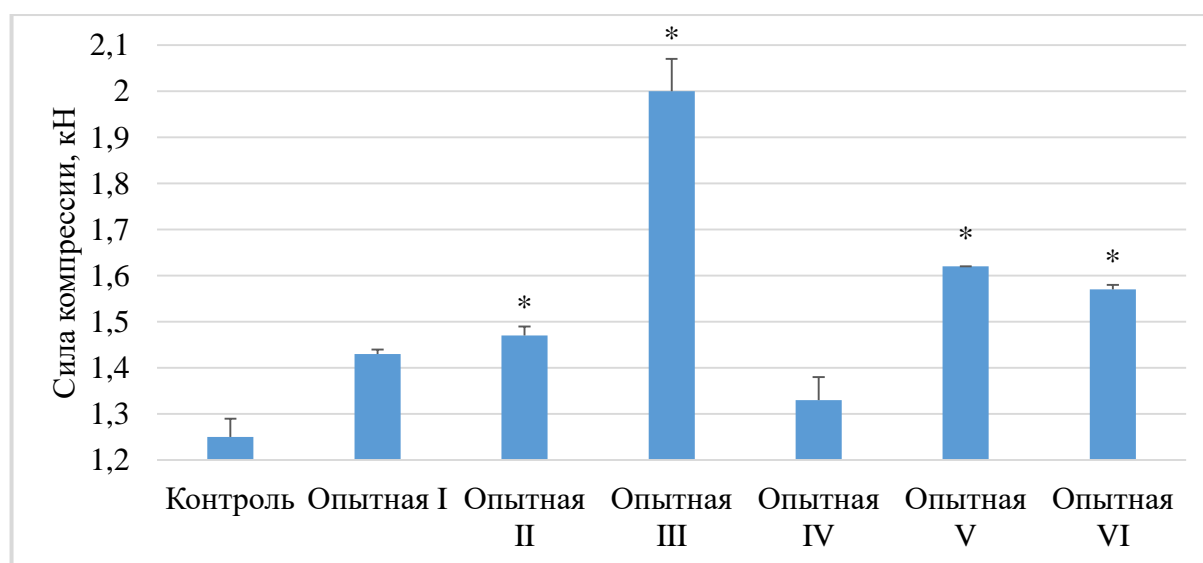


Рисунок 109 – Максимально выдерживаемая продольная компрессионная нагрузка на центр диафиза берцовой кости (20 недель), кН

Замена 20% кормового CaCO_3 на ОКДЗ привела к совместному повышению уровней Ca и Mg в берцовой кости, в других случаях совместного изменения не наблюдалось (таблица 112). При этом в костях II и III опытных групп содержание кальция было выше контроля на 2,8-3,2% соответственно ($p \leq 0,05$). Введение кормовой добавки содержащей цитрат кальция увеличивало содержание Ca только при 30%ой замене. Меньшие дозировки, наоборот, снизили концентрацию этого элемента в IV и V группах. Содержание Mg во всех опытных группах было выше контроля, достоверные изменения фиксировались во II и IV группах, получавших 20% ОКДЗ и 10% ОКД1.

Таблица 112 – Среднее содержание Ca и Mg в обезжиренных образцах берцовых костей (20 недель), мг/кг

Группа	Ca , мг/кг	Mg , мг/кг
Контроль	215218 ± 6328	3524 ± 99
I опытная	214111 ± 5682	3674 ± 101
II опытная	$221230 \pm 6277 *$	$3863 \pm 119 *$
III опытная	$222129 \pm 6004 *$	3613 ± 102
IV опытная	213885 ± 6083	$3735 \pm 146 **$
V опытная	$211501 \pm 6167 *$	3839 ± 134
VI опытная	$218731 \pm 6188 *$	4080 ± 170

В возрасте 40 недель сохранялась тенденция к увеличению продольной прочности большеберцовой кости относительно контрольной группы во всех опытных группах. Значимое увеличение показала группа, получавшая ОКД1 в 30% дозировке (рисунок 110).

Оценивая полученные результаты необходимо отметить, что наблюдается ожидаемое возрастное снижение ее прочности во всех группах относительно 20 недель. Так в контрольной группе прочность кости в 40 недель снизилась на 18%. В группах, получавших в качестве источника кальция ОКДЗ в дозировках 10-20% снижение прочности, составляет 11,5-7,1 соответственно. А при введении 30% ОКДЗ выдерживаемая к 40 неделям нагрузка снизилась на 44% и почти достигла значения в контрольной группе.

Сходная картина и в группах, получавших ОКД1 в дозировках 10-20%, снижение прочности большеберцовой кости составляет 12,4-22,9% соответственно, относительно прочности кости в 20 недель.

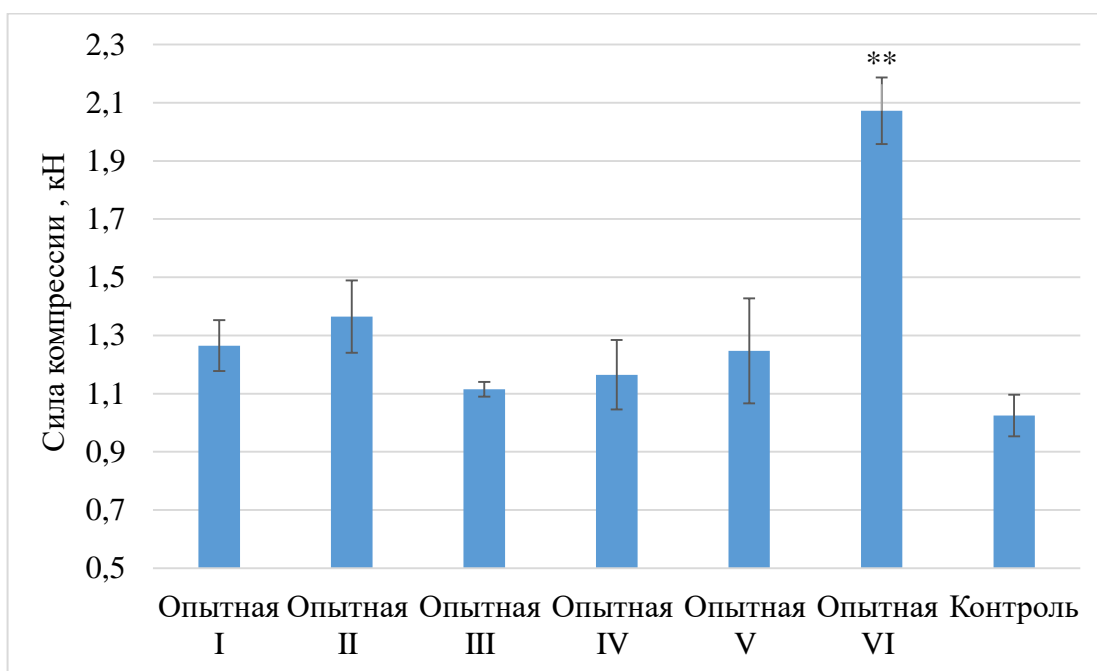


Рисунок 110 – Максимально выдерживаемая продольная компрессионная нагрузка на центр диафиза берцовой кости (40 недель), кН

Однако, именно в этой серии введение 30% дозировки увеличивает выдерживаемую нагрузку в конце эксперимента на 32%.

При этом и в 20 и в 40 недель мы видим однозначное положительное действие применения ОКД3 и ОКД1 на костную ткань, в виде повышения силы выдерживаемой компрессии относительно контрольной группы.

В 40 недель содержание Са в большеберцовой кости достоверно снижено на 12,4% ($p \leq 0,05$) в группе, получавшей ОКД3 в дозировке 10%. В группе, получавшей ОКД3 в дозировке 20 % повышение содержания Mg на 17%.

Применение ОКД1 в рационах кур-несушек на этапе формирования костной ткани положительно сказалось на концентрации Са и Mg (таблица 113). Увеличение дозировок ввода с 10 до 30% увеличивает концентрацию кальция на 3,1; 8,6, 17,4% ($p \leq 0,01$) соответственно относительно контроля, с

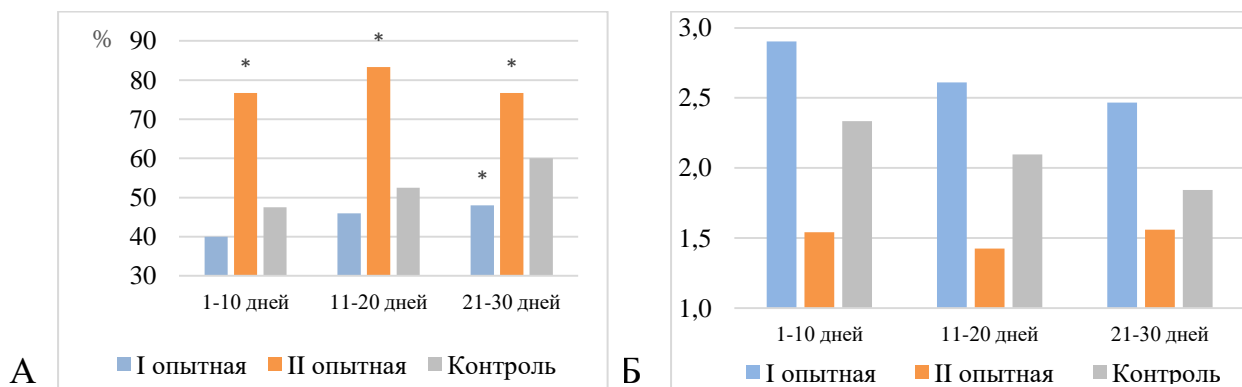
одновременным повышением содержания Mg в этих группах на 18,8, 24,3 ($p \leq 0,01$) и 40,4% ($p \leq 0,001$).

Таблица 113 – Среднее содержание Ca и Mg в обезжиренных образцах берцовых костей (40 недель), мг/кг

Группа	Ca	Mg
Контрольная	139327±5231	2457±98
I опытная	122078±4642*	2401±133
II опытная	140604±70789	2897±169
III опытная	127608±6575	2419±124
IV опытная	143610±6240	2919±164
V опытная	151371±3794	3055±93**
VI опытная	163521±1779**	3450±42***

2.3.4 Пилотные исследования по оценке влияния различных форм кальция на продуктивность и качество яичной скорлупы у кур-несушек после окончания производственного периода

Применение в рационе кальция цитрата в первом периоде исследования увеличивает ($p \leq 0,05$) интенсивность яйценоскости с 48 в контрольной группе до 77%, в следующие 10 дней показатель увеличился до 83% и третий период показал снижение интенсивности яйцекладки на 6% от максимального значения ($p \leq 0,05$) (рисунок 111А). Повышение продуктивности птицы II опытной группы происходило на фоне снижения коэффициента конверсии корма в продукцию, затраты корма на 10 яиц составляли от 1,4 кг до 1,6кг, значения контрольной группы от 1,8 до 2,3кг (рисунок 111 Б).



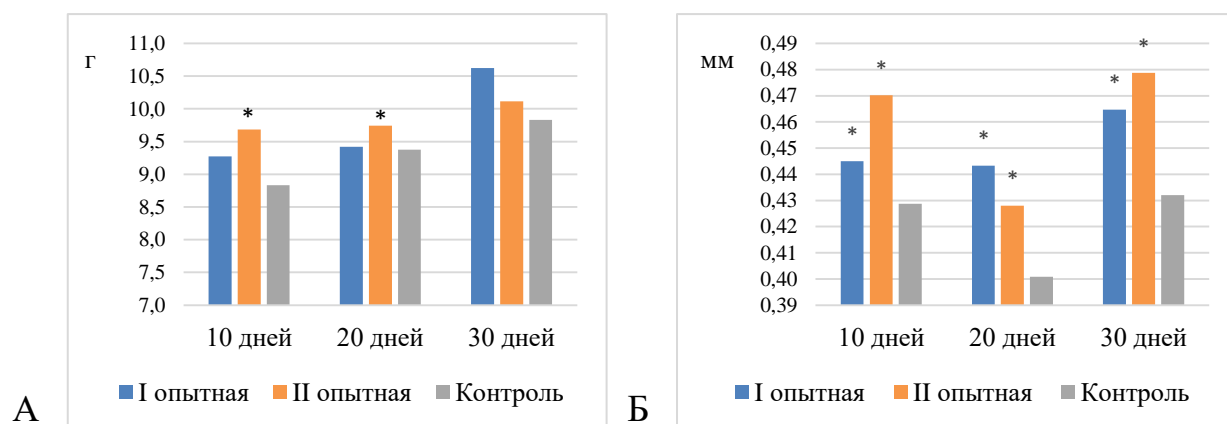
* $p \leq 0,05$

Рисунок 111 – Интенсивность яйценоскости кур-несушек, % (А), и затраты корма на производство 10 яиц, кг (Б)

Применение хлорида кальция в рационах кур-несушек на протяжении всего эксперимента подавляло продуктивность птицы относительно контрольной группы, достоверно снижая производительность до 48% ($p \leq 0,05$) к концу эксперимента. Проявилось ярко выраженное влияние дополнительного введения анионов в виде нарушения электролитного баланса, отмена препарата восстанавливала продуктивность кур-несушек. Потребление корма в этой группе, аналогично с результатами эксперимента на цыплятах бройлерах повышалось, расход кормов на производство 10 яиц составлял 2,5-2,9 кг.

Применение синтезированных кальциевых комплексов увеличивало качество скорлупы, хрупкость которой характерна для старых кур-несушек. Наблюдалась тенденция к увеличению ее массы, достоверные изменения ($p \leq 0,05$) фиксировались при введении ОКД1 на первом и втором периоде эксперимента до 9,6% (рисунок 112 А). Основным показателем прочности скорлупы - ее толщина составляла в этой группе 0,47-0,48 мм со снижением значения во втором периоде до 0,43 мм, при контрольных показателях 0,40-0,43.

Введение ОКД3 значимо не влияло на массу скорлупы, но зафиксированы достоверные изменения в ее толщине через 10 дней применения добавки с 0,43 до 0,45 мм, через 20 дней с 0,40 до 0,44 мм, и до 0,46 мм в третьем периоде исследований (рисунок 112Б).



* $p \leq 0,05$

Рисунок 112 – Масса (А) и толщина (Б) скорлупы яиц кур-несушек

Введение кальция в форме CaCl_2 в I опытной группе компенсировало возможное негативное воздействие хлорид-ионов на прочность яичной скорлупы. Наблюдалась оптимизация формы яйца, выраженная в увеличении индекса формы до 79,81 через 20 дней после окончания приема добавки (таблица 114). В этот же период в группе наблюдалось улучшение качества белка единицы Хау достигали значения 96,41, что составляет разницу в 2,7 единиц с контролем.

Таблица 114 – Качественные показатели яиц кур-несушек

Показатель	Группа		
	I опытная	II опытная	Контрольная
10 день эксперимента			
Индекс формы	79,49±1,16*	75,63±1,08	74,02±1,11
Индекс удлинённости	1,26±0,02	1,29±0,01	1,35±0,04
Площадь скорлупы	7,96±0,11	7,91±0,04	7,78±0,07
Плотность яйца	1,10±0,01	1,09±0,00	1,10±0,01
Единицы Хау	93,64±1,03	96,05±1,06*	91,27±0,98
20 день эксперимента			
Индекс формы	76,65±1,00	79,08±0,73*	76,59±0,74
Индекс удлинённости	1,31±0,02	1,27±0,01*	1,31±0,01
Площадь скорлупы	8,03±0,13*	7,61±0,18	7,42±0,13
Плотность яйца	1,11±0,01	1,16±0,00*	1,12±0,01
Единицы Хау	96,41±0,77*	94,21±0,66	93,70±0,16
30 день эксперимента			
Индекс формы	79,81±3,45	78,42±1,19	76,45±1,41
Индекс удлинённости	0,75±0,31	1,28±0,02	1,31±0,02
Площадь скорлупы	8,41±0,09*	8,16±0,27	7,92±0,09
Плотность яйца	1,12±0,06	1,14±0,03*	1,05±0,02
Единицы Хау	92,12±1,14	95,94±1,14*	90,76±1,17

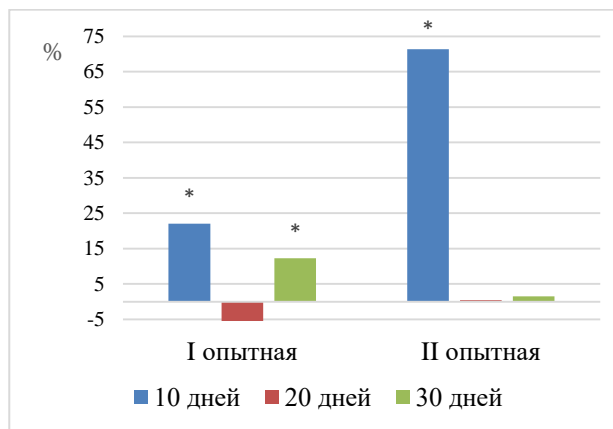
Во II опытной группе индекс формы достигал максимального значения во 2 период исследования и составил 79,08. Плотность яйца увеличивалась на 20-й день до 1,16 против 1,12 в контроле ($p \leq 0,05$), на 30-й день показатель составил 1,14 против 1,05 в контроле ($p \leq 0,05$). Качество белка менялось в первом периоде исследований индекс Хау – 96,05 против 91,27 в контроле ($p \leq 0,05$), в третьем периоде 95,94 против 90,76 ($p \leq 0,05$).

Влияние различных форм кальция отразилось и на химическом составе содержимого яйца. Для всех опытных групп максимальное действие исследуемого фактора проявляется на 10-й и 30-й день после начала приема добавки. На 20-й день наблюдалось снижение всех исследуемых показателей (рисунок 113).

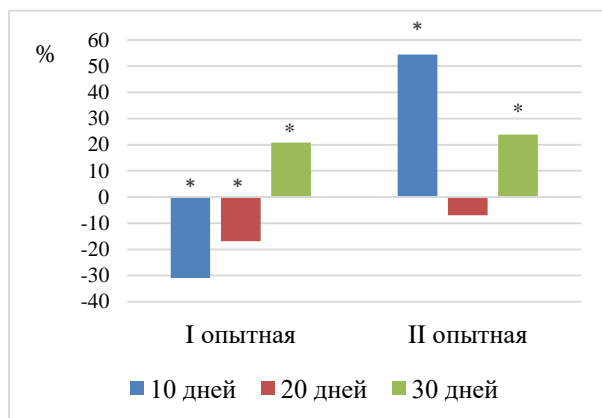
Содержание белка в яйце превышало значения контрольной группы во всех периодах исследования во II опытной группе, а в I опытной – лишь на 10-й и 30-й день эксперимента (рисунок 113А).

Содержание жира было максимальным при введении органической формы кальция (II опытная группа) на 10-й день (рисунок 113Б). Известно, что ОКДЗ в рационе птиц способствует снижению отложения жира в тканях, а также уровня липидов в крови; в нашем случае содержание жира в яйце было наименьшим в период введения ОКДЗ. Через 20 дней после окончания приема добавок содержание жира в опытных группах достоверно ($p \leq 0,05$) превосходило контроль на 20,8 и 23,8%.

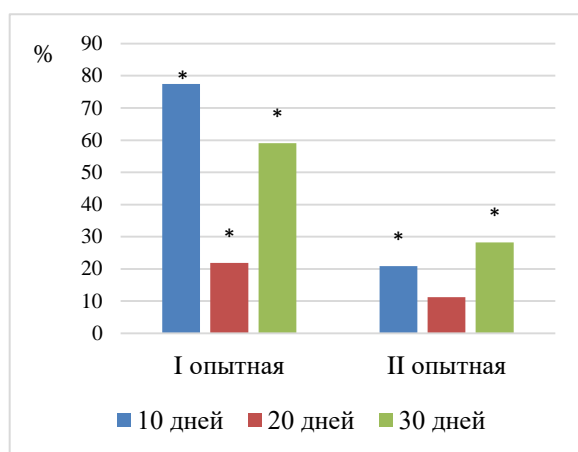
Содержание витамина А в опытных группах был достоверно ($p \leq 0,05$) выше контроля на всех этапах эксперимента (рисунок 113В). Использование ОКДЗ (I опытная группа) способствовало увеличению количества витамина Е в первый и второй учетный периоды, а ОКД1 (II опытная группа) снизил концентрацию данного витамина (рисунок 113Г).



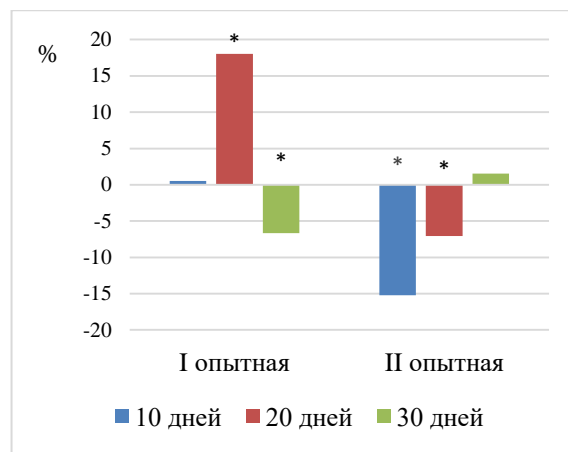
А



Б



В



Г

* $p \leq 0,05$

Рисунок 113 – Разница в химическом составе содержимого яиц опытных групп в сравнении с контролем (в %) по периодам эксперимента: белок (А), жир (Б), витамин А (В), витамин Е (Г)

Таким образом внедрение органических, высокобиодоступных форм кальция (в частности, ОКД1) для кур-несушек в конце продуктивного цикла позволяет: - продлить период рентабельной яйцекладки у старых несушек, отодвигая момент плановой замены поголовья; -снизить потери от боя яиц за счет увеличения плотности/прочности скорлупы (показатель плотности вырос до 1,16); повысить товарную категорию яиц за счет стабильно высоких показателей белка (единицы Хау >95); производить яйцо с улучшенным составом (повышенное содержание белка и витамина А), что позволяет позиционировать его как продукт премиум-сегмента.

2.4 Биологическая оценка ультрадисперсных частиц кальция

2.4.1 Результаты лабораторных исследований

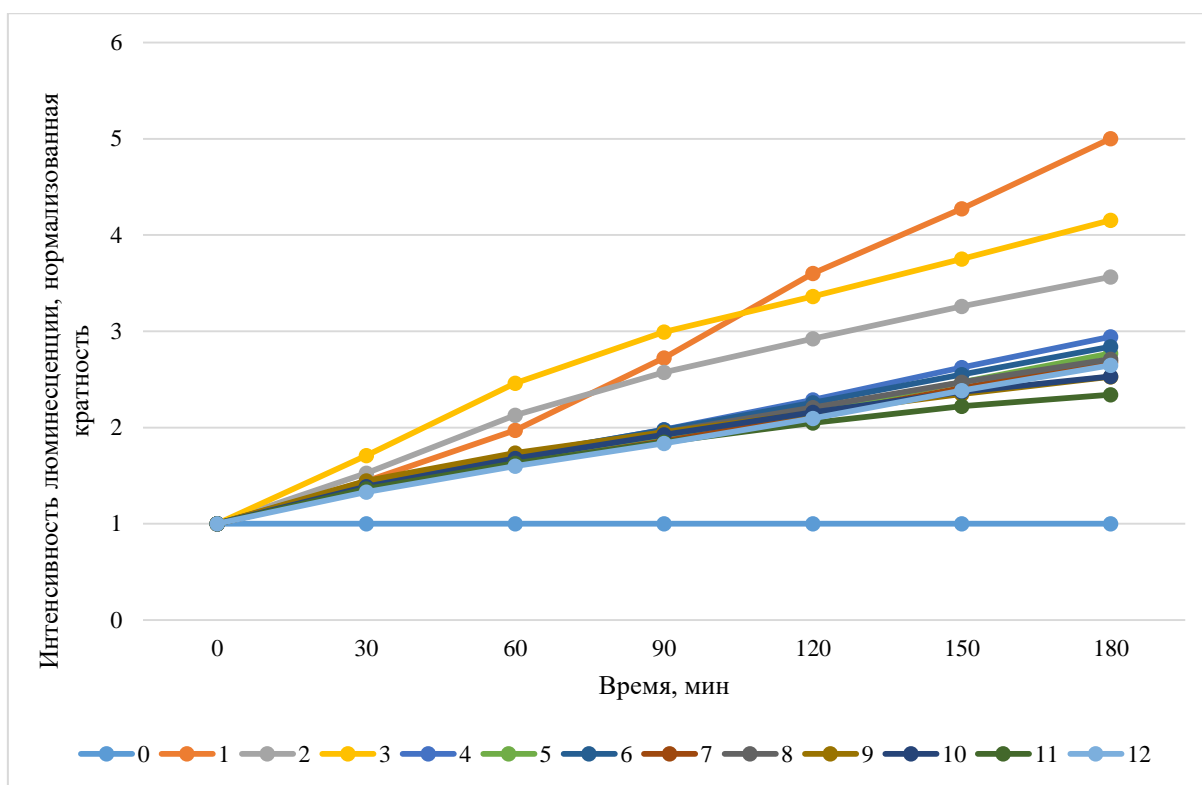
2.4.1.1 Биологическая оценка УДЧ кальция на модели бактериальной-люминесцентной тест-системы

Установлено, что все исследуемые дозировки УДЧ кальция стимулировали свечение бактериального штамма – ингибирующих значений не выявлено. УДЧ кальция в концентрациях от $4,70 \times 10^{-5}$ до 0,096 мг/мл, стимулировали свечение, соответственно, в пределах от 109,2 до 269,1; от 107,4 до 165,6 и от 234,2 до 500,4 %. При этом максимальным пребиотическим эффектом обладала дозировка 0,096 мг/мл (таблица 115, рисунок 114).

Таблица 115 – Нормализованное значение относительной биолуминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 при внесении различных дозировок УДЧ кальция

Время, мин	Концентрация, мг/мл												
	9,6× 10 ⁻²	4,8× 10 ⁻²	2,4× 10 ⁻²	1,2× 10 ⁻²	6,0× 10 ⁻³	3,0× 10 ⁻³	1,5× 10 ⁻³	7,2× 10 ⁻⁴	3,7× 10 ⁻⁴	1,8× 10 ⁻⁴	9,4× 10 ⁻⁵	4,7× 10 ⁻⁵	Контроль
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
30	144,2	152,6	170,9	139,4	140,9	141,3	136,0	143,2	144,5	138,6	136,2	132,9	100
60	197,0	212,8	246,2	170,1	168,1	171,3	162,0	171,4	173,5	167,9	162,8	160,0	100
90	272,4	257,3	299,5	197,8	190,5	197,5	185,9	195,2	195,2	192,4	185,0	183,4	100
120	360,1	292,4	336,1	228,7	217,1	225,8	212,1	220,8	215,3	215,7	204,7	209,4	100
150	427,4	325,8	375,1	262,3	246,9	255,2	241,0	247,0	234,8	237,2	222,1	238,5	100
180	500,4	356,4	415,4	294,3	276,9	284,0	268,4	271,1	252,8	253,2	234,2	264,8	100
Среднее	316,9	266,2	307,2	215,4	206,8	212,5	200,9	208,1	202,7	200,8	190,9	198,2	100

Примечание: Числовые значения соответствуют величине относительного значения биолуминесценции А (%). Цветовая заливка – показателям ● – NTOX⁺, ● – NTOX²⁺, ● – NTOX³⁺ и ● – NTOX⁴⁺, то есть концентрациям исследуемого вещества, стимулирующим свечение более чем на 5, 50, 100 и 400 %, соответственно.



Примечание: Концентрации исследуемого вещества (мг/мл): 0 – контроль; 1 – $9,6 \times 10^{-2}$; 2 – $4,8 \times 10^{-2}$; 3 – $2,4 \times 10^{-2}$; 4 – $1,2 \times 10^{-2}$; 5 – $6,0 \times 10^{-3}$; 6 – $3,0 \times 10^{-3}$; 7 – $1,5 \times 10^{-3}$; 8 – $7,2 \times 10^{-4}$; 9 – $3,7 \times 10^{-4}$; 10 – $1,8 \times 10^{-4}$; 11 – $9,4 \times 10^{-5}$; 12 – $4,7 \times 10^{-5}$

Рисунок 114 – Интенсивность люминесценции *Escherichia coli* K12 TGI при внесении различных доз глюконата кальция, нормализованная относительно контроля

2.4.2 Оценка влияния различных доз УДЧ кальция на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров

2.4.2.1 Корма и кормление подопытной птицы

Содержание обменной энергии в полнорационные комбикорма, использованных при проведении эксперимента, составляло 12,72 – 13,23 МДж/кг (таблица 116, 117).

При оценке потребления корма отмечается увеличение поедаемости стартового комбикорма в III и IV опытных группах на 3,9 и 8,0 % по сравнению с контрольной группой, соответственно.

Таблица 116 – Питательность и состав стартового комбикорма, г/кг

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса вещества
Состав комбикорма:		Глицина, %	0,52
Пшеница	467	Изолейцина, %	0,85
Кукуруза	100	Лейцина, %	1,43
Шрот соевый	210	Фенилаланина+тирозина, %	0,82
Шрот подсолнечный	75	Фенилаланина, %	0,49
Мука рыбная	48	Кальция, %	1,01
Масло подсолнечное	50	Фосфора, %	0,7
Монохлоргидрат лизина	2,3	Фосфора усв. %	0,45
DL-метионин	1,1	Натрия, %	0,22
L-треонин	0,9	Железа, мг	17,14
Соль поваренная	3,6	Меди, мг	2,42
Монокальций фосфат	8	Цинка, мг	11,42
Мел кормовой	6	Марганца, мг	22,86
Известняковая мука	8	Кобальта, мг	0,06
Сода пищевая	0,1	Йода, мг	0,38
БВМД ЭРА-2 (ВС-107)	20	Витаминов:	
В комбикорме содержится:		А, тыс МЕ	2,58
Обменная энергии, МДж/кг	12,72	Д, тыс МЕ	0,8
Сырого протеина, %	23,01	Е, мг	9
Сырой жир, %	9,75	В ₁ , мг	0,76
Сырой клетчатки, %	4,14	В ₂ , мг	1,6
Лизина, %	1,36	В ₃ , мг	3
Метионина, %	0,53	В ₄ , мг	60
Метионина+цистина, %	0,87	В ₅ , мг	9
Треонина, %	0,90	В ₆ , мг	1
Триптофана, %	0,29	В ₁₂ , мг	0,008
Аргинина, %	1,37	В _с , мг	0,6
Валина, %	0,98	Н, мг	0,04
Гистидина, %	0,24		

Внесение в рацион УДЧ в дозировке 0,4 г/кг - I опытная группа, напротив, снижает потребление корма на 4,4 % относительно контрольной группы (таблица 118).

Таблица 117 – Питательность и состав ростового комбикорма, г/кг

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса вещества
Состав комбикорма:		Кальция, %	0,8
Пшеница	323	Фосфора, %	0,65
Кукуруза	320	Натрия, %	0,24
Шрот соевый	145	Железа, мг	17,14
Шрот подсолнечный	70	Меди, мг	2,42
Мука рыбная	52,7	Цинка, мг	11,42
Масло подсолнечное	50	Марганца, мг	22,8
Монохлоргидрат лизина	0,1	Кобальта, мг	0,06
DI-метионин	0,1	Йода, мг	0,38
L-треонин	0,1	Витаминов:	
Соль поваренная	3	А, тыс МЕ	2,58
Монокальций фосфат	7	Д, тыс МЕ	0,80
Мел кормовой	3	Е, мг	9,00
Известняковая мука	5	В ₁ , мг	1,08
Сода пищевая	1	В ₂ , мг	0,76
БВМД ЭРА-2 (ВС-107)	20	В ₃ , мг	1,60
В комбикорме содержится:		В ₄ , мг	3,00
Обменной энергии, МДж/кг	13,23	В ₅ , мг	60,00
Сырого протеина, %	19,99	В ₆ , мг	9,00
Сырой клетчатки, %	3,66	В ₁₂ , мг	1,00
Сырой жир, %	7,5	В _с , мг	0,008
Лизина, %	1,02	Н, мг	0,60
Метионина, %	0,4		
Метионина+цистина, %	0,71		
Треонина, %	0,72		

Таблица 118 – Потребление кормов с учетом дифференцированного кормления, г/голову

Показатель	Группы				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Стартовый комбикорм	1487	1421	1476	1545	1606
Ростовой комбикорм	1266	1624	1451	1543	1544
Всего за эксперимент	2753	3045	2927	3088	3150

В ходе исследований было выявлено, что опытные группы превосходили по поедаемости контроль, в IV опытной на 14,4%, III на 12,2%, II - 6,3 %, I на 10,6%. Это обстоятельство отразилось на продуктивности подопытной птицы.

2.4.2.2 Рост и развитие подопытной птицы

Внесение в рацион цыплят-бройлеров УДЧ сопровождалось изменениями в динамике живой массы (таблица 119). Так, на второй неделе эксперимента максимальный ростовой эффект отмечен в I опытной группе, птица этой группы в среднем на 11,8 % превосходила контроль по живой массе. В то же время во II опытной группе, напротив, отмечалось снижение живой массы на 2,7 % по сравнению с контролем.

На третьей неделе динамика роста живой массы во всех опытных группах превосходила уровень контроля, а именно: в I опытной группе на – 31,2 % ($p \leq 0,05$), во II на – 7,2 %, в III на – 13,3 % ($p \leq 0,001$), в IV на – 12,2 % ($p \leq 0,001$).

Таблица 119 – Динамика живой массы цыплят-бройлеров в эксперименте, г

Группа	Неделя эксперимента				
	1	2	3	4	5
Контрольная	640,2 ±22,38	1081,3 ±27,93	1579,5 ±53,88	2275,8± 69,32	2298,5 ± 55,11
I опытная	693,75 ±37,08	1209,0 ±106,24	2073,0 ±62,30***	2718,7 49,19***	2867,0 ±31,76***
II опытная	695,75 ±49,94	1052,5 ±8,66	1693,3 ±25,82	2344,8± 58,66	2423,0 ±67,21
III опытная	695,75 ±39,76	1153,8 ±67,09	1790,3 ±66,95*	2496,3± 140,72	2613,7 ±57,50**
IV опытная	697,50 ±15,97	1132,0 ±38,97	1772,5 ±48,51*	2439,5± 61,48	2555,0 ±72,76*

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: * - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,05$

К концу исследования живая масса в I опытной группе превысила уровень контроля на 24,7 % ($p \leq 0,001$).

Таким образом, включение УДЧ в корм сопровождается повышением интенсивности роста цыплят-бройлеров. При этом, в концентрации 0,4 г/кг кормовая добавка обладает наибольшим ростостимулирующим эффектом.

Внесение в рацион 0,4 г/кг УДЧ (I опытная группа) приводит к увеличению прироста живой масса до 2,17 кг (таблица 120). Увеличение дозировки до 0,55 и 3,5 г/кг сопровождалось относительно менее значимым

ростом прироста живой массы на 4,2 и 12,0 %, однако затраты корма на 1 кг прироста при этом увеличиваются на 1,8 и 2,4 %, соответственно, относительно контрольной группы.

Таблица 120 – Прирост живой массы и затраты корма

Группа	Прирост живой массы за опыт		Затраты корма на 1 кг прироста	
	кг	% к контролю	кг	% к контролю
Контрольная	1,66±0,08	100,0	1,66	100,0
I опытная	2,17±0,11	130,7	1,40	84,3
II опытная	1,73±0,09	104,2	1,69	101,8
III опытная	1,92±0,10	115,7	1,61	96,9
IV опытная	1,86±0,09	112,0	1,70	102,4

При этом, внесение в рацион как 0,4 г/кг (I опытная группа), так и 0,7 г/кг (III опытная группа) УДЧ сопровождается наименьшими затратами корма и составляет 1,4 кг и 1,61 кг, что соответственно на 15,7 и 3,1 % меньше, чем в контрольной группе.

2.4.2.3 Морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров

При анализе биохимических показателей сыворотки крови, установлено увеличение уровня глюкозы в III опытной группе цыплят на 1,87% относительно контрольной птицы. В то время как в сыворотке крови птицы I, II и IV опытных группах уровень глюкозы снижался на 1,80, 1,29 и 4,67% ($p \leq 0,05$) соответственно, что обусловлено особенностями обмена, поступлением углеводов в организм, их метаболизма на уровне клеток и тканей (таблица 121).

Зафиксировано увеличение общего белка в сыворотке крови цыплят I и IV опытных группах на 11,30% ($p \leq 0,05$) и 3,84%, относительно контроля.

Повышенной активностью относительно контрольных показателей характеризовались ферменты АЛТ в IV опытной группе на 16,7%, АСТ

Таблица 121 – Биохимические показатели сыворотки крови цыплят-бройлеров

Показатель	Группа				
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Глюкоза, ммоль/л	13,91 ±0,23	13,66 ±0,24	13,73 ±0,35	14,17 ±0,64	13,26 ±0,10*
Общий белок, г/л	40,63 ±0,65	45,22 ±2,82	40,46 ±2,10	40,92 ±1,47	42,19 ±1,95
Альбумин, г/л	17,67 ±0,33	19,67 ±0,88	17,67 ±1,20	18,33 ±0,67	18,67 ±1,20
АЛТ, Ед/л	9,57 ±0,498	11,17 ±1,69**	12,97 ±0,59** *	12,93 ±1,88***	21,93 ±4,39**
АСТ, Ед/л	315,4 ±12,65	322,4 ±44,79	373,3 ±8,66**	331,7 ±11,76	355,4 ±75,48
Бил.общий, мкмоль/л	0,90 ±0,099	0,92 ±0,047	0,91 ±0,058	0,912 ±0,105	0,86 ±0,123
Бил.прямой, мкмоль/л	0,29 ±0,031	0,41 ±0,032*	0,37 ±0,009*	0,44 ±0,057	0,42 ±0,012**
Холестерин, моль/л	2,35 ±1,564	2,02 ±0,013	2,03 ±0,006	2,54 ±1,508	2,18 ±0,14
Триглицериды, ммоль/л	0,29 ±0,025	0,31 ±0,032	0,35 ±0,070	0,36 ±0,029	0,41 ±0,015**
Мочевина, ммоль/л/	0,17 ±0,067	0,13 ±0,033	0,13 ±0,033	0,10 ±0,000	0,60 ±0,351
Креатинин, мкмоль/л	25,83 ±0,809	22,83±0,617 *	19,57 ±1,683*	17,50 ±2,658*	19,10 ±1,212**
Щелоч.фосфатаза, Ед/л	1 49,7 ±31,9	1 93,1 ±7,3	1 13,2 ±28,2	1 30,1 ±12,4	1 21,1 ±15,5
Мочевая кислота, мкмоль/л	208,4 ±61,64	214,1 ±36,11	185,93 ±34,64	268,2 ±37,14	331,1 ±99,75
Fe, мкмоль/л	14,90 ±2,10	18,70 ±2,97	13,77 ±1,16	15,67 ±0,54	17,50 ±1,56
ЛДГ, Ед/л	1 372 ±148,8	1 735 ±281,9	1 786 ±161,6	1 541 ±159,4	3 341 ±1 115,0
Липаза, Ед/л	15,10 ±0,21	3,43 ±0,37***	5,37 ±0,79** *	4,30 ±0,55***	4,67 ±0,95***
Mg, ммоль/л	1,34 ±0,032	1,56 ±0,009***	1,57 ±0,03** *	1,59 ±0,003***	1,57 ±0,009** *
Ca, ммоль/л	3,69 ±0,143	4,62 ±0,247**	4,71 ±0,379* *	4,67 ±0,147*	6,39 ±2,056
P, ммоль/л	1,56 ±0,072	2,11 ±0,162*	2,07 ±0,212*	2,09 ±0,274*	1,67 ±0,557*

* p≤0,05, ** p≤0,01, *** p≤0,001

составили разницу с контрольными показателями во II опытной группе на 18,35 % ($p \leq 0,001$).

Важным аспектом идентификации работы печени является уровень билирубина в сыворотке крови цыплят-бройлеров. Детоксикация печени и выведение продуктов распада – необходимый элемент метаболизма, поскольку билирубин, как часть продукта эритроцитов, токсичный по своей природе, должен быть выведен из организма. Уровень общего и прямого билирубина в сыворотке крови снижался во всех опытных группах цыплят, что свидетельствует о нормальном билирубиновом обмене и отсутствии токсического влияния УДЧ глюконата кальция.

Пищеварительные ферменты – α -амилаза и липаза снижались в опытных группах. Амилаза, содержащаяся в крови животных, катализирует образование глюкозы и декстринов. Обычно гидролиз полисахаридов происходит при одновременном участии нескольких амилаз.

Анализ содержания мочевой кислоты в сыворотке крови экспериментальной птицы III и IV опытной группы показал, что уровень данного критерия был выше на 37,32% и 58,86 % относительно контроля. Это может говорить о негативном влиянии высоких доз препаратов.

У цыплят, получавших к основному рациону УДЧ глюконата кальция, отмечено снижение интенсивности липидного обмена в организме, что подтверждалось снижением холестерина в I и II опытной группах на 98,52% ($p \leq 0,001$).

Основные минеральные компоненты сыворотки крови опытных цыплят имели тенденцию к увеличению по сравнению с контрольными показателями.

Поддержание требуемой постоянной концентрации Са в крови необходимо для жизнедеятельности организма. При её снижении стимулируется костная резорбция кальция, что может привести к развитию рахита. Са увеличивался в IV опытной группе – на 73,17 % ($p \leq 0,001$).

Возникновению заболевания костей способствует и недостаточное обеспечение организма фосфором. Дефицит кальция и фосфора приводит к

перестройке скелета, размягчению и деформации костей, повышению активности щелочной фосфатазы и нарушению синтеза активных метаболитов. Высокий показатель Р был выше в I опытной группе на 26,07 % ($p \leq 0,001$).

Уровень Fe остается практически постоянным во всех исследуемых группах. Это свидетельствует о достаточном содержании этого элемента в организме в течение всего периода выращивания.

В ходе анализа морфологических показателей крови цыплят-бройлеров установлено, что не зависимо от концентрации ультраразмерного глюконата кальция, отмечено увеличение количества лейкоцитов во всех опытных группах относительно контроля (таблица 122).

Таблица 122 – Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров

Показатель	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Количество лейкоцитов, $10^9/\text{л}$, WBC	46,27 $\pm 4,5$	52,2 $\pm 4,12$	53,9 $\pm 2,89$	55,6 $\pm 8,01$	53,3 $\pm 3,31$
Доля лимфоцитов, %, LYM	53,3 $\pm 0,29$	51,5 $\pm 0,55^*$	52,1 $\pm 1,97$	52,5 $\pm 2,83$	53,1 $\pm 1,80$
Доля моноцитов, %, MID	7,2 $\pm 0,57$	8,6 $\pm 0,20$	7,6 $\pm 0,46$	6,7 $\pm 0,55$	7,3 $\pm 0,24$
Доля гранулоцитов, % GRAN	39,5 $\pm 0,39$	40,0 $\pm 0,53$	40,3 $\pm 1,57$	40,8 $\pm 2,99$	39,5 $\pm 1,56$
Количество эритроцитов, $10^{12}/\text{л}$, RBC	3,9 $\pm 0,02$	3,5 $\pm 0,24$	3,4 $\pm 0,28$	3,6 $\pm 0,30$	3,3 $\pm 0,28$
Количество гемоглобина, г/л, HGB	115,0 $\pm 2,52$	115,0 $\pm 4,00$	123,0 $\pm 3,79$	118,7 $\pm 4,10$	117,3 $\pm 4,98$
Количество тромбоцитов, $10^9/\text{л}$, PLT	109,0 $\pm 6,43$	124,3 $\pm 15,77$	114,3 $\pm 9,28$	122,7 $\pm 8,17$	137,7 $\pm 9,14^*$

* $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$

Максимальным увеличением лейкоцитов на 20,10 % характеризовалась III опытная группа и на 16,43 % – II и IV опытных. Самое высокое снижение количества эритроцитов составил во II (13,78%) и IV (15,56%) опытных

группах. Основная функция эритроцитов дыхательная, неразрывно связанная со свойствами содержащегося в них белка гемоглобина.

С содержанием эритроцитов положительно коррелирует содержание гемоглобина. Увеличение гемоглобина на 6,96% зафиксировано во II опытной группе, у остальных опытных групп цыплят изменений относительно контроля не наблюдалось.

Дополнительное введение УДЧ в форме глюконата кальция, повлияло на увеличение гематокрита во II опытной группе на 8,07% ($p \leq 0,05$) относительно контроля.

В структуре самой лейкограммы, отражающей процентное соотношение разных популяций лейкоцитов изменения от нормы, не регистрировались. Процентное соотношение лейкоцитов различных типов при определённых заболеваниях или состояниях организма может возрасти, а других – пропорционально снижаться. Установлено, что процент лимфоцитов относительно контрольной группы был ниже на 3,38 % в I опытной группе, на 2,14 % – во II опытной группе. При этом процент других лейкоцитов снижался относительно контроля во всех опытных группах.

Анализ количества тромбоцитов в крови цыплят IV опытной группы показал резкое увеличение их количества на 26,30 % ($p \leq 0,05$) относительно контроля. Тромбоциты принимают активное участие в свертывании крови и неспецифических защитных реакциях организма.

Таким образом, результаты исследования морфологического и биохимического состава крови показали, что при введении в рацион дозировок – 0,55 г/кг (II опытная) и - 0,7 г/кг (III опытная) группы УДЧ глюконата кальция положительно влияли на процессы метаболизма, увеличении эритро – и гемопоеза, превалированию анаболических реакций над катаболическими. При этом у цыплят-бройлеров I (0,4 г/кг) опытной группы существенно не отражалось на основных показателях метаболизма. IV опытная группа с дозировкой 3,5 г/кг, приводила к ухудшению параметров крови у цыплят белкового, углеводного и липидного обмена.

2.4.2.4 Переваримость питательных веществ корма

Переваримость питательных веществ корма является одним из основных критериев оценки кормового средства для животных. Как отражает процентное содержание питательных веществ, которые организм животного способен извлечь и усвоить из корма.

Анализируя переваримость питательных веществ при введении стартового рациона наблюдается увеличение показателей переваримости БЭВ и углеводов во всех опытных группах, а именно: в I группе на - 6,97 ($p \leq 0,05$) и 8,31 % ($p \leq 0,05$); во II группе на - 2,23 и 3,77 % ($p \leq 0,001$); в III на - 4,45 ($p \leq 0,01$) и 6,18 % ($p \leq 0,01$) и в IV на - 1,65 и 2,47 % по сравнению с контролем (таблица 123).

Таблица 123 – Коэффициенты переваримости питательных веществ стартового комбикорма, %

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Органическое вещество	80,51 ±1,15	87,41 ±0,03***	84,11 ±0,71*	85,04 ±0,29**	81,91 ±1,11
Сырой жир	87,83 ±0,72	90,31 ±0,02**	87,69 ±0,55	88,35 ±0,23	86,61 ±0,82
Сырой протеин	85,92 ±0,83	90,91 ±0,02***	90,07 ±0,44**	87,45 ±0,25	85,21 ±0,91
Сырая клетчатка	15,64 ±2,55	15,63 ±2,21	17,40 ±2,15	16,81 ±2,91	15,20 ±2,01
БЭВ	82,50 ±1,03	89,47 ±0,02***	84,73 ±0,68	86,95 ±0,26**	84,15 ±0,97

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: * - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,05$

Переваримость сырого жира увеличивается на 2,48 % ($p \leq 0,01$) при минимальной дозировке УДЧ (0,4 г/кг), а при скармливании максимальной (3,5 г/кг УДЧ), напротив снижается на 1,22 % относительно контрольной группы.

Переваримость сырого протеина увеличивается в I, II и III опытных группах на величину от 1,53 до 4,99 %, а в IV группе, напротив, недостоверно снижалась на 0,71 % по сравнению с контрольной группой. Переваримость

сырой клетчатки увеличивалась во всех опытных группах, с максимальным проявлением во II опытной группе (1,76 %). Но эти изменения оказались не достоверными.

В ходе исследования было выявлено, что внесение в ростовой рацион цыплят-бройлеров УДЧ сопровождается изменениями в переваримости питательных веществ корма (таблица 124).

Таблица 124 – Коэффициенты переваримости питательных веществ ростового комбикорма, %

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Органическое вещество	83,20 ±0,33	84,32 ±1,28	78,54 ±1,90*	86,21 ±0,40***	77,03 ±2,29*
Сырой жир	87,21 ±0,25	89,71 ±0,84*	86,85 ±1,16	93,20 ±0,20***	83,10 ±1,68*
Сырой протеин	82,92 ±0,34	83,01 ±1,39	76,09 ±2,12*	84,96 ±0,44**	77,92 ±2,20
Сырая клетчатка	15,69 ±1,86	17,29 ±3,60	15,24 ±3,51	13,60 ±2,82	13,15 ±3,64
БЭВ	85,46 ±0,29	86,69 ±1,09	80,95 ±1,69*	88,69± 0,33***	79,09 ±2,08*
Углеводы	82,83 ±0,34	84,10 ±1,30	77,95 ±1,95*	85,53 ±0,42**	76,18 ±2,37*

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: * - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,05$

Так, переваримость сырого жира, сырого протеина, сырой клетчатки, БЭВ и углеводов увеличивалась в I опытной группе на 2,5 ($p \leq 0,001$); 0,09; 1,6; 1,23 и 1,27 %, соответственно по сравнению с контролем.

При увеличении концентрации УДЧ до 0,55 г/кг (II опытная группа) переваримость жира, протеина, БЭВ и углеводов снижается на 0,36; 6,83 ($p \leq 0,001$); 4,51 ($p \leq 0,001$) и 4,88 % ($p \leq 0,001$) относительно контрольной группы.

При внесении 0,7 г/кг УДЧ (III опытная группа) наблюдается противоположный эффект: переваримость сырой клетчатки снижается на 2,09 %, а сырого жира, сырого протеина, БЭВ и углеводов увеличивается на 5,99

($p \leq 0,05$); 2,04 ($p \leq 0,01$); 3,23 ($p \leq 0,05$) и 2,7 % ($p \leq 0,001$) относительно сверстников в контроле.

При этом максимальная дозировка УДЧ (IV группа) снижает переваримость всех компонентов корма.

Сравнение двух групп, показавших наилучшие результаты (I и III опытные группы) показывает, что концентрации в 0,7 г/кг УДЧ обладает наибольшим эффектом, а именно, увеличивает коэффициент переваримости жира, протеина, БЭВ и углеводов на 3,49; 1,95; 2 и 1,43 % по сравнению с контрольной группой.

Таким образом, внесение в рацион УДЧ в дозировки 0,4 г/кг и 0,7 г/кг способствует наилучшему перевариванию компонентов корма, что позволяет снизить расход корма и улучшить продуктивность сельскохозяйственной птицы.

Введение УДЧ в рацион цыплят-бройлеров оказывает положительное влияние на усвоение минеральных веществ. Возможно, что причиной этого стала большая площадь поверхности ультрадисперсных частиц по сравнению с частицами корма, что способствует увеличению их растворимости и биодоступности в пищеварительном тракте.

Так, усвоение макроэлементов из комбикорма в первые две недели ввода УДЧ возрастает во всех опытных группах (таблица 125), в I опытной группе Са на - 20,5 % ($p \leq 0,05$), Р на - 68,2 % ($p \leq 0,05$), Mg на - 5,6 % ($p \leq 0,01$); во II группе Са на - 11,8 % ($p \leq 0,001$), Р на - 24,5 % ($p \leq 0,05$), Mg на - 8,7 % ($p \leq 0,01$); в III группе Са - на 16,7 % ($p \leq 0,05$), Р на - 26,3 % ($p \leq 0,05$), Mg на - 4,7 % ($p \leq 0,01$); в IV группе Са на - 16,8 % ($p \leq 0,01$), Mg на - 10 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем.

Уровень усвояемости микроэлементов - Zn и Cu также увеличивается в I, II, III и IV опытных группах на 15,9 ($p \leq 0,05$) и 3,6 % ($p \leq 0,05$); 16,2 ($p \leq 0,05$) и 3,4 % ($p \leq 0,05$); 17,7 ($p \leq 0,05$) и 0,4 %; 14,5 ($p \leq 0,01$) и 4 % ($p \leq 0,05$), соответственно, по сравнению с контролем.

Таблица 125 – Усвояемость химических элементов из корма, %

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
В стартовом рационе					
Ca	46,85 ±3,13	67,34 ±0,07***	58,67 ±1,85*	63,52 ±0,72***	63,65 ±2,23**
P	26,67 ±4,31	94,86 ±0,01***	51,18 ±2,19***	53,01 ±0,92***	26,22 ±4,53***
Fe	99,82 ±0,01	99,59 ±0,01***	99,56 ±0,02***	99,99 ±0,01**	100,00 ±0,01***
Mn	99,11 ±0,05	99,95 ±0,00***	99,61 ±0,02***	99,50 ±0,01***	99,82 ±0,01***
Pb	81,19 ±1,11	91,16 ±0,02***	93,05 ±0,31***	88,55 ±0,22***	91,02 ±0,55***
Cd	75,11 ±1,46	92,89 ±0,01***	87,08 ±0,58***	85,63 ±0,28***	89,89 ±0,62***
Mg	71,31 ±1,69	78,89 ±0,04**	79,97 ±0,90**	76,04 ±0,47*	81,36 ±1,14**
Zn	75,59 ±1,44	91,55 ±0,02***	91,77 ±0,37***	93,30 ±0,13***	90,48 ±0,58***
Cu	93,59 ±0,38	97,22 ±0,01***	97,03 ±0,13***	93,99 ±0,12	97,58 ±0,15***

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: * - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,05$

При смене рациона на ростовой происходит и изменение в усвояемости минеральных элементов в корме. Коэффициент переваримости Р достоверно увеличивается во всех группах в диапазоне от 0,71 до 24,8 % по сравнению с контролем. Уровень Mg увеличивается в III группе на 5,2 % ($p \leq 0,01$), в то время как во II и IV группах происходит снижение на 7,9 и 17 % ($p \leq 0,01$) относительно контрольной группы (таблица 126).

Биодоступность кадмия, который является токсичным элементом, снижается в I опытной группе на 0,4 %, во II группе на 2,6 %, в III на 0,2 % ($p \leq 0,001$) и в IV группе на – 5,7 % ($p \leq 0,01$) по сравнению с контрольной группой.

При сравнении опытных групп между собой мы отмечали увеличение усвоения Ca, при внесении УДЧ в дозировке 0,4 г/кг (I опытная группа), на 18,3 % ($p \leq 0,01$) по сравнению со II, на 4,7 % с III опытной группой и на 19 % ($p \leq 0,01$) - с IV группой.

Таблица 126 – Усвояемость химических элементов из ростового комбикорма, %

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Ca	75,59 ±0,88	75,01 ±2,05	56,67 ±3,84**	70,35 ±0,87**	55,96 ±4,38**
P	23,02 ±2,79	44,83 ±4,52**	23,73 ±6,76	47,12 ±1,54***	47,88 ±5,19**
Fe	99,79 ±0,01	99,85 ±0,01**	99,72 ±0,03*	99,95 ±0,00***	99,34 ±0,07***
Mn	98,87 ±0,04	98,71 ±0,11	99,05 ±0,08	99,47 ±0,02***	97,84 ±0,22**
Pb	78,22 ±0,79	84,50± 1,27**	87,19 ±1,14**	90,68 ±0,27***	91,68 ±0,83***
Cd	92,89 ±0,26	92,52 ±0,61	90,30 ±0,86*	92,66 ±0,21	87,18 ±1,28**
Mg	70,17 ±1,08	70,18 ±2,44	62,23 ±3,35	75,40 ±0,72**	53,15 ±4,67**
Zn	86,44 ±0,49	89,28 ±0,88*	99,48 ±0,05***	96,94 ±0,09***	91,49 ±0,85***
Cu	95,24 ±0,17	95,74 ±0,35	92,56 ±0,66**	96,69 ±0,10***	87,16 ±1,28***

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: * - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,05$

Биодоступность Mn была самой высокой при внесении УДЧ в дозе 0,7 г/кг (III группа), что превышает показатели в I, II и IV группах на 0,7 ($p \leq 0,01$); 0,42 ($p \leq 0,01$) и 1,63 % ($p \leq 0,05$) соответственно.

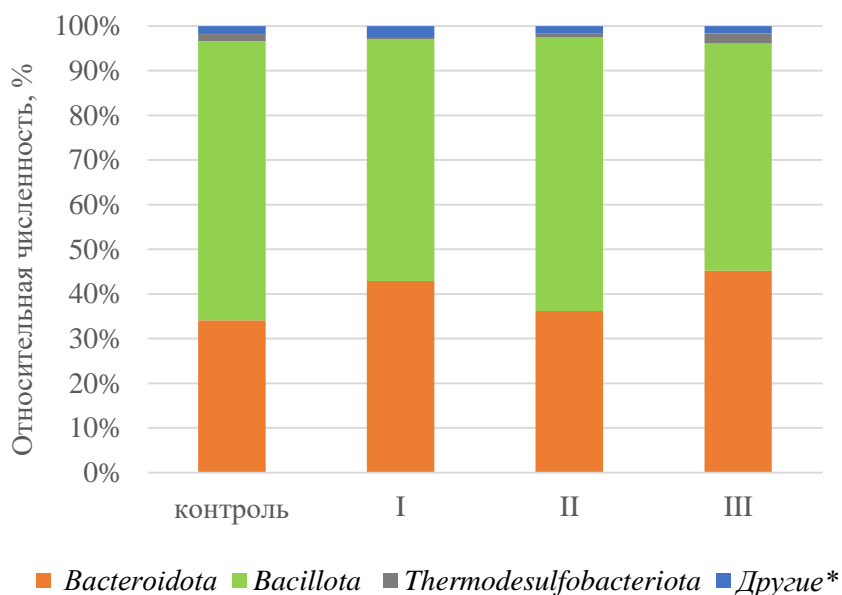
Таким образом, внесение в стартовый рацион УДЧ в любой из изучаемых дозировок положительно сказывается на усвояемости минеральных веществ в корме. Однако, с переходом на ростовой рацион наилучшим образом показали себя дозировки в 0,4 и 0,7 г/кг, что способствует оптимизации минерального обмена, который в конечном итоге приводит к повышению продуктивности птицы.

2.4.2.5 Оценка влияния УДЧ кальция на изменение микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров

Использование в рационе цыплят-бройлеров УДЧ Ca в диапазоне концентраций от 0,3 до 3,5 г/кг корма приводило к изменению

представленности отдельных таксономических групп бактерий в микробиоте слепой кишки.

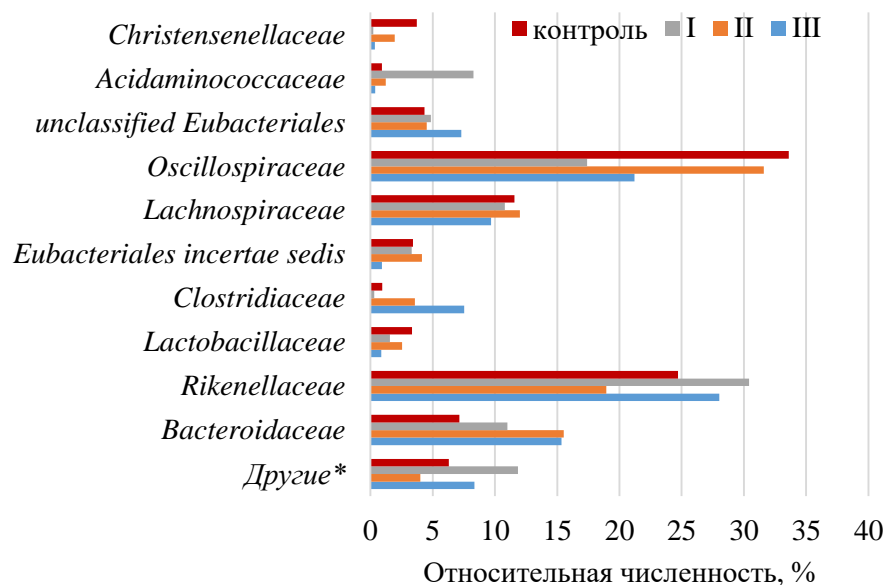
Применение УДЧ Са в дозе 0,4 г/кг корма способствовало снижению доли бактерий филума *Bacillota* (- 8,38 %) и повышению относительной численности микроорганизмов таксона *Bacteroidota* (+8,8 %) в микробиоте слепой кишки в сравнении с контролем (рисунок 115).



Примечание: *Другие** – в эту группу объединены таксоны, численность каждого из которых не превышает 2 % от общего числа бактерий

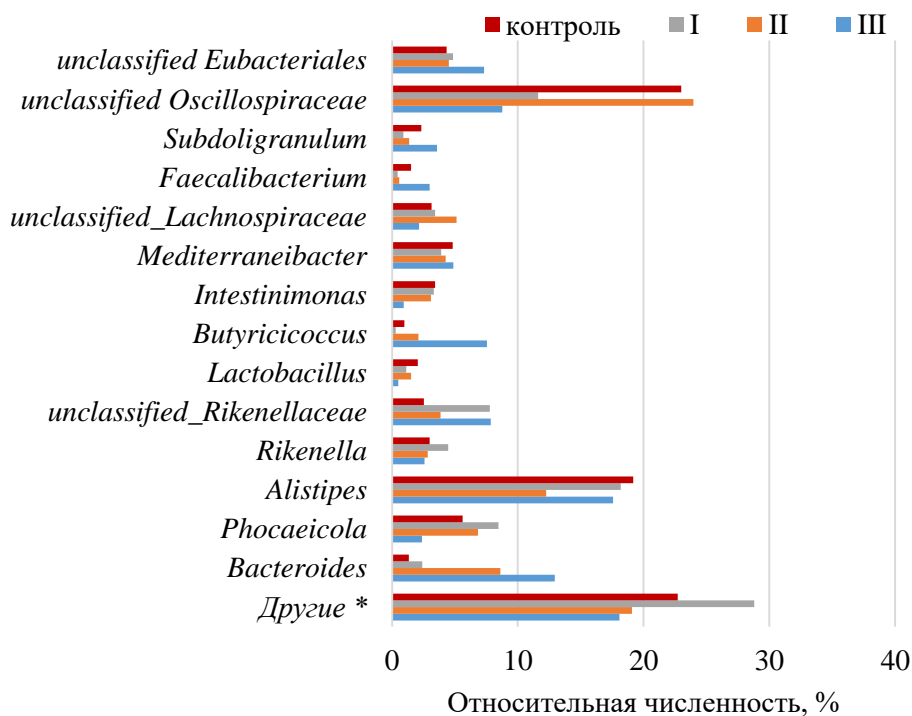
Рисунок 115 – Представленность основных таксономических групп (на уровне филумов) бактерий в микробиоте слепой кишки цыплят-бройлеров контрольной и опытных групп

На уровне семейства, в сравнении с контролем, в микробиоте слепой кишки отмечались изменения доли бактерии *Bacteroidaceae* (+3,87 %), *Rikenellaceae* (+5,72 %), *Oscillospiraceae* (-16,2 %), *Acidaminococcaceae* (+7,36 %) (рисунок 116). На уровне рода была выявлена более низкая доля бактерий *unclassified_Rikenellaceae* (+5,24 %), *Phocaeicola* (+2,85 %), *Phascolarctobacterium* (+7,37 %), и более высокая таксона *unclassified_Oscillospiraceae* (-11,4 %) (рисунок 117).



Примечание: другие*– в эту группу объединены таксоны, численность каждого из которых не превышает 2 % от общего числа бактерий

Рисунок 116 – Представленность основных таксономических групп (на уровне семейств) бактерий в микробиоте слепой кишки цыплят-бройлеров контрольной и опытных групп.



Примечание: другие*– в эту группу объединены таксоны, численность каждого из которых не превышает 2 % от общего числа бактерий

Рисунок 117 – Представленность основных таксономических групп (на уровне родов) бактерий в микробиоте слепой кишки цыплят-бройлеров контрольной и опытных групп.

Повышение содержания УДЧ Са в рационе цыплят-бройлеров до 0,7 г/кг корма не приводило к явно выраженным изменениям доли бактерий, доминирующих таксонов (на уровне филумов и классов) в микробиоте слепой кишки в сравнении с контролем. Однако в рамках филума *Bacteroidota*, в сравнении с контролем, была выявлена меньшая доля бактерий *Rikenellaceae* (р. *Alistipes*) и большая представленность микроорганизмов таксона *Bacteroidaceae* (р. *Bacteroides*).

Многократное увеличение дозировки - 3,5 г/кг корма приводило к схожим изменениям в микробиоте слепой кишки цыплят-бройлеров, как и в случае использования минимальной концентрации. Однако увеличение содержания УДЧ Са в рационе цыплят-бройлеров до 3,5 г/кг оказывало более выраженное воздействие на микробиоту слепой кишки в сравнении с дозировкой 0,4 г/кг. В микробиоте слепой кишки цыплят-бройлеров опытной группы, в сравнении с контролем, отмечалась большая доля бактерий *Bacteroidaceae* (+8,4 %), *Rikenellaceae* (+3,3%), *Clostridiaceae* (+6,57 %) и меньшая относительная численность микроорганизмов *Oscillospiraceae* (-12,4 %), *Lactobacillaceae* (-2,46 %). На уровне рода в микробиоте слепой кишки цыплят-бройлеров опытной группы, в сравнении с контролем, были выявлены различия в представленности родов *Bacteroides* (+11,6 %), *Phocaeicola* (-3,24 %), *unclassified_Rikenellaceae* (+5,32 %), *Intestinimonas* (-2,51 %), *Butyricicoccus* (+6,56 %), *unclassified_Oscillospiraceae* (-14,2%), *unclassified_Eubacteriales* (+2,96 %).

Анализ биоразнообразия микробиоты слепой кишки цыплят-бройлеров показал достоверное снижение показателей индекса Chao1 при внесении в рацион МАКГ в дозе 3,5 г/кг корма в сравнении с контролем (таблица 127).

Таблица 127 – Индексы альфа-разнообразия микробиоты слепой кишки цыплят-бройлеров контрольной и опытных групп

Группа	Индексы		
	Chao1	Shannon	Simpson
Контроль	317±11	4,37±0,06	0,97±0,0005
I	291,5±8,5	4,075±0,1	0,955±0,009
II	300±8	4,26±0,005	0,963±0,005
III	234±23	3,785±0,21	0,95±0,01

Оценка бета-разнообразия микробиоты слепой кишки цыплят бройлеров не выявила достоверных различий между опытными группами и контролем (рисунок 118).

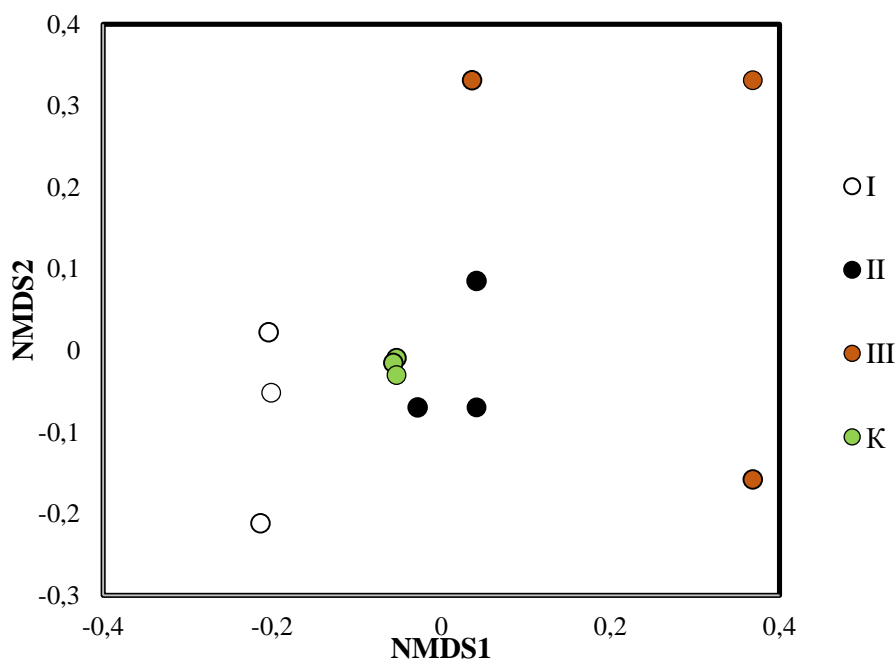


Рисунок 118 – Бета-разнообразие микробиоты слепой кишки контрольной и опытных групп

2.4.2.6 Химический и элементный состав тканей тела подопытных цыплят-бройлеров

В современном птицеводстве, интенсификация производства и стремление к повышению продуктивности требуют постоянного поиска новых методов и технологий кормления. Одним из перспективных направлений является использование ультрадисперсных материалов, в частности,

препаратов ультрадисперсного кальция (УДЧ). Последний, благодаря своим уникальным физико-химическим и биологическим свойствам, способен оказывать существенное влияние на организм цыплят-бройлеров, изменяя метаболические процессы и, как следствие, характеристики продукции.

Одним из ключевых аспектов воздействия препарата ультрадисперсного кальция на организм является высокая биодоступность кальция. В отличие от традиционных источников кальция, ультрадисперсные частицы обладают значительно большей поверхностью, что обеспечивает более эффективное всасывание в желудочно-кишечном тракте птицы. Это, в свою очередь, приводит к улучшению кальциевого обмена, необходимого для формирования костной ткани, регуляции нервной проводимости и поддержания кислотно-щелочного баланса.

Анализ результатов исследований показал, что внесение в рацион УДЧ приводит к изменениям состава тела экспериментальной птицы (таблица 128).

Таблица 128 – Химический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров

Показатель	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Массовая доля влаги, %	71,46 ±1,44	72,98 ±1,49	73,14 ±0,52	71,9 ±0,07	73,8 ±0,18
Массовая доля сухого вещества, %	28,5 ±1,44	27,0 ±1,49	26,8 ±0,52	28,03 ±0,07	26,16 ±0,18
Массовая доля жира, %	8,57 ±1,49	7,49 ±0,09	7,33 ±0,12	8,78 ±0,06	7,07 ±0,047
Массовая доля белка, %	20,94 ±1,56	20,51 ±1,29	21,24 ±0,18	19,98 ±0,51	20,42 ±0,13
Массовая доля золы, %	0,91 ±0,01	0,93 ±0,015	0,93 ±0,01***	0,91 ±0,006	0,93 ±0,01***

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: *** - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; * - $p \leq 0,05$

Так, массовая доля влаги увеличивается во всех опытных группах в диапазоне от 0,51 до 2,38 % по сравнению с контрольной группой. В это же время массовая доля жира в I; II и IV группе снижается на 1,08; 1,24 и 1,5 %, а в III группе, напротив, повышается на 0,21 % относительно сверстников в контроле. Уровень белка в мышечной ткани возрастает лишь во II опытной группе на 0,3 %, в то время как в остальных снижается в диапазоне от 0,43 до 0,96 % по сравнению с контрольной группой.

Внесение в рацион птицы различных дозировок УДЧ приводит к изменениям в элементном составе мышечной ткани (таблица 129). Так, концентрация магния достоверно увеличивается в I; II и III группах на 6,04 ($p \leq 0,01$); 5,9 ($p \leq 0,05$) и 17,6 % ($p \leq 0,05$), а в IV группе, напротив, снижается на 7,82 % ($p \leq 0,05$) относительно контрольной группы.

Таблица 129 – Концентрация химических элементов в мышечной ткани цыплят-бройлеров, мг/кг

Показатель	группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
железо	6,96 $\pm 0,688$	6,92 $\pm 0,07$	7,68 $\pm 0,05$	11,09 $\pm 0,01^*$	7,89 $\pm 0,228$
марганец	0,30 $\pm 0,058$	0,26 $\pm 0,01$	0,17 $\pm 0,01^{***}$	0,19 $\pm 0,02$	0,21 $\pm 0,005$
свинец	0,04 $\pm 0,015$	0,03 $\pm 0,01$	0,04 $\pm 0,01$	0,02 $\pm 0,01$	0,02 $\pm 0,003$
кадмий	0,01 $\pm 0,001$	0,01 $\pm 0,00^{***}$	0,12 $\pm 0,01$	0,02 $\pm 0,01^*$	0,01 $\pm 0,001^{**}$
цинк	34,45 $\pm 0,28$	35,25 $\pm 0,91$	39,15 $\pm 0,33^*$	39,55 $\pm 0,20^*$	40,24 $\pm 0,18^*$
медь	1,58 $\pm 0,05$	1,08 $\pm 0,085^{**}$	1,86 $\pm 0,03^{**}$	1,52 $\pm 0,04$	1,28 $\pm 0,05^{**}$
никель	0,04 $\pm 0,001$	0,04 $\pm 0,002$	0,04 $\pm 0,01$	0,04 $\pm 0,01$	0,04 $\pm 0,01$
магний	72,85 $\pm 0,68$	77,25 $\pm 0,69^{**}$	77,15 $\pm 0,16^*$	85,70 $\pm 0,25^*$	67,15 $\pm 0,36^*$

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: *** - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; * - $p \leq 0,05$

Уровень кадмия достоверно снижается во всех опытных группах в диапазоне от 25 до 50 % по сравнению с контрольной группой. Это снижение концентрации тяжелого металла может быть обусловлено несколькими факторами, в том числе улучшением метаболических процессов в организме цыплят-бройлеров под воздействием исследуемых концентраций УДЧ и, как следствие, более эффективным выведением токсинов.

Концентрация марганца снижается в тканях тела всех опытных группах с максимальным проявлением во II опытной при внесении в рацион 0,55 г/кг УДЧ. Противоположный эффект наблюдается с показателем цинка, который возрастает в диапазоне от 2,32 до 16,83 % относительно сверстников в контроле.

Уровень железа снижается в I группе на 0,57 %, а во II; III и IV, напротив, увеличивается на 10,34; 59,3 ($p \leq 0,05$) и 13,36 % по сравнению с контролем. Концентрация меди увеличивается на 17,72 % ($p \leq 0,01$) во II группе, тогда как в I; III и IV группах снижается на 31,6 ($p \leq 0,01$); 3,79 и 18,99 % ($p \leq 0,01$) относительно контрольной группы.

Таким образом, внесение УДЧ в рацион бройлеров может оказывать существенное влияние на химический состав мышечной ткани, что открывает новые возможности для повышения качества и питательной ценности мяса птицы.

Внесение в рацион УДЧ повлекло за собой изменения в химическом составе костной ткани. Экспериментальные исследования показали, что введение 0,4 г/кг (I опытная группа) и 3,5 г/кг (IV опытная группа) препарата способствовало увеличению массовой доли влаги на 1,23 ($p \leq 0,001$) и 1,97 % ($p \leq 0,001$) по сравнению с контрольной группой (таблица 130).

Массовая доля жира снижается в I; II и IV опытных группах на 0,48; 0,59 и 1,68 % ($p \leq 0,01$) по сравнению с контролем, а в III группе, напротив, повышается на 0,77 % ($p \leq 0,01$) относительно контрольной группы. Уровень белка также снижается во всех опытных группах в диапазоне от 0,21 до 1,93 % по сравнению со сверстниками в контроле.

Таблица 130 – Химический состав костной ткани цыплят-бройлеров, %

Показатель	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Массовая доля влаги	57,66 $\pm 0,42$	58,89 $\pm 0,41^{***}$	57,35 $\pm 0,47$	57,77 $\pm 0,30$	59,63 $\pm 0,59^{***}$
Массовая доля сухого вещества	42,34 $\pm 0,42$	41,11 $\pm 0,41$	42,65 $\pm 0,47$	42,23 $\pm 0,30$	40,37 $\pm 0,59$
Массовая доля жира	11,58 $\pm 0,20$	11,10 $\pm 0,43$	10,99 $\pm 0,22$	12,35 $\pm 0,12^{**}$	9,90 $\pm 0,50^{**}$
Массовая доля золы	11,23 $\pm 0,38^{***}$	12,28 $\pm 0,15$	11,96 $\pm 0,25$	11,05 $\pm 0,06$	11,24 $\pm 0,19$
Массовая доля белка	19,43 $\pm 0,12$	18,26 $\pm 0,37^{**}$	18,24 $\pm 0,48^{***}$	17,50 $\pm 0,28^{*}$	19,22 $\pm 0,15$

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: *** - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; * - $p \leq 0,05$

В ходе исследования было выявлено, что изучаемый препарат способен влиять на концентрации макроэлементов в костной ткани цыплят-бройлеров (таблица 131).

Таблица 131 – Концентрация элементов в костной ткани цыплят-бройлеров, мг/кг

Показатель	группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
железо	16,65 ±0,176	10,93 ±0,481*	13,85 ±0,137*	10,83 ±0,155*	17,00 ±0,400
марганец	1,51 ±0,072	1,67 ±0,021***	1,60 ±0,010	1,50 ±0,036	1,24 ±0,035**
свинец	0,04 ±0,002	0,02 ±0,002*	0,02 ±0,001*	0,02 ±0,001*	0,02 ±0,002*
кадмий	0,01 ±0,003	0,01 ±0,000	0,01 ±0,000	0,01 ±0,000	0,01 ±0,001
цинк	121,40 ±0,231	98,55 ±0,075*	105,00 ±1,546*	105,00 ±1,240*	114,30 ±0,493
медь	0,79 ±0,008	0,65 ±0,006	0,61 ±0,004	0,52 ±0,053	0,77 ±0,002
никель	0,09 ±0,001	0,11 ±0,008	0,08 ±0,002**	0,09 ±0,003	0,09 ±0,001
магний	172,90 ±0,208	227,10 ±0,755*	238,55 ±0,786*	218,50 ±4,446*	218,55 ±0,507*
кальций, %	6,32 ±0,156	10,98 ±0,237*	11,36 ±0,064*	9,32 ±0,685**	12,80 ±0,208*
фосфор, %	5,20 ±0,321	4,77 ±0,124	5,39 ±0,015	5,18 ±0,044	5,23 ±0,378

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: *** - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; * - $p \leq 0,05$

Так, уровень магния и кальция увеличивается во всех группах на 31,35 и 73,73 % (I группа ($p \leq 0,05$)), на 37,96 и 79,75 % (II группа ($p \leq 0,05$)), на 26,37 ($p \leq 0,05$) и 47,47 % ($p \leq 0,01$) (III группа) и на 26,4 и 102,53 % (IV группа ($p \leq 0,05$)) относительно сверстников в контроле.

Концентрация фосфора максимально увеличивается во II группе на 3,65 % и снижается в I группе на 8,27 % по сравнению с контролем.

Концентрация свинца достоверно снижается во всех опытных группах на 50 % по сравнению с контрольной группой. Уровень магния увеличивается при внесении в рацион малых доз препарата (0,4 и 0,55 г/кг), но при повышении дозировки, напротив снижается с максимальным проявлением в IV группе (3,5 г/кг) на 17,88 % ($p \leq 0,01$) относительно контрольной группы.

Таким образом, использование препарата УДЧ положительно влияет на химический состав костной ткани цыплят-бройлеров. Это подтверждается увеличением содержания кальция, что является ключевым фактором для обеспечения прочности и здоровья костей. В перспективе, применение УДЧ может стать важным инструментом для повышения эффективности производства мяса птицы, снижения затрат на лечение заболеваний костей и улучшения качества конечного продукта.

Влияние УДЧ на химический состав внутренних органов цыплят-бройлеров представляет собой предмет активных исследований в области сельского хозяйства. Изучение изменений химического состава органов под воздействием ультрадисперсных частиц кальция, имеет важное значение для понимания метаболических процессов и оценки потенциальных преимуществ и рисков использования этих материалов в птицеводстве.

Так, массовая доля жира снижается в I; II и IV группах на 2,37 % ($p \leq 0,05$); 3,53 % ($p \leq 0,05$) и 4,4 % ($p \leq 0,05$), соответственно, по сравнению с контрольной группой (таблица 128). Уровень белка, при этом, увеличивается в I и II группах на 0,57 % ($p \leq 0,001$) и 1,45 % ($p \leq 0,01$) относительно контрольной группы.

Концентрация элементов во внутренних органах также изменяется под действием различных дозировок УДЧ (таблица 132). Так, при дозировке 0,4 г/кг (I группа) уровень железа, марганца и цинка увеличиваются на 26,98 % ($p \leq 0,05$); 35,62 % ($p \leq 0,05$) и 14,62 % ($p \leq 0,05$), а меди и никеля снижаются на 12,59 % ($p \leq 0,05$) и 47,06 % ($p \leq 0,05$), соответственно, по сравнению с контрольной группой.

При дозировке 0,55 г/кг (II группа) происходит увеличение концентрации железа, марганца, цинка и меди в диапазоне от 1,09 до 27,82 % относительно контрольной группы.

При увеличении изучаемого препарата до 0,7 г/кг происходит снижение всех изучаемых элементов.

Таблица 132 – Элементный состав внутренних органов цыплят-бройлеров, мг/кг

Показатель	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
железо	91,00 ±1,159	115,55 ±0,189*	92,00 ±0,693	95,15 ±0,218**	124,00 ±0,153*
марганец	0,73 ±0,032	0,99 ±0,001*	0,83 ±0,032	0,70 ±0,010	0,93 ±0,006*
свинец	0,12 ±0,002	0,05 ±0,253	0,07 ±0,002*	0,06 ±0,002*	0,32 ±0,002*
кадмий	0,05 ±0,001	0,05 ±0,000	0,06 ±0,015	0,04 ±0,001*	0,04 ±0,176
цинк	65,00 ±0,252	74,50 ±0,115*	73,55 ±0,194*	62,85 ±0,333*	80,00 ±0,416*
медь	5,32 ±0,051	4,65 ±0,087*	6,80 ±0,119*	4,10 ±0,078*	8,59 ±0,003*
никель	0,17 ±0,002	0,09 ±0,005*	0,08 ±0,000*	0,08 ±0,001*	0,42 ±0,015*
магний	75,70 ±0,306	59,95 ±0,240*	90,05 ±0,036*	68,80 ±0,153*	81,40 ±0,361*

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: *** - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; * - $p \leq 0,05$

Максимальная дозировка в 3,5 г/кг приводит к противоположному эффекту, а именно, происходит увеличение концентрации железа на – 36,26 %, марганца на – 27,4 % ($p \leq 0,05$), цинка на - 23,08 % ($p \leq 0,05$), меди на - 61,47 % ($p \leq 0,05$), никеля на – 147,06 % ($p \leq 0,05$) по отношению к контрольной группе. При этом, в этой группе происходит снижение токсичного элемента (кадмия) на 20 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем.

Концентрация магния достоверно снижается в I и III группах на 20,81 и 9,11 %, а II и IV группах достоверно увеличивается на 18,96 и 7,53 % в сравнения со сверстниками в контроле.

Таким образом, внесение 0,55 г/кг ультрадисперсного кальция в рацион положительно влияет не только на химический состав внутренних органов, но и минеральный обмен у бройлеров. Максимальная дозировка (3,5 г/кг) также положительно влияет на физико-химический состав внутренних органов, однако, при использовании максимальной дозировки необходимо учитывать возможное влияние на другие аспекты здоровья птицы, такие как функция почек и печени. Кроме того, необходимо учитывать сроки скормливания, так

как длительное использование высоких доз может привести к нежелательным последствиям.

Внесение в рацион бройлеров УДЧ привело к изменениям в химическом составе кожи, что может отразиться на ее технологических свойствах и, как следствие, на качестве конечного продукта (таблица 133).

Таблица 133 – Элементный состав кожи цыплят-бройлеров, мг/кг

Показатель	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
железо	20,12 ±0,053	23,40 ±0,153	23,98 ±0,064	25,30 ±0,265	28,10 ±0,520
марганец	0,98 ±0,006	0,88 ±0,023	0,82 ±0,015	0,80 ±0,058	0,88 ±0,006
свинец	0,10 ±0,001	0,08 ±0,001	0,10 ±0,058	0,11 ±0,004	0,13 ±0,001
кадмий	0,01 ±0,001	0,01 ±0,000	не обн.	0,01 ±0,001	0,01 ±0,001
цинк	77,70 ±0,115	71,95 ±0,448	64,50 ±0,168	65,90 ±0,058	71,0 ±0,265
медь	1,88 ±0,042	1,44 ±0,067	0,49 ±0,010	1,40 ±0,100	1,04 ±0,021
никель	0,26 ±0,006	0,15 ±0,002	0,06 ±0,000	0,10 ±0,000	0,13 ±0,010
магний	95,20 ±0,173	68,00 ±0,265	53,60 ±0,473	46,40 ±0,265	65,60 ±0,265

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: *** - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; * - $p \leq 0,05$

Так, массовая доля жира возрастает во всех опытных группах, а именно: в I опытной группе - на 5,72 % ($p \leq 0,05$); во II – на 5,6 % ($p \leq 0,05$); в III – на 5,81 % ($p \leq 0,05$) и в IV – на 2,53 % ($p \leq 0,05$) относительно контрольной группы.

Массовая доля белка при этом снижается на 2,4 % ($p \leq 0,05$); 1,99 % ($p \leq 0,05$); 2 % ($p \leq 0,05$) и 2,25 % ($p \leq 0,05$) в I, II, III и IV группах, соответственно, по сравнению с контрольной группой.

Кожа является важным органом, выполняющим защитную и регуляторную функции. Минеральный обмен в коже играет существенную роль в поддержании ее структуры и здоровья. Так, в ходе исследований было

выявлено, что малые дозы УДЧ способны снижать уровень токсичных веществ, а именно: в I группе свинец снижается на 20 % ($p \leq 0,05$), а во II группе кадмий на 100 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольной группой. При увеличении дозировки наблюдается противоположный эффект, свинец возрастает на 10 % и 30 % в III и IV группах, соответственно, по отношению к контролю.

Концентрация железа возрастает с увеличением дозировки и становится максимальной в IV группе (39,66 % ($p \leq 0,05$)). Однако, концентрация магния снижается на 28,57 % ($p \leq 0,05$) в I группе; на 43,7 % ($p \leq 0,05$) во II группе; на 51,26 % ($p \leq 0,05$) в III группе и на 31,09 % ($p \leq 0,05$) в IV группе относительно контроля.

В ходе проведенных исследований было установлено, что добавление УДЧ в рацион цыплят-бройлеров приводит к снижению интенсивности минерального обмена в коже. Этот эффект может быть обусловлен несколькими факторами. Во-первых, УДЧ кальция обладают высокой биодоступностью и могут более эффективно усваиваться организмом, что снижает потребность в активном обмене минералов в коже. Во-вторых, УДЧ может оказывать регулирующее воздействие на гормональную систему, влияющую на метаболизм минералов.

В ходе исследования было выявлено, что УДЧ способствует снижению массовой доли влаги жира в опытных группах на 0,75 % ($p \leq 0,05$) - в I группе, на 0,47 % ($p \leq 0,05$) – во II группе и на 1,04 % ($p \leq 0,05$) в III группе по сравнению с контролем.

Массовая доля жира при этом возрастает во всех группах в диапазоне от 0,07 до 1,71 % по сравнению с контролем. Данный результат может иметь положительное влияние на энергетическую ценность мяса. Более жирное мясо часто обладает улучшенными вкусовыми качествами и текстурой.

2.4.2.7 Обмен энергии в организме подопытной птицы

Оценка влияния различных дозировок УДЧ кальция на баланс энергии показала, что самая низкая валовая энергия корма наблюдалась в контрольной группе (таблица 134).

Таблица 134 – Баланс энергии в организме цыплят-бройлеров за эксперимент

Группа	Валовая энергия корма (ВЭ) МДж/гол	Потери энергии с пометом, % от ВЭ	Обменная энергия, МДж/гол	Потери энергии с теплопродукцией, % от ВЭ	Чистая энергия прироста	
					МДж/гол	% от ВЭ
Контрольная	49,34	22,58	38,20	42,98	16,99	34,44
I опытная	55,03	18,59	44,80	43,94	20,62	37,47
II опытная	53,88	22,66	41,69	46,18	16,79	31,16
III опытная	58,32	18,59	47,48	50,67	17,93	30,74
IV опытная	57,90	24,36	43,79	46,17	17,06	29,47

Максимальная валовая энергия была выявлена в группе введения УДЧ кальция в дозе 0,77 г/кг корма - III опытная группа и в дозе 3,5 г/кг корма (IV группа), разница с контролем составила 18,2 % и 17,35 % соответственно. Дозировка УДЧ кальция 0,4 г/кг в I опытной группе приводила к увеличению валовой энергии на 11,53 % в сравнении с контролем. Учитывая тот факт, что валовая энергия отражает общее количество энергии, содержащейся в корме, вполне объяснимы высокие показатели в III и IV группах на основании максимального уровня поедаемости (за период эксперимента в III опытной группе – 3,09 кг, в IV опытной группе – 3,15 в сравнении с контролем – 2,75 кг). Валовая энергия не отражает реальную доступность энергетического потенциала для организма.

Цыплята-бройлеры обладают высокой интенсивностью роста, соответственно энергетические затраты играют значительную роль. При снижении степени переваримости компонентов корма возрастают потери энергии с пометом. В эксперименте максимальные потери энергии с пометом выявлены в IV опытной группе – 24,36 % от валовой, во II опытной группе –

22,66 % и в контроле 22,58 %. При этом в I и III опытных группах потери энергии с пометом были идентичные и составили 18,59 % от валовой. Чем ниже данные потери, тем степень усвоения рациона выше. Что согласуется с коэффициентами переваримости компонентов рациона, так I и III опытная группа являлись лидерами по данному показателю, в отношении переваримости сырого жира, сырого протеина и углеводных компонентов. IV опытная группа, с максимальной дозой введения УДЧ кальция – 3,5 г/кг рациона, проигрывала в отношении всех нутриентов. Вероятно, это связано с тем, что данная доза являлась избыточной.

Минимальные потери энергии с теплопродукцией установлены в контрольной группе – 42,98 % от валовой, максимальные в III опытной группе – 50,67 %. Во II и IV опытных группах данный показатель составил 46,18 и 46,17 %, и в I опытной группе – 43,94 %.

Уровень доступной для обмена энергии в I опытной группе выше контроля на 17,28 %, во II - на 9,14 %, в III - на 24,30 %, в IV - на 14,63 %. При этом доля обменной энергии, используемая организмом цыплят-бройлеров для синтеза мышечной ткани, так называемая чистая энергия прироста была максимальная в I группе и составила 20,62 МДж/гол против контрольных – 16,99 МДж/гол. Во II группе данный показатель ниже контроля на 1,17 %, в III выше на 5,53 %.

Таким образом, на основании анализа баланса энергии, установлено, что наиболее эффективной стратегией кормления является введение УДЧ глюконата кальция в дозировке 0,4 г/кг корма – I опытная группа. В этой группе наблюдается максимально эффективное использование обменной энергии, направленной на продукцию, с минимальными потерями энергии с пометом и теплопродукцией. III опытная группа демонстрируя высокие показатели обменной энергии, оказалось менее эффективной из-за значительных потерь с теплопродукцией, что свидетельствует о неэффективном использовании на продуктивные цели. Во II опытной группе выявлено нарушение распределения энергетических ресурсов, так как много

энергии тратится на терморегуляцию и поддержание, на фоне высоких потерь энергии с пометом, что напрямую отражается снижением чистой энергии. IV опытная группа характеризовалась высоким уровнем валовой энергии корма, но наблюдалось снижение усвоения питательных веществ, соответственно увеличение потерь энергии с пометом, и перераспределение энергии в сторону поддержания жизни, а не прироста.

Обменная энергия сверхподдержания является ключевым критерием оценки эффективности использования корма. Так, экспериментальным путем выявлено, что обменная энергия сверхподдержания была максимальной в III опытной группе - 29,83 МДж/гол (таблица 135).

Таблица 135 – Особенности межуточного обмена в организме цыплят-бройлеров за период опыта

Показатель	Группа				
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Обменная энергия сверхподдержания, МДж/гол	21,77	25,85	24,73	29,83	26,26
Чистая энергия продукции, МДж/гол	16,99	20,62	16,79	17,93	17,06
Коэффициент полезного использования обменной энергии	0,781	0,797	0,679	0,601	0,650
Уровень питания	1,261	1,327	1,208	1,239	1,187
Концентрация обменной энергии, МДж/кг СВ	15,359	15,755	15,232	16,291	14,879
Коэффициент соответствия	0,051	0,051	0,045	0,037	0,044
Энергопротеиновое отношение	0,208	0,191	0,200	0,187	0,195

Далее по убыванию IV опытная группа – 26,26 МДж/гол, I опытная группа – 25,85 МДж/гол, II опытная группа – 24,73 МДж/гол и контроль – 21,77 МДж/гол. Таким образом, максимальная разница с контролем составила 37,02 % в III опытной группе. Однако, с учетом чистой энергии продукции не весь объем обменной энергии сверхподдержания был использован полноценно, и

часть ушла на теплопродукцию. Подобная ситуация сложилась в IV опытной группе.

Анализируя коэффициент полезного использования обменной энергии, установлено, что I опытная группа показала максимальную эффективность использования энергии на продукцию; данный показатель выше контроля на 2,05 %. Самый низкий коэффициент был установлен в III опытной группе, показатель ниже контроля на 23,05 %, что также подтверждает факт нарушения энергетического баланса с преобладанием потерь энергии.

Уровень питания, как показатель обеспечения цыплят-бройлеров энергией относительно потребностей был выше в I опытной группе на 5,23 % в сравнении с контролем. Во II, III и IV опытных группах наблюдалось снижение показателя на 4,20, 1,75 и 5,87 % соответственно.

Коэффициент соответствия был максимальным и идентичным в контрольной и I группе – 0,051. В остальных группах наблюдалось снижение показателя, во II группе разница с контролем – 11,76 %, в III группе – 27,45 % и IV группе – 13,72 %. Вероятно, снижение коэффициента соответствия свидетельствует о том, что большая часть энергии и веществ теряется в виде выделений или тепла, так как организм не способен эффективно и полноценно использовать поступающие метаболиты.

Самое высокое значение энергопротеинового отношения было установлено в контроле. При этом, все опытные группы характеризовались снижением показателя. Даже в лидирующей I группе показатель ниже контроля на 8,17 %, что говорит о превалировании энергии над белком, но с учётом высокого коэффициента полезного использования обменной энергии компенсируется эффективностью усвоения. Для поддержания оптимального энергопротеинового отношения рекомендуется использовать дозу УДЧ кальция не выше 0,4 г/кг, так как более высокие дозы могут нарушать баланс белка и энергии.

Таким образом, анализ межуточного обмена показал, что введение УДЧ кальция в дозировке 0.4 г/кг корма обеспечило наиболее эффективное

использование обменной энергии на продуктивные цели. Эта группа характеризовалась максимальным уровнем чистой энергии продукции (20,62 МДж/гол) и наивысшим коэффициентом полезного использования обменной энергии (0,797). В то же время, III опытная группа, несмотря на самый высокий уровень обменной энергии сверхподдержания (29,83 МДж/гол), показала самую низкую эффективность из-за неоптимального распределения энергии — большая её часть была потеряна с теплопродукцией.

Оптимизация состава рациона и минерального баланса позволяет значительно повысить конверсию энергии в прирост массы тела, особенно при использовании предложенных стратегий.

2.4.2.8 Мясная продуктивность цыплят-бройлеров

Исследования показали, что УДЧ кальция обладают высокой биодоступностью, что способствует более эффективному усвоению минерала и, как следствие, оптимизации метаболических процессов в организме птицы. В связи с этим, предубойная живая масса увеличивается во всех группах, а именно: на 24,8 % ($p \leq 0,05$) в I опытной группе, на 3,4 % во II опытной группе, на 4,7 % ($p \leq 0,01$) в III опытной группе и на 9,6 % ($p \leq 0,001$) в IV опытной группе относительно контроля (таблица 136).

Внесение в рацион УДЧ препарата кальция привело также к изменениям в мясной продуктивности цыплят-бройлеров, что выразилось в увеличении массы потрошенной тушки в I, III и IV группах на 20,5 % ($p \leq 0,05$); 1,2 % и 5,9 % по сравнению с контрольной группой.

Результаты исследований выявили значительное увеличение массы мышечной ткани у цыплят-бройлеров в опытных группах по сравнению с контрольной. Диапазон увеличения составляет от 58,7 г до 291,8 г, что свидетельствует о существенном влиянии исследуемых факторов на рост мышечной ткани.

Съедобная часть также увеличивается на 25,4 % ($p \leq 0,05$) I группа); 4,4 % (II группа); 6,5 % (III группа) и 12,1 % ($p \leq 0,01$) IV группа) относительно

контрольной группы. При этом убойный выход снижается в опытных группах в диапазоне от 2,48 % до 3,4 % по сравнению с контролем.

Таблица 136 – Результаты контрольного убоя подопытных цыплят-бройлеров в конце эксперимента, г

Показатель	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Предубойная живая масса	2 296,0 ±87,58	2 867,0 ±41,00***	2 374,0 ±80,57	2 403,3 ±206,92**	2 517,0 ±101,72*
Потрошенная тушка	1715,6 ±29,42	2068,0 ±45,05***	1693,3 ±51,51	1736,3 ±170,33	1816,6 ±62,99
Мышечная ткань	1102,7 ±37,44	1394,5 ±49,91**	1161,4 ±42,25	1197,3 ±134,33	1284,9 ±52,09*
Костная ткань	266,8 ±19,00	341,5 ±4,66*	266,8 ±19,59	294,9 ±21,09	285,5 ±15,75
Съедобная часть	1409,7 ±50,36	1767,3 ±56,08*	1471,2 ±43,28	1500,8 ±145,09	1579,7 ±56,16**
Убойный выход, %	74,72	72,13	71,32	72,24	72,17

Примечание: достоверная разница опытных групп с контрольной группой: * - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,05$

Таким образом, даже с учетом незначительного снижения убойного выхода, положительные эффекты от применения УДЧ кальция, такие как укрепление костной ткани и улучшение общего состояния здоровья животных, нивелируют данный недостаток. Необходимо провести дальнейшие исследования для более детального изучения механизмов влияния ультрадисперсного кальция на убойный выход и разработать стратегии оптимизации рациона для минимизации этого эффекта.

Данные результаты подчеркивают потенциал использования различных факторов для стимуляции роста мышечной массы и увеличения съедобной части тушки цыплят-бройлеров. Дальнейшие исследования необходимы для оптимизации условий выращивания и кормления с целью достижения максимальной продуктивности.

2.4.2.9 Результаты производственной проверки

С целью реализации поставленной задачи из цыплят-бройлеров кросса «Арбор Айкрес» нами сформированы две опытные группы (n=600). Особи контрольной группы получали рацион, используемый в производственных условиях (базовый). Опытная группа совместно с базовым рационом с 21 суток получала механоактивированные ультрадисперсные частицы кальция в дозировке 0,4 г/кг комбикорма (0,4 г/кг УДЧ). Анализ производственных расчетов бройлерного производства демонстрирует эффективность предложенного решения, в частности при включении УДЧ наблюдается снижение расходов корма на 1 кг прироста (таблица 137).

Таблица 137 – Экономическая эффективность производства мяса цыплят-бройлеров при скормливании УДЧ

Показатель	Вариант	
	Базовый	Опытный
Поголовье цыплят: на начало опыта	600	600
на конец опыта	577	585
Живая масса 1 гол.	2298	2619
Расход корма на 1 гол, кг	2,753	3,045
Убойный вес: 1 гол, г	2207	2509
общий, кг	1273,4	1467,8
Масса потрошенной тушки, г	1 715,67	2 068,00
Производственные затраты, всего	164746,7	199086,1
Себестоимость 1 кг мяса, руб.	124,4	118,7
Средняя реализационная цена 1 кг мяса, руб	130	130
Общая выручка от реализации, руб	183261,0	229749,0
Прибыль от реализации мяса, руб.	18514,3	30662,9
Рентабельность, %	11,2	15,4

Ввод УДЧ в рацион бройлеров также сопровождается снижением себестоимости 1 кг мяса на 5,7 руб., что влечет за собой повышение рентабельности производства на 4,2 %.

Установлено, что использование препарата УДЧ кальция позволяет повысить рентабельность производства мяса птицы с 11,2 до 15,4%. Таким образом, проведенные исследования доказали экономическую эффективность

включения в рацион цыплят-бройлеров механоактивированные ультрадисперсные частицы кальция в дозировке 0,4 г/кг. Выявленная доза является эффективной

2.5 Биологическая оценка ультрадисперсных частиц кальция в форме гидроксиапатита и CaCO_3

2.5.1 Результаты лабораторных исследований

2.5.1.1 Исследование биологической активности УДЧ кальция на модели инфузорий *Stylonychia mytilus*

Анализ полученных данных показал, что ультрадисперсные частицы не обладали токсическим эффектом во всем диапазоне концентраций веществ, что объясняется высоким уровнем выживаемости стилонихий (таблица 138).

Таблица 138 – Биотестирование исследуемых УДЧ Са на *S. mytilus*.

Исследуемые вещества	Время экспозиции, ч	Концентрация, мг/мл					
		0,313	0,625	1,25	2,5	5,0	10,0
УДЧ CaCO_3	1	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC
	3	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC
УДЧ ГАП	1	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC
	3	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC	NOEC

Примечание. Тох – 0-39 % выживаемость тест-объекта; LOEC – 40-69 % выживаемость тест-объекта; NOEC – 70-100 % выживаемость тест-объекта

2.5.1.2 Биологическая оценка УДЧ кальция на модели бактериальной-люминесцентной тест-системы

Препарат ГАП в разведениях от 2 до $4096\times$ не оказывал значимого токсического действия на *Escherichia coli* K12 TG1 в течение 3-часовой экспозиции. Только при разведении в 2 раза наблюдалось подавление около 30% люминесценции. Напротив, разведения от $8\times$ до $64\times$ стимулировали активность люциферин-люциферазного комплекса в диапазоне от 153,2% до 3108,5% прямо пропорционально концентрации исходного компонента (таблица 139).

Таблица 139 – Нормализованное относительное значение билюминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 в среде с различным содержанием ГАП

Время, мин	Кратность разведения пробы												
	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	Контроль
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
30	61,4	96,0	250,8	884,8	228,7	152,7	133,2	114,5	106,4	100,9	97,8	90,8	100,0
60	87,1	106,2	676,6	713,7	259,7	153,2	143,8	138,2	124,6	110,6	102,1	93,2	100,0
90	80,7	97,7	1026,7	1004,9	354,2	139,6	121,0	120,0	111,6	113,4	105,3	92,2	100,0
120	66,4	100,0	1212,6	1767,0	324,8	108,7	97,1	101,5	100,1	109,1	102,9	92,1	100,0
150	71,9	87,1	1886,8	2356,9	247,0	90,3	82,6	88,8	88,7	100,5	98,1	90,1	100,0
180	74,5	77,9	3108,5	2118,1	194,8	83,1	73,1	79,2	78,4	93,6	94,6	89,1	100,0
Среднее значение	73,7	94,2	1360,3	1474,2	268,2	121,3	108,5	107,0	101,6	104,7	100,1	91,2	100,0

Примечание – Числовые значения соответствуют величине нормализованного относительного значения билюминесценции А (%). Цветовая заливка – показателям ● - EC₂₀, ● - NTOX, ● - NTOX⁺, ● – NTOX²⁺ то есть концентрациям УДЧ, вызывающим свыше 20 % тушения биосенсора, а также нетоксичным по сравнению с контролем и индуцирующим свечение.

В свою очередь, УДЧ CaCO₃ подавляли свечение бактериального штамма в диапазоне от 2× до 16× в интервале 50-80%, после чего также стимулировали его до 1209,3 % относительно контроля при разведении 32× (таблица 140).

Таблица 140 – Нормализованное относительное значение билюминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 в среде с различным содержанием CaCO₃.

Время, мин	Кратность разведения пробы												
	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	Контроль
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
30	35,4	194,4	106,5	18,2	81,3	134,3	133,6	108,0	83,5	81,3	84,8	88,6	100,0
60	47,4	21,3	81,2	24,3	171,3	228,4	187,7	143,5	109,8	110,6	95,7	96,4	100,0
90	48,4	25,3	6,4	25,8	372,7	339,5	255,0	165,5	107,4	103,0	96,6	96,0	100,0
120	36,5	20,7	6,2	20,3	611,1	500,2	319,0	170,3	107,1	107,1	97,2	97,9	100,0
150	37,2	22,6	6,7	23,0	881,5	630,4	345,6	167,9	103,5	105,9	95,6	98,3	100,0
180	54,1	19,7	6,0	26,0	1209,3	695,7	348,9	161,5	99,6	102,5	93,5	97,3	100,0
Среднее значение	43,1	50,7	35,5	22,9	554,5	421,4	265,0	152,8	101,8	101,7	93,9	95,7	100,0

Примечание – Числовые значения соответствуют величине нормализованного относительного значения билюминесценции А (%). Цветовая заливка – показателям ● - EC₈₀, ● - EC₅₀, ● - EC₂₀, ● - NTOX, ●

- NTOX⁺, ● – NTOX²⁺ то есть концентрациям УДЧ, вызывающим свыше 80, 50 и 20 % тушения биосенсора, а также нетоксичным по сравнению с контролем и индуцирующим свечение.

2.5.2 Оценка влияния различных дозировок ультрадисперсных форм кальция на обмен веществ и продуктивность кур-несушек

2.5.2.1 Корма и кормление кур-несушек

Кормление осуществлялось в соответствии с возрастными нормами, согласно рекомендациям ВНИТИП. Поение птицы осуществлялось без ограничений. Состав основного рациона представлен в таблице 141.

Таблица 141 – Питательность и состав комбикорма, г/кг

Компонент	Масса, г/кг
Пшеница	500
Ячмень	200
Кукуруза	20
Жмых подсолнечный	50
Шрот соевый	50
Рыбная мука	50
Подсолнечное масло	10
Дрожжи кормовые	5
Отруби	40
Известняковая мука	65
Премикс	10
В комбикорме содержится:	
Обм.энергии, МДж/кг	11,3
Сырого протеина, %	16
Сырой жир, %	4,5
Сырой клетчатки, %	4,5
Крахмал	2,8
Лизина, %	0,71
Метионина, %	0,37
Метионина+цистина, %	0,58
Кальция, %	2,2
Фосфора, %	0,6
Фосфора усв. %	0,51

Введение в рацион УДЧ CaCO₃ в группе, дополнительно получавшей 0,75 г кальция достоверно снижает потребление корма птицей на 9,7% (p≤0,001) относительно контроля через пять недель после окончания потребления (таблица 142). К 35 неделе все группы этой серии снизили потребление корма на 2,43 (p≤0,01), 5,8 (p≤0,01) и 16,7% (p≤0,001) соответственно в I, II и III опытных группах.

Таблица 142 — Потребление корма птицей в зависимости от возраста

Возраст кур, нед.	Группа						
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	Контроль
	г/гол.в нед.						
16-20	599,21 ±21,16	679,60 ±34,44	606,13 ±20,07	661,54 ±30,50	685,21 ±38,18	687,42 ±35,12	677,94 ±34,82
21-25	784,80 ±12,81	780,17 ±10,12	708,70 ±13,16***	749,14 ±11,58*	804,97 ±14,68	797,32 ±13,03	784,60 ±13,24
26-30	853,54 ±13,16	832,63 ±16,54	825,70 ±16,55	828,28 ±8,99*	867,71 ±11,95	843,68 ±22,79	868,11 ±15,30
31-35	857,98 ±5,60**	828,32 ±15,04**	732,09 ±19,81***	829,78 ±13,78**	856,06 ±4,58***	851,60 ±10,68*	879,32 ±4,01
36-40	869,69 ±27,22	839,43 ±19,60	797,08 ±42,23	856,48 ±28,03	872,03 ±24,07	880,76 ±33,85	904,29 ±24,65
	г/гол. в сут.						
16-20	85,60 ±3,02	97,09 ±4,92	86,59 ±2,87	94,51 ±4,36	97,89 ±5,45	98,20 ±5,02	96,85 ±4,97
21-25	112,11 ±1,83	111,45 ±1,45	101,24 ±1,88***	107,02 ±1,65*	115,00 ±2,10	113,90 ±1,86	112,09 ±1,89
26-30	121,93 ±1,88	118,95 ±2,36	117,96 ±2,36	118,33 ±1,28*	123,96 ±1,71	120,53 ±3,26	124,02 ±2,19
31-35	122,57 ±0,80**	118,33 ±2,15**	104,58 ±2,83***	118,54 ±1,97**	122,29 ±0,65**	121,66 ±1,53*	125,62 ±0,57
36-40	120,89 ±1,04*	116,75 ±1,37*	110,61 ±2,45*	119,09 ±1,46*	121,14 ±1,16*	122,21 ±1,39*	125,58 ±0,77*

При введении ГАП IV опытная группа, получившая минимальную дозировку с 25 по 35 недели, показывала достоверное снижение поедаемости кормов относительно контроля. В 35 недель в IV опытной группе снижение потребления на 5,7% ($p \leq 0,01$), в V опытной на 2,6% ($p \leq 0,001$), и в VI – 3,2($p \leq 0,05$) % относительно контрольной группы. В следующие 5 недель птица всех опытных групп так же показывала достоверное снижение потребления корма, на 2,7-11,9% относительно контрольной группы.

2.5.2.2 Рост и развитие кур-несушек

В этой серии экспериментов контроль живой массы проводился на протяжении 40 недель (таблица 143).

Таблица 143 — Динамика живой массы кур-несушек

Возраст, нед	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	Контроль
15	1558,00 ±49,99	1549,20 ±47,07	1529,00 ±44,05	1 555,40 ±43,71	1 544,00 ±37,37	1 572,90 ±29,23	1 556,40 ±38,81
16	1 555,70 ±39,94	1 545,20 ±35,11	1 530,00 ±48,25	1 545,10 ±43,70	1 483,80 ±42,73	1 544,20 ±31,18	1 541,10 ±42,38
17	1 648,50 ±41,48	1 651,70 ±33,74	1 616,40 ±56,36	1 667,70 ±48,07	1 635,60 ±36,42	1 638,00 ±29,11	1 664,70 ±35,01
18	1 701,50 ±35,02	1 664,40 ±34,47	1 625,60 ±56,51	1 664,50 ±50,75	1 679,10 ±38,68	1 678,10 ±20,42	1 715,70 ±33,37
19	1 684,50 ±31,96	1 670,80 ±28,84	1 610,40 ±59,16	1 669,60 ±38,11	1 652,10 ±36,86	1 662,20 ±20,63	1 735,30 ±37,84
20	1 673,33 ±19,74	1 689,33 ±14,19	1 632,67 ±15,45	1 670,00 ±29,46	1 671,67 ±8,29	1 697,33 ±3,84	1 653,00 ±22,11
21	1 673,33 ±19,74	1 682,00 ±12,43	1 632,67 ±15,45	1 672,40 ±36,66	1 671,67 ±8,29	1 688,60 ±18,17	1 653,00 ±22,11
22	1 709,14 ±42,61	1 686,67 ±58,37	1 595,00 ±84,09	1 683,00 ±51,75	1 625,43 ±53,68	1 654,40 ±45,75	1 772,71 ±43,95
23	1 703,57 ±44,07	1 700,67 ±64,32	1 609,14 ±84,69	1 725,20 ±48,63	1 663,00 ±50,95	1 652,80 ±33,83	1 749,29 ±30,87
24	1 762,00 ±36,91	1 766,50 ±69,79	1 760,50 ±32,84	1 768,60 ±48,95	1 745,14 ±52,51	1 770,00 ±50,94	1 815,71 ±33,37
25	1 775,29 ±38,48	1 763,50 ±72,99	1 778,00 ±37,66	1 788,20 ±53,65	1 748,14 ±54,76	1 793,40 ±46,45	1 822,86 ±27,90
26	1 787,43 ±38,47	1 758,67 ±76,94	1 776,50 ±37,89	1 796,00 ±56,97	1 714,86 ±47,93	1 828,40 ±54,60	1 832,29 ±23,37
27	1 790,00 ±37,55	1 797,00 ±81,32	1 782,67 ±37,83	1 816,40 ±51,43	1 742,57 ±51,57	1 834,00 ±52,90	1 860,00 ±28,81
28	1 824,29 ±32,82	1 839,67 ±87,46	1 808,00 ±46,04	1 842,40 ±63,64	1787,43± 51,53	1878,80± 56,44	1 895,14 ±27,65
29	1 862,86 ±33,63	1 852,33 ±95,18	1 752,00 ±95,97	1 858,00 ±80,83	1832,29± 53,12	1901,60± 44,97	1 986,57 ±79,30
30	1 877,43 ±36,99	1 825,83 ±95,25	1 859,17 ±54,59	1 858,60 ±72,14	1865,71± 54,54	1872,80± 36,23	1 953,57 ±36,54
31	1 826,86 ±44,42	1 797,83 ±82,72	1 752,50 ±62,33	1 808,80 ±59,15	1 826,00 ±55,42	1 862,80 ±47,14	1 900,43 ±40,91
32	1 837,00 ±42,73	1 833,33 ±89,70	1 744,50 ±81,62	1 847,00 ±69,18	1 848,86 ±59,94	1 889,00 ±41,82	1 907,57 ±37,04
33	1 837,00 ±42,73	1 833,33 ±89,70	1 744,50 ±81,62	1 847,00 ±69,18	1 848,86 ±59,94	1 889,00 ±41,82	1 907,57 ±37,04
34	1 890,86 ±39,35	1 823,33 ±98,45	1 740,00 ±94,13	1 814,00 ±81,37	1 876,14 ±55,08	1 881,40 ±39,98	1 916,43 ±40,92
35	1 879,43 ±39,37	1 849,17 ±83,16	1 734,60 ±105,89	1 863,60 ±71,05	1 866,57 ±62,56	1 926,60 ±39,43	1 929,71 ±51,54
36	1 908,29 ±53,67	1 893,33 ±87,38	1 756,00 ±116,63	1 888,00 ±71,69	1 925,43 ±42,93	1 956,80 ±39,59	1 935,43 ±49,39
37	1 898,14 ±51,07	1 890,50 ±62,37	1 741,20 ±115,47	1 885,80 ±78,83	1 887,29 ±61,35	1 943,40 ±41,94	1 940,00 ±52,53

Продолжение таблицы 143

38	1 908,57 ±57,07	1 908,67 ±90,37	1 740,40 ±114,67	1 872,80 ±89,08	1 889,14 ±70,50	1 942,40 ±42,55	1 925,43 ±45,38
39	1 912,29 ±61,13	1 926,67 ±91,36	1 800,80 ±79,47	1 881,60 ±95,46	1 903,43 ±72,03	1 976,40 ±44,19	1 930,86 ±48,70
40	1 928,71 ±60,20	1 934,17 ±89,44	1 855,60 ±76,41	1 932,00 ±33,38	1 905,00 ±70,75	1 988,40 ±51,51	1 958,86 ±39,73

Вес птицы соответствовал возрастным нормам, значимых изменений между группами не зафиксировано

2.5.2.3 Яичная продуктивность кур-несушек

Введение УДЧ кальция в рационы кур-несушек стимулировало более интенсивное снесение яйца относительно контрольной группы с 17 по 20 неделю. Так в группах, получавших УДЧ CaCO_3 наиболее выраженное повышение производительности на 11,4 и 15,7% в I и II опытных группах. Введение ГАП стимулирует половое созревание на ранних этапах, зафиксировано увеличение яйценоскости на 17,6, 30 и 31,4 % в I, II и III опытных группах соответственно на 17 неделе.

К 21 неделе опытные группы вышли на яйценоскость более 90% при значении в контроле 87,35%. В целом на протяжении всего изучаемого периода данный показатель в контрольной группе был на уровне 95-97% (таблица 144).

Оценивая затраты корма на производство 10 яиц, наименьшие показатели в сериях были в I опытной группе, получавшей 0,25г Ca с CaCO_3 и в V группе, получавшей 0,5 г Ca с ГАП (таблица 145), как при расчете на начальную несушку, так и на среднюю.

Таблица 144 — Интенсивность яйценоскости, %

Возраст	группа						
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	Контроль
17 нед	12,86 ±8,92	17,14 ±5,65	14,29 ±8,69	15,71 ±6,12	11,43 ±5,53	17,14 ±11,28	10,00 ±6,55
18 нед	48,57 ±7,05*	38,57 ±8,00	42,86 ±7,78	68,57 ±10,79**	34,29 ±6,12	48,57 ±8,00*	27,14 ±4,21
19 нед	71,43 ±5,08*	70,00 ±6,90*	67,14 ±2,86*	78,57 ±5,53**	80,00 ±7,87*	74,29 ±3,69**	48,57 ±6,70
20 нед	88,57 ±4,59	92,86 ±4,74	78,57 ±3,40	87,14 ±6,06	87,14 ±5,65	94,29 ±2,97*	77,14 ±6,06
21 нед	100,00 ±0,00**	95,24 ±3,07	83,33 ±2,52	94,29 ±2,97	93,67 ±3,18	92,86 ±3,60	87,35 ±3,41
22 нед	87,76 ±2,04	97,62 ±2,38	83,33 ±0,00*	100,00 ±0,00	100,00 ±0,00	100,00 ±0,00	95,92 ±5,14
23 нед	97,96 ±2,04	100,00 ±0,00	83,33 ±0,00**	100,00 ±0,00	95,92 ±2,63	102,86 ±2,86	95,92 ±2,63
24 нед	100,00 ±0,00*	100,00 ±3,64	83,33 ±0,00*	94,29 ±3,69	100,00 ±0,00*	100,86 ±2,86*	91,84 ±2,89
25 нед	97,96 ±2,04	100,00 ±0,00	97,62 ±2,38	97,14 ±2,86	97,96 ±2,04	97,14 ±2,86	95,92 ±2,63
26 нед	97,96 ±2,04	95,24 ±3,07	97,62 ±2,38	102,86 ±2,86*	97,96 ±2,04	97,14 ±2,86	93,88 ±2,89
27 нед	100,00 ±0,00	100,00 ±0,00	97,62 ±2,38	100,00 ±0,00	100,00 ±0,00	102,86 ±2,86	100,00 ±0,00
28 нед	95,92 ±2,63	97,62 ±2,38	102,38 ±2,38	94,29 ±5,71	100,00 ±0,00	97,14 ±2,86	95,92 ±2,63
29 нед	100,00 ±0,00	102,38 ±2,38*	100,00 ±3,64	105,71 ±3,69*	97,96 ±2,04	100,00 ±0,00	93,88 ±2,89
30 нед	100,00 ±0,00	97,62 ±2,38	97,62 ±2,38	100,00 ±0,00	100,00 ±3,12	100,00 ±0,00	97,96 ±2,04
31 нед	93,88 ±2,89	100,00 ±0,00	95,24 ±3,07	100,00 ±4,36	100,00 ±0,00	100,00 ±0,00	93,88 ±5,27
32 нед	97,96 ±2,04*	97,62 ±4,35	102,38 ±2,38**	97,62 ±4,97	100,00 ±0,00**	97,14 ±5,22	89,80 ±2,63
33 нед	97,96 ±2,04	100,00 ±0,00*	97,62 ±2,38	97,14 ±2,86*	100,00 ±0,00*	100,00 ±0,00	95,92 ±4,08
34 нед	100,00 ±3,12	100,00 ±0,00*	94,29 ±3,69	100,00 ±0,00*	100,00 ±0,00*	97,14 ±5,22	91,84 ±2,89
35 нед	100,00 ±3,12	100,00 ±3,64	91,43 ±4,04	100,86 ±2,86	100,00 ±0,00	105,71 ±3,69	95,92 ±4,08
36 нед	95,92 ±4,08	100,00 ±0,00	91,43 ±4,04	97,14 ±2,86	97,96 ±2,04	100,00 ±0,00	95,92 ±4,08
37 нед	100,00 ±0,00	97,62 ±2,38	91,43 ±4,04	105,71 ±3,69*	95,92 ±2,63	102,86 ±2,86*	93,88 ±2,89
38 нед	95,92 ±5,14	97,62 ±2,38	97,14 ±2,86	100,00 ±0,00	100,00 ±0,00	100,00 ±7,56	91,84 ±5,27
39 нед	95,92 ±5,14	100,00 ±0,00	97,14 ±2,86	97,14 ±2,86	97,96 ±2,04	100,00 ±0,00	100,00 ±3,12
40 нед	100,00 ±0,00	100,00 ±0,00	100,00 ±6,17	100,00 ±0,00	100,00 ±0,00	100,00 ±0,00	98,88 ±2,89

Таблица 145 — Затраты корма на производство продукции

Показатель	группа						Контроль
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	
Потребление корма за эксперимент, г	16072,1	16176,8	14918,3	15913,9	16684,5	16505,9	16652,3
Кол-во яиц за эксперимент, шт.	930	830	763	743	932	735	878
Затраты корма на 10 яиц (на начальную несушку)	1,73	1,95	1,96	2,14	1,79	2,25	1,90
Затраты корма на 10 яиц (на среднюю несушку)	1,47	1,56	1,47	1,61	1,52	1,68	1,61
Яйцемасса за эксперимент, кг (на среднюю несушку)	6,85	6,43	6,35	6,15	6,69	5,86	6,33
Затраты корма на 1 кг яйцемассы (на среднюю несушку)	2,35	2,52	2,35	2,59	2,49	2,81	2,63

Окупаемость корма яйцепродукцией в пересчете на 1 кг яйца была лучшей в группах, получавших 0,25-0,75г Са в форме УДЧ СаСО₃. Значения были ниже контроля на 4,2-10,6%, дозозависимого эффекта не выявлено, наиболее эффективно корм использовали несушки с минимальной и максимальной концентрацией препарата.

Внесение ГАП несколько повысило расход корма на продуцирование яйцемассы относительно серии с СаСО₃. Но результаты в группах, получавших 0,25 и 0,5 г Са были на 1,5 и 5,3% соответственно, ниже контрольной группы.

2.5.2.4 Оценка остеометрических и прочностных показателей большеберцовой и бедренной костей

Введение в рацион кур-несушек с 15 по 20 неделю исследования ультрадисперсных форм кальция привело к увеличению массы бедренных костей во всех опытных группах на 8,5 % ($p \leq 0,05$), 9,1%, 7,0 %, 8,0 %, 6,8 % и 9,2 % в сравнении с группой контроля (таблица 146).

Таблица 146 — Морфометрические параметры костей кур-несушек (20 недель)

Показатель	Группа						
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	Конт- роль
Бедренная кость							
Масса, г	8,90 $\pm 0,11^*$	8,95 $\pm 0,25$	8,79 $\pm 0,18$	8,87 $\pm 0,45$	8,77 $\pm 0,25$	8,96 $\pm 0,35$	8,21 $\pm 0,29$
Длина, мм	85,64 $\pm 0,38^*$	86,90 $\pm 1,15$	85,09 $\pm 1,17$	84,87 $\pm 1,19$	85,53 $\pm 0,63$	87,00 $\pm 0,64^*$	84,39 $\pm 0,34$
Диафиз, окру- жить, мм	25,50 $\pm 0,34$	26,17 $\pm 0,17^*$	25,67 $\pm 0,21$	25,67 $\pm 0,21$	25,83 $\pm 0,31$	25,83 $\pm 0,17$	25,00 $\pm 0,37$
Проксимальный эпифиз, мм	15,48 $\pm 0,24^*$	15,24 $\pm 0,46$	15,60 $\pm 0,72$	15,17 $\pm 0,23$	15,02 $\pm 0,38$	15,58 $\pm 0,66$	14,60 $\pm 0,30$
Дистальный эпифиз, мм	16,27 $\pm 0,38$	18,20 $\pm 0,65^*$	17,28 $\pm 0,52^*$	16,46 $\pm 0,39$	18,45 $\pm 0,27^*$	17,08 $\pm 0,56^*$	14,92 $\pm 0,75$
Плотность, г/см ³	1,29 $\pm 0,02^*$	1,22 $\pm 0,01^*$	1,21 $\pm 0,02^*$	1,18 $\pm 0,03$	1,00 $\pm 0,02^*$	1,17 $\pm 0,03$	1,11 $\pm 0,03$
ТДУ, %	29,78 $\pm 0,48$	30,14 $\pm 0,46$	30,20 $\pm 0,52$	30,26 $\pm 0,26$	33,26 $\pm 0,58^*$	29,70 $\pm 0,19$	29,63 $\pm 0,47$
Индекс <i>Seedor</i> , мг/мм	103,96 $\pm 1,52$	103,19 $\pm 3,79$	103,28 $\pm 1,95$	104,36 $\pm 4,72$	85,86 $\pm 1,54^*$	102,90 $\pm 3,39$	97,19 $\pm 3,01$
Берцовая кость							
Масса, г	12,14 $\pm 0,36^*$	11,89 $\pm 0,33^*$	12,06 $\pm 0,39^*$	12,55 $\pm 0,90^*$	11,67 $\pm 0,43^*$	11,93 $\pm 0,68$	10,24 $\pm 0,37$
Длина, мм	120,15 $\pm 0,60$	119,4 $\pm 0,69$	121,03 $\pm 1,44$	118,56 $\pm 1,63$	118,09 $\pm 1,62$	121,70 $\pm 0,84$	118,85 $\pm 2,68$
Диафиз, окру- жить, мм	25,17 $\pm 0,31$	25,17 $\pm 0,17$	25,67 $\pm 0,21^*$	25,83 $\pm 0,83$	25,67 $\pm 0,21^*$	25,00 $\pm 0,26$	24,67 $\pm 0,33$
Проксимальный эпифиз, мм	14,45 $\pm 0,31$	15,41 $\pm 0,57$	14,52 $\pm 0,49$	14,38 $\pm 0,45$	15,31 $\pm 0,43$	14,28 $\pm 0,42$	14,33 $\pm 0,25$
Дистальный эпифиз, мм	23,18 $\pm 0,41$	23,31 $\pm 0,52$	24,24 $\pm 0,62$	22,33 $\pm 1,02$	23,02 $\pm 0,80$	22,77 $\pm 0,68$	22,32 $\pm 0,77$
Плотность, г/см ³	1,33 $\pm 0,03^*$	1,22 $\pm 0,02$	1,22 $\pm 0,02$	1,54 $\pm 0,17^*$	1,00 $\pm 0,02^*$	1,20 $\pm 0,05$	1,15 $\pm 0,04$
ТДУ, %	20,95 $\pm 0,31$	21,07 $\pm 0,16$	21,23 $\pm 0,36$	21,81 $\pm 0,74$	21,75 $\pm 0,31$	20,54 $\pm 0,14$	20,80 $\pm 0,48$
Индекс <i>Seedor</i> , мг/мм	101,09 $\pm 3,15^*$	99,61 $\pm 3,14^*$	99,66 $\pm 2,99^*$	105,80 $\pm 7,47^*$	85,86 $\pm 1,54$	97,91 $\pm 5,05$	86,09 $\pm 2,08$

Достоверное увеличение длины бедренных костей наблюдалось в I и VI опытных группах на 1,5 % ($p \leq 0,05$) и 3,1 % ($p \leq 0,05$). Во II опытной группе было отмечено увеличение диафиза на 4,7 % ($p \leq 0,05$) по отношению к контрольной группе. Следует отметить, что в группе с введением 0,25 г Са в форме УДЧ карбоната (I опытная) было зафиксировано увеличение проксимального эпифиза на 6,1 % ($p \leq 0,05$). На фоне этого наблюдалось повышение дистального эпифиза во II, III, V, VI опытных группах на 22,0 % ($p \leq 0,05$), 15,0 % ($p \leq 0,05$), 23,7 % ($p \leq 0,05$) и 14,5 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с контролем. Внесение в рацион УДЧ CaCO_3 привело к уменьшению объема бедренных костей на 6,7 % ($p \leq 0,05$), 0,9 % и 2,1 %. Однако, плотность бедренных костей в этих же группах повышалась на 16,4 % ($p \leq 0,05$), 10,1 % ($p \leq 0,05$) и 9,4 % ($p \leq 0,05$). Достоверное снижение плотности было отмечено в V опытной группе на 10,1 % ($p \leq 0,05$), тогда как ТДУ этой опытной группы повышался на 3,6% ($p \leq 0,05$). Индекс *Seedor* понижался в V опытной группе на 11,7 % ($p \leq 0,05$), в остальных опытных группах данный показатель повышался, однако эти изменения носили недостоверный характер.

При оценке результатов остеометрических показателей берцовых костей у кур-несушек на 20 неделе эксперимента были получены следующие результаты. Масса костей всех опытных групп была выше контрольной группы на 18,6 % ($p \leq 0,05$), 16,1 % ($p \leq 0,05$), 17,8 % ($p \leq 0,05$), 22,5% ($p \leq 0,05$), 13,9 % ($p \leq 0,05$) и 16,5 %. Введение в рацион кур-несушек УДЧ CaCO_3 в дозировках 0,25, 0,5 и 0,75г Са от нормы привело к небольшому увеличению длины берцовых костей в опытных группах. Достоверное увеличение диафиза было отмечено в III и V опытных группах на 4,1 % ($p \leq 0,05$) и 4,1 % ($p \leq 0,05$) в отличие от группы контроля. В группах, получавших наименьшие дозировки кальция в форме УДЧ CaCO_3 и УДЧ ГАП было зафиксировано увеличение плотности берцовых костей на 15,9 % ($p \leq 0,05$) и 34,4 % ($p \leq 0,05$). На фоне этого наблюдалось снижение плотности в V опытной группе на 12,9 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольной группой. Достоверное повышение индекса *Seedor*

отмечалось в I, II, III, IV опытных группах на 17,4 % ($p \leq 0,05$), 15,7 % ($p \leq 0,05$), 15,8 % ($p \leq 0,05$) и 22,9 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с группой контроля.

Использование ультрадисперсных форм кальция в предкладковый период имело пролонгированное действие, несмотря на возрастную тенденцию к снижению остеометрических показателей медуллярных костей, масса костей всех опытных групп была выше контроля (таблица 147).

А в группе получавшей 0,75г Са в форме УДЧ ГАП масса бедренной кости была достоверно выше на 15,9 % ($p \leq 0,05$). Длина бедренных костей повышалась во всех опытных группах увеличилась, однако достоверные значения были отмечены в I и VI опытных группах на 1,0 % ($p \leq 0,05$) и 5,4 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с контролем. Также следует отметить увеличение диафиза в III и VI опытных группах на 5,6 % ($p \leq 0,05$) и 6,2 % ($p \leq 0,05$). Объем бедренных костей I опытной группы кур-несушек был ниже группы контроля на 4,1 % ($p \leq 0,05$). Однако в VI опытной группе объем бедренных костей повышался на 12,6 % ($p \leq 0,05$) и индекс *Seedor* на 9,8 % ($p \leq 0,05$) по отношению к контрольной группе.

К 40 неделе исследования масса берцовых костей кур-несушек была выше на 6,6 % ($p \leq 0,05$), 7,6 %, 5,6 %, 9,9 % ($p \leq 0,05$), 15,3 % ($p \leq 0,05$) и 12,3 % ($p \leq 0,05$) по отношению к группе контроля. Достоверное повышение длины берцовых костей было отмечено в VI опытной группе на 2,7 % ($p \leq 0,05$). Следует отметить повышение диафиза во II, IV, V, VI опытных группах на 7,6 % ($p \leq 0,05$), 6,3 % ($p \leq 0,05$), 18,8 % ($p \leq 0,05$) и 5,6 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с контрольной группой.

Также тенденция увеличения проксимального эпифиза была зафиксирована в I, III, IV, VI опытных группах на 16,3 % ($p \leq 0,05$), 11,6 % ($p \leq 0,05$), 14,2 % ($p \leq 0,05$) и 14,1 % ($p \leq 0,05$) соответственно. На фоне этого дистальный эпифиз берцовых костей V опытной группы достоверно повышался на 9,6 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с контролем. Объем берцовых костей повышался в III, IV, V, VI опытных группах 7,9 % ($p \leq 0,05$), 9,7 % ($p \leq 0,05$), 17,8% ($p \leq 0,05$), 9,9 % ($p \leq 0,05$) в отличие от контрольной группы.

Таблица 147 — Морфометрические параметры костей кур-несушек (40 недель)

Показатель	Группа						
	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная	VI опытная	Конт- роль
Бедренная кость							
Масса, г	7,86 ±0,28	7,69 ±0,41	7,88 ±0,09	8,29 ±0,30	7,91 ±0,19	8,89 ±0,37*	7,67 ±0,14
Длина, мм	84,94 ±0,15*	85,61 ±1,02	84,95 ±0,31	86,22 ±1,04	84,72 ±0,51	88,62 ±0,78*	84,11 ±0,25
Диафиз, окру- жить, мм	27,00 ±0,37	27,17 ±0,40	28,50 ±0,34*	27,50 ±0,56	27,67 ±0,49	28,67 ±0,33*	27,00 ±0,58
Проксимальный эпифиз, мм	14,86 ±0,21	14,94 ±0,22	14,75 ±0,24	14,53 ±0,41	14,63 ±0,39	15,36 ±0,25	14,35 ±0,54
Дистальный эпифиз, мм	17,67 ±0,49	17,58 ±0,28	16,14 ±0,31	18,20 ±0,44	18,32 ±0,36	19,09 ±0,21	17,58 ±0,79
Плотность, г/см ³	1,17 ±0,05	1,12 ±0,02	1,10 ±0,01	1,12 ±0,02	1,12 ±0,02	1,12 ±0,02	1,09 ±0,01
ТДУ, %	31,79 ±0,45	31,74 ±0,41	33,55 ±0,39	31,94 ±0,93	32,67 ±0,70	32,35 ±0,27	32,11 ±0,75
Индекс <i>Seedor</i> , мг/мм	92,59 ±3,33	89,59 ±3,81	92,78 ±1,26	96,01 ±2,75	93,38 ±2,14	100,20 ±3,45*	91,25 ±1,88
Берцовая кость							
Масса, г	10,30 ±0,19*	10,39 ±0,49	10,19 ±0,31	10,61 ±0,25*	11,13 ±0,61*	10,84 ±0,27*	9,65 ±0,17
Длина, мм	131,45 ±14,24	119,81 ±1,76	120,29 ±1,17	121,84 ±1,14	118,73 ±1,15	122,84 ±0,55*	119,65 ±0,31
Диафиз, окру- жить, мм	24,83 ±0,17	25,83 ±0,54*	25,33 ±0,56	25,50 ±0,50*	28,50 ±0,72*	25,33 ±0,42*	24,00 ±0,37
Проксимальный эпифиз, мм	14,72 ±0,45*	12,79 ±0,69	14,13 ±0,27*	14,45 ±0,44*	13,64 ±0,36	14,43 ±0,17*	12,66 ±0,47
Дистальный эпифиз, мм	22,73 ±0,77	22,57 ±0,66	22,77 ±0,27	22,76 ±0,28	24,14 ±0,32*	22,70 ±0,26	22,03 ±0,36
Плотность, г/см ³	1,18 ±0,02	1,13 ±0,02	1,13 ±0,02	1,16 ±0,02	1,13 ±0,02	1,18 ±0,03	1,15 ±0,02
ТДУ, %	19,69 ±1,48	21,57 ±0,42*	21,06 ±0,42	20,95 ±0,59	24,01 ±0,59*	20,62 ±0,33	20,06 ±0,33
Индекс <i>Seedor</i> , мг/мм	81,15 ±5,25	86,50 ±2,94	84,81 ±2,90	87,04 ±1,72*	93,64 ±4,82*	88,21 ±1,78*	80,69 ±1,49

Необходимо отметить повышение ТДУ во II и V опытных группах на 1,5 % ($p \leq 0,05$) и 3,95 % ($p \leq 0,05$). Индекс *Seedor* повышался во всех опытных группах эксперимента на 0,6 %, 7,2 %, 5,1 %, 7,9 % ($p \leq 0,05$), 16,0 % ($p \leq 0,05$) и 9,3 % ($p \leq 0,05$), однако не все значения носили достоверный характер.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Современные кормовые добавки – обязательный атрибут эффективной промышленной технологии производства продукции птицеводства. Во многом благодаря кормовым добавкам зооинженерная служба предприятий способна обеспечить птицу современных пород и кроссов необходимым набором питательных веществ. Этому способствует то, что производители кормовых добавок в условиях жесткой конкуренции на рынке активно применяют передовые научные разработки. В связи с чем в состав добавок включают все более широкий перечень жизненно необходимых и минорных веществ, создаются кормовые добавки специального назначения – ферменты, пробиотики и др.

Очевидно, что рецептура кормовых добавок — это во многом своеобразная «гонка вооружений» передовых разработок различных компаний и коллективов. К сожалению, наша страна в этой гонке значительно отстает. Таким образом, что на нашем внутреннем рынке подавляющее количество кормовых добавок – 60,8% ранее были разработаны за рубежом (Шаабан М., 2023). В условиях беспрецедентных санкций столь значительная зависимость граничит с потерей суверенитета в области производства продовольствия. В этой связи особый интерес представляют научные изыскания, направленные на создание новых кормовых добавок, что и послужило основанием для выполнения представляемой вашему вниманию научной работы.

На начальном этапе нашей работы, в 2006-2007 годах, мы поставили перед собой цель – детально изучить феномен «гипердоступности» минеральных веществ который мы констатировали для моделей кормов, полученных в ходе соэкструзии растительных субстратов совместно с высокодисперсной клинкерной пылью, собираемой с электрических фильтров. Оказалось, что мелкодисперсная фракция минеральной добавки, вводимая в растительные корма перед экструдированием, фактически

растворялась в растительной матрице, демонстрируя при этом фантастическую усвояемость в организме птицы, значительно превосходящую по этому показателю ту же нативную минеральную добавку.

На начальном этапе исследований мы исходили из того, что сам по себе феномен «гипердоступности» минеральных веществ из экструдатов может быть связан со свойствами самих экструдированных кормов. Поэтому предварительно проанализировали свойства этих кормов.

Учитывая, что режимы экструзии значительно влияют на свойства получаемого продукта, опытным путем были установлены оптимальные диапазоны влажности обрабатываемого продукта – 25-30%, оптимальный процент введения минеральных добавок – до 20% и температуры нагрева продукта не более 110 °С для предотвращения протекания реакции Майяра (Beaufrand M.J. et al., 1978; Mauron J., 1990; Sarwar G.G. et al., 2012; Zilić S. et al., 2014; Мартинчик А.Н., Шариков А.Ю., 2015; Voyer L.E., Alvarado C., 2019). Полученные технические характеристики процесса обеспечивали максимальную производительность на изучаемых источниках полисахаридов.

Как следует из полученных результатов в ходе гидробаротермической обработки наибольшие изменения отмечались в углеводном составе кормов (Li M. et al., 2014; Garcia-Amezquita L.E. et al., 2019; Villasante J. et al., 2019; Zhang Z. et al., 2023). Так, в составе пшеничных отрубей количество растворимых углеводов увеличилось на 18-19% ($p \leq 0,01$), легкогидролизуемых углеводов на 47-48 % ($p \leq 0,001$). Аналогичный рост для экструдированной кукурузы составил 3,2 раза ($p \leq 0,001$), и 15-16 % ($p \leq 0,01$), соответственно. При этом содержание клетчатки в сухом веществе отрубей снизилось на 64,9%, а в кукурузе на 61% ($p \leq 0,05$). Содержание жира уменьшилось в отрубях более чем в 2 раза ($p \leq 0,05$), а в образцах кукурузы в 4 раза ($p \leq 0,01$). Очевидно, что вышеописанные изменения влекут за собой повышение переваримости корма в целом и отдельных его компонентов, в том числе и минеральных веществ. В то же время мы констатировали факт денатурации белков. Это явление ранее было описано в ряде работ (Kiarie E.G., Mills A., 2019; Zhaleh S. et al., 2020;

Azizian M., Saki A.A., 2021) и оно, напротив, способно было снизить биодоступность минеральных веществ из экструдатов.

Кроме того, другим фактором, способным негативно отразиться на усвояемости минеральных веществ из экструдатов являются морфофункциональные изменения в организме птицы, получающей эти корма. Так мы в своих исследованиях зафиксировали снижение массы органов пищеварения у цыплят-бройлеров желудка на 6,6% ($P \leq 0,001$) при включении отрубей, и на 18% ($p \leq 0,05$) при включении кукурузы. При этом длина кишечника у опытной птицы снижалась. Менялся состав микробиома цыплят. Так, отмечено, что присутствие экструдированных кормов стимулирует рост условно-патогенных и патогенных бактерий, в частности *Salmonella* и *Clostridium* до 11,7 КОЕ/г и 116,7 КОЕ/г соответственно (Walugembe M. et al., 2014). По сравнению с рационами на основе пшеничных отрубей, корма с кукурузой в составе способствовали более высокому числу бактерий семейства *Oscillospiraceae* (наиболее многочисленная группа - *unclassified Oscillospiraceae*). Микроорганизмы семейства *Oscillospiraceae*, как и р. *Alistipes* являются целлюлотическими бактериями, и их более высокое содержание при использовании в рационе кукурузы вероятно обусловлено более высокой массовой долей крахмала (Fisinin V.I. et al., 2016).

Все вышеперечисленные изменения, очевидно не могли сопровождаться увеличением биодоступности минеральных веществ из корма. В связи с этим мы повторили цикл исследований по влиянию замены зерновой части рациона на экструдированные компоненты в рационах птиц. При этом, проявляющую токсические эффекты клинкерную пыль мы заменили на ультрадисперсные фракции известняка.

Кратко проанализируем результаты наших исследований по оценке свойств известняк содержащих экструдатов. В двух сериях исследований мы оценили эффективность ввода в рацион цыплят-бройлеров экструдированной смеси отрубей и различных дозировок известняка, а также экструдированной смеси кукурузы и различных дозировок известняка. Как следует из

полученных результатов введение известняка в кормосмесь перед экструдированием в целом не сопровождалось ростом потребления кормов относительно групп, получавших экструдаты без добавок. Скармливание экструдированной кормосмеси зерна кукурузы (90%) и известняка (10%) цыплятам-бройлерам сопровождалось статистически значимым увеличением живой массы птицы на 3,2% ($p \leq 0,05$).

Введение известняка в низких и средних дозах (10-15%) в обеих сериях сопровождалось нормализацией энергетического и белкового обмена (насыщение сыворотки крови глюкозой, альбумином). Аналогичные результаты ранее получены F.T. Fischbach, M.B. Dunning (2009) и P.Du et al., (2023). Между тем увеличение дозировок известняка до 25% приводит к выраженному минеральному дисбалансу, при котором отмечается значительная активация щелочной фосфатазы, что свидетельствует об активном костном метаболизме (Shastak et al., 2012). В этом случае мы отмечаем признаки токсического воздействия, что в свою очередь выражается повышением креатинина и ЛДГ, и указывает на потенциальное повреждение почек и других органов (Menon, D. G. et al., 2013; Diaz Gonzalez F.H., Scheffer J.D.L.S. 2018).

Добавление известняка в состав кормосмеси перед экструдированием имеет четкий дозозависимый эффект. Существует оптимальный диапазон, по нашим оценкам от 10 до 15%, за пределами которого положительные эффекты сменяются негативными, связанными с нарушением гомеостаза кальция и фосфора. При этом различные корма по-разному оказывали воздействие на минеральный обмен. В частности, скармливание птице кормосмеси полученной путем включения 10-20% известняка в смесь с пшеничными отрубями, перед экструдированием, увеличило содержание кальция в бедренной кости на 13-32%. Использование экструдата смеси известняка и зерна кукурузы, напротив, не сопровождалось ростом содержания кальция в костной ткани. Нами был замечен эффект синергии между НКП экструдированных отрубей и кальцием способствующий депонированию

кальция в костной ткани. Кукуруза, будучи высококрахмалистым сырьем, не обладает таким же потенциалом для взаимодействия с кальцием как это мы отмечали для пшеничных отрубей. Аналогичные закономерности были выявлены нами и для других макро- и микроэлементов.

Добавка 10% известняка к зерну кукурузы перед экструдированием стимулирует синтез белка, что сопровождается ростом содержания последнего в крови на величину до 14,6% ($p \leq 0,01$). Концентрация альбумина так же увеличилась на 15,7% ($p \leq 0,05$) в сравнении с группой, получавшей экструдированную кукурузу. В то же время более высокие дозировки известняка в составе экструдированной кормосмеси оказались не эффективными, в этом случае мы констатировали факт угнетения ферментативной активности в сыворотке крови.

Анализ усвоения питательных веществ стартового рациона показал достоверные изменения показателей только в группе, получавшей 10% известняка в составе экструдата отрубей. Наблюдалось снижение переваримости сухого вещества на 3,74% и 6,8% ($p \leq 0,05$), сырого протеина на 1,84%, и 3,1%, ($p \leq 0,05$), сырого жира на 2,9% ($p \leq 0,05$) относительно контроля и I опытной группы. В период активного роста самая высокая усвояемость жира (92,05%) наблюдалась при введении 20% известняка. Белок усваивался хуже всего в III группе - на 11,2% ($p \leq 0,05$) ниже по сравнению с контрольной группой.

При смене в составе экструдированной кормосмеси отрубей на кукурузу в стартовом рационе замена 10% зерна немного повысила усвояемость сырого белка на 1,39% и сырой клетчатки на 1%. В ростовом рационе экструдированная кукуруза значительно повышала усвояемость сырого жира во всех экспериментальных группах: в первой группе этот показатель вырос на 6,4% ($p \leq 0,01$), а во II группе — на 8% ($p \leq 0,01$) по сравнению с контрольной группой. В III опытной группе нами констатирована максимальная переваримость сырого жира на 9,8% ($p \leq 0,001$) выше, чем в контроле. Необходимо отметить, что и в этой серии сохранялась тенденция усвоения

питательных веществ, наблюдаемая для отрубей при введении 10 и 20% CaCO₃. Так 10% ввод снижал усвоение сырого жира и других показателей, а при 20% дозировке усвояемость сырого жира и сырого белка увеличилась на 3,2% ($p \leq 0,01$) и 2,9% соответственно.

Выбранные нами дозировки экструдатов в рационе цыплят бройлеров в диапазоне ввода до 20% известняка так же отличались эффектом гипердоступности по кальцию. При этом в одном из экспериментов на фоне роста усвояемости кальция и роста обменного пула последнего на величину до 46,4 % ($p \leq 0,001$), мы фиксировали закономерное снижение в организме птицы пулов элементов антагонистов кальция – железа и фосфора, уровень которых в сыворотке крови снижался на 34,9 % ($p \leq 0,05$) и 24,9 % ($p \leq 0,05$), соответственно, относительно контроля.

Далее опираясь на имеющийся в науке багаж знаний о влиянии различных факторов на биодоступность химических элементов в организме животных, мы предположили, что одним из ключевых факторов, определяющих феномен «гипердоступности» как таковой, является микрофлора. Это заключение было основано на ранее выполненных исследованиях О.В. Кван (2007), в которых автор описал зависимость обмена жизненно необходимых химических элементов от состава микрофлоры кишечника. Позднее McCabe L, Britton RA, Parameswaran N., (2015) показали зависимость прочности и плотности костей от состава микрофлоры, в контексте её влияния на всасывание кальция.

Для подтверждения или опровержения этой гипотезы нами были предприняты исследования по оценке микробиома птицы, получавшей опытные корма. Как следует из полученных результатов, введение карбоната кальция в отруби перед экструдированием способствовало увеличению доли бактерий филумов *Bacteroidota* (+7,59 %) и *Bacillota* (+19,2 %) в сравнении с обработанными отрубями без минеральной добавки. Бактерии этих филумов часто ассоциированы с ферментацией сложных полисахаридов. Увеличение их доли указывает на усиление процессов ферментации клетчатки отрубей под

влиянием кальция. Наблюдалось увеличение *Bacteroidaceae*, *Oscillospiraceae*, *Faecalibacterium*, *Phocaeicola*. Эти таксоны связаны с производством короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК), таких как бутират и положительно влияют на состояние кишечника (Ganesan K. et al. 2018; Hiippala K. et al. 2018; Vermeulen K. et al., 2018). Предполагаем, что это могло быть одной из причин способствующей более активному усвоению кальция и отложению их в костях. Короткоцепочечные жирные кислоты, в особенности бутират, являются важным источником энергии для энтероцитов и играют значимую роль в здоровье кишечника птицы. Отмечается, что короткоцепочечные жирные кислоты оказывают влияние на рост клеток кишечника (тем самым увеличивая площадь всасывания), способствуют увеличению транспорта кальция и его всасывания (Shang Q.H. et al., 2020; Wang J. et al., 2022). Снижение доли бактерий семейства *Rikenellaceae* (-22 %), что закономерно, на уровне рода, было связано с меньшим содержанием микроорганизмов таксонов *Alistipes* (-16,1 %) и *Rikenella* (-5,41 %), может быть положительным признаком т.к. некоторые виды *Alistipes* могут ассоциироваться с негативными состояниями.

В случае использования в рационе экструдированной кукурузы обогащенной карбонатом кальция также отмечалось увеличение доли бактерий, активно разлагающих крахмал и продуцирующих сукцинат, пропионат и ацетат (Фисинин В.И. и др., 2016). Тем не менее изменений в уровне кальция в костной ткани отмечено не было, как в случае использования экструдированных отрубей с кальцием, что указывает на влияние дополнительных факторов на минеральный обмен и необходимость более детального изучения данных механизмов.

Оценка индексов альфа-разнообразия не выявила достоверных различий между группами, получавшими известняк в составе экструдатов. Это означает, что конечное таксономическое разнообразие микробиома было схожим, несмотря на противоположные тенденции изменений (обогащение для отрубей и обеднение для кукурузы). Оценка бета-разнообразия показала

достоверные различия в структуре бактериальных сообществ между группами ЭО и ЭО+Са, а также между ЭК и ЭК+Са. Это подтверждает, что добавление кальция кардинально меняет состав микробиома, и характер этих изменений зависит от типа углеводного субстрата.

Между тем результаты наших исследований показывают, что скормливания экструдата со все большей долей карбоната кальция сопровождалось колонизацией толстого кишечника сальмонеллой, стафилококком и другими транзиторными микроорганизмами, что подтверждается работами, выполненными ранее (Bovee-Oudenhoven I.M. et al., 1999). Причем, наиболее значительно вырос титр кишечной палочки до 25 раз относительно контроля. *Clostridium* отреагировали интенсивным ростом на дозировку Са в 20 %. Известно, что рост данных бактерий зависят от уровня Са. Низкое содержание этого элемента в рационе сопряжено с повышением выработки фитазы и таким образом может улучшить усвоение минералов, аминокислот и увеличивает продуктивность птицы в целом (Jorgensen H. et al, 1996).

Однако изменения биоценоза не свидетельствуют о тяжёлых дисбиотических процессах в организме птиц, т. к. на фоне роста условно-патогенных бактерий идёт интенсивный рост нормофлоры. Вероятно, это объясняется эффектом так называемого кросс-кормления, когда активация роста одних бактерий за счёт введения субстратов стимулирует рост других (Holscher H.D., 2017).

Применение экструдатов кукурузы так же показывало зависимость роста лакто и бифидобактерий от углеводного состава компонентов. Отсутствие роста или его снижение характерно для более доступных экструдированных форм. При этом введение кальция так же стимулирует рост полезной микрофлоры, причем интенсивный рост *Bifidobacterium* наблюдался для 10-20% ввода CaCO_3 с минимальным ростом в контрольной группе, а рост *Lactobacillus* изменялся в ряду I < контроль < группа II < группа III. Группа III

показала максимальный рост (в 10,2 раза) по сравнению с экструдатом без кальция.

Рассматривая изменения в микробиоме птицы при введении экструдированных смесей растительных кормов и карбоната кальция следует отметить, что и сама процедура барогидротермической обработки изменяет микробный профиль. Так, если микробиом слепой кишки цыплят-бройлеров, получавших в рационе пшеничные отруби без предварительной экструзии, характеризовался присутствием до 16 % от общего числа идентифицированных микроорганизмов бактерий р. *Akkermansia*. Аналогичные результаты получены ранее (Molnár A. et al., 2020).

В то же время экструзионная обработка отрубей привела к значительному, всего до 2%, снижению доли этих бактерий. Снижение численности бактерий р. *Akkermansia* вероятно было обусловлено изменениями химического состава пшеничных отрубей в результате экструзии. Отмечается взаимосвязь для диет с высоким содержанием клетчатки в корме и уровнем микроорганизмов р. *Akkermansia* в кишечнике (Yao S. et al., 2023). В нашем исследовании экструзия приводила к снижению процента массовой доли сырой клетчатки. Ряд исследований на цыплятах-бройлерах показали взаимосвязь увеличения численности бактерий р. *Akkermansia* в микробиоме кишечника и улучшения отдельных физиологических параметров (Yan W. et al., 2017; Cui X. et al., 2022). В то же время отмечается отрицательная корреляция между содержанием бактерий р. *Akkermansia* с показателями живой массы (Han G.G. et al., 2016). В нашем исследовании, аналогично, более низкое количество бактерий р. *Akkermansia* в микробиоме слепой кишки отмечалось в группах с более высокими показателями прироста живой массы цыплят (группы, получавшие экструдат).

Примечательно, что применение экструдированных пшеничных отрубей характеризовалось более высоким содержанием в микробиоме слепой кишки бактерий семейства *Rikenellaceae* (р. *Alistipes*) в сравнении с группой, получавшей нативные отруби. В слепой кишке цыплят бактерии р. *Alistipes*

осуществляют синтез ряда короткоцепочечных жирных кислот (ацетат, пропионат, сукцинат) обладающих противовоспалительными механизмами и осуществляют синтез метаболитов липидного обмена в печени (Zhang B. et al., 2022). Сукцинат, является основным продуктом ферментации бактерий р. *Alistipes* и важным источником получения энергии в кишечнике, что коррелирует с увеличением показателей живой массы цыплят. В исследовании Celine De Maesschalck и др. (2019) отмечается, что более высокому относительному содержанию способствует использование более доступной формы целлюлозы (аморфная целлюлоза) бактерий р. *Alistipes* в микробиоме слепой кишки бройлеров. Наличие подобных взаимосвязей дает возможность предположить, что экструзия позволяет сделать компоненты корма более доступными к ферментации и облегчает процесс пищеварения.

В целом в исследованиях «in vivo» нам оказалось сложным подтвердить, или опровергнуть гипотезу о ключевой роли микрофлоры в эффекте “гипердоступности”. Поэтому в дальнейшем мы предприняли дополнительные исследования на моделях на «in vitro». При этом мы исходили из того, что до 95% ферментативной активности микроорганизмы при расщеплении твердых субстратов реализуют после адгезии к поверхности частиц корма. В свою очередь использование клинкерной пыли на 60-70% состоящей из кальцийсодержащих комплексов или применение известняка при соэкструзии с растительными кормами, вероятно, как мы предположили, оказывает влияние на способность к адгезии микрофлоры к поверхности кормовых частиц. Для того что бы это проверить эту гипотезу нами совместно с Кристиной Сергеевной Кондаковой была разработана и реализована методика оценки адгезии микроорганизмов к поверхности частиц корма. Апробация методики на практике подтвердила верность нашего предположения – переваримость корма тесно коррелировала со степенью адгезии микроорганизмов к поверхности частиц корма. Так экструдаты с включением карбоната кальция в диапазоне 5-30% отличались увеличением адгезивной активности микроорганизмов на 40-93 %, а доступность

питательных веществ линейно увеличивалась с увеличением процента ввода добавок. При этом качество поверхности субстрата, характеризующееся показателем среднеквадратичной шероховатости, положительно влияло на число прикреплений бактерий к частицам. Для значения показателя удельной поверхности наблюдалась обратная закономерность - чем выше адгезионная активность и переваримость веществ, тем ниже были ее значения.

С этого момента мы стали рассматривать металлы, способствующие повышению адгезии микроорганизмов к поверхности кормовых частиц как металлы-посредники. Из значительного перечня металлов-микроэлементов к числу металлов-посредников оказалось возможным отнести кальций и магний. Причем карбонаты этих металлов оказались более предпочтительными по отношению к сульфатам. В последнем случае активность микроорганизмов снижалась, несмотря на более интенсивные физические преобразования экструдированных субстратов.

Аналогичные результаты получены и для солей магния. Для которых также сохранялись полученные зависимости между характеристиками поверхности субстрата и адгезией микроорганизмов. При одинаковых уровнях введения солей, сульфатные комплексы снижали адгезию микроорганизмов почти в 2 раза - 99,7% адгезированных микроорганизмов при 20% дозировке MgCO_3 против 54,2% при той же дозировке MgSO_4 .

Опыт по созэкструзии минералсодержащих экструдатов с добавлением крахмала, как вещества, которое в большей степени подвергается структурным изменениям при обработке, и способствующего созданию продуктов с высокой усвояемостью (Mitrus M. et al., 2017; Huang et al., 2022), не превысил показатели по изучаемым параметрам в опытных комплексах, в которых носителями минералов были некрахмальные полисахариды. Однако ряд исследователей показывает положительное влияние созэкструзии крахмала и НКП для получения продуктов с медленным высвобождением глюкозы (Mitrus M. et al., 2017; Jiao A. et al., 2024).

Для дальнейшего понимания механизмов влияния поверхности контакта микроорганизмов с субстратом и доступностью питательных веществ, были проведены исследования микроструктуры экструдатов с помощью АСМ. Показано, что гидробаротермическая обработка способствовала получению однородной структуры. А включение в экструдат CaCO_3 в дозировках от 10 до 30% способствовало разрушению кристаллов солей и включению их в структуру продукта. Сульфаты кальция и магния менее подвержены структурным преобразованиям в процессе экструзии. В то же время включение в состав продукта крахмала ожидаемо позволяет получить более плотную агрегацию частиц за счет увеличения вязкости продукта в процессе экструзии.

На основании проведенных исследований мы предположили, что карбонаты в комплексе с некрахмальными полисахаридами проявляет большую биологическую активность и использовали эти комплексы в экспериментах на животных. В качестве сравнения предложено использовать экструдат кукурузы, который отличается высокой доступностью и низким содержанием клетчатки (Zhao Y. et al., 2024).

Таким образом при детальном изучении свойств кормов нами установлено, что нахождение в кормах магния и особенно кальция, в дозировках более 4-5%, в составе солей с относительно низкой температурой распада, сопровождалось ростом адгезии микрофлоры к поверхности частиц, что коррелировало с переваримостью кормов. Следует отметить, что проблематика использования этих жизненно необходимых химических элементов в кормлении сельскохозяйственных животных достаточно хорошо изучена. В частности, с момента открытия кальция Гемфри Дэви в 1808 году, интерес к свойствам и физиологической роли этого химического элемента только усиливается. Распределение кальция в организме хорошо изучено, 99% содержится в костях и 1% в мягких тканях (Скальный А.В., Рудаков И.А., 2004; Оберлис Д. и др., 2008; Vitti D.M.S.S., Kebreab E., 2010). Однако современные фундаментальные и клинические исследования показывают, что

роль кальция в физиологических процессах не ограничивается формированием структуры костей. Кальций необходим для регуляции внутриклеточных процессов, стабилизации артериального давления. От кальция зависит секреция и действие гормонов, проницаемость клеточных мембран, процессы нервной проводимости, мышечные сокращения, тонуса и функционирования сосудов (Stevenson M. et al., 1999; McDougall S., 2001; Ledgard S. F. et al., 2004; Иванов Г.В., Иванов А.В., 2011; Демидов В.И. и др., 2014). Известно, что кальций увеличивает синтез коллагена, что приводит к ускорению заживления ран (Stevenson M. et al., 1999; McDougall S., 2001; Ledgard S. F. et al., 2004; Иванов Г.В., Иванов А.В., 2011; Демидов В.И. и др., 2014).

Функции многих белков живого организма зависят от уровней кальция, некоторые белки связывают ион кальция, как кофактор. От него зависят процессы клеточного апоптоза, межклеточная адгезия формирование структуры соединительной ткани и т.д. (Matkovic V., Heaney R.P., 1992; Mc Kane W.R. et al., 1996; Hermes M., Stracke H., 1998; Heaney R.P., 2000; Dibba B. et al., 2000; Deluca H.F., 2004; Chin C.M. et al., 2004; Яблокова Е.А., 2006; Громова О.А. и др., 2013).

Общепризнанными источниками кальция в рационах птицы являются минеральные соли: карбонат, хлорит, сульфат и др. Существенные различия между этими источниками кальция заключаются в разной биодоступности. Механизм доступности кальция из минеральных солей известен и зависит от нескольких факторов, прежде всего это доза, одновременное поступление в пищеварительный тракт элементов синергистов и антагонистов, кислотность желудочного сока, режим приема. Выбор оптимального источника кальция позволяет исключить коморбидные состояния, связанные с нарушением минерального обмена обмена (Хаустова Г.Г. и др., 2008; Осипенко О.В., Вахлова И.В., 2008; Суриц О.В., 2012; Дедов И.И. и др., 2013). Препараты кальция на основе неорганических солей являются наиболее изученными по воздействию на организм и более доступными по цене. Основным их

недостатком является малая растворимость и низкая скорость растворения и как следствие низкая эффективность. Органические соли кальция представлены более усваиваемыми формами: цитратом кальция, лактатом кальция и глюконатом (Громова О.А. и др., 2013).

Несмотря на достаточно широкий мировой рынок препаратов, применение современных источников кальция в Российском животноводстве отстает на несколько лет от мировых тенденций. В животноводстве до сих пор очень популярно использование кальция в виде карбонатов, входящих в состав мела, известняка, ракушечника (Wiethölter N. et al., 2003; Mikshina P.V. et al., 2015; Guo S. et al., 2022; Kaczmarska A. et al., 2022; Huang W. et al., 2023).

Известняк является важнейшим источником кальция в птицеводстве, составляя более 70% от общего используемого кальция в рационах (Adeola O., Zhang F., 2018). Относительно высокое содержание Ca (до 40%) в природных источниках, не обеспечивает необходимую усвояемость, кроме того на этот показатель влияют различия между источниками известняка, размером частиц, скоростью растворимости и геологическим происхождением (Kim S.W. et al., 2019; David L.S. et al., 2021; Walk C.L., et al., 2021).

На птицефабриках одной из главных причин экономических потерь являются проблемы с конечностями птицы. Современные кроссы обладают высоким генетическим потенциалом, что приводит к быстрому набору массы и значительной нагрузке на костную ткань. В сочетании с недостаточным содержанием кальция в рационе, это вызывает у птицы неспособность нормально стоять и передвигаться Proszkowiec-Weglarz M., Angel R., 2013; Буяров В.С. и др., 2019). Ослабление опорно-двигательного аппарата приводит к проблемам с потреблением корма и воды, в связи с деформацией костей начинается хромота, часто птица получает переломы при изъятии из клеток (Eusemann B.K. et al., 2022). Таким образом, именно патологии конечностей являются ключевым фактором экономических потерь в отрасли (Бессарабов Б.Ф., 2009; Nasr M.A.F. et al., 2013).

В яичном птицеводстве, крепость костей становится особенно важной в связи с удлинением производственного цикла до 100 недель. В отличие от классического, расширенный цикл требует поддержания качества и функциональности костной системы в течение более длительного времени. Одной из причин преждевременной замены стада является развитие остеопороза, приводящего к снижению продуктивности и усиливающимися проблемами с опорно-двигательным аппаратом (Азовцева А.И., Дементьева Н.В., 2023). Кроме того, проблемы с обменом кальция у кур-несушек сопряжены с ухудшением скорлупы и как следует из статистики среднероссийской яичной фабрики при средней производительности небольшой птицефабрики 300 млн яиц в год, около 24 млн яиц выводятся из коммерческого оборота в связи с дефектами скорлупы.

В свете вышесказанного проблематика повышения эффективности препаратов кальция в птицеводстве представляется особо актуальной. В настоящее время это становится особенно сложно в условиях риска ухода с рынка или объявления моратория на поставки кормовых добавок зарубежными компаниями, являющихся основными поставщиками качественных премиксов и минеральных добавок в России. Анализ количества зарегистрированных в реестре Россельхознадзора (<https://galen.vetrif.ru/#/>) кормовых добавок показывает, что на рынке представлены 26 зарубежных препаратов кальция для птиц действующим веществом в которых является хлорид кальция и цитрат кальция. Российский сегмент состоит только из 7 кальций содержащих добавок. Большинство из которых уступают зарубежным аналогам по своим характеристикам.

Таким образом российский рынок кормовых добавок фактически находится в зависимости от импорта. И вопрос разработки собственных препаратов - эффективных источников кальция в России актуален.

На сегодняшний день научные исследования повышения эффективности использования источников кальция у сельскохозяйственной птицы ведутся в нескольких направлениях, в том числе через повышение уровня

использования традиционных источников кальция; использование органических форм; использование регуляторов кальциевого обмена. При этом отраслевой наукой все больше внимание уделяется созданию более эффективных источников кальция из сырья горнорудной промышленности. Это во многом определяется тем, что на фоне роста генетического потенциала современных кроссов птицы необходимы новые средства реализации потенциала последнего. В связи с этим по заказу ООО "Горнозаводскцемент", компании Аккерманцемент (Россия) ИНН 5607015014 нами была разработана и апробирована технология производства новых кальций содержащих добавок из известняковой (доломитовой) муки осадочных горных пород Ново-Пашийского месторождения.

На начальном этапе работ мы провели цикл лабораторных исследований по разработке регламента синтеза новых субстанций из осадочных пород Ново-Пашийского месторождения. Нами было выбрано два алгоритма повышения биодоступности кальция из материала, предоставленного ООО "Горнозаводскцемент". В одном случае мы применили обработку породы раствором лимонной, в другом соляной кислоты. При этом очевидно, что горная порода, как сложный комплекс различных структур, реагирует на обработку кислотами с образованием целого ряда различных веществ. Соответственно для того что бы исключить любые негативные последствия применения вновь синтезированных комплексов в птицеводстве нами были предприняты исследования по оценке токсичности последних на трех моделях - бактериях (*Escherichia coli* K12 TG1), простейших (инфузории *Stylonychia mytilus*) и лабораторных животных (крысы *Wistar*). Следует отметить, что эти исследования являются обязательным атрибутом мероприятий по разрешению новых кормовых добавок для использования в животноводстве.

Как следует из полученных результатов исследуемые препараты ОКД1 и ОКД3 не обладали токсическим эффектом во всем диапазоне концентраций веществ, что объясняется высоким уровнем выживаемости инфузорий *Stylonychia mytilus*. Установлено, что все исследуемые источники кальция

стимулировали свечение бактериального штамма – ингибирующих значений не выявлено. Напротив, при дозировках ОКД2 – 5 мг/мл; ОКД3 – 0,024 мг/мл; ОКД1 – 0,048 мг/м наблюдались пребиотические свойства.

Исследования, проведенные на лабораторных животных, включали три серии экспериментов в каждой из которых оценивалось действие препаратов в различных концентрациях от суточной потребности в кальции (15%, 30% и 45%). Оценка включала биохимические и морфологические параметры крови, минеральный состав крови и тканей (печень, почки, кости) и баланс кальция.

Наиболее значимо биологическое действие препарата ОКД3 проявилось в снижении уровня билирубина в крови во всех экспериментальных группах на 29–47% ($p \leq 0,05$ – $0,001$) и модуляцию популяций иммунных клеток. Отмечено положительное действие, на костную ткань которое проявилось в улучшении индекса прочности бедренной кости при дозах 15% и 30% ($p \leq 0,05$).

Сходные данные получены и при испытаниях ОКД1 снижение билирубина в крови на 35–51% ($p \leq 0,01$). Препарат отличался снижением уровня билирубина и фосфора без существенного изменения общих показателей крови. Обладая высокой биодоступностью, цитратный комплекс вероятно, влияет на хелатирование других микроэлементов, что приводит к снижению. Снижение Cu, Co, Se и тенденции к накоплению токсичных элементов (Ba, V, Al, Pb, Cd) в печени при средних дозировках. Исходный препарат ОКД2 приводил к снижению уровня глюкозы, общего белка, альбумина, железа. И демонстрировал самую низкую усвояемость Ca, вызывая в организме дисбаланс макро- и микроэлементов. Гистологические исследования не выявили патологических изменений в печени и почках ни в одной из групп трех серий экспериментов, что свидетельствует об отсутствии острых токсических эффектов. Особо необходимо отметить что при использовании синтезированных препаратов кальция в различных дозах коэффициент усвоения составил 37-41 %, что превышает показатели контроля на 19-23 %. Биодоступность кальция из исходной породы оказалось так же ниже на 10-18%.

Таким образом, принципиально мы в своей работе смогли обеспечить достижение искомой цели – увеличение биодоступности кальция из состава горной породы.

В эксперименте, проведенном на цыплятах –бройлерах обнаружено выраженное влияние изучаемых источников кальция на процессы остеогенеза и минерализации скелета. Так характеристики большеберцовой кости при применении ОКД1 были выше контроля по длине на 8% ($p \leq 0,01$). Применение ОКД1 и ОКД3 продемонстрировало достоверное увеличение наибольшей длины проксимального эпифиза на 24,8% ($p \leq 0,05$) и 21,2% ($p \leq 0,001$) соответственно. Дистальный эпифиз так же был более развит на 22,6% ($p \leq 0,05$) группе, получавшей ОКД3. Эпифизы являются ключевыми зонами роста и суставными поверхностями, и их усиленное развитие свидетельствует об улучшении процессов эндохондрального окостенения под воздействием высокодоступных источников кальция.

По бедренной кости наблюдалась разнонаправленная динамика: длина бедренной кости была снижена Для ОКД1 и ОКД3 на 6,5% ($p \leq 0,05$) и 10,6% ($p \leq 0,05$). Однако при этом у тех же групп зафиксирован рост наибольшей длины проксимального эпифиза на ~9,1-9,3% ($p \leq 0,01$) и дистального эпифиза (максимально в I опытной группе — 24,4%, $p \leq 0,01$).

Выявленный нами парадокс — уменьшение общей длины при увеличении размеров эпифизов — может быть следствием перераспределения ресурсов организма. Высокодоступный кальций, особенно из ОКД3 и ОКД1, мог интенсифицировать процессы минерализации и утолщения кости в ущерб ее продольному росту, что в итоге привело к формированию более компактных, но при этом более массивных и прочных костей. Это подтверждается данными по плотности.

Плотность берцовой кости достоверно возросла во всех опытных группах: максимально в группе, получавшей ОКД3 — на 70,4% ($p \leq 0,05$), ОКД2 — на 56,9% ($p \leq 0,05$), ОКД1 — на 36,4% ($p \leq 0,05$).

Плотность бедренной кости также значительно увеличилась: снова лидирует соль кальция в форме раствора - ОКД1 — +78,2% ($p \leq 0,05$), далее группа получавшая кальций в известняке — +60,4% ($p \leq 0,05$) и группа с включением ОКД3 — +27,7% ($p \leq 0,05$).

Полученные результаты согласуются с данными биохимического анализа крови где показано, что применение ОКД3 и ОКД1 проявляется значимым повышением не только уровня кальция в сыворотке, но и магния и витамина D. Витамин D стимулирует синтез кальций-связывающих белков, обеспечивающих активное всасывание Ca^{2+} в кишечнике. Достаточный уровень магния критически важен для активности остеобластов и образования гидроксиапатита (Zanu HK et al., 2020).

Резкое увеличение активности щелочной фосфатазы в этих же группах (+7,45% и +14,71%) прямо указывает на стимуляцию костеобразования (Хиггинс К., 2021).

Учитывая и то, что применение полученных в ходе синтеза источников кальция, способствует эффективному усвоению питательных веществ, а, следовательно, улучшению использования энергии корма (повышение чистой энергии прироста на 8,84 и 11,57%), не оказывая при этом существенного негативного влияния на здоровье птиц, ОКД1 и ОКД3 могут быть рекомендованы для применения в рационах с целью профилактики нарушений опорно-двигательного аппарата и улучшения общего состояния птицы.

В исследованиях на модели кур-несушек мы подтвердили высокую эффективность новых препаратов. Применение 30% ОКД1 достоверно снизили затраты корма на производство 1 кг яйцепродукта. Испытуемые препараты наряду с позитивным влиянием на продуктивность обеспечили формирование у кур-несушек костяка. Так, применение ОКД1 отразилось на увеличении дистального эпифиза большеберцовой кости, а использование ОКД3 сопровождалось увеличением массы и объёма этой кости. ТДУ и индекс *Seedor* был выше контроля на фоне применения ОКД3 в количестве 10%

Наблюдается достоверное увеличение продольной прочности большеберцовой кости с повышением доли хлорида и ОКД1 в рационе

Замена 20% кормового CaCO_3 на ОКД3 привела к совместному повышению уровней Ca и Mg в берцовой кости, в других случаях совместного изменения не наблюдалось.

В данной серии экспериментов особый интерес представляет оценка влияния дозозависимого введения синтезированных источников кальция на гормональный статус и маркеры костного метаболизма. Наиболее благоприятный гормональный профиль был выявлен в группе, получавшей ОКД1 в дозировке 20% - снижение паратиреоидного гормона (ПТГ) на 18,95% ($p \leq 0.01$) и значительное повышение остеопротегерина (OPG) на 70,07% ($p \leq 0.05$). Это говорит о том, что организм не испытывает дефицита кальция и активно восстанавливает костную ткань.

В отличие от цитратной формы, раствор препарата с хлоридом кальция ОКД3 демонстрирует менее благоприятный гормональный фон. Повышение ПТГ в группе 20% ОКД3 свидетельствует о его более низкой биодоступности или о негативном влиянии на метаболизм (например, метаболический ацидоз, вызванный хлорид-анионом), который может нарушать кальциевый обмен и стимулировать выведение кальция. В результате организм воспринимает это как гипокальцемию и активирует ПТГ для мобилизации кальция из костей.

При этом снижение маркера резорбции СТХ-I на фоне введения ОКД3 всего диапазона концентраций является интересным и несколько противоречивым наблюдением. Это может быть связано с прямым влиянием ионов кальция или хлора на активность остеокластов, либо являться компенсаторной реакцией на введение добавки. Однако, учитывая повышение ПТГ (для группы с 20% введением), этот положительный эффект (снижение СТХ-I) может быть недолговечным, и в долгосрочной перспективе высокий уровень ПТГ будет стимулировать резорбцию.

В целом по результатам эксперимента ОКД1 проявил себя как более эффективная и сбалансированная форма по сравнению с ОКД3 оказывая

положительное влияние на продуктивность, качество скорлупы, прочность костей, иммунный и метаболический статус. ОКДЗ может быть использован в дозе 10% как экономичная альтернатива для улучшения конверсии корма и прочности костей, но по комплексности положительного воздействия он уступает цитрату.

Важным преимуществом использования синтезированных препаратов кальция (особенно ОКДЗ) является их способность снижать накопление токсичных элементов (стронция и бария) в костной ткани и яичной скорлупе.

Критически оценивая полученные результаты можно заключить, что вновь созданные препараты отличаясь более высокой биодоступностью кальция оказали непосредственное влияние на обмен веществ. Однако, очевидно, что действие этих кормовых добавок на организм птицы было более сложным.

Известно о роли кальция как модулятора микробной адгезии и целостности кишечного барьера (Venegas S. C. et al., 2006; McClintock S. D. et al., 2020). Адгезия микроорганизмов к слизистой оболочке влияет на устойчивость к колонизации и метаболическую активность, что, в свою очередь, отражается на усвоении кальция и состоянии организма (Bovee-Oudenhoven I.M.J. et al., 1999; Zárate G. et al., 2002). Взаимосвязь между доступностью кальция, структурой микробного сообщества и продукцией метаболитов формирует основу для понимания того, как системно рацион влияет на состояние организма в целом (Wallace T. C. et al., 2017; Aslam M. et al., 2020).

Эти факторы закономерно могли повысить эффективность новых кормовых добавок в рационе кур-несушек, что было нами констатировано при оценке качественных и количественных показателей яичной продуктивности. Причем лучшая яйценоскость, сопровождающаяся меньшими затратами корма, получена у несушек, получавших добавку кальция в форме ОКД1. Увеличение толщины скорлупы, а также положительные изменения

химического состава содержимого яйца наблюдалась в обеих опытных группах.

Предложенный подход коррекции кальциевого питания у «старых» кур-несушек способствует продлению производственного периода.

Между тем на фоне бурного развития нанотехнологий зоотехническая наука в последние годы получила дополнительный инструмент повышения биологической полноценности кормовых добавок через создание препаратов ультрадисперсных веществ, с иным, в отличие от солей, механизмом усвояемости в пищеварительном тракте. Ультрадисперсные частицы способны преодолевать кишечный барьер в неизменном виде. Это исключает необходимость синтеза для организма комплекса переносчиков химических элементов и кардинальным образом изменяет метаболизм у птицы.

Для оценки новых кормовых добавок в кормлении птицы нами проведен цикл исследований по курах-несушках и цыплятах-бройлерах. В этих исследованиях в качестве испытуемого вещества использовали ультрадисперсные препараты глюконата кальция, полученные путем механоактивации. Предварительно нами дана комплексная оценка биотоксичности этой кормовой добавки на модели инфузорий и бактерий. Следует отметить, что оцениваемый препарат кальция не был токсичным. Это позволило нам приступить к исследованиям на птице.

Результаты применения УДЧ глюконата кальция превзошли наши самые смелые надежды. Оказалось, что введение этой кормовой добавки в рацион позволило увеличить живую массу на 24,7 % ($p \leq 0,001$) и существенно снизить расход кормов! При этом высокая продуктивность птицы, что вполне закономерно, тесно коррелировала с переваримостью питательных веществ кормов. В частности, при дозировке препарата 0,7 г/кг мы отмечали рост переваримости жира, протеина, БЭВ на 3,49; 1,95; 2,0% по сравнению с контрольной группой.

Введение УДЧ в рацион цыплят-бройлеров оказывает положительное влияние на усвоение минеральных веществ. Так, усвоение макроэлементов из

комбикорма в первые две недели ввода УДЧ возрастает во всех опытных группах по кальцию на – 16-21 %, фосфору на – 24-68 %, магнию – 4-10 % по сравнению с контролем. Аналогичный рост биодоступности микроэлементов цинка и меди составил 14-16 ($p \leq 0,05$) и 3-4%, соответственно.

Рост биодоступности минеральных веществ определил увеличение минерализации костной ткани. Уровень кальция и магния в костях опытной птицы вырос на 26-38% и 73-103 % относительно сверстников в контроле.

Столь впечатляющий результат на наш взгляд вполне объясним. Современные кроссы цыплят-бройлеров отличаются крайне значительным потенциалом роста, и реализация этого потенциала как не странно в значительной степени зависит от минерального питания. Именно извлечение из кормов всех основных химических элементов необходимых для строительства опорно-двигательного аппарата птицы представляется наиболее сложной задачей на этапе формирования пищеварения у птицы. Описываемое пищеварение в этот период как примитивное не способно обеспечить молодое животное всеми необходимыми компонентами в должном количестве. В этих условиях вещество в ультрадисперсной форме способное проникать через кишечный барьер напрямую без участия пищеварительного аппарата – это очевидная находка современного птицеводства.

В ходе наших исследований при скормливании УДЧ нами отмечено снижение обмена липидов, что выражалось в снижении в сыворотке крови опытных цыплят целого ряда важных маркеров жирового обмена. Критически оценивая этот результат можно отметить, что ранее в литературе активно обсуждался механизм действия ультрадисперсных веществ на организм кур. Так в работе Е.В. Яушевой (2016) показана активизация белкового обмена при поступлении в организм УДЧ металлов, что было связано с обменом аргинина. Автором установлено, что при поступлении в организм ультрадисперсных веществ в крови значительно возрастает количество лейкоцитов и других фагов, всплеск их численности в свою очередь тесно связан с активизацией синтеза в печени аргинина, как донора оксида азота (средство коммуникации

фагов) в организме. Это развитие событий определяет изменения в жировом и белковом обмене. Как известно аргинин является специфическим «сжигателем» жира в организме, способной стимулировать синтез белка в организме, что определило использование этой аминокислоты у спортсменов для наращивания мышечной массы.

В наших исследованиях констатирован факт увеличения количества лейкоцитов на 13-20%, во всех опытных группах не зависимо от концентрации ультраразмерного глюконата кальция. Рост концентрации аргинина в печени опытной птицы составил 5,8-18,1%. При этом нами фиксировались изменения в межуточном обмене веществ. В частности, потери энергии с теплопродукцией, оказались значительно больше в опытных группах что, указывает на высокую интенсивность синтетических процессов в организме, синтез белка требует закономерно больше энергии, чем отложение жира. В этой связи срабатывает закономерная формула формирования массы прироста живой массы, в которой рост массы белка в организме животного связан с увеличением прироста живой массы на величину до 5 г, в то время как отложение 1 г жира приводит к увеличению живой массы животного только на 0,7 г.

Следующим этапом проведены исследования, по биологической оценке, влияния УДЧ гидроксиапатита и карбоната кальция в различных дозировках на организм кур-несушек. В работе использовались препараты химического синтеза полученные на базе кафедры общей химии НИУ «БелГУ». Препараты вводились в период формирования медуллярной костной ткани с 15-20 неделю.

Все три дозировки привели к достоверному снижению потребления корма по сравнению с контролем. Наибольшее снижение (до 16,7%) наблюдалось в группе, получавшей 0,75 г Са в форме ультрадисперсного карбоната. Никаких статистически значимых различий в живой массе между опытными и контрольной группами не выявлено. Во всех группах масса соответствовала возрастным нормам.

Ультрадисперсные препараты кальция, особенно ГАП, стимулируют раннее половое созревание и повышают пиковую продуктивность, что может быть связано с улучшенной биодоступностью кальция, необходимого для формирования яичной скорлупы и гормональной регуляции.

Группы с УДЧ CaCO_3 в раннем периоде яйцекладки (17–20 недель) показали увеличение яйценоскости на 11,4–15,7%. Группы с ГАП показали ещё более выраженное увеличение — до 17,6–31,4%. В первую фазу продуктивного периода яйценоскость в опытных группах оставалась стабильно высокой (95–97% и выше).

Полученные результаты по конверсии корма в продукцию выявили превосходство над контролем в группах с лучшей продуктивностью на 4,2–10,6%.

Улучшение эффективности использования корма связано с оптимальным усвоением кальция, что положительно влияет на метаболизм и продуктивность без увеличения объёма потребляемого корма.

Включение ультрадисперсных биологически активных добавок кальция обеспечивает стабильное увеличение костной массы, что свидетельствует об усилении минерализации и накоплении костного матрикса. Этот эффект сохраняется до поздних сроков яйцекладки, что критически важно для профилактики остеопороза и переломов у несушек. Так сразу после окончания дополнительного ввода кальция в 20 недель масса бедренной и берцовой костей была достоверно выше во всех опытных группах по сравнению с контролем. Наибольший прирост наблюдался в группе с УДЧ ГАП (IV группа) для берцовой кости +22,5%. В 40 недель положительная динамика сохранилась. Масса бедренной кости оставалась выше контроля, особенно в VI группе (+15,9%). Масса берцовой кости также была выше контроля, достигая максимального прироста в V группе (+15,3%).

Плотность бедренной кости в раннепродуктивный период была достоверно повышена в группах с УДЧ CaCO_3 до +16,4%. Для берцовой кости также отмечался рост плотности в группах I и IV до 34,4%. К 40 неделе

плотность оставалась на уровне контроля или незначительно выше, но без ярко выраженной динамики. Это может быть связано с активным использованием кальция для формирования яичной скорлупы в более поздние сроки, что частично нивелирует различия. Однако начальное увеличение плотности создаёт структурный резерв для последующей минерализации.

Таким образом использование ультрадисперсных форм CaCO_3 и ГАП в рационе кур-несушек оказывает многокомпонентное положительное воздействие на костную ткань, которое проявляется в значительном увеличении массы, плотности и прочности костей, и способствует формированию скелетного резерва к началу интенсивной яйцекладки. Долгосрочный эффект характеризуется сохранением до 40 недель повышенной костной массы, увеличением объёма и линейных размеров костей, что указывает на устойчивую адаптацию костной системы к длительной продуктивной нагрузке. Учитывая, что наблюдаемые остеотропные эффекты сопровождаются высокой производительностью опытных групп на протяжении эксперимента, введение препаратов в дозировках 0,25–0,5 г $\text{Ca}/\text{кг}$ корма обеспечит оптимальный баланс между экономической эффективностью и биологическим действием. Включение ультрадисперсных форм кальция в рацион кур-несушек является перспективным направлением для повышения продуктивности и эффективности использования корма.

Обобщение и анализ всех полученных данных позволил нам перейти к следующим выводам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В кормлении цыплят-бройлеров могут быть использованы экструдированные кормосмеси растительных кормов и минеральных добавок. При этом скормливание экструдированной кормосмеси пшеничных отрубей (90%) и известняка (10%) сопровождается повышением интенсивности роста цыплят-бройлеров на 11-12%, что сопряжено с ростом обменного пула кальция в организме птицы на величину до 46 %. Включение известняка в количестве 10-20% в кормосмесь с отрубями перед экструдированием с последующим скормливанием цыплятам-бройлерам сопровождается увеличением содержания кальция в бедренной кости на 12-32%. Скормливание экструдированной кормосмеси зерна кукурузы (90%) и известняка (10%) в составе полнорационного комбикорма на пшенично-кукурузной основе сопровождается статистически значимым увеличением живой массы цыплят-бройлеров на 3-4%.

2. Установлено, что для процесса экструзии растительно-минеральной кормосмеси оптимальными являются влажность сырья не более 25% и ввод известняка не более 20%, это не приводит к повышению энергоемкости и снижению производительности экструдера, а также обеспечивает нагрев продукта на выходе до температуры не выше 100°C. Высокая переваримость экструдатов и бактериальная адгезия коррелируют с повышенной шероховатостью поверхности и более низкими значениями удельной поверхности экструдатов. АСМ-визуализация подтвердила, что экструзия и введение минералов изменяют микроструктуру поверхности, создавая благоприятные условия для закрепления микрофлоры. При сравнении эффективности включения различных минеральных добавок в кормосмеси перед экструдированием установлено, что наиболее рационально, по сравнению с сульфатом кальция карбонатом и сульфатом магния, использовать комплексы с карбонатом кальция. Применение последних

сопровождается увеличением адгезии микроорганизмов к поверхности частиц корма на величину до 93,3-99,7% и ростом переваримости до 87,3%.

3. Экструзия меняет углеводный состав растительных кормов, так в составе пшеничных отрубей количество растворимых углеводов увеличивается на 18-19%, легкогидролизуемых углеводов на 47-48 %. Аналогичный рост для экструдированной кукурузы составляет 3,2 раза и 15-16 %, соответственно. При этом содержание сырой клетчатки в сухом веществе отрубей снижается на величину 65%, в кукурузе на 61,0%. Содержание жира уменьшается в пшеничных отрубях более чем в 2 раза, в образцах кукурузы в 4 раза.

4. Введение в рацион кальцийсодержащих экструдатов меняет состав микробиома слепой кишки цыплят-бройлеров, в зависимости от типа растительных субстратов. Скармливание птице экструдата кормовой смеси пшеничных отрубей и известняка сопровождается увеличением в кишечнике доли бактерий филумов *Bacteroidota* (+7,59 %) и *Bacillota* (+19,2 %) в сравнении с экструдированными отрубями без минеральной добавки. Скармливание экструдированной смеси кукурузу и известняка, напротив, сопряжено со снижением числа бактерий таксона *Bacillota* на 19 % и увеличением доли бактерий филума *Bacteroidota* на 24 % в микробиоме слепой кишки цыплят-бройлеров в сравнении с применением кукурузы без добавления кальция. При этом имеет место снижение количества бактерий семейства *Lactobacillaceae* на 4-5 %, что в основном связано со снижением доли микроорганизмов р. *Lactobacillus* на 3-4 % относительно группы без добавления известняка.

5. Токсикологическая оценка кормовых добавок, произведенных из известняковой/доломитовой муки Ново-Пашийского месторождения путем обработки соляной или лимонной одноводной кислотой не выявила токсического эффекта по отношению к культуре *Stylomyces mytilus* и конститутивно люминесцирующего штамма *Escherichia coli* K12 TGI во всем диапазоне концентраций веществ. Токсические эффекты не установлены нами

и в исследованиях на модели лабораторных животных. Действие препарата ОКДЗ проявилось в снижении уровня билирубина в крови во всех экспериментальных группах на 29–47% и модуляции популяций иммунных клеток. Отмечено улучшение индекса прочности бедренной кости при дозах 15 и 30%. В ходе аналогичных исследований ОКД1 отмечалось снижение билирубина на 35–51% и фосфора в сыворотке крови на 21,5%. Гистологические исследования не выявили патологических изменений в печени и почках ни в одной из групп сравнения.

6. ОКДЗ и ОКД1 являются высокоэффективными источниками кальция в рационе цыплят-бройлеров, повышающими продуктивность, улучшающими метаболизм и качество костной ткани. При этом цитратная форма, полученная из известняковой/доломитовой муки Ново-Пашийского месторождения, является более предпочтительной. В частности, введение ОКДЗ в рацион цыплят-бройлеров сопровождается снижением затрат корма на 21,9%, увеличением прироста живой массы на 14,9% и величины чистой энергии в приросте на 8,84%, что имеет место на фоне повышения содержания в крови гемоглобин на 3,19%, объема эритроцитов 2-3%. Введение ОКДЗ в рацион сопровождается увеличением усвоения кальция на 32,6% и повышением плотности костной ткани на 70,4%. Введение ОКД1 в составе рациона цыплят-бройлеров сопровождается снижением затрат корма на 14,4%, увеличением прироста живой массы на 15,9%, при этом уровень кальция в сыворотке крови увеличивается на величину до 48%. Повышается плотность костной ткани на 36,4%.

7. Введение кормовых добавок, полученных из известняковой/доломитовой муки Ново-Пашийского месторождения, в рацион кур-несушек в предкладковый период способствует увеличению яичной продуктивности. Наилучшие показатели по снижению затрат корма отмечены в группах, получавших 20% ОКД1 – 1,17 кг и 10% ОКДЗ - 1,15 кг/10 яиц, соответственно. ОКД1 в дозе 20% способствует формированию более прочного скелета, это подтверждается результатами оценки гормонального

статуса и маркеров костного метаболизма, а именно снижением ПТГ на 18,9% и повышением ORP на 70,1%. Высокие дозировки ОКДЗ в рационе кур-несушек в предкладковый период характеризуются кратковременным положительным эффектом повышения прочности костной ткани, но не обеспечивает долгосрочной устойчивости костной ткани, с последующими прогрессирующими возрастными деструктивными изменениями до -44% к 40й неделе жизни, против -18% в контроле.

8. Включение УДЧ глюконата кальция в рацион сопровождается снижением расход кормов и увеличением живой массы цыплят-бройлеров на величину до 24,7 %. Скармливание кормовой добавки в дозировке 0,7 г/кг позволяет увеличить переваримость жира, протеина, БЭВ корма на 3,49; 1,95 и 2,0%, соответственно. При этом биодоступность макроэлементов из корма возрастает во всех опытных группах по кальцию на – 16-21 %, фосфору на – 24-68 %, магнию – 4-10 %. Аналогичный рост биодоступности микроэлементов цинка и меди составляет 14-16 и 3-4%, соответственно. Уровень кальция и магния в костях опытной птицы повышается на 26-38% и 73-103 % относительно сверстников в контроле. Введение УДЧ в дозировке 0,4 г/кг корма обеспечило наиболее эффективное использование обменной энергии на продуктивные цели.

9. Использование УДЧ глюконата кальция в кормлении цыплят-бройлеров сопровождается ростом потерь энергии в межуточном обмене с 42-43% в контроле до 44-50% от валовой энергии, поступившей с кормом. Это явление имеет место на фоне повышения эффективности пищеварения у цыплят, получающих УДЧ глюконата кальция в оптимальной дозировке – потери энергии с пометом на уровне 18-19%, против 22-23% в контроле, что в конечном итоге и определяет относительно больший уровень энергии депонируемой организмом птицы в составе прироста живой массы – 37-38% при скармливании УДЧ, против 34-35% в контроле.

10. Включение кальцийсодержащих кормовых добавок в ультрадисперсной форме в рацион кур-несушек обеспечивает выраженный и

устойчивый остеотропный эффект. В 20 недель отмечено достоверное увеличение массы и плотности бедренной и берцовой костей. Максимальный прирост массы 22,5% зафиксирован для берцовой кости в группе с УДЧ ГАП. Положительная динамика сохранялась до 40 недель, масса и размеры костей оставались выше контрольных значений. Начальное увеличение минеральной плотности костной ткани создало структурный резерв для поддержания её прочности в период интенсивной яйцекладки.

11. Введение в рацион цыплят-бройлеров экструдированной кормосмеси пшеничных отрубей и известняка (10%) сопровождается снижением себестоимости мяса на 4,9 руб/кг, и как следствие увеличением прибыли и экономического эффекта на 7-10 %. Использование экструдата кукурузы и известняка в той же дозировке повышает рентабельность на 0,8 %.

Ввод ОКДЗ в рацион бройлеров сопровождается снижением себестоимости мяса на 13,9 руб./кг, что влечет за собой повышение рентабельности производства на 3-4 %. Введение ОКД1 в состав рациона сопровождается снижением себестоимости мяса птицы на 3,3%. Сохранность поголовья повышается, рентабельность производства увеличивается на 1,8%.

Введение в рацион цыплят-бройлеров УДЧ кальция в дозировке 0,4 г/кг корма снижает расход корма и себестоимости производства мяса птицы на 5,7 руб., что влечет за собой повышение рентабельности производства на 4-5%.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для повышения эффективности использования традиционных источников кальция целесообразно включать в рацион цыплят-бройлеров кормовые средства, полученные методом соэкструзии пшеничных отрубей и известняковой муки. В этом случае замена в составе рациона 10% зерна пшеницы на этот корм позволит увеличить рентабельность производства мяса птицы на величину до 9%, при повышении сохранности поголовья на 2-3%.

2. Использование кальцийсодержащих добавок, полученных из сырья горнорудной промышленности в предкладковый период у кур-несушек повышает интенсивность яйценоскости на 2-5% и увеличивает толщину яичной скорлупы на 4-8%. При этом использование органической формы кальция в виде цитрата кальция обладает пролонгированным действием на прочностные характеристики медуллярной костной ткани, сохраняя устойчивость к осевой нагрузке до окончания первой фазы яйценоскости.

3. В целях повышения продуктивности и улучшения качества продукции, получаемой от цыплят-бройлеров целесообразно в рацион птицы включать ультрадисперсные частицы глюконата кальция, полученных методом механоактивации, с размером частиц 500 нм, в дозировке 0,4 г/кг. В этом случае интенсивность роста птицы может быть повышена на величину до 14 %, рентабельность производства мяса птицы увеличивается на 4-5%.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Тема диссертационной работы перспективная к дальнейшим исследованиям, направленная на:

- разработку новой системы кормления птицы, основанной на оценке биодоступности кальция из кормов, с учетом изменений в рН желудочно-кишечного тракта, усвояемости фосфора и аминокислот, эффективности экзогенных ферментов и микробиологического статуса птицы;
- разработку и продвижению на рынок отечественных кормовых добавок на основе сырья горнорудной промышленности;
- детальное изучение изменений в микробиоме сельскохозяйственной птицы при использовании в кормлении различных кормовых добавок, в том числе минералсодержащих.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азовцева А.И., Дементьева Н.В. Факторы, влияющие на крепость костяка кур // Генетика и разведение животных. – 2023. – № 3. – С. 74-85. – doi: 10.31043/2410-2733-2023-3-74-85.
2. Астраханцев А.А., Косарев К.В., Астраханцева Т.Н. Биохимические показатели крови кур при включении в рационы «Кальций МАКГ», «Протикал ТРИ Плюс» и глюконата кальция // Материалы Международной научно-практической конференции «Научно обоснованные технологии интенсификации сельскохозяйственного производства». – Ижевск. – 2017. - Т. 3. – С. 3-5.
3. Бактериальное сообщество слепых отростков кишечника цыплят-бройлеров на фоне питательных рационов различной структуры / В. И. Фисинин, Л. А. Ильина, Е. А. Ёылдырым [и др.] // Микробиология. – 2016. – Т. 85. - № 4. – С. 472-480. doi: 10.7868/S0026365616040054. – EDN WDORTT.
4. Бессарабов Б.Ф. Болезни сельскохозяйственной птицы / Б.Ф. Бессарабов, И.И. Мельникова, Н.Кс. Сушкова, С.Ю. Садчиков. - Москва: Лань, 2009. - 363 с.
5. Бурцев А.В. Современная техника и технология термопластической экструзии в производстве «сухих завтраков» / А.В. Бурцев, В.А. Грицких, Г.И. Касьянов. – Краснодар: «Экоинвест», 2004. – 112 с.
6. Буяров В.С. и др. Оценка племенных качеств сельскохозяйственной птицы мясного направления продуктивности (обзор) // Вестник ОрелГАУ. - 2019. – Т. 3. - № 78. - С. 30-38.
7. Ваншин В.В. Экструзионная обработка растительного сырья. учебное пособие / В. В. Ваншин ; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2021. – 108 с.
8. Георгиевский В.И., Анненков Б.Н., Самохин В.Т. Минеральное питание животных. Москва: Колос. - 1985.

9. Григорьев, Н.Г. К вопросу о современных проблемах в оценке питательности кормов и нормировании кормления животных / Н.Г. Григорьев // С.-х. биология, Сер. Биология животных. - 2001. - № 2. - С. 88-100.
10. Громова О.А., Торшин И.Ю., Гришина Т.Р., Лисица А.В. Перспектива использования препаратов на основе органических солей кальция. Молекулярная медицина кальция // Лечащий врач. - 2013. - № 4. – С. 42–44.
11. Громова О.А., Торшин И.Ю., Томилова И.К., Гилельс А.В. Кальций и биосинтез коллагена: систематический анализ молекулярных механизмов воздействия // Лечащий врач. - 2016. - № 9. - С. 96.
12. Дедов И.И. и др. Эндокринология. Фармакотерапия без ошибок. Руководство для врачей / Под редакцией И.И. Дедова, Г.А. Мельниченко. Москва: «ГЭОТАР-Медиа», 2013. – 425 с.
13. Демидов В.И. и др. Роль кальция, витамина D₃ и остеотропных минералов в профилактике и комплексном лечении перелома берцовой кости: результаты рандомизированного плацебо // Лечащий врач. - 2014. - № 12. - С. 42.
14. Демидов В.И. и др. эффективность заживление кожи при использовании композитов кальция на модели резанной раны // Акушерство и гинекология. - 2015. - № 4. - С. 56–61.
15. Егоров И.А. и др. Руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы / Под ред. В.И. Фисина, И.А. Егорова. М. // Сергиев Посад: Лика. - 2019.
16. Жаксальков Р.А., Заболотных М.В. Влияние экструдированных комбикормов на обмен веществ высокопродуктивных коров черно-пестрой породы // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2024. - Т. 10. - № 4. - С. 334–340. doi: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-4-334-340>.
17. Иванов Г.В., Иванов А.В. Кальций - это металл // Ценовик. - 2011. - № 5. - С. 52-53.

18. Кадырова Р.Г., Кабиров Г.Ф., Муллахметов Р.Р. Синтез магниевых и кальциевых солей α -аминокислот // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2013. – Т. 216. – С. 157-164.
19. Калашников А.П. и др. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие / А.П. Калашников, В.И. Фисинин, В.В. Щеглов, Н.И. Клейменов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиз-дат, 2003. 456 с.
20. Ковалевский В.В., Кислякова Е.М. Модифицированная форма кальция глюконата в рационе кур-несушек // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – Т. 8. – С. 43-45.
21. Крылова В.Б. Научные и практические аспекты получения и применения растительно-мясных экструдатов / В.Б. Крылова, А.Б. Лисицын. – Москва: ГНУ ВНИИ мясной промышленности им. В.М. Горбатова, 2006. – 136 с.
22. Курилкина М.Я., Мирошников С.А., Холодилина Т. Н., Ваншин В.В. К пониманию действия высокодисперсных порошков металлов на биодоступность компонентов экструдатов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2010. – Т. 6. - № 112. – С. 147-151.
23. Курилкина М.Я., Мирошников С.А., Холодилина Т.Н. Эффективность использования микропорошков металлов в составе экструдата при кормлении цыплят-бройлеров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 4. - № 32. – С. 169-171.
24. Курилкина М.Я., Мирошников С.А., Холодилина Т.Н., Кузнецова А.С. Влияние различных видов воздействия на физические и биологические свойства кормов с разной степенью минерализации // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 6. – С. 73-75.
25. Курилкина М.Я., Холодилина Т.Н., Кондакова К.С. Продуктивное действие биоминеральных комплексов пищевых волокон с включением

различных форм металлов // Вестник мясного скотоводства. – 2014. – Т. 1. - № 84. – С. 7-11.

26. Лебедев С.В., Шаврина И.В. Влияние кавитированных пшеничных отрубей и лузги подсолнечника на рост цыплят-бройлеров // Зоотехния сегодня - приоритеты и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции, посвящённой памяти Заслуженных деятелей науки Российской Федерации Владимира Ивановича и Георгия Ивановича Левахиных. - 2025. – С. 48-52.

27. Левахин В.И., Левахин Г.И., Мирошников С.А. Коррекция методики расчета конверсии энергии корма. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 1999. № 1. С. 65.

28. Левахин В.И., Левахин Г.И., Мирошников С.А. Воздействие ферментных препаратов на обмен энергии в организме цыплят-бройлеров. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2002. № 1. С. 84-85.

29. Малкина В.Д. Модификация свойств растительного сырья в процессе экструзионной обработки / В.Д. Малкина, В.В. Мартиросян, Е.В. Жиркова. – 148 Пятигорск: Рекламно-информационное агентство на КМВ, 2013. – 165 с.

30. Мартинчик А.Н., Шариков А.Ю. Влияние экструзии на сохранность аминокислот и пищевую ценность белка // Вопросы питания. - 2015. - Т. 84. - № 3. - С. 13-21.

31. Масалов В.Н., Березина Н.А., Червонова И.В. Состояние зернового хозяйства России, роль зерновых в кормлении сельскохозяйственных животных и питания человека // Вестник аграрной науки. – 2021. – Т. 2. - № 89. – С. 3-15. doi: 10.17238/issn2587-666X.2021.2.3

32. Методика проведения анатомической разделки тушек, органолептической оценки качества мяса и яиц сельскохозяйственной птицы и морфологии яиц / М.А. Лысенко, Т.А. Столляр, А.Ш. Кавтарашвили [и др.]; Российская академия сельскохозяйственных наук, ГНУ Всероссийский

научно-исследовательский и технологический институт птицеводства Россельхозакадемии. – Сергиев Посад: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства Россельхозакадемии, 2013. – 35 с.

33. Методические наставления по использованию комбикормов для птицы новых биологически активных, минеральных и кормовых добавок // В.И. Фисинин, Ш.А. Имангулова, И.А. Егоров, Т.М. Околелова // методическое руководство – Сереев Посад: ВНИТИП. – 2011. – 99 с.

34. Микуленок В.Г., Жалнеровская А.В., Кахнович А.В. Полнорационные комбикорма в условиях промышленного свиноводства // Витебская государственная академия ветеринарной медицины. - Витебск: ВГАВМ, 2018. - 59 с.

35. Мирошников С.А. Действие мультиэнзимных композиций на обмен веществ и использование энергии корма в организме птицы. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / 320 Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания сельскохозяйственных животных. Оренбург, 2002

36. Мирошников С.А., Завьялов О.А., Фролов А.Н., Харламов А.В., Дускаев Г.К., Курилкина М.Я. Элементный состав шерсти как модель для изучения межэлементных взаимодействий. Вестник мясного скотоводства. 2016. № 4 (96). С. 9-14.

37. Мойсевич В.И., Матюхина В.В., Васильева Е.С., Гущина Т.П., Семейкина В.А., Каминская А.А. В сборнике: Молодые ученые - науке и практике АПК. Материалы научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых. Редколлегия: Н.И. Гавриченко (гл. ред.) [и др.]. Витебск, 2023. С. 304-307. Нуралиев Е.Р., Кочиш И.И. Остеопороз кур-несушек в промышленном птицеводстве // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 3. – С. 74-79. doi: 10.12737/17465.

38. Оберлис Д., Харланд Б.Ф., Скальный А.В. Биологическая роль

макро- и микроэлементов у человека и животных / Под ред. А.В. Скального. Санкт-Петербург: Наука, - 2008. – 543 с.

39. Околелова Т., Мансуров Н., Сафонов А. Эмульгатор для птицеводства // Комбикорма. – 2015. – №. 10. – С. 71–72.

40. Околелова Т.М. Кормление сельскохозяйственной птицы. Москва: Агропромиздат. - 1990. - 111 с.

41. Осипенко О.В., Вахлова И.В. Клинические и лабораторные признаки дефицита кальция у подростков, методы коррекции // Вестник Уральской медицинской академической науки. - 2008. – Т. 2. - № 20. - С. 118-122.

42. Оспанов А.А. Технология производства коэкструдированных пищевых продуктов / А.А. Оспанов, А.Н. Остриков, Н.Ж. Муслимов, А.К. Тимурбекова, Г.Б. Джумабекова // Алматы: Нур-Принт, 2018. – 211 с.

43. Остриков А.Н. Коэкструзионные продукты: новые подходы и перспективы / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко, И.Ю. Соколов. – Москва: ООО «ДеЛи принт», 2009. – 232 с.

44. Остриков А.Н. Технология экструзионных продуктов: учебное пособие / А.Н. Остриков, Г.О. Магомедов, Н.М. Дерканосова, В.Н. Василенко, О.В. Абрамов, К.В. Платов. – Санкт-Петербург: Проспект Науки, 2018. – 202 с.

45. Остриков А.Н. Экструзия в пищевых технологиях / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.С. Рудометкин. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2004. – 288 с.

46. Пахомов В.И. Экструзия сельскохозяйственного сырья: учебное пособие / В.И. Пахомов, Д.В. Рудой; С.В. Брагинец, О.Н. Бахчевников, А.В. Ольшевская; Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2023. – 152 с.

47. Переваримость сухого вещества определяли методом «in vitro» при помощи «искусственного рубца KPL 01» по методике В.В. Попова, Е.Т. Рыбиной в модификации Г.И. Левахина, А.Г. Мещерякова, - 2003.

48. Рецептурный отпуск ветеринарных лекарственных препаратов: [сайт]. - 2025. - URL: <https://galen.vetrif.ru/#/> (дата обращения: 3.05.2025).
49. Хмельницкая, С. В. и др. Руководство по работе с птицей кросса Хайсекс браун / Т. А. Саппинен, О. А. Трошкова [и др.]. – Кашино : ОАО ППЗ "Свердловский", 2007. – 78 с. – EDN SDOLDZ.
50. Семенова А.Н. и др. Опыт применения нанопрепарата «кальций-МАГК» при лечении больных с переломом нижней челюсти // Актуальные вопросы стоматологии и челюстно-лицевой хирургии: Материалы Краевой научно-практической конференции стоматологов и челюстно-лицевых хирургов. - 2014. – С. 74-78.
51. Скальный А. В. Биэлементы в медицине / А.В. Скальный, И.А. Рудаков. – Москва: Издательство «МИР», 2004. – 272 с.
52. Соколова О.Я., Мирошников С.А., Дроздова Е.А., Холодилина Т.Н. Значение экструдированных кормов в регулировании обмена условно токсичных и эссенциальных микроэлементов в организме кур-несушек // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2006. – Т. 12-2. - № 62. - С. 230- 232.
53. Стрелков Н.С. и др. Нанодисперсная аморфная форма кальция глюконата: биохимическая совместимость и терапевтическая эффективность при лечении заболеваний, связанных с обменом кальция в организме // Альманах клинической медицины. – 2008. – Т. 17. - № 2. – С. 366-370.
54. Суриц О.В. Дефицит кальция и магния в питьевых водах и заболеваемость населения Еврейской Автономной области // Здоровье. Медицинская экология. Наука. - 2012. – Т 3-4. - № 49-50. - С. 167-171.
55. Талдыкина А.А., Талдыкин С.Н., Семенютин В.В. Нерастворимые волокна клетчатки в кормлении цыплят-бройлеров // Комбикорма. – 2024. – № 9. – С. 66-70. doi: 10.69539/2413-287X-2024-09-4-231.
56. Фисинин В.И. Кормление сельскохозяйственной птицы: учеб. Пособие / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, И.Ф. Драганов. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 337 с.

57. Фисинин В.И. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы: Рекомендации. / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Т.Н. Ленкова, Т.М. Околелова // Инструкции по оптимизации рецептов комбикормов для сельскохозяйственной птицы. – Москва, 2010. – 97 с.
58. Хаустова Г.Г., Банина Т.В., Мухина Ю.Г., Щеплягина Л.А. Дефицит кальция и витамина D при хронических заболеваниях желудка и тонкой кишки // Доктор.Ру. - 2008. – Т. 1. - № 38. - С. 14-18.
59. Холодилина Т.Н., Васильченко А.С., Кондакова К. С. Исследование влияния физических параметров субстрата на адгезию микроорганизмов методом атомно-силовой микроскопии // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – Т. 10. - № 159. – С. 152-155.
60. Холодилина Т.Н., Кондакова К.С., Курилкина М.Я., Ваншин В.В. Опыт использования мелкодисперсных кальций и магнийсодержащих добавок в кормлении цыплят-бройлеров // Вестник мясного скотоводства. – 2013. –Т. 4. - № 82. – С. 95-99.
61. Холодилина Т.Н., Курилкина М.Я., Кондакова К.С. Влияние компонентного состава экструдатов на физические и биологические показатели качества кормовой добавки *in vitro* // Вестник мясного скотоводства. – 2013. – Т. 1. - № 79. – С. 69-72.
62. Курилкина М.Я., Холодилина Т.Н., Кондакова К.С. Продуктивное действие биоминеральных комплексов пищевых волокон с включением различных форм металлов. Вестник мясного скотоводства. 2014. № 1 (84). С. 7-11.
63. Холодилина Т.Н., Тиманова А.С., Гречушкин А.И., Мирошников С.А. Влияние экструдирования корма на биодоступность химических элементов // Ветеринария. – 2009. – № 7. – С. 50-52.

64. Шаабан М. Анализ российского рынка кормовых добавок (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. - 2023. - Т. 106. - № 3. - С. 76-91. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-76>
65. Шарафутдинова Д.Р. и др. Изучение состава и структуры глюконата кальция и его механоактивированной (нанодисперсной) // Журнал структурной химии. – 2010. – Т. 51. - № S7. – С. 145-147.
66. Шатенштейн А.И. Теории кислот и оснований: история и современное состояние. – Москва: Государственное Научно - Техническое Издательство Химической Литературы, 1949.
67. Щукина С., Горст К. О пользе клетчатки в рационах для птицы, // Животноводство России. – 2018. – № 9. – С. 7-8.
68. Яблокова Е.А. Снижение минеральной костной плотности при воспалительных заболеваниях желудочно - кишечного тракта. Методы диагностики, лечения. Автореф. дис.... канд. мед. наук. М., 2006.
69. Яушева Е.В. и др. Наночастицы Fe в сочетании с аминокислотами изменяют продуктивные и иммунологические показатели у цыплят-бройлеров / Е. В. Яушева, С. А. Мирошников, Д. Б. Косян, Е. А. Сизова // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 6. – С. 912-920. – DOI 10.15389/agrobiology.2016.6.912rus. – EDN XGVRDT.
70. Яушева Е.В. и др. Оценка влияния скармливания совместно экструдированных компонентов рациона на переваримость корма, кишечный микробиом и обмен остеотропных элементов у цыплят-бройлеров // Аграрная наук. - 2024. - Т. 385. - № 8. - С. 74-81.
71. Abdollahi M.R. et al. Wheat particle size, insoluble fibre sources and whole wheat feeding influence gizzard musculature and nutrient utilisation to different extents in broiler chickens // J Anim Physiol Anim Nutr (Berl). – 2019. - V. 103. - № 1. – P. 146-161. doi: 10.1111/jpn.13019.
72. Abo El-Maaty H.A. et al. Effects of ecofriendly synthesized calcium nanoparticles with biocompatible Sargassum latifolium algae extract supplementation on egg quality and scanning electron microscopy images of the

eggshell of aged laying hens // Poult Sci. – 2021. V. 100. - № 2. – P. 675-684. doi: 10.1016/j.psj.2020.10.043

73. Adeola O., Zhang F. True ileal digestibility of calcium in limestone and dicalcium phosphate are additive in diets of broiler chickens // Poultry Science – 2018. – V. 97. – P. 4290-4296.

74. Adewole D. Effect of Dietary Supplementation with Coarse or Extruded Oat Hulls on Growth Performance, Blood Biochemical Parameters, Ceca Microbiota and Short Chain Fatty Acids in Broiler Chickens // Animals (Basel). – 2020. - V. 10. - № 8. – P. 1429. doi: 10.3390/ani10081429.

75. Adibmoradi M., Navidshad B., Faseleh Jahromi M. The effect of moderate levels of finely ground insoluble fibre on small intestine morphology, nutrient digestibility and performance of broiler chickens // Italian Journal of Animal Science. – 2016. - V. 15. - № 2. – P. 310–317. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1147335>

76. Advantages and disadvantages of extruder: [сайт]. – 2025. - URL: <https://www.limamachinery.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-extruder.html> (дата обращения: 10.02.2025).

77. Al-Abbasy O.Y., Younus S.A., Rashan A.I., Ahmad O.A.S. Maillard reaction: formation, advantage, disadvantage and control. A review // Food Science and Applied Biotechnology. – 2024. - V. 7. - № 1. – P. 145-161.

78. Alam S. et al. Water availability and calcium propionate affect fungal population and aflatoxins production in broiler finisher feed during storage // Food Additives and Contaminants: Part A. – 2014. - V. 31. - № 11. – P. 1896-1903. doi: 10.1080/19440049.2014.963699

79. Alam M.S. et al. Extrusion and extruded products: Changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2016. - V. 56. - № 3. – P. 445-75. doi: 10.1080/10408398.2013.779568.

80. Albarracín M. et al. Effects of extruded whole maize, polydextrose and cellulose as sources of fibre on calcium bioavailability and metabolic parameters of

growing Wistar rats // Food and Function. – 2014. - V. 5. - № 4. – P. 804–810.
<https://doi.org/10.1039/c3fo60424a>.

81. Alexander R.T., Dimke H. Effects of parathyroid hormone on renal tubular calcium and phosphate handling // Acta Physiol. – 2023. - V. 238. - № 1. – P. e13959. doi: 10.1111/apha.13959

82. Alexandre V. et al. Lactose malabsorption and colonic fermentations alter host metabolism in rats // British Journal of Nutrition. – 2013. - V. 110. - № 4. – P. 625-631. doi: 10.1017/S0007114512005557

83. Ali A.A. Use of nano-calcium and phosphors in broiler feeding // Egyptian Poultry Science Journal. – 2017. - V. 37. - № 2. – P. 637-50.

84. Ali N.S.M. et al. Calcium-induced activity and folding of a repeat in toxin lipase from antarctic pseudomonas fluorescens strain AMS8 // Toxins. – 2020. - V. 12. - № 1. – P. 27. doi: 10.3390/toxins12010027

85. Ambrosy A.P., Dunn T.P., Heidenreich P.A. Effect of minor liver function test abnormalities and values within the normal range on survival in heart failure // The American Journal of Cardiology. - 2015. - V. 115. - №7. – P. 938-941.

86. Amerah A.M., Ravindran V., Lentle R.G., Thomas D.G. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry // World's Poultry Science Journal – 2007. - V. 63. – P. 439–455. doi: 10.1017/S0043933907001560.

87. Arnesano F. et al. Structural interplay between calcium (II) and copper (II) binding to S100A13 protein // Angewandte Chemie International Edition. – 2005. - V. 44. - № 39. – P. 6341-6344. doi: 10.1002/anie.200500540

88. Arte E., Huang X., Nordlund E., Katina K. Biochemical characterization and technofunctional properties of bioprocessed wheat bran protein isolates // Food Chem. – 2019. - V. 289. – P. 103-111. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.020

89. Aslam M. et al. A Calcium-Rich Multimineral Intervention to Modulate Colonic Microbial Communities and Metabolomic Profiles in Humans: Results from

- a 90-Day Trial // Cancer Prevention Research. – 2020. – V. 13. - № 1. – P. 101–116.
<https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-19-0325>
90. Azizian M., Saki A.A. Effect of mash, pellet, and extrude diet form on ascetic gene expression (HIF-1 α mRNA) and heart index in broiler chicken // JAST. -2021. - V. 23. - № 1. – P. 17-25.
91. Baba Y. Store-operated calcium entry into B cells regulates autoimmune inflammation // Yakugaku Zasshi. – 2016. - V. 136. - № 3. – P. 473-478. doi: 10.1248/yakushi.15-00246-3
92. Baird G.S. Ionized calcium // Clinica Chimica Acta. – 2011. – V. 412. - № 9-10. – P. 696-701. doi: 10.1016/j.cca.2011.01.004
93. Baker D.H. Nutritional constraints to use of soy products by animals. In: Drackley JK, editor. Soy in animal nutrition / D.H. Baker // Savoy, IL, USA: Federation of Animal Science Societies, 2000. – 12 p.
94. Bao S.F., Windisch W., Kirchgessner M. Calcium bioavailability of different organic and inorganic dietary Ca sources (citrate, lactate, acetate, oyster-shell, eggshell, β -tri-Ca phosphate) // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. – 1997. - V. 78. - № 1-5. – P. 154-160. doi: 10.1111/j.1439-0396.1997.tb00866.x
95. Barshan S., Khalaji S., Hedayati M., Yari M. Influence of bone meal degelatinisation and calcium source and particle size on broiler performance, bone characteristics and digestive and plasma alkaline phosphatase activity // British Poultry Science. – 2019. - V. 60. - № 3. – P. 297-308. doi: 10.1080/00071668.2019.1587151
96. Beaufrand M.J., de la Guérivière J.F., Monnier C., Poullain B. Effect of the extrusion process on the availability of proteins // Ann Nutr Aliment. – 1978. - V. 32. - № 2-3. – P. 353-364.
97. Behnke K.C. Feed manufacturing technology: current issues and challenges // Animal Feed Science and Technology – 1996. - V. 62. – P. 49–57. doi: 10.1016/S0377-8401(96)01005-X.

98. Bengoechea C., Peinado I., McClements D.J. Formation of protein nanoparticles by controlled heat treatment of lactoferrin: Factors affecting particle characteristics // *Food Hydrocolloids*. – 2011. - V. 25. - № 5. – P. 1354-1360
99. Berenti A.M. et al. Effect of extrusion of soybean meal on feed spectroscopic molecular structures and on performance, blood metabolites and nutrient digestibility of Holstein dairy calves // *Anim Biosci*. – 2021. - V. 34. - № 5. – P. 855-866. doi: 10.5713/ajas.19.0899.
100. Bertinato J. et al. Calcium exacerbates the inhibitory effects of phytic acid on zinc bioavailability in rats // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. – 2020. - V. 62. – P. 126643. doi: 10.1016/j.jtemb.2020.126643
101. Beulens J.W. et al. The role of menaquinones (vitamin K₂) in human health // *British Journal of Nutrition*. – 2013. - V. 110. - № 8. – P. 1357-1368. doi: 10.1017/S0007114513001013
102. Blumenthal N.C. et al. The effect of cadmium on the formation and properties of hydroxyapatite in vitro and its relation to cadmium toxicity in the skeletal system // *Calcified Tissue International*. – 1995. - V. 56. - № 4. – P. 316-322. doi: 10.1007/BF00318053
103. Bovee-Oudenhoven I.M., Wissink M.L., Wouters J.T., Van der Meer R. Dietary calcium phosphate stimulates intestinal lactobacilli and decreases the severity of a salmonella infection in rats // *Journal of Nutrition* – 1999. - V. 129. - № 3. – P. 607-612. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/129.3.607>
104. Bronner F. Mechanisms of intestinal calcium absorption // *J. Cell. Biochem*. – 2003. – V. 88. - № 2. – P. 387-393. doi: 10.1002/jcb.10330
105. Burgos-Rubio C.N., Okos M.R., Wankat P.C. Kinetic study of the conversion of different substrates to lactic acid using *Lactobacillus bulgaricus* // *Biotechnol. Progress*. – 2000. - V. 16. - № 3. – P. 305-314. doi: 10.1021/bp000022p
106. Cai J., Zhang Q., Wastney M.E., Weaver C.M. Calcium bioavailability and kinetics of calcium ascorbate and calcium acetate in rats // *Experimental Biology and Medicine*. – 2004. - V. 229. - № 1. – P. 40-45. doi: 10.1177/153537020422900105

107. Calatroni M., Moroni G., Reggiani F., Ponticelli C. Renal sarcoidosis // *Journal of Nephrology* rol. – 2023. - V. 36. - № 1. – P. 5-15. doi: 10.1007/s40620-022-01369-y
108. Canfora E.E., Jocken J.W., Blaak E.E. Short-chain fatty acids in control of body weight and insulin sensitivity // *Nature Reviews Endocrinology*. – 2015. - V. 11. - № 10. – P. 577-591. doi: 10.1038/nrendo.2015.128
109. Capati M.L.F. et al. Boron accelerates cultured osteoblastic cell activity through calcium flux // *Biological Trace Element Research*. – 2016. - V. 174. - № 2. – P. 300-308. doi: 10.1007/s12011-016-0719-y
110. Castro-Enríquez D.D. Influence of protein and arabinoxylan rich chromatographic fractions from wheat bran on nanoparticle assembly via Glu-C (V8) enzymatic hydrolysis in the presence of calcium // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2025. – V. 321. - № 3. – P. 146400. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.146400>.
111. Chappard D., Bizot P., Mabilieu G., Hubert L. Aluminum and bone: review of new clinical circumstances associated with Al³⁺ deposition in the calcified matrix of bone // *Morphologie*. – 2016. - V. 100. - № 329. – P. 95-105. doi: 10.1016/j.morpho.2015.12.001
112. Chaquilla-Quilca G.R.R. Synthesis of tubular nanostructures from wheat bran albumins during proteolysis with V8 protease in the presence of calcium ions // *Food Chem.* – 2016. - V. 200. – P. 16-23. doi: [10.1016/j.foodchem.2016.01.005](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.005)
113. Chen H.S., Chang J.H., Wu J.S. Calcium bioavailability of nanonized pearl powder for adults // *J Food Sci.* – 2008. - V. 73. - № 9. – P. 246-251. doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00965.x. PMID: 19021809.
114. Chen Y.S. et al. Mg²⁺-ATP sensing in CNNM, a putative magnesium transporter // *Structure*. – 2020. - V. 28. - № 3. – P. 324-335.e4. doi: 10.1016/j.str.2019.11.016

115. Chin C.M., Gutierrez M., Still J.G., Kosutic G. Pharmacokinetics of modified oral calcitonin product in healthy volunteers // *Pharmacotherapy*. – 2004. - V. 24. - № 8. – P. 994-1001.
116. Christakos S. Mechanism of action of 1,25-dihydroxyvitamin D₃ on intestinal calcium absorption // *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. - 2012. - V. 13. - № 1. – P. 39-44. doi: 10.1007/s11154-011-9197-x
117. Cloutier M.M., Guernsey L., Sha'afi R.I. Tannin inhibits cAMP pathways in bovine airway epithelium // *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*. – 1994. - V. 10. - № 1. – P. 106-112. doi: 10.1165/ajrcmb.10.1.8292375
118. Cui X. et al. Dietary fiber modulates abdominal fat deposition associated with cecal microbiota and metabolites in yellow chickens // *Poultry Science*. – 2022. - V. 101. - № 4. – P. 101721. doi: 10.1016/j.psj.2022.101721.
119. Damron B.L., Flunker L.K. Calcium supplementation of hen drinking water // *Poultry Science*. – 1995. - V. 74. - № 5. – P. 784-787. doi: 10.3382/ps.0740784
120. Danbaba N., Nkama I., Badau M.H. Application of Response Surface Methodology (RSM) and Central Composite Design (CCD) to Optimize Minerals Composition of Rice-Cowpea Composite Blends during Extrusion Cooking // *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*. – 2015. - V. 5. - № 1. – P. 40–52.
121. David L.S., Abdollahi M.R., Bedford M.R., Ravindran V. Comparison of the apparent ileal calcium digestibility of limestone in broilers and layers // *British Poultry Science* – 2021. - V. 62. - P. 852-857.
122. De Maesschalck C. et al. Amorphous cellulose feed supplement alters the broiler caecal microbiome // *Poultry Science*. – 2019. - V. 98. - № 9. – P. 3811-3817. doi: 10.3382/ps/pez090. PMID: 31065709.
123. del Carmen Toca M. et al. Lactose intolerance: myths and facts. An update // *Archivos Argentinos de Pediatría*. – 2022. - V. 120. - № 1. – P. 59-66. doi: 10.5546/aap.2022.eng.59

124. Deluca H.F. Overreview of general physiological features and function of vit. D // The American journal of clinical nutrition – 2004. - V. 80. – P. 1689S-1696S.
125. Dibba B. et al. Effect of calcium supplementation on bone mineral accretion in Gambian children accustomed to a low calcium diet // The American journal of clinical nutrition. – 2000. – V. 71. – P. 544-549.
126. Dibner J.J., Kitchell M.L., Atwell C.A., Ivey F.J. The Effect of Dietary Ingredients and Age on the Microscopic Structure of the Gastrointestinal Tract in Poultry // Journal of Applied Poultry Research. – 1996. - V. 5. - № 1. – P.70-77.
127. Du P. et al. A comparative study to determine the effects of breed and feed restriction on glucose metabolism of chickens // Anim Nutr. – 2023. – V. 13. – P. 261-269. doi: 10.1016/j.aninu.2023.02.005
128. Dupre J.N., Keenan M.J., Hegsted M, Brudevold A.M. Effects of dietary boron in rats fed a vitamin D-deficient diet // Environmental Health Perspectives. – 1994. - V. 102. – P. 55-58. doi: 10.1289/ehp.94102s755
129. Dupuis Y. et al. Intestinal transfer of manganese: resemblance to and competition with calcium // Reproduction Nutrition Development. – 1992. - V. 32. - № 5-6. – P. 453-460. doi: 10.1051/rnd:19920505
130. EFSA and ECDC (European Food Safety Authority and European Centre for Disease Prevention and Control) // The European Union One Health 2019 Zoonoses Report. EFSA Journal. – 2021. - V. 19. - № 2. – P. 6406. doi: 10.2903/j.efsa.2021.6406
131. Eijssink V.G., Matthews B.W., Vriend G. The role of calcium ions in the stability and instability of a thermolysin-like protease // Protein Science. – 2011. - V. 20. - № 8. – P. 1346-1355. doi: 10.1002/pro.670
132. El-Khalek A.E., Janssens G.P.J. Effect of extrusion processing on starch gelatinisation and performance in poultry // World's Poultry Science Journal. – 2010. – V. 66. - № 1. – P. 53-64. doi.org/10.1017/S0043933910000073
133. Elmore A.R. Final report of the safety assessment of L-ascorbic acid, calcium ascorbate, magnesium ascorbate, magnesium ascorbyl phosphate, sodium

ascorbate, and sodium ascorbyl phosphate as used in cosmetics // International Journal of Toxicology. – 2005. – V. 24. – P. 51-111. doi: 10.1080/10915810590953851

134. Erfanian A., Rasti B., Manap Y. Comparing the calcium bioavailability from two types of nano-sized enriched milk using in-vivo assay // Food Chem. - 2017. - V. 214. – P. 606-613. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.116

135. Eusemann B.K. et al. Bone quality and composition are influenced by egg production, layer line, and oestradiol-17 β in laying hens // Avian pathology: journal of the W.V.P.A. - 2022. - V. 51. - № 3. - P. 267-282.

136. Faridah H.S., Goh Y.M., Noordin M.M., Liang J.B. Extrusion enhances apparent metabolizable energy, ileal protein and amino acid digestibility of palm kernel cake in broilers // Asian-Australas J Anim Sci. – 2020. – V. 33. - № 12. – P. 1965-1974. doi: 10.5713/ajas.19.0964.

137. Feeding standard of chicken. Agriculture Industry Standard (Recommended). Chinese Academy of Agricultural Science: [сайт] - 2004. - URL: <http://down.foodmate.net/standard/yulan.php?itemid=7410>.

138. Feldman D. Vitamin D, parathyroid hormone, and calcium: a complex regulatory network // The American Journal of Medicine. – 1999. - V. 107. - № 6. – P. 637-639. doi: 10.1016/s0002-9343(99)00283-1

139. Fellows P.J. Extrusion cooking // Food Processing Technology (Fifth Edition). - 2022. – C. 483-504.

140. Fernández M. et al. Effects of lactic, malic and fumaric acids on *Salmonella* spp. counts and on chicken meat quality and sensory characteristics // Journal of Food Science and Technology. – 2021. - V. 58. - № 10. – P. 3817-3824. doi: 10.1007/s13197-020-04842-3

141. Finkelstein M., Etkovitz N., Breitbart H. Ca²⁺ signaling in mammalian spermatozoa // Molecular and Cellular Endocrinology. – 2020. - V. 516. – P. 110953. doi: 10.1016/j.mce.2020.110953

142. Fischbach F.T., Dunning M.B. A manual of laboratory and diagnostic tests / F.T. Fischbach, M.B. Dunning - Lippincott Williams and Wilkins, 2009. – 1297 p.
143. Fisinin V.I. et al. Broiler Cecal Microbiocenoses Depending on Mixed Fodder // Mikrobiologiya. – 2016. – V. 85. - № 4. – P. 472-480.
144. Friedman M. Food browning and its prevention: an overview // J Agric Food Chem. – 1996. - V. 44. – P. 631–53.
145. Führen J. et al. Dietary calcium phosphate strongly impacts gut microbiome changes elicited by inulin and galacto-oligosaccharides consumption // Microbiome. 2021. – V. 9. - № 1. – P. 218. <https://doi.org/10.1186/S40168-021-01148-0>
146. Fukushi J.-I., Inatani M., Yamaguchi Y., Stallcup W.B. Expression of NG2 proteoglycan during endochondral and intramembranous ossification // Developmental Dynamics. – 2003. - V. 228. - № 1. – P. 143-148. doi: 10.1002/dvdy.10359
147. Ganesan K., Chung S.K., Vanamala J., Xu B. Causal relationship between diet-induced gut microbiota changes and diabetes: a novel strategy to transplant faecalibacterium prausnitzii in preventing diabetes // International Journal of Molecular Sciences. – 2018. - V. 19. - № 12. – P. 3720. <https://doi.org/10.3390/ijms19123720>
148. Ganjigohari S., Ziaei N., Ramzani Ghara A., Tasharrofi S. Effects of nanocalcium carbonate on egg production performance and plasma calcium of laying hens // Journal of animal physiology and animal nutrition. – 2018. - V. 102. - № 1. – P. e225-e232. doi: 10.1111/jpn.12731
149. Ganjyal G.M. Extrusion cooking: cereal grains processing. Second Edition // Woodhead Publishing. - 2020. – 542 c.
150. Gao J. et al. What Is the Impact of Diet on Nutritional Diarrhea Associated with Gut Microbiota in Weaning Piglets: A System Review // BioMed Research International – 2019. – P. 6916189. doi: 10.1155/2019/6916189.

151. Garcia-Amezquita L.E. et al. Functional and compositional changes of orange peel fiber thermally-treated in a twin extruder // *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. – 2019. - V. 111. - P. 673-681. doi: 10.1016/J.LWT.2019.05.082.
152. Gilani S.G., Xiao W.C., Cockell K.A. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality // *British Journal of Nutrition*. – 2012. – V. 108. – P. – 315-332. doi: 10.1017/S0007114512002371.
153. Ginindza M., Mbatha K.R., Ng'ambi J. Dietary crude fiber levels for optimal productivity of male ross 308 broiler and venda chickens aged 1 to 42 days // *Animals (Basel)*. – 2022. - V. 12. - № 10. – P. 1333. doi: 10.3390/ani12101333.
154. Gloaguen V. et al. Structural characterization and cytotoxic properties of an apiose-rich pectic polysaccharide obtained from the cell wall of the marine phanerogam *Zostera marina* // *J Nat Prod*. – 2010. – V. 73. - № 6. – P. 1087-1092. doi: 10.1021/np100092c. PMID: 20465284.
155. Goll D.E. et al. The calpain system. *Physiological Reviews*. – 2003. - V. 83. - № 3. – P. 731-801. doi: 10.1152/physrev.00029.2002
156. Gomes A. et al. Exame da função hepática na Medicina Veterinária // *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*. - 2008. – V. 11. - № 2. – P. 1-7.
157. Gong Z.-G. et al. Epigenetic regulator BRD4 is involved in cadmium-induced acute kidney injury via contributing to lysosomal dysfunction, autophagy blockade and oxidative stress // *Journal of Hazardous Materials*. – 2022. - V. 423(Pt A). – P. 127110. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127110
158. Gonzalez D., Scheffer J.D.L.S. Perfil sanguíneo: ferramenta de análise clínica, metabólica e nutricional // *Doze leituras em bioquímica clínica veterinária*. Porto Alegre: LACVet. - 2018. – V. 3. – P. 30-45.
159. González F.H.D., Silva S.C. Introduction to biochemistry veterinary clinic. – 2006.
160. González-Domínguez Á. et al. Iron metabolism in obesity and metabolic syndrome // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2020. - V. 21.

- № 15. – P. 5529. doi: 10.3390/ijms21155529

161. Goodarzi B.F., Svihus B.H., von Reichenbach G., Zentek J. The effects of hydrothermal processing on feed hygiene, nutrient availability, intestinal microbiota and morphology in poultry—A review // *Anim Feed Science Technol* - 2016. - V. 220. – P. 187–215. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.07.010.

162. Goyal R., Jialal I. Hyperphosphatemia. In: *StatPearls* // StatPearls Publishing, Treasure Island, FL. - 2023. - URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551586/>.

163. Grasso S. Extruded snacks from industrial by-products: A review // *Trends in Food Science and Technology*. – 2020. – P. 99. doi:10.1016/j.tifs.2020.03.012

164. Grigorenko V.K., Bachinskiĭ P.P., Grebennikova V.F. Effect of fluorine on enzyme activity in the small intestine mucosa during absorption of sodium, potassium, monosaccharides and amino acids // *Ukrainskii Biokhimicheskii Zhurnal*. – 1987. - V. 59. - № 3. – P. 23-28.

165. Gualberto D.G., Bergman C.J., Weber C.W. Mineral binding capacity of dephytinized insoluble fiber from extruded wheat, oat and rice brans // *Plant Foods for Human Nutrition*. – 1997. - V. 51. - № 4. – P. 295–310. <https://doi.org/10.1023/a:1007972205452>.

166. Gulati P., Brahma S., Rose D.J. Impacts of extrusion processing on nutritional components in cereals and legumes: Carbohydrates, proteins, lipids, vitamins, and minerals // *Woodhead Publishing*. – 2020. – P. 415–443. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00013-4>

167. Guo S. et al. The evolving views of the simplest pectic polysaccharides: homogalacturonan // *Plant Cell Rep*. – 2022. – V. 41. - № 11. – P. 2111-2123. doi: 10.1007/s00299-022-02909-3.

168. Hafsa J. et al. Functional properties of chitosan derivatives obtained through Maillard reaction: A novel promising food preservative // *Food Chemistry*. – 2021. - V. 349. - № 1. – P. 129072. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129072>

169. Han G.G. et al. Relationship between the microbiota in different sections of the gastrointestinal tract, and the body weight of broiler chickens // Springerplus. -2016. - V. 5. - № 1. – P. 911. doi: 10.1186/s40064-016-2604-8.
170. Hanzlik R.P., Fowler S.C., Fisher D.H. Relative bioavailability of calcium from calcium formate, calcium citrate, and calcium carbonate // Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics. – 2005. - V. 313. - № 3. – P. 1217-1222. doi: 10.1124/jpet.104.081893
171. Hartwell J. et al. Phosphoenolpyruvate carboxylase kinase is a novel protein kinase regulated at the level of expression // The Plant Journal. – 1999. - V. 20. - № 3. – P. 333-342.
172. Hassan H.M. et al. Application of nano-dicalcium phosphate in broiler nutrition: performance and excreted calcium and phosphorus // Asian Journal of Animal and Veterinary Advances. – 2016. - V. 11. - № 8. – P. 477-483.
173. Heaney R.P. Skeletal health and disease / R.P. Heaney, J.D. Bogden, L.M. Klevay - In: The Clinical Nutrition of the Essential Trace Elements and Minerals. Totowa, NJ: Humana Press, 2000.
174. Hegsted M., Keenan M.J., Siver F., Wozniak P. Effect of boron on vitamin D deficient rats // Biological Trace Element Research. – 1991. - V. 28. - № 3. – P. 243-255. doi: 10.1007/BF02990471
175. Hejdysz M., Kaczmarek S.A., Rutkowski A. Effect of extrusion on the nutritional value of peas for broiler chickens // Archives of Animal Nutrition – 2016. - V. 70. - № 5. – P. 364-377. doi: 10.1080/1745039X.2016.1206736.
176. Heng M.K., Song M.K., Heng M.C. Reciprocity between tissue calmodulin and cAMP levels: modulation by excess zinc // British Journal of Dermatology. – 1993. - V. 129. - № 3. – P. 280-285. doi: 10.1111/j.1365-2133.1993.tb11847.x
177. Henry M.H., Pesti G.M. An investigation of calcium citrate-malate as a calcium source for young broiler chicks // Poultry Science. – 2002. - V. 81. - № 8. – P. 1149-1155. doi: 10.1093/ps/81.8.1149

178. Hermes M., Stracke H. Bone mineral density of adolescents as affected by calcium intake through milk and milk products // *Int Dairy J.* - 1998. - V. 8. – P. 759-764.
179. Hiippala K. et al. The potential of gut commensals in reinforcing intestinal barrier function and alleviating inflammation // *Nutrients.* – 2018. - V. 10. - № 8. – P. 988. <https://doi.org/10.3390/nu10080988>
180. Hirata Y., Funato Y., Takano Y., Miki H. Mg^{2+} -dependent interactions of ATP with the cystathionine- β -synthase (CBS) domains of a magnesium transporter // *Journal of Biological Chemistry.* – 2014. - V. 289. - № 21. – P. 14731-14739. doi: 10.1074/jbc.M114.551176
181. Hodge J. Chemistry of browning reactions in model systems // *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* – 1953. - V. 1. - № 15. – P. 928-943. <https://doi.org/10.1021/jf60015a004>.
182. Hogan P.G. Calcium-NFAT transcriptional signalling in T cell activation and T cell exhaustion // *Cell Calcium.* – 2017. - V. 63. – P. 66-69. doi: 10.1016/j.ceca.2017.01.014
183. Holscher H.D. Dietary fiber and prebiotics and the gastrointestinal microbiota // *Gut Microbes.* – 2017. - V. 4. - № 8(2). – P. 172-184. doi: 10.1080/19490976.2017.1290756
184. Hosseini E., Grootaert C., Verstraete W., Van de Wiele T. Propionate as a health-promoting microbial metabolite in the human gut // *Nutrition Reviews.* – 2011. - V. 69. – № 5. – P. 245-258. doi: 10.1111/j.1753-4887.2011.00388.x
185. Houillier P. Calcium-sensing in the kidney // *Current Opinion in Nephrology and Hypertension.* – 2013. - V. 22. - № 5. – P. 566-571. doi: 10.1097/MNH.0b013e328363ff5f
186. Huang S., Chen J.C., Hsu C.W., Chang W.H. Effects of nano calcium carbonate and nano calcium citrate on toxicity in ICR mice and on bone mineral density in an ovariectomized mice model // *Nanotechnology.* – 2009. - V. 20. - № 37. – P. 375102. doi: 10.1088/0957-4484/20/37/375102

187. Huang W. et al. The calcium-mediated homogalacturonan pectin complexation in cell walls contributes the firmness increase in loquat fruit during postharvest storage // *Journal of Advanced Research*. – 2023. – V. 49. – P. 47-62. doi: 10.1016/j.jare.2022.09.009.
188. Huang X. et al. Effects of extrusion on starch molecular degradation, order–disorder structural transition and digestibility—a review // *Foods*. – 2022. – V. 11. - № 16. – P. 2538. <https://doi.org/10.3390/foods11162538>
189. Irurre J. Jr, Casas J., Ramos I., Messeguer A. Inhibition of rat liver microsomal lipid peroxidation elicited by 2,2-dimethylchromenes and chromans containing fluorinated moieties resistant to cytochrome P-450 metabolism // *Bioorganic and Medicinal Chemistry*. – 1993. - V. 1. - № 3. – P. 219-225. doi: 10.1016/s0968-0896(00)82124-0
190. Issabekova S., Balji Yu., Mayer E. Influence of the process of extruding on the vitamin and mineral composition of grain feed // *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University*. – 2023. – V. 3. - № 118. – P. 264-271. doi: 10.51452/kazatu.2023.3(118).1486.
191. Ittah Y. Titration of tannin via alkaline phosphatase activity // *Analytical Biochemistry*. – 1991. - V. 192. - № 2. – P. 277-280. doi: 10.1016/0003-2697(91)90536-3
192. Izat A.L. et al. Effects of formic acid or calcium formate in feed on performance and microbiological characteristics of broilers // *Poultry Science*. – 1990. - V. 69. - № 11. – P. 1876-1882. doi: 10.3382/ps.0691876
193. Jackson P. et al. Bioaccumulation Ecotoxicity and nanotubes chemistry // *Central AUD carbon*. - 2013. - V. 7. - № 1. – P. 154.
194. Jahanian R., Rasouli E. Effect of extrusion processing of soybean meal on ileal amino acid digestibility and growth performance of broiler chicks // *Poultry Science* - 2016. - V. 95. - № 12. – P. 2871-2878. doi: 10.3382/ps/pew178.
195. Jha R. et al. Dietary fiber and intestinal health of monogastric animals // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2019. - V. 6. – P. 48.

196. Jiao A., Zhou S., Yang Y., Jin Z. The role of non-starch constituents in the extrusion processing of slow-digesting starch diets: A review // International journal of biological macromolecules. – 2024. - V. 280. – P. 136060. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.136060>
197. Jones O.G., Decker E.A., McClements D.J. Formation of biopolymer particles by thermal treatment of β -lactoglobulin–pectin complexes // Food Hydrocolloids. – 2009. - V. 23. – P. 1312-1321.
198. Jorgensen H., Zhao X.Q., Knudsen K.E., Eggum B.O. The influence of dietary fiber source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens // British Journal of Nutrition -1996. - V. 75. - № 3. – P. 379-395. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19960141>
199. Jørgensen H., Zhao X.Q., Knudsen K.E., Eggum B.O. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens // British Journal of Nutrition. – 1996. - V. 75.- № 3. – P. 379-95. doi: 10.1079/bjn19960141.
200. Kaczmarek A., Pieczywek P.M., Cybulska J., Zdunek A. Structure and functionality of Rhamnogalacturonan I in the cell wall and in solution: A review // Carbohydr Polym. – 2022. - V. 278. – P. 118909. doi: 10.1016/j.carbpol.2021.118909.
201. Kaneko J.J., Harvey J.W., Bruss M.L. Clinical biochemistry of domestic animals. – Academic press, 2008.
202. Karieb S., Fox S.W. Zinc modifies the effect of phyto-oestrogens on osteoblast and osteoclast differentiation *in vitro* // British Journal of Nutrition. – 2012. - V. 108. - № 10. – P. 1736-1745. doi: 10.1017/S0007114511007355
203. Karimipour M., Salari S., Aghaei A. Effects of dietary xylanase supplementation and insoluble fiber on growth performance, cecal microbial population and intestinal histomorphology in broiler chickens fed wheat-based diet // Poultry Science Journal – 2025. - V. 104. - № 11. – P. 105749. doi: 10.1016/j.psj.2025.105749
204. Kasten-Jolly J., Lawrence D.A. The cationic (calcium and lead) and

enzyme conundrum // Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B. – 2018. - V. 21. - № 6-8. – P. 400-413. doi: 10.1080/10937404.2019.1592728

205. Kavalali E.T. The mechanisms and functions of spontaneous neurotransmitter release // Nature Reviews Neuroscience. – 2015. - V. 16. - № 1. – P. 5-16. doi: 10.1038/nrn3875

206. Kayama F., Yoshida T., Elwell M.R., Luster M.I. Role of tumor necrosis factor-alpha in cadmium-induced hepatotoxicity // Toxicology and Applied Pharmacology. – 1995. - V. 131. - № 2. – P. 224-234. doi: 10.1006/taap.1995.1065

207. Kazama J.J., Wakasugi M. Parathyroid hormone and bone in dialysis patients // Ther Apher Dial. – 2018. - V. 22. - № 3. – P. 229-235. doi: 10.1111/1744-9987.12678

208. Khan T.A., Zafar F. Haematological study in response to varying doses of estrogen in broiler chicken // International Journal of Poultry Science. - 2005. – V. 4. - № 10. – P. 748-751.

209. Kiarie E.G., Mills A. Role of feed processing on gut health and function in pigs and poultry: conundrum of optimal particle size and hydrothermal regimens // Frontiers in Veterinary Science. – 2019. – V. 6. - P. 19. doi: 10.3389/fvets.2019.00019.

210. Kiefer-Hecker B., Kienzle E., Dobenecker B. Effects of low phosphorus supply on the availability of calcium and phosphorus, and musculoskeletal development of growing dogs of two different breeds // J Anim Physiol Anim Nutr (Berl). – 2018. - V. 102. - № 3. – P. 789-798. doi: 10.1111/jpn.12868

211. Kim J.-M. et al. Osteoblast-osteoclast communication and bone homeostasis // Cells. – 2020. - V. 9. - № 9. – P. 2073. doi: 10.3390/cells9092073

212. Kim S.W., Li W., Angel R., Plumstead P.W. Modification of a limestone solubility method and potential to correlate with in vivo limestone calcium digestibility // Poultry Science – 2019. - V. 98. – P. 6837-6848.

213. Klein G.L., Castro S.M., Garofalo R.P. The calcium-sensing receptor as a mediator of inflammation // Seminars in Cell and Developmental Biology. – 2016.

- 49. – P. 52-56. doi: 10.1016/j.semcd.2015.08.006

214. Konieczka P. Effects of faba bean extrusion and phytase supplementation on performance, phosphorus and nitrogen retention, and gut microbiota activity in broilers // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2020. - V. 100. - № 11. – P. 4217-4225. doi: 10.1002/jsfa.10461.

215. Kronbauer M. et al. Influence of magnesium supplementation and L-type calcium channel blocker on haloperidol-induced movement disturbances // *Behavioural Brain Research*. – 2019. - V. 374. – P. 112119. doi: 10.1016/j.bbr.2019.112119

216. Lachuga Y. et al. Study of extruded feed from wheat ears during early harvest // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. - V. 937. – P. 032003. doi:10.1088/1755-1315/937/3/032003

217. Ledgard S. F. et al. Effect of calcium supplementation on milk production and hypocalcaemia // *Proceedings of the new zealand grassland association*. - 2004. V. 66. - P. 69-74.

218. Lee J.A. et al. The fate of calcium carbonate nanoparticles administered by oral route: absorption and their interaction with biological matrices // *Int J Nanomedicine*. – 2015. - V. 10. – P. 2273-2293. doi: 10.2147/IJN.S79403. PMID: 25848250

219. Lee Y. et al. New functionalities of Maillard reaction products as emulsifiers and encapsulating agents, and the processing parameters: a brief review // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2017. - V. 97. - № 5. – P. 1379-1385. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8124>

220. Leeson S., Summers J.D. Commercial poultry nutrition. Third Edition. Nottingham University Press: Nottingham. - 2005.

221. Leonard W., Zhang P., Ying D., Fang Z. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2020. - V. 19. - № 1. – P. 218–246.

222. Leroy C. et al. Functional importance of Myc-associated zinc finger protein for the human parathyroid hormone (PTH)/PTH-related peptide receptor-1

P2 promoter constitutive activity // Journal of Molecular Endocrinology. – 2004. - V. 32. - № 1. – P. 99-113. doi: 10.1677/jme.0.0320099

223. Lertsuwan K., Wongdee K., Teerapornpuntakit J., Charoenphandhu N. Intestinal calcium transport and its regulation in thalassemia: interaction between calcium and iron metabolism // Journal of Physiological Sciences. – 2018. - V. 68. - № 3. – P. 221-232. doi: 10.1007/s12576-018-0600-1

224. Li M. et al. Shear degradation of molecular, crystalline, and granular structures of starch during extrusion Starch // Stärke. – 2014. – V. 66. - № 7–8. – P. 595-605.

225. Li W. et al. Vitamin K2 stimulates MC3T3-E1 osteoblast differentiation and mineralization through autophagy induction // Molecular Medicine Report. – 2019. - V. 19. - № 5. – P. 3676-3684. doi: 10.3892/mmr.2019.10040

226. Li Y. A comprehensive review of self-assembled food protein-derived multicomponent peptides: from forming mechanism and structural diversity to applications // Journal of Agricultural and Food Chemistry – 2023. - V. 71. - № 30. – P. 11304-11319. doi: 10.1021/acs.jafc.3c02930

227. Liting W. et. al. Effect of barrel temperature and moisture content on the composition and oxidative stability of extruded palm oil in an oil-starch model system // LWT - Food Science and Technology. - 2018. - V. 98. - P. 398-405. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.019>

228. Liu A.C., Heinrichs B.S., Leach R.M. Jr. Influence of manganese deficiency on the characteristics of proteoglycans of avian epiphyseal growth plate cartilage // Poultry Science. – 1994. - V. 73. - № 5. – P. 663-669. doi: 10.3382/ps.0730663

229. Liu J. et al. Association between single nucleotide polymorphism (rs4252424) in *TRPV5* calcium channel gene and lead poisoning in Chinese workers // Molecular Genetics and Genomic Medicine. – 2019. - V. 7. - № 3. – P. e562. doi: 10.1002/mgg3.562

230. Liu S. et al. Fluorine-contained hydroxyapatite suppresses bone resorption through inhibiting osteoclasts differentiation and function *in vitro* and *in*

vivo // Cell Prolif. – 2019. - V. 52. - № 3. – P. e12613. doi: 10.1111/cpr.12613

231. Lu S.-Y. et al. How calcium inhibits the magnesium-dependent kinase gsk3 β : a molecular simulation study. Proteins. – 2013. - V. 81. - № 5. – P. 740-753. doi: 10.1002/prot.24221

232. Lutz W. et al. Zinc increases the activity of vitamin D-dependent promoters in osteoblasts // Biochemical and Biophysical Research Communications. – 2000. - V. 271. - № 1. – P. 1-7. doi: 10.1006/bbrc.2000.2570

233. Ma H. et al. Vitamin K₂-dependent GGCX and MGP are required for homeostatic calcium regulation of sperm maturation // iScience. – 2019. - V. 14. – P. 210-225. doi: 10.1016/j.isci.2019.03.030

234. Ma M.L. et al. Efficacy of vitamin K₂ in the prevention and treatment of postmenopausal osteoporosis: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // Frontiers in Public Health. – 2022. - V. 10. – P. 979649. doi: 10.3389/fpubh.2022.979649

235. Mahmood T., Guo Y. Dietary fiber and chicken microbiome interaction: Where will it lead to? // Animal nutrition. – 2020. - V. 6. - № 1. – P. 1-8. doi: 10.1016/j.aninu.2019.11.004

236. Marsman G.J. et al. The effect of thermal processing and enzyme treatments of soybean meal on growth performance, ileal nutrient digestibilities, and chyme characteristics in broiler chicks // Poultry Science – 1997. - V. 76. - № 6. – P. 864-872. doi: 10.1093/ps/76.6.864.

237. Mateos G.G., Jiménez-Moreno E., Serrano M.P., Lázaro R.P. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics // Journal of Applied Poultry Research. – 2012. - V. 21. - № 1. – P. 156-174. doi: 10.3382/japr.2011-00477

238. Matkovic V., Heaney R.P. Calcium balance during human growth. Evidence for threshold behavior // The American journal of clinical nutrition. – 1992. - V. 55. – P. 992-996.

239. Matuszewski A. et al. Calcium carbonate nanoparticles-toxicity and effect of in ovo inoculation on chicken embryo development, broiler performance

and bone status // *Animals*. – 2021. – V. 11. – № 4. – P. 932. doi: 10.3390/ani11040932

240. Matuszewski A., Łukasiewicz M., Niemiec J. Calcium and phosphorus and their nanoparticle forms in poultry nutrition // *World's Poultry Science Journal*. – 2020. – V. 76. – №. 2. – C. 328-345.

241. Mauron J. Influence of processing on protein quality // *Journal of nutritional science and vitaminology*. – 1990. – V. 36. – P. 57-69. doi: 10.3177/jnsv.36.4-supplementi_s57.

242. Mc Kane W.R. et al. Role of calcium intake in modulating age - related increases in parathyroid function and bone resorption // *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. - 1996. - V. 81. – P. 1699-1703.

243. McCabe L., Britton R.A., Parameswaran N. Prebiotic and Probiotic Regulation of Bone Health: Role of the Intestine and its Microbiome // *Current Osteoporosis Reports*.- 2015. - V. 13. - № 6. – P. 363–371. <https://doi.org/10.1007/s11914-015-0292-x>

244. McClintock S. D. et al. Differentiation of human colon tissue in culture: Effects of calcium on trans-epithelial electrical resistance and tissue cohesive properties // *Plos one*. – 2020. – V. 15. – № 3. – P. 1-18. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0222058>

245. McDougall S. Effects of periparturient diseases and conditions on the reproductive performance of New Zealand dairy cows // *New zealand veterinary journal*. - 2001. - V. 49. - P. 60-67.

246. Md Ramli S.H., Wong T.W., Naharudin I., Bose A. Coatless alginate pellets as sustained-release drug carrier for inflammatory bowel disease treatment // *Carbohydrate Polymers*. – 2016. – V. 152. – P. 370-381. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.07.021

247. Menon D.G., Bennett D.C., Schaefer A.M., Cheng K.M. Hematological and serum biochemical profile of farm emus (*Dromaius novaehollandiae*) at the onset of their breeding season // *Poultry Science*. - 2013. – V. 92. - № 4. – P. 935-944.

248. Mikshina P.V. et al. Tissue-specific rhamnogalacturonan I forms the gel with hyperelastic properties // *Biochemistry (Mosc)*. – 2015. – V. 80. – № 7. – P. 915-924. doi: 10.1134/S000629791507010X.
249. Milman N.T. A review of nutrients and compounds, which promote or inhibit intestinal iron absorption: making a platform for dietary measures that can reduce iron uptake in patients with genetic haemochromatosis // *Journal of Nutrition and Metabolism*. – 2020. – V. 2020. – P. 7373498. doi: 10.1155/2020/7373498
250. Minagawa M. et al. Analysis of the P3 promoter of the human parathyroid hormone (PTH)/PTH-related peptide receptor gene in pseudohypoparathyroidism type 1b // *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. – 2001. – V. 86. – № 3. – P. 1394-1397. doi: 10.1210/jcem.86.3.7364
251. Mitrus M. et al. Effect of processing conditions on microstructure and pasting properties of extrusion-cooked starches // *International Journal of Food Engineering*. – 2017. – V. 13. – № 6. <https://doi.org/10.1515/IJFE-2016-0287>
252. Molnár A. et al. Effects of wheat bran and clostridium butyricum supplementation on cecal microbiota, short-chain fatty acid concentration, pH and histomorphometry in broiler chickens // *Animals (Basel)*. – 2020. – V. 10. – № 12. – P. 2230. doi: 10.3390/ani10122230.
253. Molnar A. et al. Supplementation of fine and coarse limestone in different ratios in a split feeding system: Effects on performance, egg quality, and bone strength in old laying hens // *Poultry Science*. – 2017. – V. 96. – № 6. – P. 1659-1671. doi: 10.3382/ps/pew424
254. Moon J. The role of vitamin D in toxic metal absorption: a review // *Journal of the American College of Nutrition*. – 1994. – V. 13. – № 6. – P. 559-564. doi: 10.1080/07315724.1994.10718447
255. Moreno F., Molina E., Olano A., López-Fandiño R. High- pressure effects on Maillard reaction between glucose and lysine // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2003. – V. 51. – № 2. – P. 394-400. <https://doi.org/10.1021/jf025731s>.
256. Morrissey J., Rothstein M., Mayor G., Slatopolsky E. Suppression of

parathyroid hormone secretion by aluminum // *Kidney International*. – 1983. - V. 23. - № 5. – P. 699-704. doi: 10.1038/ki.1983.81

257. Mukhopadhyay S., Bachert C., Smith D.R., Linstedt A.D. Manganese-induced trafficking and turnover of the cis-Golgi glycoprotein GPP130 // *Molecular Biology of the Cell*. – 2010. - V. 21. - № 7. – P. 1282-1292. doi: 10.1091/mbc.e09-11-0985

258. Muszyński S. et al. Assessing Bone Health Status and Eggshell Quality of Laying Hens at the End of a Production Cycle in Response to Inclusion of a Hybrid Rye to a Wheat-Corn Diet // *Journal of Veterinary Science* – 2022. - V. 9. - № 12. – P. 683. doi: 10.3390/vetsci9120683

259. Muszyński S. et al. The Effect of Dietary Rye Inclusion and Xylanase Supplementation on Structural Organization of Bone Constitutive Phases in Laying Hens Fed a Wheat-Corn Diet // *Animals (Basel)*. – 2020. - V. 10. - № 11. – P. 2010. doi: 10.3390/ani10112010

260. Nagata K., Huang C.-S., Song J.-H., Narahashi T. Lead modulation of the neuronal nicotinic acetylcholine receptor in PC12 cells // *Brain Research*. – 1997. - V. 754. - № 1-2. – P. 21-27. doi: 10.1016/s0006-8993(97)00037-1

261. Nasr M.A.F., Murrell J., Nicole C.J. The effects of keel fractures on egg production, feed and water consumption in individual laying // *British poultry science*. - 2013. – V. 54. - P. 165-170.

262. National Research Council. Nutrient requirements of poultry: Ninth revised edition. Washington: The National Academies Press, DC. – 1994. doi: 10.17226/2114

263. Nilius B., Flockerzi V. Photosensitive TRPs. In: Mammalian transient receptor potential (TRP) cation channels. Handbook of experimental pharmacology. - 2014. - V. 223. – P. 795-826. doi: 10.1007/978-3-319-05161-1

264. Ohyama Y., Yamasaki T. Eight cytochrome P450s catalyze vitamin D metabolism // *Frontiers in Bioscience*. - 2004. - V. 1. - № 9. – P. 3007-3018. doi: 10.2741/1455

265. Okuyama K. et al. Differentiation of committed osteoblast progenitors

by octacalcium phosphate compared to calcium-deficient hydroxyapatite in Lepr^{cre}/Tomato mouse tibia // *Acta Biomaterialia*. – 2022. - V. 142. – P. 332-344. doi: 10.1016/j.actbio.2022.02.016

266. Olgun O., Aygun A. Nutritional factors affecting the breaking strength of bone in laying hens // *World's Poultry Science Journal*. – 2016. - V. 72. - № 4. – P. 821-832. doi: 10.1017/S0043933916000696

267. Olgun O., Yıldız A.Ö., Cufadar Y. The effects of eggshell and oyster shell supplemental as calcium sources on performance, eggshell quality and mineral excretion in laying hens // *Indian Journal of Animal Research*. – 2015. - V. 49. - № 2. – P. 205-209. doi: 10.5958/0976-0555.2015.00056.4

268. Osen R., Schweiggert-Weisz U. High-Moisture Extrusion: Meat Analogues. Reference Module in Food Science // *Compr Rev Food Sci Food Saf*. - 2022. - V. 21. – P. 4573–4609. doi:10.1016/b978-0-08-100596-5.03099-7.

269. Ou Y.-C. et al. Cadmium induces the expression of Interleukin-6 through Heme Oxygenase-1 in HK-2 cells and Sprague-Dawley rats // *Food and Chemical Toxicology*. – 2022. - V. 161. – P. 112846. doi: 10.1016/j.fct.2022.112846

270. Pakhomov V., Braginets S., Rudoy D. Effect of extrusion on nutritional composition of feed containing mussel meat: Experimental study results // *Engineering for Rural Development*. – 2020. - V. 19. – P. 306-312. doi: 10.22616/ERDev.2020.19.TF073

271. Parera N. et al. Influence of the inclusion of cooked cereals and pea starch in diets based on soy or pea protein concentrate on nutrient digestibility and performance of young pigs // *Journal of Animal Science* – 2010. - V. 88. – P. 671–679. doi: 10.2527/jas.2009-2202.

272. Park H.S. et al. Effects of nanocalcium supplemented milk on bone calcium metabolism in ovariectomized rats // *Asian-australasian journal of animal sciences*. – 2007. – V. 20. – №. 8. – C. 1266-1271.

273. Park K.H. et al. Zinc inhibits osteoclast differentiation by suppression of Ca²⁺-calcineurin-NFATc1 signaling pathway // *Cell Commun Signal*. – 2013. - V. 11. – P. 74. doi: 10.1186/1478-811X-11-74

274. Peebles E.D. In ovo applications in poultry: a review // Poultry Science. – 2018. - V. 97. - № 7. – P. 2322-2338. doi: 10.3382/ps/pey081
275. Portales-Castillo I., Simic P. PTH, FGF-23, Klotho and Vitamin D as regulators of calcium and phosphorus: Genetics, epigenetics and beyond // Frontiers in Endocrinology. – 2022. - V. 13. – P. 992666. doi: 10.3389/fendo.2022.992666
276. Proszkowiec-Weglarz M., Angel R. Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility // Journal of Applied Poultry Research – 2013. - V. 22. – P. 609-627.
277. Quarles L.D. Extracellular calcium-sensing receptors in the parathyroid gland, kidney, and other tissues // Current Opinion in Nephrology and Hypertension. – 2003. - V. 12. - № 4. – P. 349-355. doi: 10.1097/00041552-200307000-00002
278. Rehman H. et al. Influence of fermentable carbohydrates on the intestinal bacteria and enteropathogens in broilers // World's Poultry Science Journal. – 2009. - V. 65. - № 1. – P. 75-90. doi:10.1017/S0043933909000063
279. Ricard-Blum S. The collagen family // Cold Spring Harbor Perspectives in Biology. – 2011. - V. 3. - № 1. – P. a004978. doi: 10.1101/cshperspect.a004978
280. Riley P.A., Stratford M.R. Oxidative calcium release from catechol // Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters. – 2015. - V. 25. - № 7. – P. 1453-1454. doi: 10.1016/j.bmcl.2015.02.036
281. Roberts S.A. et al. Effects of dietary fiber and reduced crude protein on nitrogen balance and egg production in laying hens // Poultry Science. - 2007. - V. 86. – № 8. – P. 1716–1725.
282. Rodriguez M., Munoz-Castaneda J.R., Almaden Y. Therapeutic use of calcitriol // Current Vascular Pharmacology. – 2014. - V. 12. - № 2. – P. 294-299. doi: 10.2174/15701611113119990021
283. Rodríguez-Navarro A.B. et al. Amorphous calcium carbonate controls avian eggshell mineralization: a new paradigm for understanding rapid eggshell calcification // Journal of Structural Biology. – 2015. - V. 190. - № 3. – P. 291-303. doi: 10.1016/j.jsb.2015.04.014

284. Romijn J.A., Chinkes D.L., Schwarz J.M., Wolfe R.R. Lactate-pyruvate interconversion in blood: implications for in vivo tracer studies // *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. – 1994. - V. 266. - № 3(1). – P. E334-E340. doi: 10.1152/ajpendo.1994.266.3.E334
285. Rowe D.J. et al. Enhanced production of mineralized nodules and collagenous proteins in vitro by calcium ascorbate supplemented with vitamin C metabolites // *Journal of Periodontology*. – 1999. - V. 70. - № 9. – P. 992-999. doi: 10.1902/jop.1999.70.9.992
286. Roye C. et al. Extrusion-Cooking Modifies Physicochemical and Nutrition-Related Properties of Wheat Bran // *Foods*. – 2020. - V. 9. – № 6. – P. 738. doi: 10.3390/foods9060738.
287. Rudoy D. et al. Review and analysis of extrusion technology in the production of feed additives based on probiotic microorganisms // *E3S Web of Conferences*. – 2023. - V. 413. – P. 01014. doi: 10.1051/e3sconf/202341301014.
288. Ryan J.W. et al. Novel targets of vitamin D activity in bone: action of the vitamin D receptor in osteoblasts, osteocytes and osteoclasts // *Current Drug Targets*. - 2013. - V. 14. - № 14. – P. 1683-1688. doi: 10.2174/138945011131400212
289. Sadeghi A.A., Nikkhah A., Shawrang P., Shahrehabak M.M. Protein degradation kinetics of untreated and treated soybean meal using SDS-PAGE // *Anim Feed Sci Technol*. – 2006. - V. 126. – P. 121–133. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2005.05.026.
290. Sakhaee K., Bhuket T., Adams-Huet B., Rao D.S. Meta-analysis of calcium bioavailability: a comparison of calcium citrate with calcium carbonate // *American Journal of Therapeutics*. – 1999. - V. 6. - № 6. – P. 313-321. doi: 10.1097/00045391-199911000-00005
291. Samadi Yu.P. Dry and moist heating-induced changes in protein molecular structure, protein subfraction, and nutrient profiles in soybeans // *Journal of Dairy Science* – 2011. - V. 94. – P. 6092–6102. doi: 10.3168/jds.2011-4619.

292. Samanta G. et al. Studies on utilization of calcium phosphate nano particles as source of phosphorus in broilers // *Animal Nutrition and Feed Technology*. – 2019. - V. 19. - № 1. – P. 77-88.
293. Sarwar G.G, Wu X.C., Cockell K.A. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality // *British journal of nutrition*. - 2012. - V. 108. – P. 315-332. doi: 10.1017/S0007114512002371. PMID: 23107545 Review.
294. Satin L.S. Localized calcium influx in pancreatic beta-cells: its significance for Ca^{2+} -dependent insulin secretion from the islets of Langerhans // *Endocrine*. – 2000. - V. 13. - № 3. – P. 251-262. doi: 10.1385/ENDO:13:3:251
295. Schofield E.K. *Feed Manufacturing Technology V*. Arlington, VA: American Feed Industry Association. - 2005.
296. Scorei I.D., Scorei R.I. Calcium fructoborate helps control inflammation associated with diminished bone health // *Biological Trace Element Research*. – 2013. - V. 155. - № 3. – P. 315-321. doi: 10.1007/s12011-013-9800-y
297. Shang Q. et al. The Impact of Wheat Bran on the Morphology and Physiology of the Gastrointestinal Tract in Broiler Chickens // *Animals*. – 2020. - V. 10. – P. 1831. <https://doi.org/10.3390/ani10101831>
298. Shang Q.H. et al. Effects of wheat bran in comparison to antibiotics on growth performance, intestinal immunity, barrier function, and microbial composition in broiler chickens // *Poultry Science*. – 2020. - V. 99. - № 10. – P. 4929–4938. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.031>
299. Shastak Y. et al. Comparison and evaluation of bone measurements for the assessment of mineral phosphorus sources in broilers // *Poultry Science*. – 2012. – V. 91. – №. 9. – P. 2210-2220.
300. Shi J. et al. Pharmacokinetics and dopamine/acetylcholine releasing effects of ginsenoside Re in hippocampus and mPFC of freely moving rats // *Acta Pharmacologica Sinica*. – 2013. - V. 34. - № 2. – P. 214-220. doi: 10.1038/aps.2012.147

301. Singh B., Sharma C., Sharma S. Fundamentals of extrusion processing. In: Novel Food Processing Technologies // New India Publishing Agency: New Delhi. – 2017.
302. Sobhi B.M. et al. Effect of nano-hydroxyapatite as an alternative to inorganic dicalcium phosphate on growth performance, carcass traits, and calcium and phosphorus metabolism of broiler chickens // Journal of Advanced Veterinary Research. – 2020. - V. 10. - № 4. – P. 250-256.
303. Sohair M.A., Ali. A.A. Use of nano-calcium and phosphors in broiler feeding. – 2017.
304. Song M. et al. Dietary supplementation of calcium propionate and calcium butyrate improves eggshell quality of laying hens in the late phase of production // The Journal of Poultry Science. – 2022. - V. 59. - № 1. – P. 64-74. doi: 10.2141/jpsa.0200127
305. Sooy K., Kohut J., Christakos S. The role of calbindin and 1,25dihydroxyvitamin D₃ in the kidney // Current Opinion in Nephrology and Hypertension. – 2000. - V. 9. - № 4. – P. 341-347. doi: 10.1097/00041552-200007000-00004
306. Spencer H., Kramer L. Osteoporosis: calcium, fluoride, and aluminum interactions // Journal of the American College of Nutrition. – 1985. - V. 4. - № 1. – P. 121-128. doi: 10.1080/07315724.1985.10720071
307. Stehle R., Iorga B., Pfitzer G. Calcium regulation of troponin and its role in the dynamics of contraction and relaxation // American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. – 2007. - V. 292. - № 3. – P. 1125-1128. doi: 10.1152/ajpregu.00841.2006
308. Stevenson M. et al. The effects of calcium supplementation of dairy cattle after calving on milk, milk fat and protein production, and fertility // New Zealand Veterinary Journal. - 1999. - V. 47. - № 2. - P. 53-60.
309. Stock S.R. The mineral-collagen interface in bone // Calcified Tissue International. – 2015. - V. 97. - № 3. – P. 262-280. doi: 10.1007/s00223-015-9984-

310. Sun X. et al. Aluminum trichloride inhibits osteoblast mineralization via TGF- β 1/Smad signaling pathway // *Chemico-Biological Interactions*. – 2016. - V. 244. – P. 9-15. doi: 10.1016/j.cbi.2015.11.027
311. Sundararaman S.S., van der Vorst E.P.C. Calcium-Sensing Receptor (CaSR), its impact on inflammation and the consequences on cardiovascular health // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2021. - V. 22. - № 5. – P. 2478. doi: 10.3390/ijms22052478
312. Tangjaidee P. et al. Selenium, fibre, and protein enrichment of rice product: extrusion variables and product properties // *Food quality and safety*. – 2019. – V. 3. - № 1. – P. 40-51. doi.org/10.1093/fqsafe/fyy028
313. Tasaka Y., Tachihara K., Kagawa R., Takada R. Effects of rice feeding on growth performance and protein (amino acids) metabolism in weanling piglets // *Journal of Animal Science* – 2020. - V. 91. – P. e13311. doi: 10.1111/asj.13311.
314. Taslimi K. et al. The effect of substitution of extruded soybean meal (esm) on growth performance, carcass characteristics, immune responses, biochemical variables of blood, and nutrient digestibility of ileal in broiler chickens // *South Asian Res J Agri Fish*. – 2021. - V. 3. - № 3. – P. 40-51.
315. Tejeda J.O., Kim K.W. Role of Dietary Fiber in Poultry Nutrition // *Animals (Basel)*. – 2021.- V. 11. - № 2. – P. 461. doi: 10.3390/ani11020461.
316. Teodorowicz M., Hendriks W.H., Wichers H.J., Savelkoul H.F.J. Immunomodulation by Processed Animal Feed: The Role of Maillard Reaction Products and Advanced Glycation End-Products (AGEs) // *Front. Immunol*. - 2018. – V. 9. doi: 10.3389/fimmu.2018.02088.
317. Thomas M., Van Zuilichem DJ., Van der Poel A.F.B. Physical quality of pelleted animal feed // *Contribution of processes and its conditions, Animal Feed Science and Technology*. – 1997. - V. 64. - № 2–4. –P. 173–192.
318. Törös G., Peles F., Elramady H., Prokisch J. To What Extent Can Maillard Reaction Products Influence the Probiotic and Harmful Bacteria? // *Egyptian Journal of Soil Science*. – 2023. - V. 63. - № 2. – P. 177-185.
319. Tsugawa N. et al. Intestinal absorption of calcium from calcium

ascorbate in rats // Journal of Bone and Mineral Metabolism. – 1999. - V. 17. - № 1. – P. 30-36. doi: 10.1007/s007740050060

320. Tuason M.M., Arocena J.M. Calcium oxalate biomineralization by *Piloderma fallax* in response to various levels of calcium and phosphorus // Applied and Environmental Microbiology. – 2009. - V. 75. - № 22. – P. 7079-7085. doi: 10.1128/AEM.00325-09

321. Udagawa N. et al. Osteoclast differentiation by RANKL and OPG signaling pathways // Journal of Bone and Mineral Metabolism. – 2021. - V. 39. - № 1. – P. 19-26. doi: 10.1007/s00774-020-01162-6

322. Umerah C.O., Momodu II. Anticoagulation, In: StatPearls // StatPearls Publishing, Treasure Island, FL. - 2023. - URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32809486/>

323. Vásquez-Procopio J. et al. Intestinal response to dietary manganese depletion in Drosophila // Metallomics. – 2020. - V. 12. - № 2. – P. 218-240. doi: 10.1039/c9mt00218a

324. Venegas S. C. et al. Calcium Modulates Interactions between Bacteria and Hydroxyapatite // Journal of Dental Research. – 2006. - V. 85. - № 12. – P. 1124–1128. <https://doi.org/10.1177/154405910608501211>

325. Venegas, S. C., Palacios, J. M., Apella, M. C., Morando, P. J., & Blesa, M. A. (2006). Calcium Modulates Interactions between Bacteria and Hydroxyapatite. Journal of Dental Research, 85(12), 1124–1128. <https://doi.org/10.1177/154405910608501211>

326. Vermeulen K. et al. Reduced-particle-size wheat bran is efficiently colonized by a lactic acid-producing community and reduces levels of enterobacteriaceae in the cecal microbiota of broilers // Applied and Environmental Microbiology. – 2018. - V. 84. - № 21. – P. 01343-01418. <https://doi.org/10.1128/AEM.01343-18>

327. Veum T.L. Phosphorus and calcium nutrition and metabolism // Medicine, Agricultural and Food Sciences. - 2010. – P. 94 – 111.

328. Vicente B. et al. The effects of feeding rice in substitution of corn and the degree of starch gelatinization of rice on the digestibility of dietary components and productive performance of young pigs // Journal of Animal Science – 2008. - V. 86. – P. 119–126. doi: 10.2527/jas.2006-697.
329. Viegas O. et al. Effect of charcoal types and grilling conditions on formation of heterocyclic aromatic amines (HAs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled muscle foods // Food and Chemical Toxicology. – 2012. - V. 50. - № 6. – P. 2128-34. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.03.051>
330. Vijayakumar M.P., Balakrishnan V. Effect of Calcium Phosphate Nanoparticles Supplementation on Growth Performance of Broiler Chicken // Indian Journal of Science and Technology. – 2014. – V. 7. - № 8. – P. - 1149–1154. doi: 10.17485/ijst/2014/v7i8.20
331. Villasante J. et al. In vitro antioxidant activity optimization of nut shell (*Carya illinoensis*) by extrusion using response surface methods // Biomol. – 2019. - V. 9. - № 883. – P. 883. doi: 10.3390/BIOM9120883.
332. Vitti D.M.S.S., Kibreab E. Phosphorus and calcium utilization and requirements in farm animals / D.M.S.S. Vitti, E. Kibreab - CABI, Wallingford, UK; Cambridge, MA, - 2010.
333. Voyer L.E., Alvarado C. Maillard reaction. Pathogenic effects // Medicina (B Aires). - 2019. - V. 79. - № 2. – P. 137-143.
334. Walk C.L., Romero L.F., Cowieson A.J. Towards a digestible calcium system for broiler chicken nutrition: A review and recommendations for the future Anim // Animal Feed Science and Technology – 2021. - V. 276. – P. 114930.
335. Wallace T. C. et al. New Frontiers in Fibers: Innovative and Emerging Research on the Gut Microbiome and Bone Health // Journal of The American College of Nutrition. – 2017. – V. 36. - № 3. – P. 218–222. <https://doi.org/10.1080/07315724.2016.1257961>
336. Walugembe M., Rothschild M.F., Persia M.E. Effects of high fiber ingredients on the performance, metabolizable energy and fiber digestibility of

broiler and layer chicks // *Animal Feed Science and Technology*. – 2014. - V. 188. – P. 46-52. doi:10.1016/j.anifeedsci.2013.09.012

337. Wang J. et al. Gut microbiota and calcium balance // *Frontiers in Microbiology*. – 2022. - V. 13. – P. 1033933. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1033933>

338. Wang K. et al. Linkages of Various Calcium Sources on Immune Performance, Diarrhea Rate, Intestinal Barrier, and Post-gut Microbial Structure and Function in Piglets // *Frontiers in Nutrition*. - 2022. – P. 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.921773>

339. Wang T. et al. Calcium alginate enhances wound healing by up-regulating the ratio of collagen types I/III in diabetic rats // *International Journal of Clinical and Experimental Pathology*. - 2015.- V. 8. – № 6. - P. 6636–664.

340. Wang X. et al. Antiosteoporosis effect of geraniin on ovariectomy-induced osteoporosis in experimental rats // *Journal of biochemical and molecular toxicology*. – 2021. - V. 35. - № 6. – P. 1-8. doi: 10.1002/jbt.22774

341. Weaver C.M. et al. Absorption of calcium fumarate salts is equivalent to other calcium salts when measured in the rat model // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. - 2002. - V. 50. - № 17. – P. 4974-4975. doi: 10.1021/jf0200422

342. Wei Z., Huang Q. Assembly of Protein–Polysaccharide Complexes for Delivery of Bioactive Ingredients: A Perspective Paper // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2019. - V. 67. - № 5. – P. 1344-1352. doi: 10.1021/acs.jafc.8b06063

343. Weisel J.W. Fibrinogen and fibrin. In: *Advances in protein chemistry* // Academic Press. - 2005. - V. 70. – P. 247-299. doi: 10.1016/S0065-3233(05)70008-5

344. What is the advantage of extrusion animal feed?: [сайт]. – 2025. -URL: <https://avanextruder.com/what-is-the-advantage-of-extrusion-animal-feed-and-pellet-animal-feed/> (дата лбращения: 10.02. 2025).

345. Whitehead A., Beck E.J., Tosh S., Wolever T.M. Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials // *Am J Clin Nutr.* – 2014. – V. 100. - № 6. – P. 1413-21. doi: 10.3945/ajcn.114.086108.
346. Wiethölter N. et al. Isolation and characterisation of the homogalacturonan from type II cell walls of the commelinoid monocot wheat using HF-solvolysis // *Carbohydr Res.* – 2003. - V. 338. - № 5. – P. 423-431. doi: 10.1016/s0008-6215(02)00498-6.
347. William L., Pangzhen Zh., Danyang Yi., Zhongxiang F. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts // *An overview Comprehensive reviews in food science and food safety.* - 2020. - V. 19. - P. 218-246. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12514>
348. Worcester E.M. Urinary calcium oxalate crystal growth inhibitors // *Journal of the American Society of Nephrology.* – 1994. – P. S46- S53. doi: 10.1681/ASN.V55s46
349. Wu S., Zhang F., Tang Y. A novel calcium-ion battery based on dual-carbon configuration with high working voltage and long cycling life // *Advanced Science.* – 2018. – V. 5. - № 8. – P. 1701082. doi: 10.1002/advs.201701082
350. Yagami K., Takada R. Dietary rice improves growth performance, mucosal enzyme activities and plasma urea nitrogen in weaning piglets // *Journal of Animal Science* – 2017. - V. 88. – P. 2010–2015. doi: 10.1111/asj.12874.
351. Yan W., Sun C., Yuan J., Yang N. Gut metagenomic analysis reveals prominent roles of *Lactobacillus* and cecal microbiota in chicken feed efficiency // *Scientific Reports.* – 2017. - V. 7. – P. 45308. doi: 10.1038/srep45308.
352. Yang F. et al. Copper induces oxidative stress and apoptosis through mitochondria-mediated pathway in chicken hepatocytes // *Toxicol in Vitro.* – 2019. - V. 54. – P. 310-316. doi: 10.1016/j.tiv.2018.10.017
353. Yang F. et al. Copper induces oxidative stress with triggered NF- κ B pathway leading to inflammatory responses in immune organs of chicken // *Ecotoxicology and Environmental Safety.* – 2020. - V. 200. – P. 110715. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110715

354. Yang L.P. et al. Calbindin-D28K mediates 25(OH)D₃/VDR-regulated bone formation through MMP13 and DMP1 // Journal of cellular biochemistry. – 2018. - V. 119. - № 10. – P. 8035-8047. doi: 10.1002/jcb.26722
355. Yang X. et al. Intracellular zinc protects Kv7 K⁺ channels from Ca²⁺/calmodulin-mediated inhibition // Journal of Biological Chemistry. – 2023. - V. 299. - № 2. – P. 102819. doi: 10.1016/j.jbc.2022.102819
356. Yao S. et al. Exploring the plasticity of diet on gut microbiota and its correlation with gut health // Nutrients. – 2023. - V. 15. - № 15. – P. 3460. doi: 10.3390/nu15153460.
357. Yao W. et al. Effects of different processing techniques of broken rice on processing quality of pellet feed, nutrient digestibility, and gut microbiota of weaned piglets // J Anim Sci. - 2023. – V. 101. – P. 158. doi: 10.1093/jas/skad158.
358. Yilmaz-Turan S. et al. Bio-based films from wheat bran feruloylated arabinoxylan: effect of extraction technique, acetylation and feruloylation // Carbohydrate Polymers – 2020. - V. 250. – P. 116916. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116916
359. Yin J.-Y. et al. Mechanism of interactions between calcium and viscous polysaccharide from the seeds of *Plantago asiatica* L // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2012. - V. 60. - № 32. – P. 7981-7987. doi: 10.1021/jf302052t
360. Yokota K. et al. Characterization and function of tumor necrosis factor and interleukin-6-induced osteoclasts in rheumatoid arthritis // Arthritis Rheumatol. – 2021. - V. 73. - № 7. – P. 1145-1154. doi: 10.1002/art.41666
361. You L. et al. Zinc finger protein 467 regulates Wnt signaling by modulating the expression of sclerostin in adipose derived stem cells // Biochemical and Biophysical Research Communications. – 2015. - V. 456. - № 2. – P. 598-604. doi: 10.1016/j.bbrc.2014.11.120
362. Yu L, Wei M. Biomineralization of collagen-based materials for hard tissue repair // International Journal of Molecular Sciences – 2021. - V. 22. - № 2. – P. 944. doi: 10.3390/ijms22020944

363. Yu M. et al. Antioxidant activity and sensory characteristics of Maillard reaction products derived from different peptide fractions of soybean meal hydrolysate // Food Chemistry. – 2018. - V. 243. - № 15. – P. 249-257.
364. Zárate G., Ambrosini V.M.D., Chaia A.P., González S.N. Some factors affecting the adherence of probiotic propionibacterium acidipropionici crl 1198 to intestinal epithelial cells // Canadian Journal of Microbiology. – 2002. – V. 48. - № 5. – P. 449-457. <https://doi.org/10.1139/W02-036>
365. Zare-Sheibani A.A. et al. Effects of extrusion of rice bran on performance and phosphorous bioavailability in broiler chickens // Journal of Animal Science and Technology. – 2015. - V. 57. – P. 26. doi: 10.1186/s40781-015-0059-z.
366. ZeidAli-Nejad A. et al. Nutrient intake, rumen fermentation and growth performance of dairy calves fed extruded full-fat soybean as a replacement for soybean meal // Animal. – 2018. - V. 12. - № 4. – P. 733-740. doi: 10.1017/S1751731117002154.
367. Zhaleh S., Golian A., Zerehdaran S. Effects of one week feeding finisher diets containing rolled and extruded flaxseed on performance, lipid peroxidation and Omega-3 fatty acids in breast and thigh meat of broiler chickens // Poultry Science Journal. – 2020. - V. 8. - № 1. – P. 83-94. doi: 10.22069/psj.2020.17465.1533
368. Zhang B. et al. Plant-derived polysaccharides regulated immune status, gut health and microbiota of broilers: a review // Front Vet Sci. – 2022. - V. 8. – P. 791371. doi: 10.3389/fvets.2021.791371.
369. Zhang F., Adeola O. True ileal digestibility of calcium in limestone and dicalcium phosphate are additive in diets of broiler chickens // Poultry Science. – 2018. - V. 97. - № 12. – P. 4290-4296. doi: 10.3382/ps/pey300
370. Zhang G. et al. Effect of extrusion on available energy and amino acid digestibility of barley, wheat, sorghum, and broken rice in growing pigs // Anim Biosci. - 2023. - V. 37. - № 6. – P. 1085-1095. doi: 10.5713/ab.23.0285.
371. Zhang J. et al. Calcium-Collagen Coupling is Vital for Biomineralization

Schedule // Advanced Science. – 2021. - V. 8. - № 15. – P. e2100363. doi: 10.1002/advs.202100363

372. Zhang Z. et al. Effects of extrusion on structural properties, physicochemical properties and in vitro starch digestibility of Tartary buckwheat flour // Food Hydrocolloids. – 2023. - V. 135. – P. 108197. doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.108197

373. Zhao S.C. et al. Influences of low level of dietary calcium on bone characters in laying hens // Poultry Science. – 2020. - V. 99. - № 12. – P. 7084-7091. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.057

374. Zhao Y. et al. Understanding the impact of extrusion treatment on cereals: insights from alterations in starch physicochemical properties and in vitro digestion kinetics // Animals. – 2024. - V. 14. – 21. – P. 3144. <https://doi.org/10.3390/ani14213144>

375. Zhuo Y. et al. Effects of Corn and Broken Rice Extrusion on the Feed Intake, Nutrient Digestibility, and Gut Microbiota of Weaned Piglets // Animals (Basel). – 2022. - V. 12. - № 7. – P. 818. doi: 10.3390/ani12070818.

376. Zilić S. et al. Effects of extrusion, infrared and microwave processing on Maillard reaction products and phenolic compounds in soybean // Journal of the science of food and agriculture. – 2014. - V. 94. - № 1. – P. 45-51. doi: 10.1002/jsfa.6210. Epub 2013 Jun 7.

377. Zofkova I., Davis M., Blahos J. Trace elements have beneficial, as well as detrimental effects on bone homeostasis // Physiological Research. – 2017. - V. 66. - № 3. – P. 391-402. doi: 10.33549/physiolres.933454

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1. Патенты на изобретения и базы данных

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 449 553** (13) **C1**

(51) МПК

A23K 1/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 02.07.2021)

Пошлина: Возможность восстановления: нет.

(21)(22) Заявка: **2010140423/13**, 01.10.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.10.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.10.2010

(45) Опубликовано: **10.05.2012** Бюл. № 13

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2399293 C2, 20.09.2010. RU
2396001 C2, 10.08.2010. RU 2340208 C2,
10.12.2008. US 0006616924 B1, 09.09.2003.

Адрес для переписки:

460018, г.Оренбург, пр-кт Победы, 13, ГОУ
ОГУ, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Мирошников Сергей Александрович (RU),
Курилкина Марина Яковлевна (RU),
Холодильни Татьяна Николаевна (RU),
Лебедев Святослав Валерьевич (RU),
Межуева Лариса Владимировна (RU),
Быков Артем Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение
"Всероссийский НИИ мясного скотоводства"
(RU)

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМА ДЛЯ ПТИЦ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области птицеводства и может быть использовано при получении корма для птицы. Техническим результатом данного изобретения является снижение содержания в рационе токсичных элементов с одновременным повышением переваримости и биологической доступности компонентов корма. Способ получения корма для птицы включает смешивание основного рациона с карбонатом кальция. Корм для птицы содержит пшеничные отруби. Их предварительно смешивают с карбонатом кальция в соотношении по сухому веществу, мас. %: пшеничные отруби - 78-80, карбонат кальция - 22-20. Данную смесь подвергают экструзии. Затем вносят в основной рацион в количестве 9-11%. 1 табл., 1 пр.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2818582

Способ выращивания цыплят-бройлеров

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук" (RU)*

Авторы: *Холодилина Татьяна Николаевна (RU), Рязанцева Кристина Владимировна (RU), Рахматуллин Шамиль Гафиулович (RU), Яушева Елена Владимировна (RU), Сизова Елена Анатольевна (RU), Нечитайло Ксения Сергеевна (RU), Власов Евгений Александрович (RU)*

Заявка № 2023132697

Приоритет изобретения 11 декабря 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 03 мая 2024 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 11 декабря 2043 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429060007 10511645d196085b71b4aa7
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 20.08.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2819596

Способ повышения эффективности использования кальция в кормлении цыплят-бройлеров

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный научный центр
биологических систем и агротехнологий Российской
академии наук" (RU)*

Авторы: *Холодилина Татьяна Николаевна (RU), Казаев Кирилл
Александрович (RU), Мустафина Александра Сергеевна (RU),
Рахматуллин Шамиль Гафиуллинович (RU), Яушева Елена
Владимировна (RU), Сизова Елена Анатольевна (RU)*

Заявка № 2023132698

Приоритет изобретения 11 декабря 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 21 мая 2024 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 11 декабря 2043 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью
Сертификат 429b650e318533642a196183b73b4aa7
Владелец *Зубов Юрий Сергеевич*
Действителен с 15.05.2025 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2838652

Способ улучшения остеометрических показателей цыплят-бройлеров при использовании органической добавки

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный научный центр
биологических систем и агротехнологий Российской
академии наук" (RU)*

Авторы: *Нечитайло Ксения Сергеевна (RU), Яушева Елена
Владимировна (RU), Казаев Кирилл Александрович (RU),
Холодилина Татьяна Николаевна (RU), Сизова Елена
Анатольевна (RU), Шошин Даниил Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2024137062

Приоритет изобретения 10 декабря 2024 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 22 апреля 2025 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 10 декабря 2044 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью
Сертификат: 0e92a70a630c065a2401570bca12034
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2838261

Способ повышения качества яичной скорлупы

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук" (RU)*

Авторы: *Яушева Елена Владимировна (RU), Холодилина Татьяна Николаевна (RU), Мустафина Александра Сергеевна (RU), Мустафин Рамис Зуфарович (RU), Климова Татьяна Андреевна (RU), Казаев Кирилл Александрович (RU), Рахматуллин Шамиль Гафиулович (RU)*

Заявка № 2024137064

Приоритет изобретения 10 декабря 2024 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 14 апреля 2025 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 10 декабря 2044 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0e92a7b0a2300154d2a01b70a3a120b
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.12.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2024625563

**Разница концентраций химических элементов в теле
крыс линии Wistar под влиянием различных доз
хлорида кальция**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный центр
биологических систем и агротехнологий Российской
академии наук» (RU)*

Авторы: *Рязанцева Кристина Владимировна (RU), Шошин
Даниил Евгеньевич (RU), Казаев Кирилл Александрович (RU),
Холодилина Татьяна Николаевна (RU), Сизова Елена
Анатольевна (RU), Яушева Елена Владимировна (RU)*

Заявка № 2024624945

Дата поступления 01 ноября 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 27 ноября 2024 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью
Сертификат 04924700063000454790167000012026
Владелец: *Зубов Юрий Сергеевич*
Действителен с 30.07.2024 по 31.10.2026

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2024626119

**Сравнительная характеристика накопления
концентраций токсических элементов в тканях тела
крыс линии Wistar под влиянием различных
источников кальция**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (RU)*

Авторы: *Рязанцева Кристина Владимировна (RU), Шошин Даниил Евгеньевич (RU), Казаев Кирилл Александрович (RU), Холодилина Татьяна Николаевна (RU), Сизова Елена Анатольевна (RU), Яушева Елена Владимировна (RU)*



Заявка № 2024626002

Дата поступления 04 декабря 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 18 декабря 2024 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 06924708a5340005429a01b70bca200b
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 30.07.2024 по 03.10.2025

Ю. С. Зубов

о государственной регистрации базы данных

Сравнительная база данных разницы концентраций химических элементов в скорлупе и содержимом яиц 20-недельных кур-несушек кросса «Хайсекс Браун» при включении в предкладковый период в комбикорм различных доз хлорида и цитрата кальция

Авторы: Яушева Елена Владимировна (RU), Холодильникова Татьяна Николаевна (RU), Мустафина Александра Сергеевна (RU), Мустафин Рамис Зуфарович (RU), Климова Татьяна Андреевна (RU), Казаев Кирилл Александрович (RU), Рахматуллин Шамиль Гафилулович (RU)

в Реестре баз данных **23 декабря 2024 г.**

документ подписан электронной подписью
Сертификат: 069278303004542410700002005-
Владислав Зубов Юрий Сергеевич
Идентификатор: 00000000000000000000000000000000

Ю.С. Зубов

