

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

На правах рукописи



ГУБАЙДУЛЛИНА ИЛЬМИРА ЗАКИЕВНА

**Обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров при
использовании в рационе различных источников хрома**

06.02.08 Кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных
животных и технология кормов

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
С.В. Лебедев

Оренбург – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	9
1.1 Роль химических элементов в питании сельскохозяйственных животных.....	9
1.2 Значение и функции хрома в организме животных.....	13
1.3 Использование различных источников хрома в рационах кормления сельскохозяйственной птицы.....	20
2 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	30
2.1 Материалы и методы исследования	30
2.2 Результаты 1 эксперимента на птице.....	38
2.2.1.Корма и кормление цыплят-бройлеров.....	38
2.2.2 Переваримость и поедаемость корма цыплят-бройлеров.....	40
2.2.3 Обмен энергии в организме цыплят-бройлеров.....	41
2.2.4 Рост цыплят-бройлеров.....	43
2.2.5 Морфологический и биохимический состав крови цыплят-бройлеров.....	45
2.2.6 Аминокислотный состав печени цыплят-бройлеров.....	49
2.2.7 Элементный статус подопытной птицы	51
2.2.8 Активность пищеварительных ферментов поджелудочной железы птиц.....	54
2.2.9 Качественный и количественный состав микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров.....	58
2.2.10 Убойные качества и морфологический состав тела цыплят-бройлеров.....	60
2.2.11 Состав и содержание химических веществ в теле цыплят-бройлеров	61
2.2.12 Конверсия протеина и энергии из корма в тело цыплят-бройлеров	63

2.3 Результаты 2 экспериментального исследования.....	64
2.3.1 Переваримость и потребление корма цыплят-бройлеров.....	64
2.3.2. Ростовые показатели цыплят-бройлеров.....	66
2.3.3 Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров.....	67
2.3.4 Биохимические показатели крови.....	70
2.3.5 Качественный и количественный состав микробного сообщества слепой кишки цыплят бройлеров.....	76
2.3.6 Убойные качества и содержание химических веществ в организме цыплят-бройлеров.....	78
2.3.7 Баланс энергии и характеристика межуточного обмена в организме цыплят-бройлеров.....	79
2.4 Научно-производственный эксперимент на цыплятах-бройлерах.....	83
3 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	85
4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	100
5 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ.....	102
6 ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ.....	103
7 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	132

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Развитие птицеводства сопровождается неуклонным повышением генетического потенциала птицы, реализация которого является одной из основных задач кормления как науки. В этом плане особую актуальность приобретают исследования направленные на разработку новых норм кормления, в наибольшей степени соответствующих потребностям организма птицы, что становится возможным через расширение перечня нормируемых параметров рациона, в том числе химических элементов (Фисинин В.И., Егоров И.А., 2013).

Одним из химических элементов, потребность в котором по мере роста генетического потенциала птицы повышается, является хром. Жизненно необходимость этого химического элемента доказана в сороковых годах прошлого века Mertz и Schwarz, которые описали присутствие этого элемента в тканях и продемонстрировали связь с уровнем глюкозы в крови. В последующим были описаны такие биологические эффекты хрома как способность управлять уровнем холестерина, жировыми отложениями, стимулировать развитие мышечной ткани и др. (Ghazi, S., Habibian, M., Moeini, M. M., Abdolmohammadi, A. R. 2012. Li, R., Zhou, Y., et. al., 2018.). Известно, что недостаточное поступление хрома в организм сопровождается замедлением роста и ухудшением толерантности к глюкозе, отложением жира (Kani, M. M. 2015).

Понимание важности хрома в кормлении высокопродуктивных животных определила в последние годы включение этого элемента в перечень нормируемых в рационах современных кроссов свиней.

Степень разработанности темы. В настоящее время широко используемых рекомендаций проливающих свет на потребность домашней птицы в хrome нет (National research council, 2015). В исследованиях описываются лишь частные стороны участия хрома в обмене веществ сельскохозяйственных животных, без раскрытия механизмов формирования

продуктивных качеств, прямых и отдаленных эффектов (Onderci M et al., 2005; Hasan H.G., Mahmood T.J., 2017). В то время как в медицине практика использования препаратов этого элемента получила куда более широкое распространение (Yin RV, Phung OJ., 2015). Так только в 2002 году мировой рынок медицинских препаратов хрома оценивался в 85 миллионов долларов (Nutrition Business Journal, 2003).

При этом очевидно, что источник хрома является ключевым фактором, влияющим на его биологическую доступность. В настоящее время на рынке присутствует целый ряд препаратов хрома. При этом известно, что органические формы хрома имеют более высокую биодоступность, чем неорганические источники (National Research Council, 1997, 1998). В тоже время с развитием нанотехнологии расширяется спектр препаратов ультрадисперсных частиц (УДЧ), которые становятся альтернативой для замены традиционных источников микроэлементов в рационах животных (Сизова Е.А., 2017). Не является исключением и хром, в литературе существуют указания на использования препаратов ультрадисперсных частиц хрома в кормлении сельскохозяйственных животных (Zha LY, et al., 2009). Вышеизложенное является основой для проведения настоящей работы.

Цель и задачи исследований. Целью исследований, выполняемых в соответствии с программой Президиума РАН на 2018-2019 годы «Теоретические и экспериментальные исследования для эффективного научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации» Проект 0761-2018-0031, гос. регистрации № госрегистрации АААА-А17-117021650038-6) на 2017-2019 годы являлось изучение обмена веществ и формирование продуктивных качеств цыплят-бройлеров при включении различных доз и источников хрома в рацион.

Для реализации цели решались следующие задачи:

1. Провести сравнительную оценку действия различных источников хрома на организм цыплят-бройлеров;
2. Изучить продуктивность, морфологические и биохимические

показатели крови при использовании в рационе цыплят-бройлеров различных препаратов хрома.

3. Установить дозозависимый эффект включения в рацион УДЧ хрома по активности пищеварительных ферментов, обмена веществ, конверсии протеина и энергии в организме цыплят-бройлеров;
4. Исследовать влияние препаратов хрома на биодоступность компонентов рациона и состав микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров;
5. Дать экономическую оценку использования различных источников хрома в кормлении цыплят-бройлеров.

Научная новизна определяется комплексом впервые полученных экспериментальных данных о биологическом действии различных доз и источников хрома на обмен веществ, продуктивность, морфофункциональные характеристики, активность пищеварительных ферментов и элементный статус цыплят-бройлеров. Впервые установлена роль ультрадисперсных частиц хрома в формирование продуктивных качеств цыплят-бройлеров, обусловленное выраженным действием на минеральный обмен, активность пищеварительных ферментов и микробный состав слепой кишки цыплят-бройлеров (RU 2700500). Впервые установлена идентичность УДЧ хрома по биологическому и продуктивному действию с пикалином хрома, что ставит его в разряд эффективных для использования в рационах кормления сельскохозяйственной птицы.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке гипотезы формирования ответа организма цыплят-бройлеров на включение в рацион различных доз и источников хрома, сопровождающийся изменением активности пищеварительных ферментов, трансформации энергии и протеина. Установленные положительные эффекты расширяют знания о биологическом действии хрома на организм цыплят-бройлеров и могут быть использованы в теоретическом обучении и научных исследованиях.

Практическая значимость состоит в разработке новых решений по использованию альтернативных источников микроэлементов в рационах цыплят-бройлеров в качестве модуляторов обмена веществ, формирования продуктивных качеств у цыплят-бройлеров. Использование УДЧ хрома, как и аналога в форме пиколината в составе минерального премикса является инструментом для управления процессами пищеварения, получения качественной птицеводческой продукции и увеличения рентабельности производства мяса птицы на 2,2 и 2,5% соответственно.

Методология и методы исследования. В ходе планирования и выполнения исследования по теме диссертации были использованы стандартизированные методы зоотехнического, биохимического, физико-химического анализа с применением современного сертифицированного оборудования. Полученные цифровые данные обработаны с использованием программного пакета «Statistica 10.0».

Основные положения, выносимые на защиту:

- Характер обмена веществ и продуктивность цыплят-бройлеров зависят от формы и дозировки хрома в рационе.

- Биологическое действие различных доз УДЧ хрома проявляется в избирательном действии на морфо-биохимические показатели крови, активность пищеварительных ферментов, трансформацию жира и элементный состав организма птиц;

- Выбор ультрадисперсных частиц хрома в сравнении с солевой формой обусловлен выраженным действием на липидный и белковый обмены, без подавления состава микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров.

- Дополнительное включение хрома в форме УДЧ и пиколината оказывают положительное влияние на обмен веществ и позволяет увеличить эффективность производства продукции птицеводства.

Степень достоверности и апробация работы. Научные положения, достоверность выводов соответствуют результатам собственных

исследований. Основные положения работы доложены и обсуждены на заседании научных сотрудников и специалистов отдела кормления сельскохозяйственных животных ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН» (2018, 2019). Результаты научной работы доложены на научно-практических конференциях: Международная научно-практическая конференция «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» (г. Оренбург, 2018); Международная научно-практическая конференция «Мясное скотоводство - приоритеты и перспективы развития» (г. Оренбург, 2018); XXIV Международный Биос-форум и молодежная Биос-олимпиада (Санкт-Петербург, 2019); Российская научно-практическая конференция «Фундаментальные основы технологического развития сельского хозяйства» (г. Оренбург, 2019 г.); 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM / София (Болгария, 2019).

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 132 страницах компьютерного текста, содержит 39 таблиц, 9 рисунков. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов исследований, результатов собственных исследований и их обсуждения, выводов, практических рекомендаций, перспектив дальнейшей разработки темы, списка литературы, приложения. Список литературы включает 261 источников, из них 138 – иностранных.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Роль химических элементов в питании сельскохозяйственных животных

Полноценное сбалансированное кормление животных оказывает решающее влияние на реализацию генетического потенциала сельскохозяйственных животных (Эрнст Л.К., 2001; Стрекозов Н.И., 2002; Шишкин, Г.И., 2002; Ярмоц Л.П., 2002). Существуют методы, которые направлены на увеличение продуктивности животных, приобретение продукции надлежащего качества (Солошенко В.А., 2007; Кудашев Р. и др., 2009; Дементьев С.В., 2010; Улитко В. Е., 2014; Сизова Ю. В., 2015).

В числе факторов определяющих полноценность питания сельскохозяйственных животных, рассматриваются минеральные вещества (Наумова, А.А., 1999; Казбулатов Г.М., 2010). Химические элементы принимают участие во всех биологических процессах в организме: в работе ферментов, в поддержании осмотического давления и др. Минеральные вещества близко связаны с уровнем продуктивности, качеством продукции, кроветворением, обменом энергии и другими функциями организма (Тляумбетова Р.Ф., 2016). Если рацион не сбалансирован, то происходят нарушения минерального обмена у животных, что сопровождается нарушениями в состоянии здоровья и снижением продуктивности (Гадзаонов Р.Х., 2010; Афанасьев К.А., 2017).

В перечне эссенциальных химических элементов особое место занимают макроэлементы, их уровень и роль в организме животного затрагивает как правило большое число факторов. Например, дефицит кальция у животных вызывает рахит, задержку в росте остеопороз и остеодистрофия, что приводит к повреждениям двигательной способности (Раднатаров В. Д., Балдаев С. Н. 2012). Развитие животноводства связано с возникновением ряда незаразных заболеваний связанных с нарушением

обмена веществ на число которых приходится до 30% болезней (Хорьков С.С., 2003).

У животных химические элементы являются необходимым звеном для создания благоприятных условий для обитания микроорганизмов в преджелудках и повышающие ферментативную активность. Действие минеральных веществ распространяется на метаболизм за счет усиления синтетической деятельности микрофлоры. Важно знать, что потребность микробиоты в микроэлементах выше, чем потребность организма хозяина (Гафаров Ш.С., 2014).

Вопрос о сбалансированности рациона по биологически активным веществам решается за счет включения различных кормовых добавок как природного, так и синтетического происхождения. Постоянно идет поиск экономически выгодных способов покрытия дефицита минеральных веществ (Ломаева А.А., 2018, Рассолов С. Н., 2011; Ахметзянова Ф.К., 2013; Сидоренко С.С., 2013; Седило Г.М., 2014; Семененко М.П., 2014; Гамко Л.Н., 2015).

Исследователями показано, что изучение изменений в поступлении минеральных элементов в организм животных позволяет более точно подходить к нормированию рационов, исключая нарушения обмена веществ, и репродуктивных функций организма (Ломаева А.А., 2018). Химические элементы влияют на функции кроветворения, иммунный статус, микрофлору кишечника, принимают участие в биосинтезе белка, влияют на проницаемость клеточных мембран, входят в состав ферментов и участвуют в деятельности желез внутренней секреции (Кузнецова К.А., 2017). Коррекция рациона микроэлементами в необходимых концентрациях нормализует обмен веществ, что сопровождается повышением полноценности питания и продуктивности животных (Хохрин С.Н., 2004).

В настоящий период мировая практика доказала, что использование в рационах сельскохозяйственных животных и птиц минеральных элементов, позволяет получать больше продукции при минимальных затратах кормов.

Улучшение кормления животных без применения минеральных добавок не может быть, так как не получается повысить содержание макро- и микроэлементов в кормах до удовлетворения потребности животных.

Ярмоц Г.А., Ярмоц Л.П. и др. (2011, 2012, 2013, 2014) установили, что внесение в рационы животных органической формы селена (СелПлекс) влияет на переваримость, использование питательных веществ, и экономические показатели его производства, а также на морфологические и биохимические показатели крови.

Главными источниками микроэлементов для сельскохозяйственных птиц являются корма. При этом потребность в микроэлементах зависит от формы элемента в кормах, а также степени сбалансированности рациона по питательным веществам и др. Содержание элементов в кормах непостоянное и может зависеть от многих факторов, таких как: вид растений, тип почвы, погодные условия, содержания кормов и т.д. (Манелля А.И., 2007; Заводчиков Н.Д., Ермош Е.В., 2009; Фисинин В.И., Егоров И.А., 2015).

Устоявшимся источником микроэлементов являются минеральные вещества, действительность применения которых доказана обширными экспериментами. В работах Х.М. Зайналабдиевой (2004) продемонстрировано, что использование комплекса солей микроэлементов (Co, Cu, Zn) проявляет немалый эффект на прирост жвачных животных и повышает концентрацию микроэлементов в крови на 10-15 %. В исследованиях Е.С. Билялова с соавт. (2013) показан положительный эффект бентонитовой глины на переваримость питательных веществ, который содержал в своем составе формы кальция, фосфора, железа, кобальта и других необходимых элементов.

Генетический потенциал высокопродуктивных животных требует искать новые пути решения проблем в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы. Проводятся крупномасштабные научные исследования по коррекции рационов и нормирования нутриентов, в том числе микроэлементов ранее не регламентированных (Ломанева А.А., 2018), в

частности хрома, участвующего в белковом жировом, углеводном обменах (Мусулькин Д.Р., 2009; Гибалкина Н.И. 2017).

Хром, как фактор толерантности к глюкозе (GTF), помогает контролировать насыщение, гипогликемию и синтез белка, обладает защитной ролью в борьбе с сердечными заболеваниями и диабетом (Mertz, 1993).

В работах В.И. Фисинина, Т.М. Околеловой, И.А. Егорова и др. (2005); приводится сравнительная характеристика применения в кормах неорганических и органических форм микроэлементов. Результаты Е. Андриановой с соавтр. (2011) показали влияние премиксов, которые содержали соединения L-аспаргинатов, приводящие к повышению продуктивности и сохранности птицы, невзирая на малое концентрацию в премиксе микроэлементов.

Из литературных данных известно, что применение органических форм микроэлементов в питании животных является продуктивным способом, обладающий меньшей токсичностью и позволяющий снижать нормы ввода элементов в рацион, что связано с активностью и биодоступностью элемента (Егоров И., Пономаренко Ю., 2007; Климова Е.В., 2008; Mantovani A., Frazzoli Ch., Cubadda F., 2010; Ярмоц Г.А., 2013).

Органические формы микроэлементы имеют не только ряд положительных характеристик, но имеют и недостатки. На сегодняшний день, продукты нанотехнологий выпускаются в больших количествах и в различных формах и обладают неограниченными ресурсами. Обостренный интерес исследователей к наноматериалам вызван обнаружением у них уникальных биологических свойств, которое отличается от свойств данного вещества в макроскопической форме, и имеющих не однозначных физико-химических свойств (Drexler К.Е., 1986; Горюнов А.С. и др., 2009; Никонов И.Н. и др., 2011).

Препараты УДЧ металлов широко применяются при производстве продуктов бытового, промышленного назначения. Например, используются

УДЧ диоксида титана, которые при помощи оптических и электрических свойств используются в производстве красок, бумаги и т.д. (Фатхутдинова Л.М., Халиуллин Т.О., Залялов Р.Р., 2009).

Одним из важных направлений в настоящее время представляет применение препаратов ультрадисперсных частиц в сельском хозяйстве (Яушева Е.В., 2013). Например, показано, что использование лиозолей наноаквахелатов Ag, Cu, Co и др. в рационах кур увеличивает яичную продуктивность и также эффективность потребления корма. Введение таких смесей в рацион цыплят-бройлеров может увеличить прироста массы птицы, в крови количество эритроцитов.

В результате проведенного анализа многочисленных работ по применению ультрадисперсных частиц микроэлементов-металлов в разнообразных отраслях животноводства (птицеводство, скотоводство, свиноводство и т.д.), позволил определить, что их использование способствует изменению значимых для этой области показателей, таких как: прирост, продуктивность, соотношение эссенциальных и токсичных элементов, биодоступность и т.д.

Таким образом, на фоне подтвержденной необходимостью минеральных веществ в кормлении животных, и в частности производства новых форм металлов, необходимо проводить исследования по аттестации и внедрения в практику кормления новых источников микроэлементов с учетом их биологического действия на различные функции организма.

1.2 Значения и функции хрома в организме животных

Хром можно рассматривать в числе наиболее перспективных минералов для внедрения в широкую практику птицеводства (Kani 2015, Zheng et al. 2016, Mir et al. 2017 and Li et al. 2018). Это один основных минералов для птицеводства, чтобы увеличить производство (Farag et al. 2017).

Нормирование этого микроэлемента в рацион животных осуществляется с использованием неорганических соединений - CrCl_3 и Cr_2O_3 . Между тем последние имеют целый ряд существенных недостатков, в том числе способность вызывать расстройства пищеварения и метаболические изменения; низкую биодоступность (0,4-2%), что примерно в 10 раз по сравнению с органическими формами (Kani 2015).

Хром в своем наиболее стабильном состоянии окисления (Cr^{3+}), выполняет целый ряд важнейших функций для животных. Этот микроэлемент участвует в регуляции обмена углеводов, белков и липидов, усиливает действие инсулина в виде активного компонента факторов толерантности к глюкозе (GTF), и играет антистрессовую роль, уменьшая концентрации кортизола в крови. В дополнение, хром имеет фундаментальную функцию в формировании и экспрессии генетической информации, оказывает ингибирующее действие на липогенную активность и улучшает всасывание аминокислоты в мышечных клетках для синтеза белка. GTF, будучи частично образован молекулами Cr, облегчает поступление глюкозы на клеточном уровне, путем увеличения уровня инсулина в соматической клетке (Herran et al, 2011). Метаболизм глюкозы у птиц отличный от млекопитающих (Брукс и др, 2016). Калорийный стресс увеличивает циркуляцию концентрации кортикостерона в птице, но и он же снижает чувствительность к инсулину (Naq et al, 2018). Дефицит Cr вызывает тяжелые метаболические и продуктивные нарушения у домашних птиц, такие как гипергликемия, снижение толерантности к глюкозе (развитие метаболического синдрома, профиль похож на сахарный диабет 1-го типа), увеличение циркулирующего инсулина, холестерина и триглицерида в крови (Kani 2015).

С другой стороны, известно, что тепловой стресс является одним из факторов окружающей среды, влияющих на птицеводство, вызывающее экономические потери в промышленности птицеводства по всему миру. Когда бройлеры подвергаются тепловому стрессу, они поддерживают

регулирование температуры с помощью терморегуляторного механизма, имеющие отрицательное влияние на их производительность и обмен веществ (Sahin et al, 2018).

Хром был признан эссенциальным элементом около 50 лет назад. Хром также является биологическим модулятором функции инсулина, и следовательно, рекомендуется для профилактики и лечения инсулинорезистентности (Anderson R, 1987). Нет никаких рекомендаций по применению Cr в кормах в птицеводстве (Хохрин С.Н., 2004). Многие исследования были проведены в отношении содержания хрома в рационе птиц для оценки его влияния на производительность и здоровье птиц (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты исследований по использованию препаратов УДЧ в кормлении птицы

Используй- мые методы	Размер (нм)	Направление	Дозы (млрд ⁻¹)	Вид птицы	Эффект	Ссылки
Химический синтез	ND	Диета	0,50 мг/кг корма	Цыплята- бройлер	Увеличение массы тушки, грудки и ног, уменьшение жира в брюшной полости. Повышенное содержание белка в груди и плотное и пониженное содержание холестерина груди и бедра в условиях теплового стресса	Zha et al., 2008
Химический синтез	80,8	Диета	500 и 3000	Цыплята- бройлеры	Сохранение минералов и крови при использовании УДЧ CrPic	Sirirat et al., 2012
Химический синтез	80	Диета	200, 400, 600, и 800	Перепелка	Улучшены параметры качества яиц, но содержание Cr в крови не изменилось	Andi and Shahamat, 2015
Химический синтез	30–80	Диета	50, 100, 200 и 400	Курица	Добавление улучшило рост, параметры крови, качество мяса и снижение	Malathi, 2015

					уровня холестерина в мясе независимо от источника, но использование препарата УДЧ Cr улучшило сохранность мяса птицы в отличии от обогащенных хромом дрожжей	
Химический синтез	30–80	Диета	50, 100, 200 и 400	Курица	Способствовало увеличению производства и качества яйца, увеличению уровня Cr в ткани, при снижении уровня холестерина в яйце	Malathi, 2015
ND	ND	Диета	200 и 400	Куры-несушки	Не влияет на производство яиц, но содержание хрома в тканях тела выросло	Sathyabama, Jagadeeswaran, 2016

ND – не определено, AI – птичий грипп, IB – инфекционный бронхит, CrPic – пиколинат хрома, CrCl₃ – хлорид хрома.

Добавление различного уровня пиколината хрома и УДЧ Cr в рацион, значительно улучшает коэффициент конверсии корма, увеличивает вес и титры антител (против птичьего гриппа) у курицы, подвергшейся тепловой нагрузке (Sirirat N et al, 2012). CrPic представляет собой соединение трехвалентной формы Cr, с низким содержанием токсичности, комплексообразующая с пиколиновой кислотой (Hamidi et al, 2016). Он был использован в рационе бройлеров под тепловым стрессом (Li et al, 2018). Сообщалось, что добавление Cr бройлерам снижает уровень концентрации кортизола в крови. Этот гормон высвобождается в ответ на стресс, и его главная роль заключается в повышении уровня сахара в крови за счет глюконеогенеза (Kani, 2015). Исследования, описанные Toghyani et al. (2008) сообщили, что добавки с CrPic у бройлеров при диете снизили содержание жира в тушке. Также установлено, что Cr оказывает ингибирующее действие *in vitro* на липолитическую активность у домашних птиц и свиней. В девяностые годы прошлого века независимо друг от друга Ward (1993) и Kim et al. (1996) описали факт увеличения содержания белка в туши и печени бройлеров на фоне дополнительной дачи хрома. Как было

установлено, это вызвано прямой связью обмена Cr и инсулина, так как он улучшает связывание с рецепторами клеток-мишеней и пострецепторной сигнализации, которая сопряжена с большим синтезом белков (Sahin and Sahin 2002; Piva et al. 2003).

Практическое подтверждение этого получено в эксперименте Navidshad et al. (2009), в ходе которого добавление 0,5 мг Cr/кг корма в виде CrPic бройлерам сопряжено с увеличиваем интенсивности отложения белка и роста живой массы цыплят.

Hajjalizadeh et al. (2017) установили, что добавки CrPic и УДЧ этого микроэлемента оказывает влияние на продуктивность и иммунитет бройлеров под воздействием теплового стресса. Используя дозы 500, 1000 и 1500 ppb CrPic и 1500 ppb препарата УДЧ в рационе, эти авторы добились улучшения продуктивных показателей бройлеров, в том числе увеличение живой массы и скорости конверсии корма. С другой стороны, титры антител против птичьего гриппа и инфекционного бронхита у бройлеров с добавлением Cr были выше, чем у тех животных, которые не получали это дополнение.

В других исследованиях Ezzat et al. (2017) сообщили что у бройлеров, при добавлении в рацион Cr 1200 мкг/кг в форме CrPic, во время теплового стресса, значительно снижается смертность в период откорма. При добавлении CrPic (Cr 0,4-2 мг/кг) в рацион бройлеров, увеличивается суточный прирост, потребление и титры антител против болезни Ньюкасла. Конкретно, в условиях теплового стресса (32,8-36 °C), рационы бройлеров при добавлении CrPic (Cr 1-2 мг/кг диета) увеличилась скорость преобразования корма и трансформация Т-лимфоцитов и снижение общего количества глюкозы и холестерина в сыворотке крови (Zhang, 2018). В последнее время, влияние добавок CrPic на переваримость и транспорт питательных веществ у кур-несушек были изучены при воздействии теплового стресса. Авторы обнаружили, что добавки с CrPic улучшили переваримость питательных веществ у кур-несушек. Дополнение с CrPic

также увеличила генную экспрессию носителей жирных кислот, глюкозы, белков и аминокислот в желудочно-кишечном тракте кур (Orhan et al. 2018).

УДЧ Cr на уровне 1000 ppb и CrPic на уровне 1500 ppb улучшили титры антител (против птичьего гриппа и инфекционного бронхита) у бройлеров в условиях теплового стресса. Только FCR был улучшен в стартерной фазе путем дополнения пиколината хрома у бройлеров при 500 и 3000 ppb. Однако содержание таких минералов, как Fe, Zn, Ca, Mn и P, были увеличены у птиц, получавших 500 мкг УДЧ Cr. Кроме того, добавление УДЧ CrPic увеличило лимфоциты, одновременно уменьшая гетерофилы (Ярмоц, Л.П. и др, 2011).

Добавление различных источников хрома (УДЧ Cr, пиколинат Cr) в дозе 500 ppb позволяет увеличить массу тела, FCR, тушу и убойный выход, одновременно уменьшив подбрюшный жир у сельскохозяйственных животных. Однако содержание белка в грудных и бедренных мышцах было увеличено, а холестерин был снижен только при использовании препарата УДЧ Cr. Более того, не наблюдалось влияния различных источников на содержание Cr в сыворотке, печени и почках (Ярмоц, Л.П. и др, 2012).

Исследования также показали снижение потребления корма, уровня холестерина, ЛПНП в сыворотке крови и концентрации хрома в бройлерах, питаемых диетами, содержащих пиколинат Cr и УДЧ Cr.

Препарат УДЧ Cr был использован для повышения продуктивности кур-несушек. Добавление УДЧ CrPic не оказывает существенного влияния на характеристики производительности. Однако, размеры пулов Cr, Ca и P в печени, Cr в яичном желтке и Ca в яичной скорлупе удалось увеличить при введении этих добавок (Шишкин, Г.И., 2002). Включение обогащённых хромом дрожжей и УДЧ Cr способствовало повышению показателей роста на начальных этапах, но кумулятивный вес тела, потребление корма и эффективность корма в конце 8-й недели не были существенно затронуты.

Однако оба источника Cr понижают уровень холестерина в сыворотке крови, триглицеридов и глюкозы, увеличивая общий уровень белка,

альбумина, глобулина и гемоглобина в крови цыпленка двойного назначения. Добавление Cr также улучшило качество мяса за счет увеличения содержания белка, при этом уменьшив содержание жира и холестерина, что является привлекательным преимуществом с точки зрения потребителя.

Скармливание птице УДЧ Cr в отличии от применения обогащенных хромом дрожжей и неорганического Cr обеспечивает повышение содержание хрома в тканях (Эрнст Л.К. и др., 2001, Ярмоц, Л.П., 2002, Ярмоц, Г. А., 2013).

Добавление обогащенных хромом дрожжей, равно как и препарата УДЧ Cr в корм способствует увеличению производства яиц, сопряжено с более эффективным использованием корма при одновременном снижении содержания холестерина и жира. Кроме того, добавление хрома в корм также способствовало увеличению содержания Cr в мясе, печени и яйцах, которые могут использоваться в качестве функциональных продуктов питания у пациентов с диабетом 2 типа.

Включение в рацион 800 ppb УДЧ CrCl сопровождалось увеличением массы яиц и параметров качества яиц по сравнению с контролем и другими дополнительными уровнями (200, 400 и 600 ppb) без влияния на содержание Cr в крови у перепелов (Ярмоц, Л.П., 2014).

Данные, собранные из литературных баз данных, таких как google scholar, science direct и pubmed показали, что различные препараты ультрадисперсных микроэлементов обладают перспективным потенциалом для улучшения производительности и здоровья у разных видов птиц. Практика использования ультрадисперсных препаратов микроэлементов вызвана в том числе повышением содержания эссенциальных микроэлементов в мясе и яйце птицы, что открывает новый горизонт для развития обогащенных продуктов и функциональные продукты для человека.

1.3 Использование различных источников хрома в рационах кормления сельскохозяйственной птицы

В 1957 году хром (Cr) был предложен в качестве жизненно важного элемента для жизни и нормального развития животных и человека. В природных условиях биологическая активность соединений, содержащих хром в третьем и шестом окислительном состоянии, существенно различается. Трехвалентный Cr необходим для людей и животных, он формирует правильный метаболизм глюкозы и участвует в метаболизме углеводов, белков и липидов. Добавление хрома приносит положительные результаты только в малых дозах. Хром-дефицитное питание ухудшает уровень толерантности к глюкозе и функцию инсулина, изменяет белковый обмен и отрицательно влияет как на рост, так и на размножение

Шестивалентный Cr является сильным окислителем, легко проникающим в живые организмы, восстанавливаясь до Cr (III) в клетках. Промышленное производство является источником Cr-содержащих отходов, которые загрязняют воду и воздух и, как следствие, почву. Выбросы хрома в атмосферу происходят главным образом в результате сжигания угля и других видов ископаемого топлива, а также в результате плавки железа и цветных металлов. Шестивалентный Cr является окислительным и очень токсичным. Антропогенное загрязнение почвы Cr является результатом атмосферного осаждения пыли, а также промышленных отходов, сбрасываемых в почву из лакокрасочных заводов, кожевенных заводов и очистных сооружений.

Хром токсичен для растений и накапливается в корнях и в ограниченной степени переносится на надземные части растений. В клетках млекопитающих и птиц Cr (VI) восстанавливается до Cr (III), который продуцирует высокотоксичные свободные радикалы. Шестивалентный Cr является канцерогеном для позвоночных. Нарушения репродукции наблюдается и у млекопитающих. Высокий уровень Cr в окружающей среде является мутагенным, канцерогенным и тератогенным для птиц,

концентрация хрома в легких птиц увеличивается с возрастом, что предполагает эквивалентность рациона и воздуха как источников интоксикации Cr. Исследования показали, что хром не проявляет никакой биомагнификации, напротив, с увеличением трофического уровня, концентрация Cr значительно снижается.

С одной стороны, хром является ключевым металлом во многих отраслях промышленности, включая металлургию, химическую промышленность, дубление кожи, производство пигментов и сохранение древесины (Gheju and Balcu 2010; Kabata-Pendias 2011; Pati et al. 2014). С другой стороны, токсические, мутагенные и канцерогенные свойства хрома тоже хорошо известны (Dhal et al. 2013; Singh et al. 2015). Хром вызывает окислительный стресс и убивает клетки, повреждает ДНК и модифицирует экспрессию генов ((Bagchi et al. 2002; Pechova and Pavlata 2007; Gheju and Balcu 2010; Cantu et al. 2014).

Шестивалентный хром токсичен для растений, животных и людей (Wise et al. 2002; OSHA 2006; Islam et al. 2007; Wise et al. 2008; Singh et al. 2015). Он является наиболее мобильным, реактивным и токсичным формой хрома (Tribovillard et al. 2006; Dhal et al. 2013). Основным механизмом, лежащим в основе токсичности Cr (VI), является окислительный стресс (Bagchi et al. 2003; Cantu et al. 2014). У эндотермических позвоночных длительное воздействие хрома (VI) приводит к нейротоксическим, дерматоксическим и генотоксическим эффектам, а также к канцерогенным и мутагенным изменениям; у людей это дополнительно приводит к аллергии кожи, язвам и почечной недостаточности (Bagchi et al. 2002; Thacker et al. 2006; Singh et al. 2015).

Большинство авторов уверено, что трехвалентный хром является существенным элементом и подчеркивают его положительное влияние, если оно включено в питание людей и животных (Gheju and Balcu 2010; Weksler-Zangen et al. 2012; Lewicki et al. 2014). Эксперименты, проведенные в 1990-х годах подтверждают, что хром является необходимым питательным

веществом для различных групп животных, таких как крупный рогатый скот, овцы, свиньи и домашняя птица (Pechova and Pavlata 2007). Экологическая подвижность хрома (III) ниже, он в 1000 раз менее токсичен для живых клеток, по сравнению с шестивалентным Cr (Bagchi et al. 2003 ; Suwalsky et al. 2008 ; Gheju and Balcu 2010; Singh et al. 2015).

Хром был идентифицирован как компонент биологических тканей, в 1940-х годах Mertz и Schwarz (1957) наблюдали нарушения развития в популяции крыс, получавшие рацион с дефицитом хрома и предположили, что рациону не хватает фактора толерантности к глюкозе (GTF). Это было подтверждено в других исследованиях (Pechova and Pavlata 2007; Vincent and Stallings 2007). Было подтверждено, что GTF содержит активную форму трехвалентного хрома (Mertz 1993).

Согласно Grela et al. (1997), GTF представляет собой трехвалентную хромо-никотиновую кислоту, встречающуюся в сочетании с глутаминовой кислотой, глицином и цистеином. Трехвалентный хром усиливает действие инсулина, как *in vitro*, так и *in vivo*. Многие исследования на животных и на человеческих диабетических пациентах, а также *in vitro* показали, что Cr (III) улучшает эффективность инсулина и усиливает действие тирозинкиназы и трансмембранной тирозин-фосфатазы.

В результате, глюкоза более эффективно поглощается и используется клетками организма (Krejpcio et al. 2007). Максимальная активность *in vitro* требует определенной химической формы GTF и это изначально идентифицируется в виде хром-ниацинового комплекса (Piva et al. 2003). Для людей с сахарным диабетом, важность и необходимость хрома была подтверждена в ряде исследований (Kurył and Dębski 2007; Krejpcio et al. 2007; Pechova and Pavlata 2007).

Результаты экспериментов показывают, что хром является незаменимым микроэлементом в метаболизме углеводов, липидов и белков у млекопитающих (Şahin et al. 2001; Pollard et al. 2002; Brown 2003; Lewicki et al. 2014). Кроме того, хром участвует в антиоксидантных процессах, синтезе

РНК и ДНК, иммунном ответе, а также оказывает влияние на секрецию гормонов и некоторых витаминов (Thor et al. 2011). У различных видов животных было показано, что диета с низким содержанием хрома приводит к таким симптомам дефицита, как снижение потребления корма, снижение веса, нарушения репродуктивной функции и более высокое содержание липидов в сыворотке крови (Frank et al. 2000; Anke et al. 2001; Bagchi et al. 2002).

Добавление хрома, независимо от своей формы, дает положительные результаты только в низких дозах, избыток этого элемента в рационе препятствует развитию животных (Pollard et al. 2002). Добавки Cr усиливают связывание инсулина и увеличивает количество инсулиновых рецепторов и их фосфорилирование (Brown 2003). Хронический стресс может изменить суточную потребность в микроэлементах, в том числе и хрома. Стрессовые ситуации у животных возникают в результате транспортировки, высокой температуры в помещении, быстрого роста, старения и диет, требующих полной активации инсулина.

Факторы стресса, влияющие на метаболизм хрома у человека, включают в себя тяжелую гликемическую нагрузку, диету с высоким содержанием моносахаридов, лактацию, инфекцию или травмы (Anderson 1997). При повышенном стрессе, таким как усталость, травмы и беременность, но также в результате диетического, метаболического, физического, экологического или эмоционального стресса, потребность в хrome увеличивается (Piva et al. 2003). Роль хрома в метаболизме холестерина остается необъяснимой (Pechova and Pavlata 2007; Hua et al. 2012).

Grela et al. (1997) предположили, что это состояние является важным фактором риска развития ишемической болезни сердца, поскольку оно сопровождается повышенным артериальным давлением, высоким уровнем триглицеридов в плазме и низким уровнем липопротеидов высокой плотности (ЛПВП). Суточная потребность животных в хrome составляет,

вероятно, 300 мкг/кг Cr сухого вещества корма. Дача препаратов хрома способна снижать общую массу тела, что происходит на фоне увеличения мышечной массы (Bielicka et al. 2005). Было установлено, что Cr улучшает мышечную массу тела у животных, стимулирует потребление корма и энергетическую эффективность (NRC 1997). Хром также может ускорить скорость роста скелетной мускулатуры и сердечных мышц (Morris et al. 1995). Исследования на сельскохозяйственных животных (Pollard et al. 2002) показали, что добавление хромовых дрожжей улучшает их производительные показатели (лучшее содержание мышечной части туши, более низкий процент жира, увеличение веса, более эффективная конверсия корма, более высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот).

Органический хром снижает смертность поросят и цыплят, а также уменьшает заболеваемость быков-производителей и улучшает показатели воспроизводства, повышает иммунитет и улучшает реакцию на вакцинацию (NRC 1997). Скармливание препаратов хрома сопряжено с повышением надоя молока у коров, повышением выносливости у лошадей при физических нагрузках, что связано со снижением содержания мышечного лактата у лошадей (Grela et al. 1997). Ионы хрома стимулируют липидный обмен у цыплят-бройлеров (Kurył и Debski 2001; Krejpcio et al. 2007)

Хром активно транспортируется через клеточные мембраны у прокариот и эукариот. Большинство клеток непроницаемо для Cr (III), что, вероятно, связано с нерастворимостью его соединений в щелочной среде (Jianlong et al. 2004). Количество хрома, поглощенного и сохраненного в живой ткани, и его воздействие зависит от таких факторов, как вид, размер организма, пол и стадия развития, характеристики воды и наличие других загрязняющих веществ (Mining Watch Canada 2012). Дрожжи, подвергшиеся воздействию Cr, выявили различные явления внутри своих клеточных процессов, включая реакции окисления и восстановления, взаимодействия с клеточными органеллами, связывание цитозольных молекул, образование белков ДНК, аддуктов Cr-ДНК, разрывы в цепочке ДНК и перекрестные

связи ДНК-ДНК (Kaszycki et al. 2004). Показано, что дрожжи способны накапливать высокие концентрации обеих форм Cr в соответствии с их концентрацией в среде (Brady et al. 1994). В *Saccharomyces cerevisiae*, концентрация хрома может достигать до 30 мг/г⁻¹ dw (Batic and Raspor 1998), как правило, ниже у других видов и колеблется от 0,45 до 10 мг Cr г⁻¹ dw (Muter et al. 2001; Kaszycki et al. 2004; Ksheminska et al. 2005). Толерантность дрожжей к Cr зависит от физиологической фазы роста, плотности биомассы и времени воздействия (Kaszycki et al. 2004).

Эксперименты показывают, что высокое содержание Cr в рационе влияет на рост и выживаемость птиц, например, выводка американских черных уток *Anas rubripes* (Eisler 2000; Koivula и Eeva 2010). У некоторых видов домашней птицы (цыплят-бройлеров, индеек, кур-несушек) добавки Cr улучшали прирост массы тела и яйценоскость при одновременном снижении уровня холестерина в мышцах. С другой стороны, у кур-несушек наблюдалось снижение концентрации глюкозы в сыворотки крови, жира и общего холестерина (Şahin et al. 2001; Anke et al. 2005).

Информация о дозах Cr в воде или корме, которые вызывают проблемы со здоровьем у млекопитающих, накоплена главным образом в лабораторных исследованиях по токсикологии, на моделях мышей и крыс. Эффекты, наблюдаемые у животных в экспериментальных дозах через пищу, воду или инъекции, включают рак, репродуктивный вред, поведенческие изменения, уменьшение роста и снижение выживаемости (Nriagu и Kabir 1995). 90-дневный период воздействия на крыс дозой, которая была в 30000 раз больше, чем рекомендуется, не выявил никаких неблагоприятных последствий для здоровья биоаккумуляции Cr (Anderson et al. 1997).

Staniek et al. (2010) заметили, что крысы, которые получили пропионат Cr (III) не показали никаких генотоксических эффектов, основанных на анализе лимфоцитов, в отличие от Cr (VI) в форме K₂Cr₂O₇. Эксперименты на крысах (как *in vitro*, так и *in vivo*) показывают, что 80% Cr в крови связано с

трансферрином – белком, транспортирующим и регулирующим концентрацию железа (Feng et al. 2003).

Хроматы накапливаются через систему поглощения сульфатов и влияют на их метаболизм (Peitzsch et al. 1998; Juhnke et al. 2002; Nies 2004). Как и в случае абиотических реакций, клеточное восстановление Cr (VI) приводит к термодинамическому стабильному Cr (III) (Zhitkovich 2011). Восстановление хромата до Cr (III) образует свободные радикалы, которые делают металл очень токсичным (Nies, 2004).

Метаболизм хрома у эндотермических позвоночных зависит от степени окисления и свойств соединений, которые он образует. Большая часть Cr, обнаруженного в организмах, поглощается с пищей, в которой он присутствует в форме Cr(III). Хром, поглощенный в крови, быстро покидает его, поэтому концентрация Cr в крови не отражает содержание Cr в тканях (Suwalsky et al. 2008). Cr (VI) и Cr (III) различаются по способности проникать через клеточные мембраны (Miksche and Lewalter, 1997). Показано, что пиколинат хрома и другие соединения Cr (III) обладают ограниченной способностью проникать через клеточную мембрану, чтобы получить доступ к ДНК, в отличие от Cr (VI), который является канцерогенным (Juturu and Komorowski, 2003).

В исследованиях на животных использовались различные экспериментальные модели, а также различные формы (пиколинат, пропионат, хром-L- метионин) (Lewicki et al, 2014). Хром влияет на обмен веществ глюкозы и жира, снижает уровень холестерина, уменьшает риск развития атеросклероза и снижает смертность из-за стресса у кошек, обезьян, морских свинок, кроликов, белок, свиней, коров, телят, домашних птиц и людей (Piva et al, 2003; Arvizu et al, 2011; Lewicki et al, 2009, 2014). В животноводстве, добавки Cr улучшают репродуктивные показатели, такие как прирост массы и качество туши (Pollard et al, 2002).

Kuryl и др. (2006) отмечают, что значительное увеличение транспорта глюкозы в эритроцитах и β -окисление жирных кислот в лимфоцитах

здоровых крыс, получавших рацион, содержащий фруктаны и хром (III), причем эффекты возрастают с повышением уровня этих компонентов в рационе.

У свиней, добавление 200 мкг Cr улучшило толерантность к глюкозе, увеличил производство глюкозы и уменьшил период полураспада глюкозы. Таких результатов не было подтверждено у ягнят (Anke et al, 2005).

Lewicki и др. (2009) продемонстрировали *in vitro* (миоциты мышечной C₂C₁₂), показав что добавление хрома оказывало положительное влияние (более сильная стимуляция хлорида хрома, чем пиколината) на увеличение интенсивности β-окисления. Крупный рогатый скот, получавший корм с добавкой Cr, показал повышение ($p > 0,05$) клеточного иммунитета, понижения уровня кортизола в крови и более высокий титр антител (Pollard et al, 2002) Наиболее распространённая теория, объясняющая механизм влияния Cr на метаболизм глюкозы включает хромодулин (Peterson et al, 2008). Одной из более поздних концепций действия хрома является его влияние на текучесть клеточных мембран и, как следствие, на регуляцию поглощения глюкозы клетками. Этот эффект связан с более низким уровнем холестерина в мембране, который является ингибитором транспорта глюкозы, контролируемым рецептором инсулина (Pattar et al, 2006). Также возможно, что механизм действия Cr зависит от активации рецепторов эстрогенов (Song et al, 2004).

Молекулярный механизм влияния эстрогена на секрецию инсулина до конца не изучено. Его можно разделить на две части: быстрый сигнал (связанный с активацией мембранных рецепторов эстрогена) и медленный (связанный с активацией ядерных рецепторов эстрогена) (Lewicki et al, 2014). Было продемонстрировано, что Cr может увеличить активность инсулина через гипотетический механизм, который заключается в:

- образовании хромодулина (LMWCr), которая после связывания с тирозинкиназой, должна стабилизировать активную конформацию рецептора инсулина и усилить его сигнал в восемь раз, до тех пор, пока концентрация

этого гормона в крови не уменьшится, после этого ослабляются связи с тирозинкиназой и хромодулин выделяется из клеток в кровь, после чего следует его мочевыделительная экскреция (Chen et al, 2006; Peterson et al, 2008).

- регулирование транслокации GLUT4 (трансмембранного транспортера глюкозы в инсулинозависимые клетки) Cr (III), которая может возникать независимо от белков инсулинового сигнального пути (Ginsberg, 2000). Механизм гипотриглицеридемического действия хрома не был точно объяснен. Было высказано предположение, что данный механизм необходим для поддержания антилипидного эффекта инсулина, который включает активацию липопротеиновой липазы, приводящую к гидролизу триглицеридов, конкурентному ингибированию липолиза и последующему снижению использования свободных жирных кислот в биосинтезе триглицеридов (Ginsberg, 2000; Krzysik and Grajeta, 2010). Дефицит хрома был описан у крыс, морских свинок и обезьян, приводящую к снижению роста, уменьшению жизненного периода, повышенному холестерину в сыворотке крови, увеличению образования аортальных бляшек, напоминающих признаки сахарного диабета (Eisler, 1986). Некоторые из первых симптомов дефицита Cr являются снижение функции инсулина и нарушение метаболизма глюкозы. Дальнейшие изменения включают в себя изменения метаболизма белков, общую слабость и повреждение системы кровообращения (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007).

Различные виды животных, получавшие диету с дефицитом хрома, демонстрировали снижение толерантности к глюкозе. Уровень Cr в рационе, примененный к самцам коз, снижается до уровня ниже $0,31 \text{ мг/кг}^{-1} \text{ dw}$, который приводит к более низкому потреблению корма, и уменьшению веса (Anke et al, 2005). Некоторые исследователи предполагают, что определенный уровень диетического хрома необходим для нормального роста сердца (Morris et al. 1995). Эксперименты на самцах крыс линии Sprague-Dawley, получавших рацион с добавлением пиколината хрома при

300 и 1500 ppb, показали, что даже пятикратное увеличение рекомендуемой суточной дозы хрома не вызывает изменения массы сердца, содержания общего белка в сердце, а также количества миофибриллы, но уменьшает на 11% количество высокой АТФазы миозина изоформа-V1 (Morris et al. 1995).

Хром присутствует в тканях человеческих плодов и младенцев. Его содержание уменьшается с возрастом во всех органах, кроме легких, где с 10-летнего возраста обнаруживается небольшое увеличение содержания хрома, вероятно, за счет увеличения уровня Cr, вдыхаемого в легкие. Самое высокое накопление уровней Cr (0.2-2,0 мг/кг⁻¹) было обнаружено в волосах (Bielicka et al.2005).

Таким образом практика использования препаратов хрома в кормлении сельскохозяйственных животных и птиц в частности, вполне обоснована важной биологической ролью этого микроэлемента, значение которого на фоне дальнейшего нарастания генетического потенциала кроссов и пород трудно переоценить.

2 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Материалы и методы исследования

Комплексные исследования были проведены в период с 2017 по 2020 гг. на базе отдела кормления сельскохозяйственных животных имени профессора С.Г. Леушина ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (аттестат аккредитации Госстандарта России – RA.RU 21ПФ59 от 02.12.2015 г.) Производственные испытания были проведены в ЗАО «Птицефабрика Оренбургская» Оренбургской области.

Объект исследований - цыплята-бройлеры кросса Арбор Аикрес (ОАО «Птицефабрика Оренбургская, www.pfo56.ru).

Целью первой серии исследования являлось сравнительное комплексное изучение биологических эффектов связанных с включением различных доз ультрадисперсных частиц (УДЧ) хрома в рацион цыплят-бройлеров. Схема исследований представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Схема первого экспериментального исследования

Объект исследования	Группа	Период опыта	
		подготовительный (0-7 сут.)	учетный (8-42 сут.)
цыплята-бройлеры кросса «Арбор Аикрес» (n=150)	контрольная	Основной рацион (ОР)	ОР
	I опытная		ОР ₁
	II опытная		ОР ₂
	III опытная		ОР ₃
	IV опытная		ОР ₄

Примечание:

- ОР – основной рацион по рекомендациям ВНИТИП, 2015;
- ОР₁ – рацион с содержанием УДЧ хрома в дозе 50 мкг/кг корма;
- ОР₂ – рацион с содержанием УДЧ хрома в дозе 100 мкг/кг корма;
- ОР₃ – рацион с содержанием УДЧ хрома в дозе 200 мкг/кг корма;
- ОР₄ – рацион с содержанием УДЧ хрома в дозе 400 мкг/кг корма.

Для проведения исследований методом групп-аналогов из 7-суточных цыплят-бройлеров массой 160-180 г сформировали 5 групп: одну контрольную и четыре опытных. Контрольная птица на протяжении всего эксперимента получала рацион сформированный по рекомендациям ВНИИТИП (2015). Птице опытных групп в период 8-42-е сут дополнительно к основному рациону включали различные дозы УДЧ Cr₂O₃ (d = 91 нм, уд. пов. — 9 м²/г, Z-потенциал — 93±0,52 мВ, концентрация Cr — 99,8 %, метод получения — плазмохимический синтез; производитель ООО «Платина», г. Москва, Россия): I группа — 50, II — 100, III — 200 и IV — 400 мкг/кг. Дозы были выбраны с учетом информации о положительных эффектах хрома на ростовые и биохимические показатели цыплят-бройлеров (Sahin K., Sahin N. 2002; Lie T.F., Yeh H.S., 2009).

На основании результатов первого экспериментального исследования было проведена оценка биологического действия различных источников хрома в дозе 100 мкг/кг корма на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров согласно схеме представленной в таблице 3.

Таблица 3 – Схема второго экспериментального исследования

Объект исследований	Группа	Период эксперимента	
		подготовительный 0-7 суток	учетный 8-42 суток
цыплята-бройлеры кросса «Арбор Айкрес» (n=120)	Контрольная	Основной рацион	ОР
	I опытная		ОР ₁
	II опытная		ОР ₂
	III опытная		ОР ₃

Примечание: ОР – основной рацион с питательностью по нормам ВНИИТИП, 2015;
 ОР₁ - ОР с содержанием хлорида хрома (CrCl₃);
 ОР₂ – ОР с содержанием ультрадисперсных частиц хрома;
 ОР₃ - ОР с содержанием пиколината хрома (CrPic);

По окончании подготовительного периода (7 дней) птиц разделили на четыре группы по 30 голов в каждой. Контрольная группа содержалась на

основном рационе; в рацион I группы включали CrCl_3 , во II опытную - УДЧ Cr_2O_3 , III опытную группу – пиколинат хрома (CrPic). Доза вводимого хрома соответствовала в пересчете на металл 100 мкг/кг корма.

Характеристика источников хрома:

- ультрадисперсные частицы хрома, полученные методом плазмохимического синтеза ООО «Платина», г. Москва, гидродинамический диаметр 124 нм, удельная поверхность 9 м²/г, Z-потенциал 93±0,52 мВ, содержали 99,8% Cr;

- неорганическая форма Cr в форме хлорида хрома ($\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, содержащий 19,5% Cr, ч.д.а. производство АО "Реахим, Россия);

- пиколинат хрома $\text{Cr}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_3$ производства ЗАО «Эвалар», Алтайского края, (г. Бийск, Россия) содержит 10% органического хрома.

Птица в процессе исследований содержалась в клетках КУН-05 площадью 4050 см² (90½45½45 см).

Для приготовления комбикормов использовали метод ступенчатого смешивания. УДЧ вводили после диспергирования в физиологическом растворе с помощью УЗДН-2Т, (НПП «Академприбор», Россия) (35 кГц, 300 Вт, 10 мкА, 30 мин).

Исследования выполнены в соответствии с методикой проведения научных и производственных исследований по кормлению с.-х. птицы (ВНИТИП, 2015) и The experimental research on animals was conducted according to instructions, recommended by the Russian Regulations, 1987 (Order No.755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and “The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996)”.

Кормление бройлеров проводилось 2 раза в сутки, учет кормов – ежесуточно при использовании 2-х фазного кормления (1-3 нед. и 4-6 нед.). Микроклимат в помещении соответствовал требованиям ОНТП- 4-88. Динамика ростовых показателей оценивалась путем индивидуального взвешивания еженедельно до кормления (±1 г). На основании результатов взвешиваний рассчитан абсолютный и среднесуточный прирост.

Изучение обмена веществ в процессе балансового опыта (5 сут.) проводилось в соответствии с «Методическими рекомендациями по проведению научных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы». Учитывали количество выделенного помёта (путем ежедневного сбора и взвешивания), в частности 20-50 % гомогенизированной массы помёта помещали в пластиковые контейнеры. Фиксация азота помёта производилась 0,1н. раствором щавелевой кислоты из расчета: 4 мл – на 100 г помета. Пробы помета высушивали при температуре 60-70°C., размалывали и помещали в банку с притёртой пробкой.

Балансовые исследования проводили по общепринятым методикам (Овсянников А.И., 1976; Лукашек А.А., 1970). Для характеристики энергетического обмена организма определяли значения валовой, обменной энергии по уравнениям регрессий, предложенных А.П. Калашниковым и др. (2003). Анатомическую разделку и оценку химического состава проводили по методике ВНИТИП (2004).

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

Элементный анализ биосубстратов исследован методами атомно-эмиссионной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Optima 2000 V, «Perkin Elmer», США) и масс-спектрометрии (Elan 9000, «Perkin Elmer», США) в лаборатории АНО «Центра биотической медицины», г. Москва. Озоление проводили с использованием микроволновой системы разложения Multiwave-3000 («Anton Paar», Австрия).

Морфо-биохимический анализ крови. Отбор крови у птиц осуществлялся утром в 21 и 42-суточном возрасте из подкрыльцовой вены. Морфологические показатели крови определяли на гематологическом анализаторе URIT-2900 Vet Plus, (URIT Medial Electronic Co., Китай). Биохимический анализ на анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием наборов ДиаВетТест (Россия). Определение перекисей липидов (малонового диальдегида (МДА)) проводили в тесте с тиобарбитуровой кислотой (Андреева Л.И., Кожемякин Л.А., Кишкун А.А., 1988). Определение активности супероксиддисмутазы, каталазы и малонового диальдегида в плазме крови проводилось спектрофотометрическим методом на Stat fax 1904 Plus.

Определение уровня NO-метаболитов проводился спектрофотометрическим методом с реактивом Грисса на микропланшетном анализаторе Infinite PRO F200 (TECAN, Австрия) при длине волны 540 нм (Мажитова М.В., 2011).

Для оценки активности пищеварительных ферментов после вскрытия птицы извлекали кишечник, отбирали в стерильные пробирки химус 12-перстной кишки и содержимое толстого отдела кишечника. Активность амилазы устанавливали по гидролизу крахмала (Ц.Ж. Батоев, 2001) с использованием КФК-3 (длина волны 670 нм) и выражали в мг расщепленного крахмала 1 мл химуса в течение одной минуты. Измерение активности липазы проводились на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческих биохимических наборов для ветеринарии ДиаВетТест (Россия). Активность протеаз определяли по расщеплению казеина по Гаммерстену (США) при колориметрическом контроле на КФК-3 (длина волны 450 нм) (Ц.Ж. Батоев, 2001).

Количество аминокислот в корме и печени оценивали с помощью ионообменной хроматографии с постколоночной дериватизацией нингидриновым реагентом и последующим детектированием при длине

волны 570 нм (для пролина - 440 нм). Анализы выполняли с использованием системы для высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) YL 9100 HPLC System («Young Lin Instrument Co., Ltd», Корея), которая состоит из кватернарного градиентного насоса YL9110, вакуумного дегазатора YL9101, UV/VIS детектора YL9120, автосамплера YL9150 (постколоночный дериватизатор Pinnacle PCX, ионообменная колонка Na⁺ 4.0½150 мм, 5 мкм, предколонка Na⁺ 3.0½20 мм, 5 мкм; «Pickering Laboratories, Inc.», США).

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

Методы определение активности ферментов поджелудочной железы (амилаза, протеаза, липаза). После убоя птицы от двенадцатиперстной кишки отделяли поджелудочную железу, герметично упаковывали, нумеровали и замораживали до определения активности ферментов от нескольких часов до нескольких суток. После взвешивания

железы готовилась ее навеска (1 г), которую измельчали и путем растирания навески ткани поджелудочной железы в гомогенизаторе (TissueRuptor, QIAGEN) в холодном растворе Рингера (рН 7,4) получали гомогенат органа.

Определение содержания амилазы и липазы в приготовленном гомогенате проводили после добавления 1% экстракта слизистой двенадцатиперстной кишки. Для опыта экстракт использовали в 5-кратном разведении дистиллированной водой (Полтырев С.С., 1937) после 60-минутного инкубирования при температуре 4-5⁰С (Вертипрахов В.Г., 1989).

Активность ферментов рассчитывали на 1 г массы поджелудочной железы. Активность амилазы определяли по методу Смит-Роя-Уголева (1965) в модификации Ц.Ж. Батоева, приспособленного для массовых опытов в определении высокой концентрации амилазы в панкреатическом соке птиц (Батоев Ц.Ж., 1972),

Протеолитическую активность устанавливали по расщеплению казеина при фотометрическом контроле (Батоев, 1971).

Определение активности липазы проводили на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческого биохимического набора для ветеринарии ДиаВетТест (Россия).

Определение качественного и количественного состава микробиоценоза. В работе использованы Эндо-агар (ООО НИЦФ, Россия) - для энтеробактерий с нормальной ферментативной активностью и условно-патогенных лактозонегативных энтеробактерий, мясо-пептонный агар (МПА) (ООО НИЦФ, Россия) - для определения аэробной флоры, Рогоза-агар (Hiimedia, Индия) - для лактобактерий, Бифидо-агар - для молочнокислых (бифидобактерии) бактерий (Hiimedia, Индия), желточно-солевой агар (ЖСА) (ООО НИЦФ, Россия) – для подсчета стафилококков, ВСА-агар - для патогенных сальмонелл (Hiimedia, Индия). Оборудование: весы лабораторные электронные MB210-A (свидетельство о поверке № 12/2414-2017 от 29.08.2017 до 28.08.2018); стерилизатор паровой ВК-30-01 (техническое

освидетельствование до 2022г.); термостат электрический суховоздушный ТС-1/80 СПУ (Аттестат поверки №13/368-2017 от 20.10.2017 до 19.10.2018г); бокс абактериальной воздушной среды БАВп-01 «Ламинар-С»; спиртовая горелка для пламенной обработке в микробиологическом анализе.

Концентрацию водородных ионов (рН) определяли ионометром рН-150МИ. (производитель ООО «Измерительная техника»).

Энергетический обмен в организме с внешней средой были определены согласно рекомендациям предложенными А.П. Калашниковым, Н.И. Клейменовым и др. (2003).

На основании данных по ежесуточному взвешиванию птицы и с учетом рекомендаций ВНИТИП (2004) были рассчитаны значения чистой ($ЧЭ_{под}$) и обменной энергии ($ОЭ_{под}$), необходимой для поддержания жизни в каждый из дней эксперимента.

Цифровые данные статистически обработаны с использованием программ «Excel» из программного пакета «Office XP», «Statistica 10.0». Данные в таблицах представлены в виде $M \pm m$, где M – среднее арифметическое, m – ошибка средней арифметической. В случае нормального распределения, когда в сравниваемых группах разница между средней арифметической (M) и медианой (Me) была менее 10%, оценку статистической значимости различий между группами проводили с помощью t - критерия Стьюдента. Если же сравниваемые показатели имели распределение, отличающееся от нормального, то сравнение проводили с помощью U – теста Манна-Уитни, то есть непараметрического аналога t - критерия Стьюдента.

2.2 Результаты I эксперимента на птице

2.2.1. Корма и кормление цыплят-бройлеров

Стартовый рацион был приготовлен на пшенично-кукурузной основе с содержанием обменной энергии и сырого протеина 12 МДж/кг и 24 %, соответственно (таблица 4).

Таблица 4 – Питательность и состав стартового комбикорма, г/кг

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса вещества
Состав комбикорма:		Кальция, %	1,02
Пшеница	271	Фосфора, %	0,70
Кукуруза	160	Фосфора усв. %	0,45
Шрот соевый	250	Натрия, %	0,21
Шрот подсолнечный	180	Железа, мг	50
Мука рыбная	40	Меди, мг	5
Масло подсолнечное	50	Хрома, мг	4
Монохлоргидрат лизина	2,4	Цинка, мг	140
Dl-метионин	1	Марганца, мг	200
L-треонин	0,3	Кобальта, мг	2
Соль поваренная	2,8	Йода, мг	1,40
Монокальций фосфат	7	Селена, мг	0,40
Мел кормовой	5	Витаминов:	
Известняковая мука	10	А, тыс МЕ	24
Сода пищевая	0,5	Д, тыс МЕ	6
В комбикорме содержится:		Е, мг	60
Обм.энергии, МДж/кг	12	В ₁ , мг	4
Сырого протеина, %	24	В ₂ , мг	10
Сырой клетчатки, %	6,40	В ₃ , мг	20
Лизина, %	1,36	В ₄ , мг	1000
Метионина, %	0,53	В ₅ , мг	60
Метионина+цистина, %	0,90	В ₆ , мг	6
Треонина, %	0,90	В ₁₂ , мг	0,050
Триптофана, %	0,30	В _с , мг	1
Аргинина, %	1,59	С, мг	100
Валина, %	1,10	Н, мг	0,20
Гистидина, %	0,29		
Глицина, %	0,58		
Изолейцина, %	0,93		
Лейцина, %	1,55		
Фенилаланина+тирозина, %	0,77		
Фенилаланина, %	0,57		

Ростовой рацион содержал 12,4 МДж/кг обменной энергии и 19,75 % сырого протеина (таблица 5)

Таблица 5 - Питательность и состав ростового комбикорма, г/кг

Показатель	Масса вещества	Показатель	Масса вещества
Состав комбикорма:		Кальция, %	0,91
Пшеница	412	Фосфора, %	0,70
Кукуруза	220	Фосфора усвояемого, %	0,48
Шрот соевый	150	Натрия, %	0,24
Шрот подсолнечный	80	Железа, мг	50
Мука рыбная	60	Меди, мг	5
Масло подсолнечное	28	Хрома, мг	5
Монохлоргидрат лизина	1,1	Цинка, мг	140
Dl-метионин	1,3	Марганца, мг	200
L-треонин	5,4	Кобальта, мг	2
Соль поваренная	3,0	Йода, мг	1,40
Монокальций фосфат	7	Селена, мг	0,40
Мел кормовой	4	Витаминов:	
Известняковая мука	7	А, тыс МЕ	20
Сода пищевая	10	Д, тыс МЕ	5
В комбикорме содержится:		Е, мг	40
Обменной энергии, МДж/кг	12,1	В ₁ , мг	2
Сырого протеина, %	19,8	В ₂ , мг	10
Сырой клетчатки, %	4,34	В ₃ , мг	20
Лизина, %	1,02	В ₄ , мг	1000
Метионина, %	0,48	В ₅ , мг	40
Метионина+цистина, %	0,77	В ₆ , мг	6
Треонина, %	1,21	В ₁₂ , мг	0,05
Триптофана, %	0,23	В _с , мг	1
Аргинина, %	1,16	С, мг	100
Валина, %	0,88	Н, мг	0,10
Гистидина, %	0,28		
Глицина, %	0,60		
Изолейцина, %	0,77		
Лейцина, %	1,32		
Фенилаланина+тирозина, %	0,66		
Фенилаланина, %	0,55		

В целом оптимальность условий кормления и содержания птицы 100 % сохранностью поголовья в течении всего эксперимента.

2.2.2 Переваримость и поедаемость корма цыплят-бройлеров

Одним из важных критериев в птицеводстве является оценка содержания в рационе обменной энергии, в совокупности с энергией протеина, жира и клетчатки (Георгиевский В.И., 1979; Крисанов А.Ф. и др. 1995; Андреев А.И., 1997).

В результате исследований установлено, что в зависимости от дозы УДЧ хрома потребление корма цыплятами бройлерами было различным (таблица 6).

Таблица 6 – Фактическое потребление корма цыплятами-бройлерами по периодам выращивания, г/гол

Показатель	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Стартовый	1319	1246	1321	1345	1343
Ростовой	2036	1987	2033	2077	2078
Всего за периоды	3774	3649	3739	3855	3853
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,85	1,71	1,7	1,67	1,67

Установлено, что расход корма на 1 кг прироста живой массы в опытных группах была от 8 до 16 % ниже контрольных значений, что не зависело от показателей переваримости (таблица 7).

В частности, наиболее выраженные результаты по переваримости сырого протеина были характерны для II опытной группы - 83,02%, что на 5% в стартовый и ростовой периоды превосходила контрольную группу.

Таблица 7 – Коэффициенты переваримости питательных веществ корма, %

Группа	Органическое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы в среднем
	Стартовый комбикорм			
контроль	80,9±2,11	77,4±0,48	70,5±1,42	57,3±2,93
I опытная	82,2±1,32	78,1±0,36	71,0±0,76*	59,3±1,83
II опытная	83,9±0,94**	82,5±0,29	77,8±0,63**	63,5±1,27**
III опытная	82,8±1,35**	81,8±0,55*	76,7±0,92*	61,0±1,76**
IV опытная	83,7±1,55**	81,9±0,50	76,2±1,15**	66,3±2,07**
Ростовой комбикорм				
контроль	80,8±0,78	78,6±0,63	70,6±0,79	59,8±0,83
I опытная	83,4±2,04	81,8±1,61	73,8±1,98	62,4±2,16
II опытная	85,9±2,28	83,0±1,14**	78,1±1,45**	63,7±2,99
III опытная	83,5±1,56	80,8±0,88**	76,7±0,97**	62,4±1,95
IV опытная	84,1±1,97	82,2±0,97**	72,5±1,31**	60,0±2,48

Примечание: *, **, Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$.

Аналогичный эффект зафиксирован в отношении сырого жира (8%) и сырой клетчатки (7,55%). Остальные дозы хрома имели схожее действие на оцениваемые параметры, но с меньшей силой влияния и достоверности.

2.2.3 Обмен энергии в организме цыплят-бройлеров

В результате эффективности межклеточного обмена установлено, что основывались на показателях обменной энергии, синтез продукции и эффективность его использования являлась подвижными показателями (таблица 8).

В частности, по мере увеличения дозы УДЧ хрома в рационе КПи ОЭ варьировало от 0,43 до 0,49, с наиболее значимым показателем во II опытной группе, на фоне низкого коэффициента соответствия, который находился в обратной зависимости от концентрации обменной энергии, значение которой на 3,3 % превосходили показатели контрольной группы.

Таблица 8 – Особенности межклеточного обмена в организме цыплят-бройлеров за период опыта

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Обменная энергия сверхподдержания, МДж/гол	27,8	24,7	31,651	30,08	27,9
Чистая энергия продукции, МДж/гол	11,5	12,00	13,4	12,36	11,6
Коэффициент полезного использования обменной энергии	0,41	0,43	0,49	0,41	0,41
Уровень питания	1,004	1,05	1,04	1,05	0,97
Концентрация обменной энергии, МДж/кг СВ	14,7	14,0	15,2	14,8	14,08
Коэффициент соответствия	0,028	0,037	0,026	0,028	0,03
Энергопротеиновое отношение	0,290	0,297	0,346	0,330	0,282

Уровень питания, величина характеризующая количество корма обеспечивающее рост и развитие организма равное генетическим возможностям в опытных группах была практически идентичная, с небольшим снижением на 3% в группе с максимальным уровнем УДЧ хрома. Показатели ЧЭ продукции во II и III опытных группах соответствовали значениям 13,4 и 12,3 МДж/гол, что в совокупности с обменной энергией продукцией превышала значения контроля на 10-12%.

Важной составляющей обменных процессов является определение баланса энергии в организме (таблица 9).

Доля валовой энергии корма варьировала от 54 до 62 МДж/гол, с максимальными значениями во II и III опытных группах. При отсутствии ярко выраженных различий, бройлеры получавшие средние дозы УДЧ хрома меньше тратили энергии с пометом, но больше с теплопродукцией на 0,5%. В организме цыплят-бройлеров II опытной группы за период эксперимента отложилось 13,4 МДж/гол чистой энергии прироста, что составило 21,5% от объема валовой энергии, поступившей с кормом за этот период.

Таблица 9 – 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
контроль	56,3	25,6	41,8	53,8	11,5	20,5
I опытная	54,2	29,0	38,4	46,9	12,0	22,1
II опытная	62,3	25,7	46,3	54,3	13,4	21,5
III опытная	61,0	27,2	44,3	52,5	12,3	20,1
IV опытная	61,2	30,4	42,5	50,5	11,6	18,9

Таким образом, выраженный дозозависимый эффект проявлялся в увеличении переваримости протеина, жира, и как результат превосходство группы бройлеров получавшие хром в дозе 100 и 200 мкг/кг по отложению энергии в прирост, что подтверждается ростовыми показателями.

2.2.4 Рост цыплят бройлеров

В результате проведения исследований осуществлялся контроль за динамикой прироста живой массы путем индивидуальных контрольных взвешиваний, результаты, которых представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Динамика живой массы подопытной птицы, г

Возраст, суток	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
7	224±2,4	230±4,3	224±3,2	234±3,0	232±23,1
14	446±24,3	472±43,0	456±19,8	461±30,1	438±23,1
21	688±38,2	778±85,3	792±25,5	794±40,8	820±46,0
28	1290±57,4	1382±53,2	1377±64,4	1306±32,4	1394±93,2
35	1817±22,4	1876±78,0	1860±99,8	1794±63,5	1860±58,6
42	2266±20,3	2366±40,1	2533±59,8*	2431±36,4**	2436±78,2

Примечание: *Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$.

Бройлеры II и IV опытных групп характеризовались достаточно высокой энергией роста и к моменту окончания выращивания при абсолютном приросте живой массы 2533 и 2436 г., превышали показатели контроля на 10,5 и 6,9 % ($p \geq 0,05$) соответственно. Уровень ростовых показателей в I и III опытных группах отличался незначительно от контрольных, и составил 4,2-6,7 % ($p \geq 0,05$).

Для детализации показателей роста бройлеров нами были рассчитаны еженедельные приросты (таблица 11).

Таблица 11 – Динамика прироста живой массы цыплят-бройлеров за период эксперимента, г/гол

Период, неделя	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
7-14	222±3,4	241±4,3	227,0±3,0	232,1±3,2	205,6±23,1
15-21	242±21,3	306±43,0	333,6±30,1	335,4±19,8	382,6±23,1
22-28	602±24,2	603±85,3	512±40,8	585,3±25,5	574±46,0
29-35	527±57,4	621±53,2	488,6±32,4	482,7±64,4	565,4±93,2
36-42	448±22,4	462,7±78,0	676,4±63,5	673±29,8*	556±58,6

Примечание: *, Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$

Наибольшие ростовые характеристики живой массы цыплят бройлеров соответствовали 21-28 недельному периоду у I опытной группы. В конце исследований у бройлеров II и III опытных групп приросты живой массы превосходили контрольные показатели на 34 и 33,5% соответственно, что свидетельствует о высоком стимулирующем эффекте и ростовом потенциале опытной птицы.

На основе полученных данных, можно сделать вывод, что применение в составе рационов УДЧ хрома оказывает положительное влияние на эффективность использования корма, что способствовало увеличению прироста живой массы обоснованной активностью биохимических процессов.

2.2.5 Морфологический и биохимический состав крови цыплят-бройлеров

На 14 сутки эксперимента установлено снижения на 35 % количества лейкоцитов в III опытной группе (доза 200 мкг/кг). В лейкограмме снижается пул гранулоцитов на фоне увеличения агранулоцитов, что обуславливает снижение соотношения гра/агра, низкие значения которого характерны для I, III групп.

В конце экспериментального исследования (42 сутки) уровень лейкоцитов во II опытной группе (доза 100 мкг/кг) был больше на 51 % ($P \leq 0,05$) контрольных значений. При этом не наблюдается количественного сдвига различных форм лейкоцитов и значение соотношения гра/агра. Таким образом, на введение УДЧ хрома организм отвечает тенденцией снижения лейкоцитов в начале эксперимента, с последующим восстановлением их количества к концу эксперимента по сравнению с контролем (таблица 12).

Таблица 12 – Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров кросса Арбор Айкрес

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
	21 сутки				
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	44,9±2,138	30,15±1,885**	44,50±0,709	25,67±3,295**	34,50±2,802
Лимфоциты, %	50,2±3,152	61,40±0,272**	50,00±1,367	56,87±2,251	57,30±0,964*
Моноциты, %	7,4±0,362	4,40±0,057	7,00±0,952	6,23±0,409	6,53±0,409
Гранулоциты, %	42,4±3,695	34,20±0,384	43,00±3,157	36,90±2,020	36,17±1,200
Эритроциты, $10^{12}/\text{л}$	3,01±0,069	2,99±0,064	3,06±0,034	2,71±0,080	2,9±0,048
Гемоглобин, г/л	124±5,367	121,67±2,603	127,67±3,527	105,33±2,603	115,67±6,064
Гематокрит, %	23,7±1,863	22,90±0,288	23,67±0,611	19,53±0,589	21,20±1,006
МСН, пг	61,6±1,753	60,93±0,409	61,90±1,159	61,70±1,473	60,80±1,270
Тромбоциты, $10^9/\text{л}$	102±6,239	108,33±4,807	119,67±3,929*	97,33±5,840	117,00±2,081*
Гра/агра, усл.ед	0,736±0,0221	0,520±0,0156	0,754±0,0226	0,585±0,0175	0,631±0,0189

42 сутки					
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	37,10±2,926	38,97±2,290	59,63±2,145*	36,30±2,675	35,50±2,939
Лимфоциты, %	54,50±0,802	55,13±1,116	53,97±1,183	55,00±1,34	57,53±0,866*
Моноциты, %	7,47±0,633	6,70±0,960	6,23±0,317	6,73±0,480	6,10±0,416
Гранулоциты, %	38,03±0,635	38,17±2,173	39,80±1,479	38,27±0,927	36,37±0,635
Эритроциты, 10 ¹² /л	2,97±0,094	3,05±0,058	3,64±0,084*	2,94±0,060	3,06±0,035
Гемоглобин, г/л	118,67±3,179	127,67±2,414	161,67±7,672**	120,0±6,244*	129,00±2,645*
Гематокрит, %	22,23±0,623	24,00±2,482	30,97±3,204*	22,67±1,337	24,27±0,721*
МСН, пг	60,50±0,503	61,97±0,328*	60,90±0,602	62,30±0,611*	61,67±1,462
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	109,67±5,477	101,67±4,910	113,67±6,359	92,00±7,637	94,33±3,568
Гра/агра, усл.ед	0,614±0,018	0,617±0,018	0,661±0,019	0,620±0,018	0,572±0,017

Примечание: * Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

Скармливание УДЧ Cr₂O₃ в течение 21 суток сопровождалось увеличением количества эритроцитов во II опытной группе на 22,5 % ($P \leq 0,05$) и гемоглобина на 35,6 % ($P \leq 0,01$) по сравнению с контрольными значениями. Так, величина МСН в I, III, IV группах была выше на 1,75, 2,29, 1,26 % по сравнению со II опытной группой соответственно.

Таким образом, УДЧ Cr₂O₃ в дозе 100 и 200 мкг/кг вызывали стимуляцию лейкопоэза, дыхательной функции крови. Различное действие УДЧ хрома в различных дозировках выражалось изменением биохимических показателей крови (таблица 13).

Эффект ультрадисперсных частиц Cr₂O₃ выражался в стимуляции активности аланинаминотрансферазы (АЛаТ) и аспартатаминотрансферазы (АСаТ) на 21 сутки эксперимента. Так, уровень АЛаТ в II и IV группах был практически в 2 раза выше чем в контроле ($p \leq 0,05$). В случае с АСаТ различия были сопоставимы с уровнем ультрадисперсных частиц Cr₂O₃ в рационе, достоверные различия в 3,5 раза ($p \leq 0,05$) были характерны для дозы 100 и 200 мкг/кг.

К окончанию эксперимента, уровень АЛаТ в сыворотки крови цыплят-бройлеров, при статистически недостоверной разнице с контролем, снижался в группах с минимальной и максимальной нагрузкой УДЧ Cr₂O₃, тогда как активность АСаТ наоборот при данных дозировках увеличилась на 53,7 % и

39,6 % ($p \leq 0,05$) соответственно. Реакция глюкозы и холестерина на введение хрома отсутствовала.

Таблица 13 – Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров кросса Арбор Айкрес ($M \pm SEM$)

Показатель	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
21 сутки					
АЛаТ, Ед/л	7,30±0,5	8,30±2,4	14,2±1,0***	7,13±3,2	13,20±1,7**
АСаТ, Ед/л	52,5±33,0	80,2±50,1*	190,4±76,9**	188,7±33,2**	106,4±20,0**
Глюкоза, ммоль/л	14,0±0,4	14,8±0,8	14,4±1,6	15,3±0,5	14,8±0,5
Общий белок, г/л	41,99±2,0	37,25±1,9	40,15±1,8	43,04±0,8	39,63±4,7
Холестерин, ммоль/л	3,08±0,1	3,44±0,2	2,99±0,6	2,73±0,3	3,22±0,3
Триглицериды, ммоль/л	0,65±0,2	0,62±0,2	1,69±0,2*	0,63±0,3	1,25±0,1*
Билирубин общий, мкмоль/л	0,65±0,1	0,76±0,2	0,76±0,2	0,76±0,1	0,55±0,2
Амилаза, Ед/л	436,0±19,1	422,0±195,1	303,9±64,1	403,7±25,7	617,7±42,9*
Липаза, Ед/л	6,43±0,3	7,2±0,3	6,83±0,3	7,93±0,8	8,30±2,4
42 сутки					
АЛаТ, Ед/л	23,00±2,1	17,10±1,0	26,33±1,1	24,07±2,4	15,43±1,1
АСаТ, Ед/л	70,50±6,1	152,00±8,5***	63,83±7,8	69,43±13,7	116,6±20,9**
Глюкоза, ммоль/л	15,45±0,4	14,34±0,6	13,48±1,1	14,06±0,5	14,21±0,2
Общий белок, г/л	32,65±0,1	35,93±1,2	40,89±6,9	35,18±1,5	38,26±0,3
Холестерин, ммоль/л	3,81±0,3	3,33±0,1	3,02±0,3	3,11±0,3	3,93±0,4
Триглицериды, ммоль/л	0,69±0,1	0,40±0,2	0,39±0,1	1,14±0,3*	2,18±0,7*
Амилаза, Ед/л	173,3±5,6	180,3±5,6	157,03±10,4	166,3±1,2	186,3±1,2
Билирубин общий, мкмоль/л	0,81±0,3	0,86±0,0	0,66±0,1	0,65±0,3	0,81±0,2
Липаза, Ед/л	2,73±0,8	2,30±0,8	1,43±0,7	2,83±0,7	5,47±4,5**

Примечание: *, **, Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

Маркером энергетического и липидного обмена является уровень триглицеридов в крови. На 21 сутки у бройлеров, получавших в составе

рациона ультрадисперсных частиц Cr_2O_3 в дозе 100 и 400 мкг/кг по сравнению с контролем их значения были больше на 61,6 % и 48,5 % соответственно, с пролонгацией эффекта к концу учетного периода, что не подтверждает результаты исследований, где высокий уровень холестерина и триглицеридов характерен для хромдефицитных состояний.

Такая неоднозначная реакция организма возможно связана с перестройкой ферментативной системы, а также дополнительной нагрузки на митохондриальный аппарат клеток печени, за счет участия хрома в стимуляции скорости белкового и липидного обмена, на фоне высокоэнергетических рационов, характерных для современных кроссов птицы.

Активность амилолитических ферментов в крови на 21 сутки была наибольшей в IV опытной группе, разница с контрольными значениями составила 29,5 % ($p \leq 0,05$). В других группах существенных отличий обнаружено не было. Аналогичная динамика была характерна для липазы. В группах получавшие наибольшие дозировки ультрадисперсных частиц Cr_2O_3 (200 и 400 мкг/кг) ее активность на 21 и 42 сутки была от 19 до 30 % выше контрольных значений, на фоне снижения активности к окончанию эксперимента. Причиной увеличения активности сывороточных ферментов может быть результатом синтеза или ресинтеза микронутриентов, повышения проницаемости клеточных мембран, и транслокации пищеварительных ферментов в кровяное русло.

Введение УДЧ хрома в корм не вызвало окислительный стресс, на что указывали показатели активности каталазы (КАТ), супероксиддисмутазы (СОД) и малонового диальдегида (МДА) (таблица 14).

На фоне снижения активности СОД во всех опытных группах, достоверные различия с контролем были характерны для II опытной группы (51,3 %), уровень активности КАТ был стабильно низким и уменьшался в ответ на увеличение хромсодержащих УДЧ в рационе.

Таблица 14 – Активность каталазы, супероксиддисмутазы, концентрация малонового диальдегида и NO-метаболитов в сыворотке крови цыплят-бройлеров Арбор Айкрес при введении в рацион различных доз хрома ультрадисперсных частиц хрома в рационе ($M \pm SEM$, 42-е сут).

Показатель	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
СОД, % ингибирования аутоокисления адреналина	568±68,6	405±57,0	277±18,6*	509±28,6	435±48,0
КАТ, мкмоль H ₂ O ₂ °Л ⁻¹ °МИН ⁻¹	2363±54,9	1050±82,8*	1871±51,38*	1510±47,4*	1510±47,4*
МД, нмоль/мл	0,65±0,260	0,36±0,006	0,41±0,120	0,29±0,090	0,18±0,040
NO- метаболиты, мкмоль/л	59,8±2,53	61,4±3,42	73,6±3,62*	65,8±1,51*	62,9±1,83

Примечание: * Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

Отсутствие токсичности и ростостимулирующий эффект хромсодержащих УДЧ определялся нарастанием NO-метаболитов во II и III опытных группах на 18,8 и 9,2 % относительно контрольной группы ($P \leq 0,05$). В других группах цифровые показатели по сравнению с контролем не превышали 5 % барьер.

2.2.6 Аминокислотный состав печени цыплят-бройлеров

По результатам проведенных исследований установлено, что добавление в рацион хрома стимулировало синтез аминокислот в печени. Наибольшая их сумма была характерна для II опытной группы, которая по совокупности определяемых параметров превосходила контрольную группу по валину, лейцин+изолейцину, треонину, лизину на 28,6; 15,6; 20,6; 19,0; 27,5% соответственно. Внесение в рацион УДЧ хрома, способствует повышению уровня аргинина в печени, который является наиболее

распространенным носителем азота и основным фактором, регулирующим максимальный рост молодых животных

При других дозировках превосходство сохранялось по отдельным аминокислотам. Содержание заменимых аминокислот под влиянием УДЧ хрома увеличивался во всех опытных группах, с наибольшей разницей по тирозину, серину, аланину на 15,6; 12,5 и 15,8% соответственно (таблица 15).

Таблица 15 - Аминокислотный состав печени цыплят-бройлеров при введении в рацион ультрадисперсных частиц хрома ($M \pm SEM$, 42-е сут),%

Аминокислота	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Незаменимые					
Аргинин	2,93±0,14	5,3±0,2	4,1±0,35	3,3±0,56	3,9±0,47
Валин	3,8±0,26	3,9±0,96	4,5±0,61	3,7±0,46	3,9±0,18
Фенилаланин	3±0,6	3,3±0,82	3,7±0,18	2,9±0,51	3,6±0,8
Гистидин	1,5±0,82	1,9±0,66	2,1±0,1	1,6±0,16	1,9±0,52
Лейцин+изолейцин	8,1±0,35	8,8±0,16	10,2±0,85	7,8±0,2	9,2±0,94
Метионин	1,7±0,03	2,4±0,19	1,7±0,23	1,6±0,62	2,2±0,87
Треонин	3±0,09	3,18±0,32	3,7±0,41	3,1±0,48	3,4±0,27
Лизин	3,7±0,2	4,7±0,82	5,1±0,84	4,6±0,6	5,7±0,77
Сумма аминокислот	27,73±0,31	33,48±	35,1±	28,6±	33,8±
% к контролю	100	120,74	126,58	103,14	121,89
Заменимые					
Тирозин	2,5±0,54	2,67±0,56	2,96±0,27	2,34±0,81	2,9±0,34
Серин	2,8±0,67	2,9±0,63	3,2±0,14	2,6±0,94	3±0,87
Аланин	4,13±0,07	4,4±0,45	4,9±0,66	4±0,12	4,17±0,3
Глицин	3±0,32	3,2±0,22	3,5±0,95	3±0,6	3,5±0,6
Пролин	3,2±0,3	3,3±0,48	3,6±0,99	3,1±0,92	3,4±0,67
сумма	15,63	16,47	18,16	15,04	16,97
% к контролю	100	105,37	116,19	96,23	108,57

Таким образом, УДЧ хрома при включение в рацион цыплят-бройлеров не зависимо от дозы, стимулировали накопление и синтез аминокислот, что ставит их в разряд эффективных в качестве катализатора обменных процессов и ростовых показателей, что также нашло отражение в обмене химических элементов в организме цыплят-бройлеров.

2.2.7 Элементный статус подопытной птицы

На основании мультиэлементного анализа биосубстратов (таблица 16) цыплят-бройлеров были сформированы соотношения характеризующие разнополярное накопление химических элементов относительно контрольной группы.

Таблица 16 – Концентрация эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов в теле бройлеров, мг/кг.

Элемент	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III Опытная	IV опытная
As	0,0084±0,0002	0,0109±0,0002	0,012±0,00018	0,008±0,00019	0,007±0,0001
B	0,50±0,004	0,189±0,01***	0,225±0,0020**	0,17±0,0021**	0,49±0,003*
Co	0,0104±0,0002	0,0073±0,00015*	0,021±0,00030**	0,014±0,0008**	0,01±0,0021*
Cr	0,048±0,0007	0,179±0,022	0,13±0,0250**	0,13±0,0046**	0,44±0,001*
Cu	1,37±0,43	0,771±0,043	0,63±0,0760	1,01±0,012	0,38±0,06
Fe	21,5±4,3	122,37±17,6	80,6±6,250***	121,2±11,86**	56,6±2,670*
I	0,29±0,048	0,392±0,047**	0,36±0,0030	0,14±0,01*	0,15±0,0018*
Mn	0,863±0,013	0,587±0,007***	0,81±0,0097*	0,88±0,01	0,41±0,005**
Ni	0,18±0,008	0,091±0,014	0,49±0,0059***	0,17±0,0021	0,23±0,0024* *
Se	0,23±0,0047	0,189±0,013	0,17±0,0010***	0,23±0,0038	0,24±0,0008*
Si	18,2±3,53	15,21±3,32	10,69±0,290	13,8±1,39	7,07±0,28*
V	0,005±0,00001	0,0146±0,00002*	0,01±0,00020	0,009±0,0002***	0,01±0,0015*
Zn	18,19±1,69	14,9±0,34	31,9±3,520**	19,53±3,14	13,9±0,224*

Примечание. * Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$

** Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,01$

В частности: в опытной группе соотношение выразилось как

$$\frac{I, V \uparrow}{B, Co, Mn \downarrow}$$

В тушке бройлеров II группы установлено уменьшение B, Mn, Se в среднем на 56, 6 и 25% и накопление содержания Co, Cr, Fe, I, Ni, V

соответственно $\frac{Co, Cr, Fe, I, Ni, V \uparrow}{B, Mn, Se \downarrow}$

Добавление УДЧ хрома в дозе 200 мкг/кг корма сформировало следующий минеральный профиль: $\frac{Co, Cr, Fe, V \uparrow}{B, I \downarrow}$

Включение УДЧ хрома в дозе 400 мкг/кг сопровождалось снижением отложения в теле В, I, Mn, Si и Zn на 3, 50, 52, 61 и 23% и выражался в виде минерального профиля: $\frac{Co, Cr, Fe, Ni, Se, V \uparrow}{B, I, Mn, Si, Zn \downarrow}$

Содержание макроэлементов в теле цыплят-бройлеров II опытной группы повышалось по К, Mg и P, III опытной группе по Na (таблица 17).

Таблица 17 – Концентрация макроэлементов в теле птиц, г/кг.

Элемент	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Ca	2,69±0,113	5,90±0,983*	6,30±0,580*	8,85±0,861*	2,05±0,253
K	3,05±0,089	2,63±0,186*	3,32±0,456	3,04±0,144	1,68±0,026*
Mg	0,30±0,029	0,24±0,004*	0,45±0,117	0,32±0,053	0,22±0,003*
Na	1,19±0,026	1,18±0,003*	1,15±0,033	1,20±0,042	0,65±0,012*
P	3,85±0,886	2,16±0,098*	7,28±0,010*	3,57±0,002	3,06±0,104

Примечание. * Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$

В ходе наших исследований были установлены следующие параметры обмена токсических элементов в организме подопытной птицы (таблица 18).

Таблица 18 – Концентрация токсических элементов в теле птиц, мг/кг.

Элемент	Группы				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Al	1,14±0,2	1,48±0,82	1,44±0,24	5,55±0,7*	1,88±0,280
Cd	0,0049±0,0001	0,006±0,00012*	0,002±0,0004**	0,012±0,0002*	0,008±0,0001*
Hg	0,0021±0,00005	0,0025±0,0006**	0,002±0,0005*	0,0022±0,0006	0,002±0,0005*
Pb	0,012±0,002	0,013±0,0003*	0,0168±0,0003*	0,012±0,00002**	0,02±0,002***
Sr	1,80±0,37	1,01±0,18*	9,24±0,31*	3,07±0,76	2,91±0,13*

Примечание. * Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$

** Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,01$

*** Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,001$

В частности изучение концентрации токсических веществ в организме цыплят-бройлеров является маркером патологических изменений в организме и нарушения обмена веществ (Onderci M. Et al., 2003, Whisner С.М., Castillo L.F., 2018). Микроэлементный скрининг выявил достоверные отличия, на основании которых сформированы минеральные профили:

$$0-50 = \frac{I, Ni, V, Ca, Cd, Hg, Pb \uparrow}{B, Co, Mn, Se, Si, Zn, K, Mg, Na, P, Sr \downarrow}$$

$$50-100 = \frac{B, Co, Mn, Ni, Zn, Co, P, Pb, Sr \uparrow}{Cr, Fe, Se, Cd, Hg \downarrow}$$

$$100-200 = \frac{Cr, Fe, Ca, Al, Cd \uparrow}{B, Co, I, Pb \downarrow}$$

$$200-400 = \frac{B, Co, Cr, I, Ni, Se, V, Pb \uparrow}{Fe, Mn, Si, Zn, K, Mg, Na, Cd, Hg, Sr \downarrow}$$

На основании установленных различий по минеральному профилю наиболее активной дозой являлся диапазон концентраций от 100 до 200 мкг/кг, при котором происходит стимуляция метаболизма основных химических элементов.

Основываясь на постулатах основанных на вероятностях взаимодействия между химическими элементами и способности к образованию больших связей (Самохин В.Т., 2003. Wang M.Q., Xu Z.R., 2004; Kawabata A., Matsunami M., Sekiguchi F., 2008), а также учитывая антагонизм и синергизм между ними в процессе всасывания в пищеварительном тракте, рассчитаны некоторые отношения химических элементов в теле бройлеров (таблица 19).

Таблица 19 – Показатели соотношения пулов химических элементов в организме цыплят-бройлеров

Элемент	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Fe/Zn	1,18 ±0,09	8,19 ±0,005*	2,53 ±0,002*	6,21 ±0,004*	4,06 ±0,001*
Ca/P	0,70 ±0,01	2,73 ±0,03*	0,87 ±0,02*	2,48 ±0,04*	0,67 ±0,01*
Fe/Cu	15,73 ±0,25	158,7 ±19,3*	127,9 ±17,1*	120,0 ±15,1*	148,0 ±10,2*
Cr/V	8,89 ±0,12	12,3 ±0,20*	8,43 ±0,09*	13,61 ±0,15*	44,4 ±6,07*

Примечание. *- $P \leq 0,05$ при сравнении контрольной и опытных групп

Установлено, что концентрация Fe по отношению к Zn и Cu, Ca к P и Cr к V увеличивается.

Таким образом, включение в метаболизм УДЧ хрома в дозировках 100–200 мкг/кг способствует стимуляции обмена химических элементов, выраженных в накоплении в организме Co, Cr, Ca, Zn, с депрессией обмена Cd, Pb.

2.2.8 Активность пищеварительных ферментов поджелудочной железы птиц

Поджелудочная железа за счет выработки гормонов и биологически активных веществ обеспечивает эффективную абсорбцию питательных веществ через слизистую оболочку кишечника (рисунок 1).

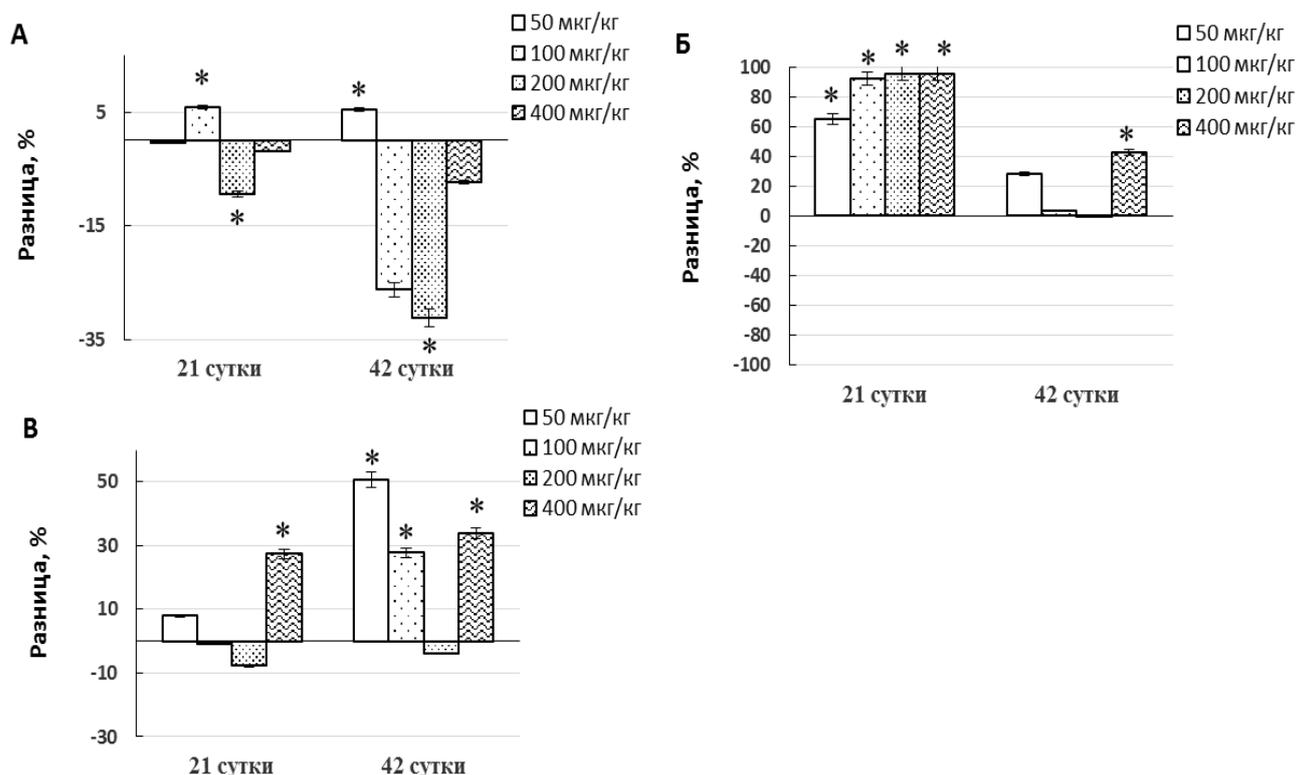


Рисунок 1 – Разница (%) активности пищеварительных ферментов поджелудочной железы цыплят-бройлеров: (А) амилазы, (Б) липазы и (В) протеазы при введении УДЧ Cr₂O₃ в различных дозировках, относительно контрольной группы. Примечание: * различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

Согласно полученным данным, активность амилазы была достоверно ($p < 0,05$) ниже контроля при добавлении УДЧ Cr₂O₃ (200 мкг/кг корма). Активность липазы достоверно увеличивалась до 96 % во всех опытных группах с наибольшим эффектом при дозе 200 и 400 мкг/кг корма.

На 42 сутки показатели амилазы во всех опытных группах, была ниже контрольных значений (на 7,29-31,21 %), кроме концентрации 50 мкг/кг корма, при которой ее активность увеличивалась на 99,3 %. Активность липазы была достоверно выше при концентрации хрома, вводимого в рацион, в дозе 50 и 400 мкг/кг корма на 39,28 и 73,21 %, соответственно и протеазы на 99,97 и 50,77 %. Динамика ферментативной активности амилазы двенадцатиперстной кишки в опытных группах на 21 сутки эксперимента увеличилась на 3,0-32,1% по сравнению с контрольной группой (рисунок 2).

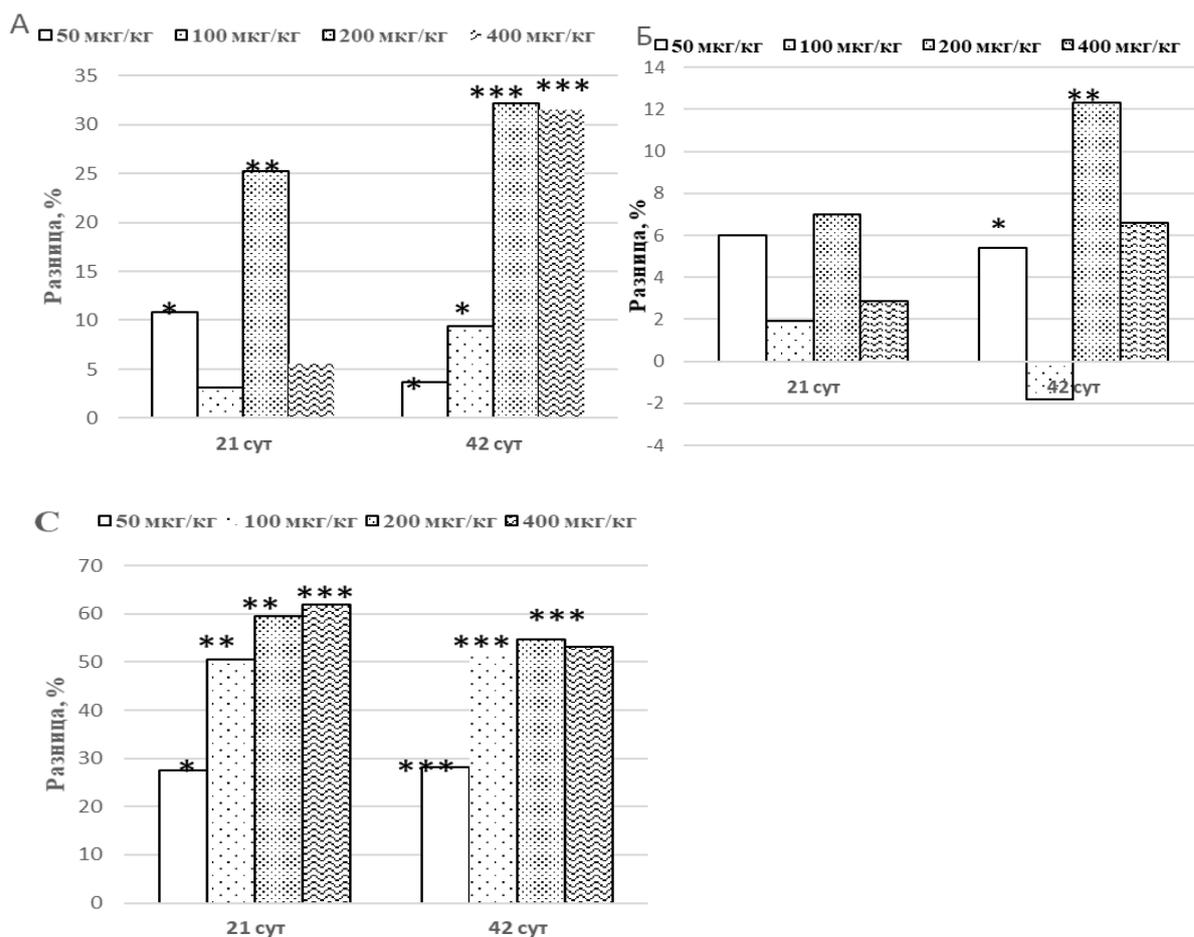


Рисунок 2 – Разница (%) активности пищеварительных ферментов 12-перстной кишки цыплят-бройлеров: (А) амилазы, (Б) липазы и (В) протеазы при введении УДЧ Cr₂O₃ в различных дозировках, относительно контрольной группы. Примечание: * различия с контролем достоверны при p≤0,05

Активность липазы и протеазы в III опытной группе превосходила контроль на 6,9 % и 59,5 % (p≤0,05) соответственно.

Эскалация ферментов через кишечник и сохранении активности подтверждается результатами исследований пищеварительных энзимов в помете цыплят-бройлеров (рисунок 3).

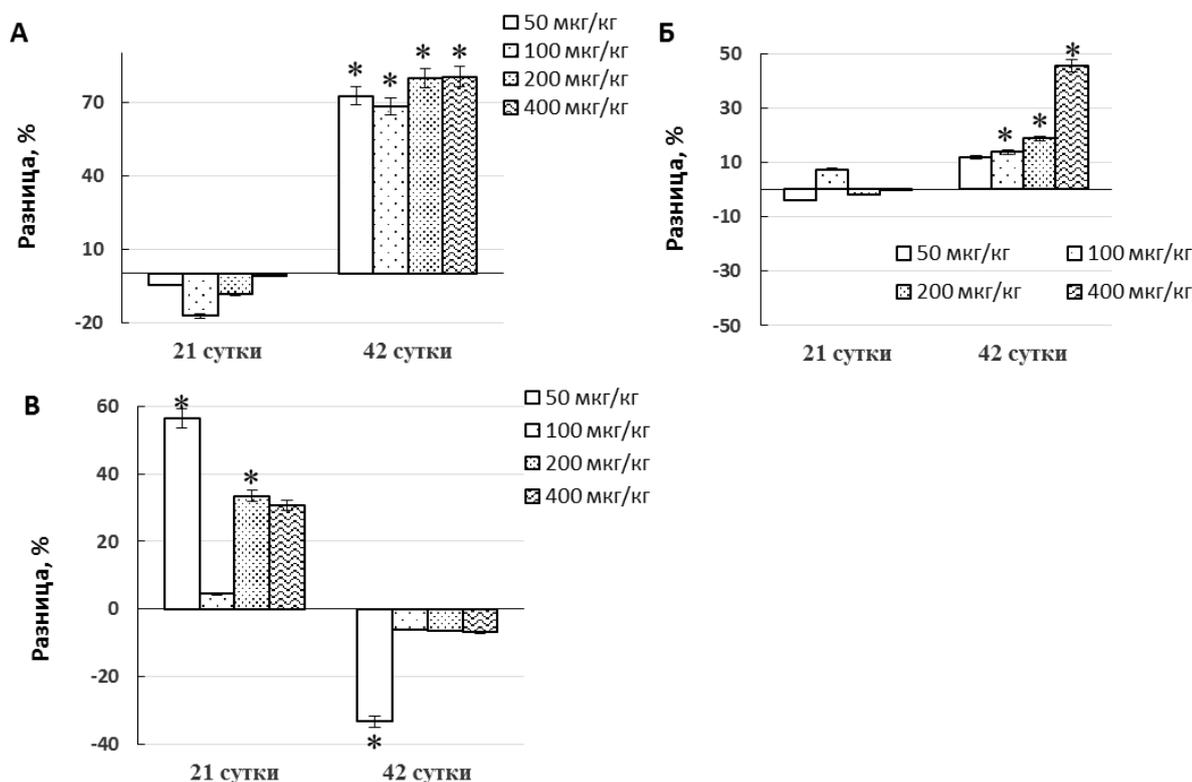


Рисунок 3 – Разница в активности пищеварительных ферментов в помете цыплят-бройлеров: (А) амилазы, (Б) липазы и (В) протеазы при введении УДЧ Cr_2O_3 в различных дозировках, относительно контрольной группы.

Активность амилазы в помете на 21 сутки снижалась во всех вариантах со стабильным уровнем липазы и ее нарастанием в последующий период от 70 до 75 %. Активность протеазы была выше контроля на 56 % на 21 сутки с последующим снижением к концу эксперимента.

Исследования рН кишечного содержимого показало, что на 21 сутки контрольная группа имела самое низкое значение рН, в то время как в опытных группах данная величина изменялась в диапазоне 4,62-7,53 рН. На 42 сутки только в группе с концентрацией УДЧ Cr_2O_3 400 мкг/кг значение рН отличались от контрольных и составило 9,34 ед. (рисунок 4).

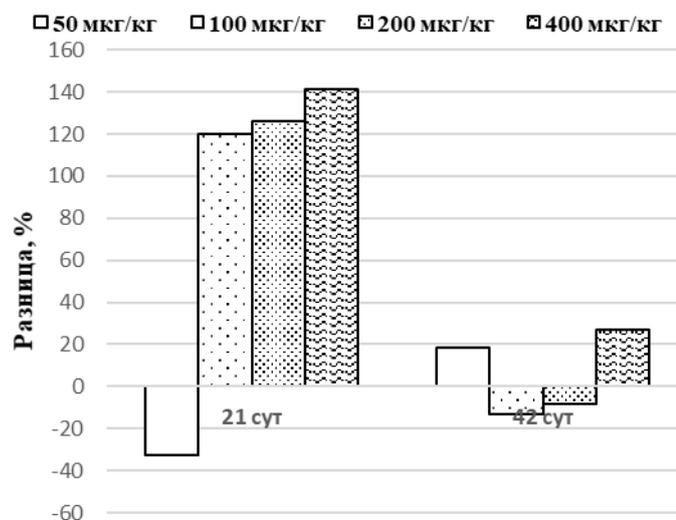


Рисунок 4 – рН кишечного содержимого при введении в рацион УДЧ Cr₂O₃ в различных дозировках.

Сохранение и увеличение активности амилазы и липазы при высоком уровне рН может являться примером адаптации ферментов, например, снижение активности амилазы в концентрации 400 мкг/кг может свидетельствовать о специфичности эскалации данного фермента к изменению кислотно-щелочного баланса среды.

2.2.9 Качественный и количественный состав микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров

Важной причиной снижения кишечного пищеварения у птиц является избыточный рост микробной флоры, что приводит к снижению продвижения химуса в кишечнике, происходит преждевременная деконъюгация первичных желчных кислот (Куваева И.Б., 1976). Избыточная микробная флора может приводить к повреждению эпителия тонкой кишки, так как метаболиты некоторых микроорганизмов обладают цитотоксическим свойством, и определение численности микроорганизмов в слепой кишке бройлеров и является важным этапом мониторинга жизнеспособности организма.

Микрофлора слепой кишки бройлеров на 21 сутки показала значительное снижение в численности общего числа микроорганизмов на 88,4 %, 400 мкг/кг корма), а также энтеробактерий и бифидобактерий (на 28,0 и 65,4 %, соответственно) и увеличение числа сальмонелл на 21,7 % (таблица 20).

Таблица 20 – Численность различных групп микроорганизмов в слепой кишке в цыплят-бройлеров кросса Арбор Айкрес ($M \pm SEM$)

Группа	Общее микробное число	Стафилококки	Энтеробактерии	Сальмонеллы	Бифидобактерии	Лактобактерии	Целлюлозо-разлагающие бактерии
21 сутки							
контроль	37,6±3,2	0,5±0,1	8,9±0,6	15±0,7	6,26±0,4	1,43±0,2	0,93±0,2
I опытная	40±5,1	0,9±0,1	11,7±1,2	16,5±0,8	4,03±0,3*	0,66±0,09*	1,13±0,4
II опытная	44,8±2,3	1,3±0,2	12,8±1,2*	10,36±0,3*	6,66±0,5	0,9±0,2	0,83±0,2
III опытная	42,6±3,1	2,3±0,2*	15,1±2,1*	20,2±1,4*	3,06±0,2*	0,23±0,01*	1,1±0,3
IV опытная	41,5±0,6*	0,96±0,1	6,4±0,3*	19,2±1,0*	2,16±0,2*	1,7±0,4	0,56±0,1
42 сутки							
контроль	48,6±4,1	3,16±0,6	15,1±0,6	2,5±0,3	31±2,6	67±5,9	2,1±0,3
I опытная	56,1±4,9	1,23±0,1*	18,6±1,3	0,96±0,1*	20±2,9*	52,3±4,8	1,8±0,4
II опытная	46,6±3,8	2,26±0,2	19,2±1,1*	0,58±0,6	20,7±2,5*	56,3±5,5	1,9±0,2
III опытная	60,6±5,8	2,03±0,1	17,4±1,9	0,56±0,6	18,7±2,7*	52,3±5,3	2,3±0,3
IV опытная	62,2±5,2	1,8±0,1	12,3±0,8*	0,76±0,2*	17,7±3,1*	62,2±6,8	2,2±0,4

Примечание: * различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$

При концентрации 50 мкг/кг снижалась численность бифидо- и лактобактерий (на 35,6 и 53,8 %, соответственно). Концентрация 100 мкг/кг увеличивала количество энтеробактерий, но снижало число сальмонелл.

Концентрация 200 мкг/кг способствовала росту численности стафилококков, энтеробактерий, сальмонелл, одновременно уменьшая число бифидо- и лактобактерий.

На 42 сутки при концентрации 50 мкг/кг сохранялось снижение числа бифидобактерий с одновременным понижением численности стафилококков и сальмонелл. Концентрация 100 мкг/кг корма способствовала росту числа энтеробактерий и снижению числа бифидобактерий. Доза 200 мкг/кг, также, как и в 21 сутки уменьшала численность бифидобактерий. Концентрация 400 мкг/кг, как и в 21 сутки, снижала численность энтеро- и бифидобактерий, в то же время способствуя снижению численности и сальмонелл в слепой кишке птиц.

В данном контексте наблюдаемый «энзиматический выброс» свидетельствует о нарушениях в микроэкологии кишечника, что вызывается рядом причин – усиленная перистальтика, измененный состав химуса, поступающего в толстый кишечник, гиперпродукция щелочных секретов при патологиях и др. При этом показано, что под влиянием микробных протеолитических ферментов pH фекалий сдвигается в щелочную сторону, что сопровождается ослаблением инактивации ферментов в кишечнике (Tahami Z., 2014; Arakha M., 2015; Feng Z.V., 2015).

2.2.10 Убойные качества и морфологический состав тела цыплят-бройлеров

Для сравнительной оценки мясных качеств цыплят был проведен контрольный убой и анатомическая разделка тушек 42-суточных бройлеров (таблица 21).

Таблица 21 – Результаты контрольного убоя бройлеров в конце эксперимента, г

Показатель	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Предубойная живая масса	2266±20,3	2366±40,1	2533±59,8* *	2431±36,4**	2436±78,2* *
Полупотрошенная тушка	1869±19,7	2064±66,4	2107±37,08 **	2042±18,93**	2039±34,7* *
Потрошенная тушка	1540±31,1	1689±208,5	1803±94,6	1750±69,6	1765±28,0* *
Съедобная часть / несъедобная часть	2,5±0,04	2,5±0,09	2,5±0,01	2,5±0,04	2,5±0,06
Убойный выход потрошеной тушки, %	68±0,01	68,5±0,01**	71,2±0,05* *	70,8±0,02**	70,5±0,01* *

Примечание: *, **Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$.

Полученные данные, свидетельствуют, что высокая предубойная живая масса птиц в II опытной группе (2533 гр.), превосходила контрольных особей на 267 гр. или 10,6% ($p \leq 0,05$), что соответствовала высокому убойному выходу потрошенной тушки – 71,2%, за счет более развитой мышечной массы и меньшего количества кишечного жира. Группы с максимальным и минимальным содержанием хрома в рационе занимали промежуточное положение, но отличное от контрольных значений в сторону превосходства.

Таким образом, применение в рационе УДЧ хрома в средней дозировке, оказало положительное влияние на убойный выход, который оказался на 2-4% выше чем у контрольной группы.

2.2.11 Состав и содержание химических веществ в теле цыплят-бройлеров

Содержание химических веществ в теле цыплят-бройлеров представлены на таблице 22.

Таблица 22 – Содержание химических веществ в теле цыплят-бройлеров, %

Группа	Сухое вещество	Протеин	Жир	Зола
контрольная	26,7±0,32	18,0±0,26	5,9±0,19	2,4±0,23
I опытная	27,7±0,42	18,6±0,30	6,2±0,53	3,8±0,09**
II опытная	28,7±1,65	20,1±0,61	7,0±1,60	3,0±0,32
III опытная	28,9±0,41**	19,2±0,31	7,3±0,67	3,4±0,47
IV опытная	27,8±1,07	18,7±0,29	7,1±0,87	3,1±0,74

Примечание: *, **, Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$.

По содержанию протеина бройлеры II и III опытных группах превосходили контрольную группу на 2,1% и 1,2% ($p \leq 0,05$) соответственно. Большее содержание жира в теле бройлеров опытных групп зависело от интенсивности его обмена, что сопряжено с концентрацией энергии в теле цыплят-бройлеров (таблица 23).

Таблица 23 – Динамика концентрации энергии в теле бройлеров, МДж/гол

Период, сут	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
7	23,6±1,11				
42	24,5±1,2	25,1±1,22	25,9±1,21	25,9±1,26	25,0±1,24

В конце эксперимента, концентрация энергии в теле бройлеров практически не различалась.

Таким образом результаты химического состава тела показывает, что добавление средних доз УДЧ хрома в состав рациона цыплят-бройлеров способствует синтезу и отложению протеина в теле птиц II и III опытных

групп, что свидетельствует о более высокой интенсивности роста и его потенциале.

2.2.12 Конверсия протеина и энергии из корма в тело цыплят-бройлеров

В результате проведения исследований с учетом использованных методов оценки влияния уровня обменной энергии на организм птицы было изучена трансформация энергии и протеина в организме цыплят-бройлеров (таблица 24).

Таблица 24 – Трансформация энергии и протеина корма в организме бройлеров за учетный период

Показатель	Группа				
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Отложилось					
Протеин, г	283,2±6,18	295,0±11,9	301,8±15,4	297,1±11,6	298,4±35,7
Энергия, МДж	10,9±0,16	11,8±1,56	12,1±1,34	11,3±0,79	12,0±1,02
Коэффициент конверсии, %					
Протеин	29,1±0,8	29,5±1,22*	34,6±2,13	32,5±1,27**	33,6±3,93
Энергия	24,9±0,37	25,5±3,38	31,4±3,48	25,5±1,77	27,0±2,51

Примечание: * Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$ **

Введение оксида хрома в рацион бройлеров в дозе 100 мкг/кг корма способствовало увеличению коэффициентов конверсии энергии на 6,5% и протеина на 5,5% соответственно.

Таким образом, за счет стимулирования роста, активности пищеварительных ферментов, снижения затрат корма, увеличения убойного выхода и стимуляции обмена энергии за счет синтеза протеина наиболее

эффективной дозой является 100 мкг/кг, что является основанием для использования УДЧ в данной дозировке в качестве источника хрома для сельскохозяйственной птицы. Включение в рацион цыплят-бройлеров УДЧ хрома в высоких концентрациях сопровождается подавлением всасываемости пищеварительных ферментов в кровь, инактивации их в кишечнике (амилаза), с сохранением активности в помете (амилаза, липаза) за счет ослабления роста микроорганизмов (бифидобактерий, стафилококков и сальмонелл) и сдвига pH в щелочную сторону. Настоящее спровоцировало проведение следующего экспериментального исследования направленного на сравнительном изучение различных источников хрома в дозе 100 мкг/кг в рационе цыплят-бройлеров.

2.3 Результаты II экспериментального исследования

2.3.1 Переваримость и потребление корма цыплят-бройлеров

Состав и питательность рационов кормления цыплят-бройлеров используемых в исследовании были идентичные используемым в первом экспериментальном исследовании.

В тоже время фактическое потребление корма в опытных группах отличалось от контрольных показателей (таблица 25).

В частности, не смотря на большее потребление корма цыплятами II и III опытными группами на 7,4 и 10,5%, затраты корма на 1 кг прироста в этих группах оказались меньше на 3,3 и 2% соответственно.

Таблица 25 – Фактическое потребление корма цыплятами-бройлерами по периодам выращивания, г/гол

Период выращивания	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Стартовый	1136	1175	1235	1246
Ростовой комбикорм	1756	1901	1889	1984
За весь период	2892	3076	3124	3230
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,47	1,52	1,43	1,46

В зависимости от формы хрома переваримость питательных веществ была различной (таблица 26).

Таблица 26 – Коэффициенты переваримости питательных веществ корма, %

Группа	Органическое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы в среднем
	Стартовый комбикорм			
контроль	67,5±3,11	81,5±2,08	72,6±3,09	63,1±3,15
I опытная	65,1±2,60	82,0±1,34	72,5±2,05	59,3±3,02
II опытная	76,4±2,45*	88,0±1,24	83,6±1,70	71,4±1,91*
III опытная	73,8±2,30	86,5±1,18	80,7±1,69	68,8±1,73*
Ростовой комбикорм				
контроль	80,1±0,91	82,2±0,73	80,6±0,80	76,0±0,96
I опытная	78,6±0,88	82,2±0,65	80,3±0,81	77,6±0,92
II опытная	78,7±1,14	81,8±0,97	83,7±0,98	77,5±1,20
III опытная	78,0±1,31	81,4±1,11	84,4±0,93	75,8±1,44

Примечание: Различия с контролем достоверны - * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$.

В стартовый период выращивания птица контрольной и II и III опытной группы характеризовалась лучшей переваримостью жира и протеина, разница с контролем составила 8-11% и 4-6% соответственно. В ростовой период при незначительном снижении переваримости протеина, адсорбции жира оставалась на уровне и составила 83-84%, что доказывало участие хрома в липидном обмене.

2.3.2 Ростовые показатели цыплят-бройлеров

Активность метаболизма связана с наличием катализаторов, способных в минимальных количествах стимулировать обмен веществ, выраженный в синтезе белка и ростовыми показателями.

В проведенном нами исследовании установлено, что лучшие результаты соответствовали проявлению активности хрома в форме УДЧ и пиколината, что выражалось в превосходстве живой массы в конце эксперимента на 9,2 и 10,3% соответственно (таблица 27).

Таблица 27 – Динамика живой массы птиц, г/гол

Возраст, суток	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
7	284,9±8,2	288,5±7,1	286±9,3	290±8,3
14	411,3±11,7	415,7±11,4	412,00±12,9	415,0±12,8
21	766,3±35,5	742,3±36,5	783,7±20,9	791,0±14,8
28	1216,0±61,2	1211±44,1	1312±32,2*	1298±31,1*
35	1697±19,7	1716±26,7	1830±48,4	1879±46,1*
42	2248±58,7	2306±59,6	2475±59,2*	2506±63,6*

Примечание: * разница с контролем ($p \leq 0,05$)

Исходя из показателей прироста живой массы, наибольшие различия были характерны для 21-28 и 35-42 недельного периода у II и III опытных групп (таблица 28).

Таблица 28 – Динамика прироста живой массы цыплят-бройлеров за период эксперимента, г/гол/неделя

Период, неделя	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
7-14	126,4±8,4	137,2±4,3	115,9±3,6	124,8±4,5
15-21	355±33,8	326,6±25,1	371,7±18,2	376±21,5
22-28	449,7±25,7	468,7±7,6	528,3±41,4	507±24,3
29-35	481±23,4	505±27,1	518±31,3	581±27
36-42	551±69	590±32,9	645±32,8	627±7,5

Таким образом, на фоне сходного уровня поступления хрома в организм цыплят-бройлеров, наибольшим и достоверным продуктивным эффектом характеризовались препараты УДЧ и пиколинат хрома.

2.3.3 Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров

Кровь является важнейшим показателем организма животных. Качественный и количественный и состав крови во многом определяет интенсивность обмена веществ и связанных с ним процесса роста, развития и продуктивности.

Сравнительный анализ морфологических показателей крови цыплят-бройлеров представлен в таблице 29.

На 21 сутки у птицы опытных групп содержание лейкоцитов снижалось на 40,54, 18,85 и 28,18% ($p \leq 0,05$) соответственно. Установленная разница сохранилась до конца учетного периода. В структуре самой лейкограммы, отражающей процентное соотношение разных популяций лейкоцитов отклонения от нормы не регистрировались.

Включение в обменные процессы хрома характеризовалось снижением уровня гемоглобина на 6,85% в I, на 1,64% во II и на 6,03% в III опытных группах на 21 сутки, при нормализации в последующий ростовой период.

Таблица 29 – Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров при введении различных форм хрома в дозе 100 мкг/кг ($M \pm SEM$)

Показатель	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
21 сутки				
Лейкоциты, 10^9 /л	68,2±15,76	40,6±3,13	55,4±7,13*	49,0±5,60**
Лимфоциты, %	49,8±2,99	56,6±1,22	51,7±1,49*	53,7±1,50
Моноциты, %	8,63±0,38	6,03±0,55**	7,83±0,48	8,03±0,33
<i>Индекс соотношения лимфоцитов и моноцитов (ИСЛМ)</i>	5,77	9,38	6,59	6,68
Эритроциты, 10^{12} /л	2,69±0,58	3,78±0,07*	3,34±0,61	3,20±0,61**
Гемоглобин г/л	121±7,36	113±3,76*	119±2,60	114±4,67
Ср.концентрация гемоглобина г/л	577±11,72	564±3,84	559±7,84	556±8,21*
Тромбоциты, 10^9 /л	205±15,63	160±2,03	211±6,89*	189±16,18
Отн.объем тромбоцитов, %	0,32±0,03	0,25±0,01	0,33±0,01	0,29±0,03
42 сутки				
Лейкоциты, 10^9 /л	55,07±4,92*	36,2±12,32*	55,17±7,62	50,3±3,32
Лимфоциты, %	54,20±0,75**	52,1±0,96	50,83±0,79*	52,7±0,96
Моноциты, %	7,40±0,32	7,57±0,20	8,10±0,46	6,70±0,36*
<i>Индекс соот. лимф. и мон. (ИСЛМ)</i>	7,32	6,88	6,27	7,87
Эритроциты, 10^{12} /л	3,06±0,02	3,25±0,59	2,69±0,57*	3,38±0,28
Гемоглобин г/л	124±2,85	119±7,51	123,00±6,08*	127±3,48
Ср.концентрация гемоглобина, г/л	567±2,40	577±2,89	567,00±6,08*	572±8,09
Тромбоциты, 10^9 /л	211±13,97	190±4,41	181,67±9,91	211±27,32*
Отн.объем тромбоцитов, %	0,34±0,02	0,32±0,01	0,30±0,01*	0,34±0,04

Примечание: *, **, Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$.

Большее количество эритроцитов и гемоглобина в крови цыплят-бройлеров свидетельствует о более интенсивных окислительно-

восстановительных процессах, протекающих в организме, и соответствует более высоким показателям продуктивности птицы.

Введение различных форм хрома в I и III группы сопровождалось снижением тромбоцитов на 21,79% ($p \leq 0,05$) и 7,48% соответственно. Цыплята-бройлеры II опытной группы превосходила на 3,25% контрольные значения.

Расчет индекса ИСЛМ (соотношение лимфоцитов и моноцитов), который отражает взаимоотношение аффлекторного и эффекторного звеньев иммунологического процесса (рисунок 5) установил превосходство птицы, получавшей соль хрома (9,38).

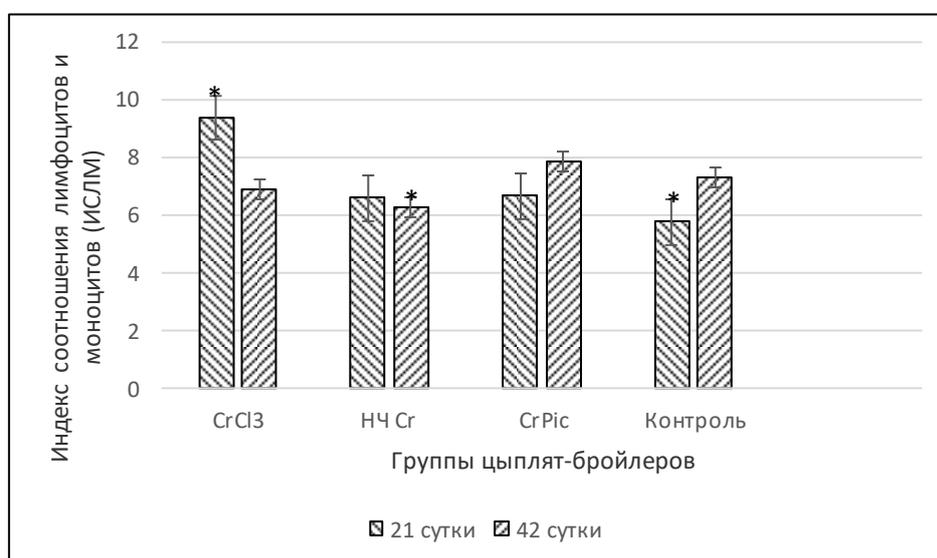


Рисунок 5 – Индекс соотношения лимфоцитов и моноцитов (ИСЛМ) в крови цыплят-бройлеров при введении различных форм Cr в дозе 100 мкг/кг

В группах птицы получавшей УДЧ и CrPic индекс соответствовал значениям 6,59 и 6,68. На 42 сутки у бройлеров IV опытной группы уровень ИСЛМ увеличился до 7,87, на фоне снижения индекса в группах CrCl₃ и УДЧ Cr на 6,01 и 14,34% ($p \leq 0,05$) относительно птицы контрольной группы.

Таким образом, включение в обменные процессы хрома характеризовалось снижением уровня гемоглобина, лейкоцитов и тромбоцитов, при нормализации в последующий ростовой период, что коррелировало с интенсивностью окислительно-восстановительных

процессов, протекающих в организме, и соответствует более высоким показателям продуктивности птицы.

2.3.4 Биохимические показатели крови

Биохимические показатели сыворотки крови, отражающие обменные процессы в организме цыплят-бройлеров представлены в таблицах 30 и 31.

Таблица 30 – Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров в 21 суточном возрасте при введении различных форм хрома в дозе 100 мкг/кг ($M \pm SEM$)

Показатель	Группа			
	I опытная	II опытная	III опытная	контроль
Глюкоза, ммоль/л	13,19±0,31	12,99±0,40*	14,25±0,13	15,41±0,78
Общий белок, г/л	57,49±2,75*	62,24±0,43	67,58±3,54	70,84±5,32*
Альбумин, г/л	17,33±0,33*	20,33±0,88	21,00±1,53	20,33±1,86
АЛТ, Ед/л	8,10±0,46	8,47±1,04*	7,43±0,41	8,20±0,20*
АСТ, Ед/л	233,50±10,46	245,80±27,48	284,67±30,74*	261,17±9,50
<i>Коэффициент де Ритиса (отношение АСТ:АЛТ)</i>	28,82	29,02	38,31*	31,85
Билирубин общ., мкмоль/л	0,31±0,12	0,31±0,12	0,22±0,05	0,15±0,02
Билирубин прямой, мкмоль/л	0,45±0,05	0,38±0,02	0,47±0,05	0,41±0,01
<i>Билирубиновый индекс</i>	1,45*	1,22*	2,13	2,73
Холестерин, ммоль/л	1,85±0,79*	0,27±0,01*	0,27±0,01	1,46±0,66*
Триглицериды, ммоль/л	0,20±0,04	0,17±0,01	0,12±0,03*	0,21±0,03**
Мочевина, ммоль/л	1,20±0,12	1,10±0,06*	1,13±0,03	1,23±0,18
Креатинин, мкмоль/л	16,50±0,70**	13,93±0,23	13,23±1,02	12,7±1,02*
Щелочная фосфатаза, Ед/л	646±35,56*	723,3±7,45	1898±316,22	194,3±37,67*
а-Амилаза, Ед/л	991±266,76**	703,3±31,80	1094±266,45*	863,7±11,05
г-ГТ, Ед/л	22,0±3,61	26,7±0,88*	22,0±0,58	19,7±0,67*
Мочевая кислота, мкмоль/л	236,43±52,12	79,63±3,49	237±69,44	112,7±44,11
Железо, мкмоль/л	164,53±46,45	435,3±60,17	337,1±44,48	190,5±94,54
Панкреатическая амилаза	235,67±72,67	228,33±21,54	325,±69,16*	279,7±20,20
ЛДГ	1164±85,87*	855±68,76	970±50,67	1251±94,31*
<i>Индекс ферментемии (ИФ)</i>	29,03	29,34	38,63	32,06
Липаза, Ед/л	18,3±2,45*	21,0±1,23	9,83±2,69**	6,87±2,17*
Магний, ммоль/л	0,99±0,07	0,90±0,07*	1,04±0,09	0,91±0,04
Кальций, ммоль/л	4,23±0,15*	3,93±0,12*	4,16±0,22	4,06±0,28
Фосфор, ммоль/л	1,50±0,08	1,67±0,08	1,64±0,02*	2,45±0,77

Примечание: *, **, Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$.

Таблица 31 – Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров в 42 суточном возрасте при введении различных форм хрома в дозе 200 мкг/кг ($M \pm SEM$)

Показатель	Группа			
	I опытная	II опытная	III опытная	контроль
Глюкоза, ммоль/л	13,97±0,69*	12,00±0,89	12,48±0,59	12,70±0,36
Общий белок, г/л	63,87±2,39	63,12±3,28*	65,52±2,18	66,15±3,89*
Альбумин, г/л	19,00±0,58*	18,00±1,53	15,00±1,00*	19,33±1,76
АЛТ, Ед/л	5,10±0,17**	5,13±0,49	7,60±0,62	7,20±0,61**
АСТ, Ед/л	394±49,49*	361±18,3	307±12,03*	317±50,5
<i>Коэффициент де Ритиса (отношение АСТ:АЛТ)</i>	77,42	70,52	40,49	44,11
Билирубин общий, мкмоль/л	5,07±0,20**	4,83±0,06	5,01±0,06*	4,72±0,00
Билирубин Прямой, мкмоль/л	0,31±0,04	0,36±0,05	0,46±0,04*	0,34±0,06
<i>Билирубиновый индекс</i>	0,06	0,08	0,09	0,07
Холестерин, ммоль/л	1,50±1,24	0,12±0,02**	0,18±0,02	1,13±0,86*
Триглицериды, ммоль/л	0,23±0,03*	0,21±0,07	0,20±0,04**	0,19±0,04
Мочевина, ммоль/л	0,10±0,01	0,13±0,03**	0,10±0,02	0,10±0,01
Креатинин, мкмоль/л	31,7±0,40	31,73±1,04*	34,2±2,99*	33,3±2,38
Щелочная фосфатаза, Ед/л	1543±264	1886±11,02**	1452±45,2	1350±278*
а-Амилаза, Ед/л	4 511±409*	4194±165	3579±137**	4903±237
г-ГТ, Ед/л	22,3±2,33	27,6±3,76*	19,33±2,33	20,3±1,86*
Мочевая кислота, мкмоль/л	196±69,31**	188±30,5	207,9±90,26*	267,8±53,8
Железо, мкмоль/л	730±93,08*	578±23,4	196±67,4*	761±23,6
Панкреатическая амилаза	1712±637	1449±238*	717±198*	1425±430
ЛДГ	2733±648*	2206±486	1646±146	1525±252*
<i>Индекс ферментемии (ИФ)</i>	77,56	70,69	40,68	44,32
Липаза, Ед/л	4,10±2,55**	7,40±4,45	17,7±3,55*	11,7±2,74
Магний, ммоль/л	0,95±0,02	0,99±0,09*	0,91±0,05	1,06±0,10*
Кальций, ммоль/л	3,51±0,16	3,28±0,49	2,82±0,28*	3,56±0,51
Фосфор, ммоль/л	2,38±0,13*	2,56±0,17	2,62±0,03	2,74±0,17*

Примечание: *, **, Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$.

Данные биохимического анализа сыворотки крови показывают, что концентрация общего белка у опытных групп цыплят увеличилась на 21

сутки CrCl_3 (18,85%), УДЧ Cr (12,14%) и CrPic (4,60%) относительно цыплят контрольной группы. Эффект CrPic выражался в стимуляции активности аланинаминотрансферазы (АЛАТ) и аспартатаминотрансферазы (АсАТ) на 21 сутки эксперимента. Так, уровень АсАТ был практически на 9% выше, чем в контроле ($p \leq 0,05$). В случае с АЛАТ различия были сопоставимы с уровнем УДЧ Cr в рационе, где уровень АЛАТ был на 3,29% выше контроля.

Коэффициент Де Ритиса на 21 сутки роста цыплят в группе получавшей пиколинат хрома был выше на 20,28% чем в контроле ($p \leq 0,05$).

Снижение коэффициента установлено в группах при включении в рацион CrCl_3 (9,51%) и УДЧ Cr (8,89%). К 42 суткам роста и развития цыплят-бройлеров коэффициент Де Ритиса в группе с CrCl_3 увеличился в 1,75 раза ($p \leq 0,05$), УДЧ Cr в 1,59 раза ($p \leq 0,05$). При этом в группе цыплят CrPic был стабилен на протяжении всего эксперимента, и находился на уровне 38,31-40,49 (рисунок 6).

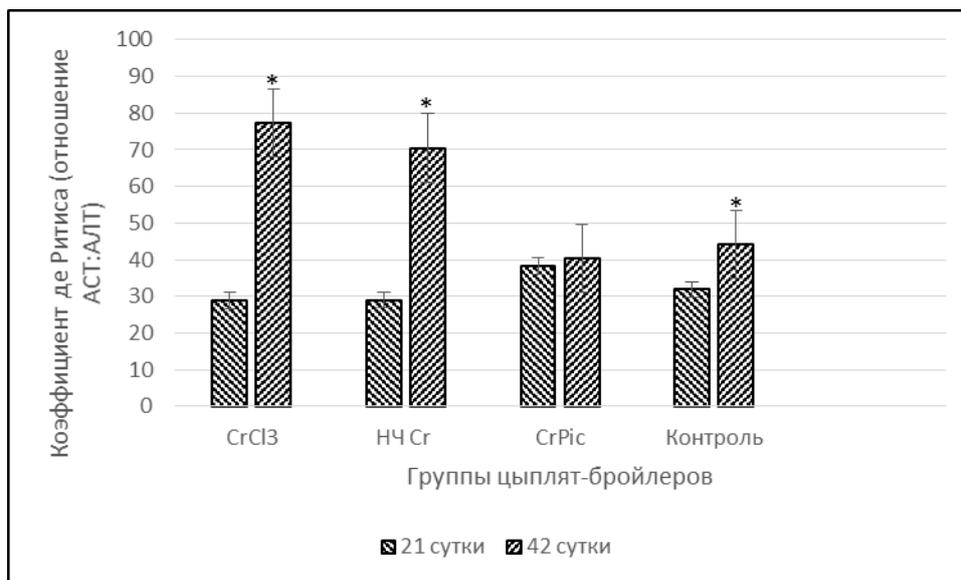


Рисунок 6 – Коэффициент де Ритиса в сыворотке крови цыплят-бройлеров

Основным субстратом дыхания мозговой ткани является глюкоза. Гипергликемический эффект выражался снижением уровня глюкозы CrCl_3

(14,41%), УДЧ Cr (15,70%) и CrPic (7,53%) ($p \leq 0,05$) и увеличением на 10% во II группе к 42 суткам эксперимента.

При исследовании влияния различных форм хрома в дозе 100 мкг/кг на организм цыплят-бройлеров, был рассчитан билирубиновый индекс крови, который характеризовал выделительную функцию печени и показывал уровень токсичности хрома. Влияние хрома сопровождалось снижением билирубинового индекса в группе CrCl₃ (46,89%) ($p \leq 0,05$), УДЧ Cr₂O₃ (55,31%) ($p \leq 0,05$) и CrPic (21,98%) относительно контрольной птицы (рисунок 7).

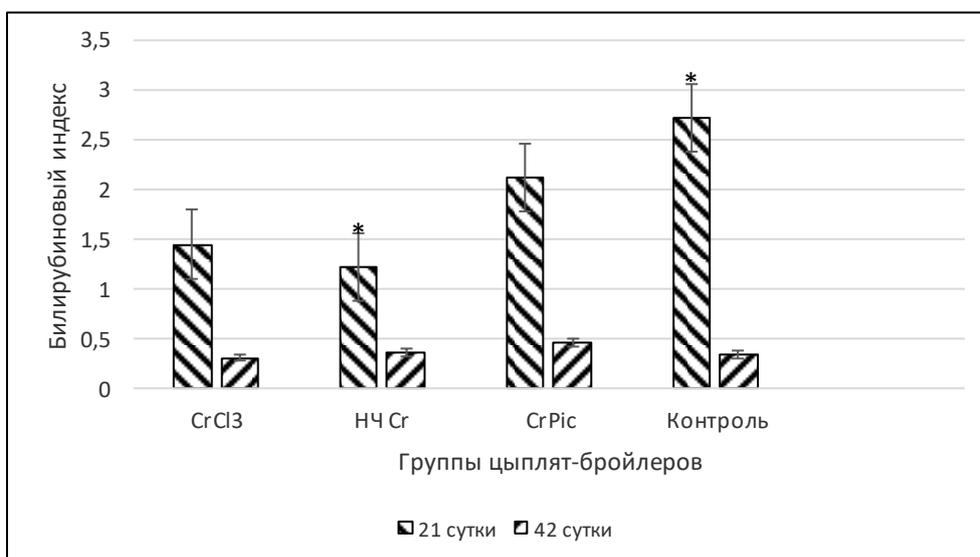


Рисунок 7 – Билирубиновый индекс в сыворотке крови цыплят-бройлеров при введении различных форм хрома в дозе 200 мкг/кг

Маркером энергетического и липидного обмена является уровень триглицеридов в сыворотке крови, который у бройлеров, получавших в составе рациона CrCl₃ увеличился на 5,12 % относительно контрольной группы. Снижение уровня триглицеридов происходило в группе УДЧ Cr (19,05%) и CrPic (42,86%) ($p \leq 0,05$). На 42 сутки уровень триглицеридов находился в опытных группах на одном уровне.

Липидный обмен цыплят можно идентифицировать по количеству холестерина в крови. Высокая активность метаболизма жиров по уровню

холестерина в крови наблюдалась в группе, получавшей CrCl_3 и была выше на 26,71% ($p \leq 0,05$) относительно контрольной группы цыплят. И эта тенденция сохранялась до окончания эксперимента. К 42 суткам группа цыплят с УДЧ Cr и CrPic по содержанию холестерина уступала сверстникам из контрольной группы на 89,38% и 84,07% соответственно.

На основании индекса ферментации была рассчитана активность биохимических процессов в организме экспериментальных цыплят-бройлеров, как центральной, так и периферической зоны метаболизма. При расчете ИФ установлено, что высокий уровень ферментации на 21 сутки был у группы, получавшей CrPic (38,63), ей уступали группы CrCl_3 и УДЧ Cr на 24,85% и 24,05% соответственно. К 42 суткам уровень ферментации в группах CrCl_3 и УДЧ Cr_2O_3 увеличился в 2,67 и 2,43 раза относительно группы с CrPic, где уровень ферментации изменился незначительно (рисунок 8).

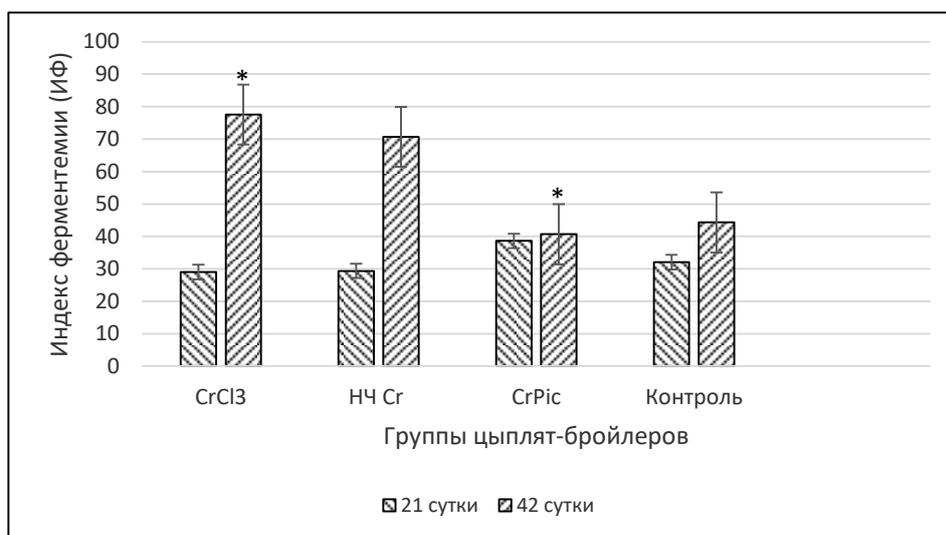


Рисунок 8 – Индекс ферментации у цыплят бройлеров

Ферментативная активность крови на 21 сутки сопровождалась снижением активности амилазы на 18,56% (УДЧ Cr) ($p \leq 0,05$). В группах CrCl_3 и CrPic было увеличение данного показателя на 14,82% и 1,23 раза. На 42 сутки наблюдали несколько иную картину изменения активности пищеварительных ферментов. Показатели амилазы во всех опытных группах,

была ниже контрольных значений CrCl_3 (7,99%), УДЧ Cr_2O_3 (14,47%) и CrPic (27,00%) ($p \leq 0,05$).

Важным показателем, характеризующим обменные процессы, является содержание в крови минеральных веществ (рисунок 9).

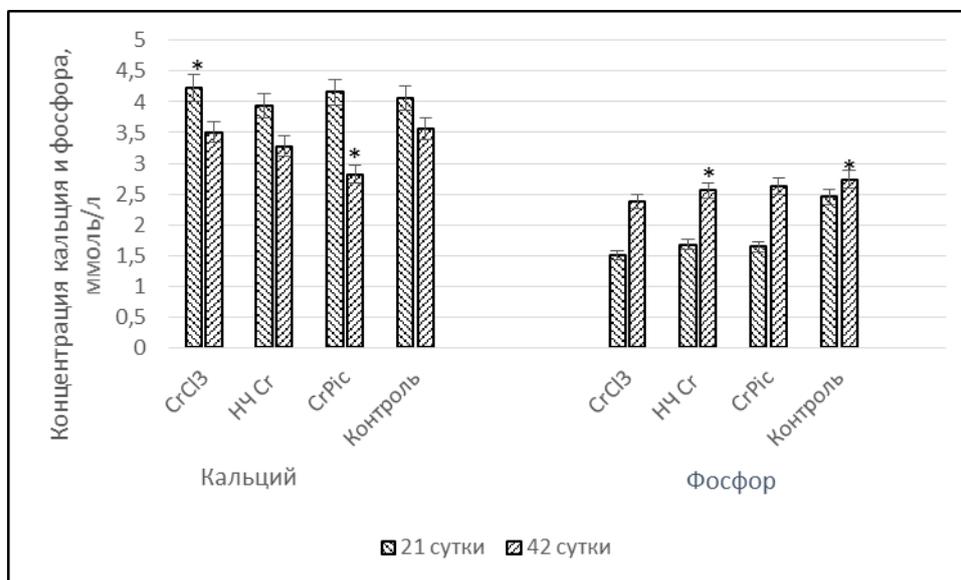


Рисунок 9 – Содержание кальция и фосфора в сыворотке крови цыплят-бройлеров, ммоль/л

Концентрация кальция увеличивалась в сыворотке крови цыплят на 21 сутки при использовании CrCl_3 на 4,19%, CrPic на 2,46% относительно контроля. Уменьшение кальция наблюдалось в группе с УДЧ Cr на 3,20%. К концу эксперимента содержание кальция во всех испытуемых группах уменьшалось по сравнению с контрольной группой на CrCl_3 (1,40%), УДЧ Cr (7,87%) и CrPic (20,79%) ($p \leq 0,05$).

В течении опыта происходило достоверное увеличение неорганического фосфора. К 42 суткам его уровень возрос по сравнению с 21 сутками в группах CrCl_3 в 1,58 раза, УДЧ Cr в 1,53 раза и CrPic 1,59 раз ($p \leq 0,05$). Это свидетельствует о достаточном содержании этого элемента в организме цыплят в течение всего периода.

Таким образом, различные формы хрома положительно влияют на гематологические показатели. Наиболее качественное влияние на углеводный и белковый обмены оказывают хром в форме УДЧ и пиколината.

2.3.5 Качественный и количественный состав микробного сообщества слепой кишки цыплят бройлеров

При изучении микрофлоры содержимого слепой кишки цыплят-бройлеров на 21 сутки было установлено снижение на 34,7 % общего микробного числа в группе, на фоне увеличения стафилококков и энтеробактерий на 66,7 и 98,6 %, по сравнению с контролем, соответственно (таблица 32).

Таблица 32 – Численность различных групп микроорганизмов в слепой кишке в цыплят-бройлеров кросса Арбор Айкрес ($M \pm SEM$)

Группа	Общее микробное число	Стафил-лококки	Энтеро-бактерии	Сальмонеллы	Бифидо-бактерии	Лакто-бактерии	Целлюлозо-разлагающие бактерии
контроль	47,5±3,90	0,3±0,04	7,3±0,42	0,5±0,01	5,4±0,47	2,9±0,3	1,12±0,17
I опытная	31,0±3,12*	0,9±0,05*	14,5±1,20*	1,3±0,22*	3,2±0,27*	0,57±0,02*	0,6±0,12*
II опытная	45,3±4,02	0,4±0,10	10,8±0,95	0,2±0,01*	7,3±0,43*	2,6±0,2	1,27±0,30
III опытная	41,9±4,30	0,5±0,03	8,35±1,79	0,5±0,02	7,8±0,36*	3,1±0,3	0,9±0,23
	42 сутки						
контроль	49,3±3,84	0,5±0,03	13,1±0,43	1,6±0,23	15,9±1,12	43,0±3,7	3,4±0,32
I опытная	27,6±3,52*	1,2±0,12*	19,7±1,21*	1,8±0,12	8,6±1,1*	21,3±3,82*	0,8±0,20*
II опытная	44,7±3,90	0,7±0,06	12,12±0,9	0,1±0,01*	19,7±2,51*	53,7±3,64*	3,9±0,76
III опытная	51,3±4,92	1,0±0,12*	13,2±1,6	0,9±0,15*	18,5±1,4*	54,6±4,87*	3,3±0,28

Примечание: * различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$

Число сальмонелл уменьшалось в группе, получавших УДЧ хрома – на 60 %, по сравнению с контролем. Кроме того, в группе с добавлением соли хрома, количество сальмонелл было выше контрольных значений в 2,6 раза. Число бифидо-, лактобактерий и целлюлозолитиков уменьшилось, по сравнению с контролем, на 40,7 %, 80,3 % и 46,4 %, соответственно, в группе, получавший соль хрома. Вместе с тем, количество бифидобактерий увеличилось в группе, получавшей ультра - и органические формы хрома – на 35,1 % и 44,4 %, соответственно, по сравнению с контролем.

На 42 сутки были получены следующие результаты. В группе с добавлением в рацион солей хрома, по сравнению с контролем, наблюдалось уменьшение общего микробного числа (на 44,0 %), бифидобактерий (на 45,9 %), лактобактерий (на 50,4 %) и целлюлозоразлагающих микроорганизмов (на 76,4 %). В тоже время, в данной группе было отмечено увеличение в образцах содержимого кишечника стафилококков и энтеробактерий (на 140 % и 50,3 %, по сравнению с контролем, соответственно). Количество стафилококков снижалось в группе, получавшей пиколинат хрома, на 50 %, по сравнению с контролем. Количество сальмонелл снижалось на 93,7 % и 43,7 %, по сравнению с контролем, в группах, получавших препарат УДЧ хрома и его пиколинат. В образцах кишечника птиц с рационом, включающим УДЧ или органическую форму хрома, количество бифидобактерий повышалось на 23,8 и 16,3 %, соответственно. Количество лактобактерий было выше контрольных значений в группах, получавших УДЧ Cr и пиколинат Cr, на 24,8 % и 26,9 %, соответственно.

Таким образом, включение в рацион бройлеров соли хрома вело к снижению числа нормальной микрофлоры кишечника и приводило к увеличению условно-патогенных групп бактерий (стафилококки, энтеробактерии и сальмонеллы), что является неблагоприятным прогностическим признаком. В свою очередь, включение в рацион ультрадисперсных частиц хрома и пиколината хрома вело к увеличению числа бифидо- и лактобактерий, которые являются представителями

нормальной микрофлоры кишечника с одновременным уменьшением числа условно-патогенной микрофлоры.

2.3.6 Убойные качества и содержание химических веществ в организме цыплят бройлеров

В соответствии с живой массы превосходство особей II и III опытных групп выражалось в достоверной разнице по предубойной живой массе на 9,2 и 10,3% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольной птицей (таблица 33).

Таблица 33 – Результаты контрольного убоя бройлеров в конце эксперимента, г

Показатель	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Предубойная живая масса	2248±58,7	2306±59,6	2475±59,2**	2506±63,6**
Полупотрошенная тушка	2008±68,5	2025±34,8	2128±63,6	2246±64,3
Потрошенная тушка	1616±23,3	1646±22,4	1694±18,0	1769±24,7**
Убойный выход, %	69±0,01	70±0,01***	71±0,01***	72±0,02***

Примечание: * различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$

Данный факт демонстрирует зависимость интенсивности обменных процессов от вводимого в рацион микроэлемента, что подтверждено большим выходом товарной тушки на 2-3% в группах получавшие хром в ультрадисперсной и органической форме.

На основании закономерностей роста и развития сформулированных С.Г. Сипачевым, где после прекращения роста, происходит резервирование питательных веществ в виде жира. Подтверждением этому являются результаты химического состава тканей тела цыплят бройлеров (таблица 34).

Таблица 34 – Содержание химических веществ в теле бройлеров, %

Группа	Показатель			
	Сухое вещество	Протеин	Жир	Зола
контроль	22,7±1,04	19,3±0,87	3,5±0,49	1,0±0,01
I опытная	21,8±1,87	18,6±0,35	4,6±0,83	1,1±0,44
II опытная	23,8±0,47	19,5±0,17	3,6±0,29	1,0±0,02
III опытная	24,0±0,56	19,4±0,15	4,3±0,30	1,6±0,65

Примечание: *Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

Различные формы хрома практически одинаково влияли на синтез и отложение белка и жира в тело. Отличие в липидном обмене выжалось в большем накоплении жира в тушках при использовании в качестве источника хлорид хрома на 24%, по сравнению с контролем.

Таким образом, включение в рацион различных форм хрома проявляется в лучшем использовании питательных веществ, их отложении. Наиболее оптимальным вариантом являлись ультрадисперсная и органическая форма о чем свидетельствуют показатели межуточного обмена веществ в организме опытной птицы.

2.3.7 Баланс энергии и характеристика межуточного обмена в организме цыплят-бройлеров

Увеличение поступающей обменной энергией с кормом цыплят-бройлеров II и III опытных групп на 3,8% сопровождалось меньшей на 2,6 и 1,4% потери энергии с пометом, что выражалось в превосходстве показателя чистой энергии прироста на 12,1 и 19,3% соответственно относительно

контрольной группы (таблица 35).

Таблица 35 – 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
контроль	59,6	30,1	41,6	50,4	10,9	18,2
I опытная	59,9	31,6	41,0	46,6	10,7	17,8
II опытная	61,3	27,5	44,4	52,3	12,4	20,2
III опытная	61,3	28,7	43,7	50,9	13,5	22,0

Формирование энергетического пула в организме зависит от особенностей межуточного обмена (таблица 36).

Таблица 36 – Особенности межуточного обмена в организме цыплят-бройлеров за период опыта

Показатель	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Обменная энергия сверхподдержания, МДж/гол	28,2	26,7	30,5	29,6
Чистая энергия продукции, МДж/гол	11,5	11,0	12,3	12,4
Коэффициент полезного использования обменной энергии	0,40	0,39	0,41	0,42
Уровень питания	1,05	0,82	1,079	1,078
Концентрация обменной энергии, МДж/кг СВ	13,9	13,6	14,4	14,2
Коэффициент соответствия	0,029	0,024	0,028	0,030
Энергопротеиновое отношение	0,261	0,262	0,267	0,272

Эффективность и проявление продуктивных качеств птицы

подтверждалось превосходством показателя обменной энергии сверхподдержания во II и III опытной группы на 7,6 и 4,8% соответственно, что нашло свое отражение в аккумуляции чистой энергии продукции и коэффициенте полезного использования обменной энергии (КПОЭ).

Первая опытная группа, где в составе рациона хром был использован в виде хлорида, характеризовалась слабым энергетическим фоном, граничащим с токсическим эффектом. Это предположение было рассмотрено при оценке трансформации энергии и протеина корма в продукцию (таблица 37).

Таблица 37 – Трансформация энергии и протеина корма в тело бройлеров за учетный период

Показатель	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Отложилось				
Протеин, г	298,2±6,18	283,0±11,92	311,7±22,50	314,0±27,24
Энергия, МДж	10,95±0,16	11,39±1,62	11,7±1,15	11,8±1,56
Коэффициент конверсии, %				
Протеин	38,1±0,79	35,2±1,48	39,1±0,80	39,05±0,46
Энергия	26,28±0,39	25,2±3,96	26,40±2,58	27,05±3,58

Примечание: * Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

На фоне выраженного превосходства в отложении протеина и энергии в тело бройлеров II опытной группы, птица получавшая УДЧ хрома не отставала по данным показателям, что соответствовало ростовым и продуктивным показателям полученным в ранее проведенном эксперименте. В частности конверсия протеина в данной группе была достоверно больше чем в контрольной на 2,6% ($p \leq 0,05$), что в совокупности сформированной энергии всего организма за период эксперимента эта группа превосходила

исследуемые на 3-4,8% (таблица 38).

Таблица 38 – Динамика концентрации энергии в теле бройлеров, МДж/гол

Период Эксперимента, сут	Группа			
	контроль	I опытная	II опытная	III опытная
7	24,6±1,78			
42	25,8±3,9	26,4±1,59	27,1±1,89	26,9±1,50

Таким образом, проведенный анализ обмена протеина и энергии в организме цыплят-бройлеров получавших хром в составе рациона в различных формах свидетельствует, что УДЧ хрома по биологическому действию не отличается от аналога в органической форме, что подтверждается выраженным рост стимулирующим эффектом, высокой конверсией энергии за счет синтеза протеина.

Установленные эффекты демонстрируют правильность выбора дозы используемого в рационе хрома, что было апробировано в научно-хозяйственном эксперименте.

2.4 Научно-производственный эксперимент на цыплятах-бройлерах

В процессе производственной проверки проводимой на базе птицефабрики «Оренбургская» в бройлерном цехе проведено испытание УДЧ хрома в составе комбикорма. Комбикорм готовился на производственном участке птицефабрики, включение хрома в дозе 100 мкг/кг корма проводилось в период добавления минерально-витаминного премикса.

Для проведения исследований было сформировано 3 группы цыплят по 600 голов в каждой группе. Контрольная группа получала комбикорм (базовый вариант) используемый в производственных условиях, в рацион птицы I опытной группы (опытный вариант) к базовому комбикорму добавляли УДЧ хрома в дозе 100 мкг/кг, во II опытную пиколинат хрома в аналогичной дозе.

В результате апробации был подтвержден продуктивный эффект полученный в лабораторных условиях (таблица 39).

Анализ производственных расчетов бройлерного производства демонстрирует эффективность предложенного решения, в частности снизился расход корма на 1 кг прироста на 1,8-1,9%. Между тем в совокупности снижение расхода корма и выхода потрошеного мяса при коррекции рациона УДЧ хрома привело к снижению себестоимости 1 кг мяса на 1,8 руб, в варианте с пиколинатом на 2,0 руб., что определило увеличение прибыли на 21,4 % и 24,8% и рентабельности производства на 2,2 и 2,5% соответственно.

3 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Птицеводство быстро развивающаяся отрасль сельского хозяйства, увеличение генетического потенциала птицы, выражается в получении высоких среднесуточных приростов за счет эффективного использования энергии корма. В тоже время возникает риск отложение энергии в тушках в виде жира, что снижает экономическую эффективность выращивания и товарную ценность мяса. В этом плане параллельно с генетическими исследованиями ведутся последовательные научные поиски направленные на обеспечение организма птицы нутриентами-катализаторами обменных процессов, в частности химическими элементами.

С точки зрения перспектив использования на практике в качестве обязательного компонента рациона высокопродуктивной птицы особый интерес представляет хром, его эссенциальность, согласно исследованиям NRC (2005) проявляется в снижении уровня глюкозы холестерина, жировых отложений, а также в стимуляции развития мышечной ткани (Anderson R.A., 1997). Дефицит хрома, связан с типом и качеством питания и проявляется в замедлении роста и отложением жира. (Simonoff M.,1984).

На основании знаний о всесторонней роли хрома в обеспечении обменных процессов в организме целью наших исследований являлась комплексное изучение различных доз и источников хрома на обмен веществ, продуктивность и морфобиохимические показатели в организме цыплят-бройлеров.

Результаты проведенных исследования показывают, что все требования к проведению исследований были соблюдены, во-первых в течении всех серий экспериментальных исследований оценивались ростовые, весовые и физиологические параметры, что обеспечило объективность исследований. Во-вторых, разработанные схемы исследований позволили испытать различные дозы и источники хрома в рационах цыплят-бройлеров, что

обеспечило получение более объективных данных по обмену веществ, а также оценить качественные и количественные характеристики физиологического состояния организма. В третьих, оценка активности пищеварительных ферментов и микробиоценоза кишечника обеспечило объективность наших выводов о стимулирующей способности хрома на белковый синтез и качественный обмен липидов в организме.

На первом этапе экспериментальных исследований нами проведена оценка биологического действия различных доз ультрадисперсных (УДЧ) хрома с применением общих физиологических (гематологические, активность пищеварительных ферментов, рост, обмен веществ, антиоксидантный статус, качественный и количественный состав микробного сообщества слепой кишки) и зоотехнических параметров.

На фоне унифицированных норм кормления, сформированные рационы по нормам ВНИТИП по составу приближены к производственным и соответствовали потребностям организма цыплят-бройлеров.

В ходе реализации поставленных задач первого экспериментального исследования установлено, что разница с контролем (1,85) по расходу корма на 1 кг прироста живой массы в зависимости от дозы УДЧ Cr_2O_3 варьировала от 8 до 16 %.

В частности, наиболее выраженные результаты по переваримости сырого протеина были характерны для II опытной группы - 83,02%, что на 5% в стартовый и ростовой периоды превосходила контрольную группу. Остальные дозы хрома имели схожее действие на оцениваемые параметры, но с меньшей силой влияния и достоверности.

Аналогичное продуктивное действие было получено исследователями при испытании в качестве добавки УДЧ Fe, Cu, Zn (Sizova E.A., 2016). Вопреки этому имеются данные об отсутствии данного влияния препарата хрома в дозе 400 г/т на продуктивность и сохранность бройлеров (Егоров И.А., 2001), тогда как дозы до 1200 мкг/кг, положительно влияют на живую

массу и эффективность потребления корма (Lie T.F., 2009; Sahin K. et.al., 2002; Samanta S., et.al, 2008).

Анализ эффективности межклеточного обмена показал, что по мере роста дозы препарата УДЧ хрома увеличивался КПИ ОЭ с 0,43 до 0,49, с наиболее значимым показателем во II опытной группе, на фоне низкого коэффициента соответствия, который находился в обратной зависимости от концентрации обменной энергии, значение которой на 3,3 % превосходили показатели контрольной группы.

Уровень питания, величина характеризующая количество корма обеспечивающее рост и развитие организма равное генетическим возможностям в опытных группах была практически идентичная, с небольшим снижением на 3% в группе с максимальным уровнем УДЧ хрома (400 мкг/кг). Наибольшие показатели чистой энергии продукции во II и III опытных группах соответствовали значениям 13,4 и 12,3 МДж/гол, что в совокупности с обменной энергией продукцией превышала значения контроля на 10-12%.

Таким образом, выраженный дозозависимый эффект проявлялся в увеличении переваримости протеина, жира, и как результат превосходство группы бройлеров получавшие хром в дозе 100 и 200 мкг/кг по отложению чистой энергии прироста, что подтверждается ростовыми показателями.

Наибольшие приросты живой массы цыплят-бройлеров соответствовали 21-28 недельному периоду у I опытной группы. В конце исследований у бройлеров II и III опытных групп приросты живой массы превосходили контрольные показатели на 34 и 33,5% соответственно, что свидетельствует о высоком стимулирующем эффекте и ростовом потенциале опытной птицы.

Включение в рацион кормления цыплят-бройлеров УДЧ Cr_2O_3 нивелировало окислительный стресс, на что указывали показатели активности каталазы (КАТ), супероксиддисмутазы (СОД). Проявление стимуляции синтеза обменных процессов выражалось в выраженной

активности аланинаминотрансферазы (АлАТ) и аспартатаминотрансферазы (АсАТ). В случае с АСаТ различия были сопоставимы с уровнем УДЧ Cr2O3 в рационе, достоверные различия в 3,5 раза ($p \leq 0,05$) были характерны для дозы 100 и 200 мкг/кг.

Высокая активность эндогенных трансфераз с во первых может являться признаками нарушения функции печени, почек и поджелудочной железы, но ввиду отсутствия реакции маркеров воспаления (СОТ и КАТ), можно предположить, что метаболическая функция хрома может быть связана с тонкими механизмами его участия в стимулировании выработки хромодулина (LMWCCr), который акцептируя молекулы хрома из биологических молекул, в том числе из трансферина стимулирует гепатопротекторную активность, не исключая роль в синтезе белка и антихолестатическом действии (Sizova E et.al, 2015). Реакция глюкозы и холестерина на введение хрома отсутствовала.

Увеличение триглицеридов на 61,6 % и 48,5 % при дозах УДЧ Cr 100 и 400 мкг/кг как маркеров энергетического и липидного обмена не подтвердило результаты исследований Anderson R.A., Kozlovsky A.S.. (1985), где установлено, что высокий уровень холестерина и триглицеридов характерен для хромдефицитных состояний. Такой механизм связан с возможной перестройкой ферментативной системы, а также с нагрузкой на митохондриальный аппарат клеток печени, за счет участия хрома в стимуляции белкового и липидного обмена (Lien T.F., Yeh H.S., et.al., 2009).

Ферментативная активность крови заключалась в увеличении на 29,5 % ($p \leq 0,05$) уровня амилазы и липазы при дозе 400 мкг/кг. При других дозах существенных различий в активности обнаружено не было. Причиной увеличения активности сывороточных ферментов может быть результатом синтеза или ресинтеза микронутриентов, повышения проницаемости клеточных мембран, и транслокации пищеварительных ферментов в кровяное русло.

Первый путь синтеза ферментов в поджелудочной железе, в крови и лимфе это инкреция ферментов glandулоцитами желез (Вертипрахов Г.В., 2013). Первый путь это рекреция поджелудочной железой из крови. Второй механизм синтеза панкреатических гидролаз в крови - это их перераспределение из выводных протоков железы. Третьим механизмом выступает резорбция ферментов из тонкой кишки (Rothman S. et.al. 2002, Kawabata A., 2008, Рансбергер К., 2005).

Согласно полученным данным, активность амилазы была достоверно ($p < 0,05$) ниже контроля при добавлении 200 мкг/кг корма УДЧ Ст. Активность липазы достоверно увеличивалась до 96 % во всех опытных группах. Активность протеазы была достоверно выше контроля на 37,66 % в IV опытной группе.

В группах получавшие наибольшие дозировки 200 и 400 мкг/кг установлено увеличение активности липазы и протеазы, что возможно свидетельствует о наличии напряжения в адаптационных механизмах транслокации пищеварительных ферментов через кровоток, а также подтверждает гипотезу энтеропанкреатической циркуляции пищеварительных ферментов в различные возрастные периоды (Фисинин В.И. и др., 2017).

На 42 сутки диаметрально разная активность пищеварительных ферментов сопровождалась снижением амилазы во всех опытных группах на 7,29-31,21 %. Активность липазы была достоверно выше при концентрации хрома, вводимого в рацион, в дозе 50 и 400 мкг/кг корма на 39,28 и 73,21 %, соответственно и протеазы на 99,97 и 50,77 %.

В целом, перспективность использования микроподкормок обусловлена уникальными свойствами наноразмерных объектов. Благодаря своим размерам, которые сопоставимы с размерами вирусов, белков, ДНК, они могут адгезироваться на поверхности биообъекта и связываться с ним (Slepicka P. et al., 2015).

Выход ферментов через кишечник с сохранением активности подтверждается результатами исследований пищеварительных энзимов в помете цыплят-бройлеров. Активность амилазы в помете в первом периоде (21 сутки) снижалась, тогда как нарастание активности липазы от 70 до 75 % в зависимости от дозовой нагрузки произошло в конце учетного периода. Активность протеазы имела диаметрально обратные показатели.

Смещение рН кишечного содержимого до значений 9,34 ед. при высоких концентрациях на фоне диапазона 4,62-7,53 рН согласуется с данными, полученными (Ершов Д.Ю. и др., 2011, Tahami Z., 2014), где УДЧ селена в комплексе с химотрипсином способствовало смещению рН в щелочную область с увеличением максимальной ферментативной активности в сравнении со свободным ферментом (Дзагуров Б. А., 2013).

Сохранение высокой активности амилазы и липазы при уровне рН выше 9 ед. может свидетельствовать о адаптации ферментов и стабилизацией ферментов УДЧ. Снижение ферментативной активности амилазы при концентрации хрома 400 мкг/кг возможно говорит о чувствительности данного фермента к изменению кислотно-щелочного баланса среды.

Ввиду отсутствия данных, определяющих действия УДЧ хрома на активность пищеварительных ферментов, перспективным является модулирование активности пищеварительных ферментов за счет индукции последних. Так, например, фермент α -химотрипсин, теряет 99% активности из-за нарушения своей вторичной структуры (Karajanagi S.S et.al., 2004). При адсорбции белков на ультрадисперсных частицах наблюдаются более выраженные изменения структуры и функции белков (Vertegel A.A., 2004).

За счет избыточного роста микробной флоры в просвете кишечника происходит снижение кишечного пищеварения у птиц, и продвижения химуса в кишечнике, а также преждевременная деконъюгация первичных желчных кислот (Куваева И.Б., 1976). Избыточная микробная флора приводит к повреждению эпителия тонкой кишки, за счет цитотоксического действия метаболитов некоторых микроорганизмов. Определение

численности микроорганизмов в слепой кишке бройлеров является важным этапом определения жизнеспособности организма (Arakha M., 2015).

Микрофлора слепой кишки бройлеров при высокой дозовой нагрузки на 21 сутки значительно снижалась на 88,4 % в частности энтеробактерий и бифидобактерий (на 28 и 65,4 %, соответственно) и увеличение числа сальмонелл на 21,7 %. При дозе от 50 до 100 мкг/кг сопровождалось снижением численности бифидо- и лактобактерий на 35,6 и 53,8 % соответственно и увеличения численности энтеробактерий и сальмонелл. Концентрация 200 мкг/кг способствовала росту численности стафилококков, энтеробактерий, сальмонелл, одновременно уменьшая число бифидо- и лактобактерий.

Это обосновывается «энзиматическим выбросом» который свидетельствует о нарушениях в микроэкологии кишечника, что возникает по ряду причин – усиленная перистальтика, измененный состав химуса, поступающего в толстый кишечник, гиперпродукция щелочных секретов при патологиях и др (Куваева И.Б., 1976). При этом показано, что под влиянием микробных протеолитических ферментов pH фекалий сдвигается в щелочную сторону, что сопровождается ослаблением инактивации ферментов в кишечнике (Tahami Z.б 2014, Arakha M. et.al. 2015, Feng Z. V et.al. 2015).

На основании мультиэлементного анализа биосубстратов цыплят-бройлеров были сформированы соотношения характеризующие разнополярное накопление химических элементов относительно контрольной группы. За счет взаимодействия между химическими элементами и способности к образованию больших связей (Самохин В.Т., 2003. Wang M.Q., Xu Z.R., 2004; Kawabata A., Matsunami M., Sekiguchi F., 2008), с учетом антагонизма и синергизма между ними, установлено, что введение в рацион цыплят-бройлеров УДЧ хрома в дозировках 100–200 мкг/кг стимулирует обмен химических элементов, выраженных в увеличении Co, Cr, Ca, Zn, с депрессией обмена Cd, Pb.

Множественные физиологические эффекты УДЧ Cr, рассматриваемые в исследованиях последних лет (Лебедев С.В., Сизова Е.А. и др. соавт., 2016-2019), связаны не только с физико-химическими свойствами ультрадисперсных частиц, облегчающими их взаимодействие с биологическими объектами (Slepicka P., 2015), но и наличием вспомогательных биологических активных веществ для обмена.

Учитывая, что при нормальной экскреции менее чем 1 мкг в сутки хром выводится с мочой, фекалиями, через кожу и кожные покровы (Davda J and Labhasetwar V., 2002), дозозависимый эффект включения в рацион УДЧ хрома заключался в положительном балансе. На фоне стабильной концентрации хрома в помете наибольшая усвояемость в III и IV опытной группах была на 20,0 и 25% больше чем в контроле, что соответствовало большему коэффициенту конверсии.

На основании известных постулатов, что в клетках тканей кишечника эффективность поглощения УДЧ размером 100 нм в 15-250 раз выше, чем более крупных микрочастиц (Sahoo S.K., Labhasetwar V., 2003), отложение хрома благодаря проникновению в цитоплазму (Davda J., Labhasetwar V., 2002,) может увеличиваться за счет дефицита транспортного белка трансферрина и образования в 12-перстной, слепой и толстой кишке стабильных трудно адсорбируемых гидратов (Oberleas D., Harland B.F., 1996.).

В проведенных исследованиях включение в рацион высоких доз хрома в тушке бройлеров его концентрация увеличивается до 28,2 %, на фоне снижения его выхода с пометом на 15 %, что подтверждено наибольшим коэффициентом $Cr_{\text{корм}}/Cr_{\text{помет}}$. Степень усвоения из корма, выраженное коэффициентом $Cr_{\text{корм}}/Cr_{\text{тушка}}$ находилось в диапазоне 4-6 ед, что свидетельствовало о наличии регуляторных механизмов в метаболизме хрома (Lebedev S., 2019, Sizova E.A. et.al., 2018).

Эффективность поглощения частиц размером 100 нм в кишечнике в 15-250 раз выше, чем у более крупных микрочастиц (Sahoo S.K. and Labhasetwar V., 2003), за счет проникновения в цитоплазму (Davda J and Labhasetwar V.,

2002). Отложение хрома может увеличиваться за счет дефицита транспортного белка трансферина и образованием в желудочно-кишечном тракте, очень стабильных, трудно адсорбируемых гидратов (Oberleas D., Harland, B.F., 1996).

Полученные данные, свидетельствуют, что предубойная живая масса птицы в III опытной группе (2533 гр.) превосходила контрольных на 267 гр. или 10,6% ($p \leq 0,05$), и соответствовала наиболее высокому убойному выходу потрошенной тушки – 71,2%, за счет более развитой мышечной массы и меньшего количества кишечного жира. Как следует из постулатов, сформулированных Дж. Хеммондом, отложение нутриентов корма в тело животных происходит в строгой последовательности после прекращения роста скелета, сначала формируется протеиновый пласт, затем жировой.

По содержанию протеина бройлеры II и III опытных группах превосходили контрольную группу на 2,1% и 1,2% ($p \leq 0,05$) соответственно. Большее содержание жира в теле бройлеров опытных групп зависело от интенсивности его обмена, что сопряжено с концентрацией энергии в теле цыплят-бройлеров.

Из всего выше сказанного следует, что добавление УДЧ хрома в дозе 100 и 200 мкг/кг в состав рациона цыплят-бройлеров способствует синтезу и отложению протеина в теле птиц и свидетельствует о более высокой интенсивности роста и его потенциале.

Таким образом, по результатам комплексных исследований наиболее эффективной дозой является 100 мкг/кг, за счет стимулирования роста, пищеварительных ферментов, снижении затрат корма, увеличения убойного выхода и стимуляции обмена энергии за счет синтеза протеина, что является основанием для использования УДЧ в данной дозировке в качестве дополнительного источника хрома для сельскохозяйственной птицы.

На основании вышеизложенного было проведено следующее экспериментальное исследование направленное на сравнительном изучении

влияния различных источников хрома в дозе 100 мкг/кг на физиологические и биохимические показатели цыплят-бройлеров.

Известно, что хром в зависимости от формы имеет различную переваримость, в частности органических 25% и неорганических 3 %. Всасывание Cr⁺³ происходит в основном через почки Cr - 80-95 % (Shukla A., Shukla J. P., 2016), с небольшими потерями в волосяном покрове, через сальные железы и желчью (45 % Cr) (Vincent J. B. 2016), что свидетельствует о быстром поглощении и рекреации Cr.

Было установлено, что органический Cr оказывает более благоприятное влияние на метаболизм в организме птиц, по сравнению с неорганическими формами за счет повышенной абсорбции и биодоступности (Moeini et al., 2011).

Таким образом, биологическая функция хрома зависит от источника, размера и ингредиентного состава рациона. В связи с чем уменьшение размера частиц Cr будет способствовать увеличению скорости усвоения его в организме (Vincent J., 2018).

В проведенном эксперименте установлено превосходство птицы II и III опытных групп по переваримости жира и протеина на 8-11% и 4-6% соответственно, что доказывало участие хрома в липидном обмене.

Аналогично в исследованиях (Lien T.F., 2009) дополнительное включение в рацион Cr (0,2 мг) увеличило среднесуточный прирост массы без повышения расхода корма, и нивелировало отложения жира. О сходном влиянии органических и ультрадисперсных форм хрома по сравнению с минеральной его формой сообщалось ранее (NRC, 2005).

Включение в обменные процессы хрома характеризовалось снижением уровня гемоглобина, лейкоцитов и тромбоцитов в стартовый период, при нормализации в последующий ростовой период, что коррелировало с интенсивностью окислительно-восстановительных процессов, протекающих

в организме, и соответствовало более высоким показателям продуктивности птицы.

Важная роль в обменных процессах принадлежит белкам сыворотки крови. Они участвуют в регуляции осмотического давления, стимулируют защитную функцию организма. Стимуляция синтеза белка выражалась в увеличении его в сыворотке крови бройлеров (Лебедев С.В., 2019).

Выраженный эффект CrPic в виде стимуляции активности аланинаминотрансферазы (АлАТ) и аспаратаминотрансферазы (АсАТ) объясняется интенсивными обменными процессами характерные для быстро растущего организма.

Изменение в метаболизме железа объясняется тем что при высоких концентрациях железо и хром конкурируют за сайты связывания, что проявилось в снижении метаболизма железа в опытных группах получавшие рацион с хлоридом и пиколинатом хрома, и является признаками дефицита железа и анемии (Sargeant T., 1979, Ani M., Moshtaghie A.A., 1992).

Коэффициент Де Ритиса на 21 сутки жизни цыплят в группе получавшей пиколинат хрома превышал на 20,28% чем в контроле ($p \leq 0,05$). Снижение коэффициента было в группах CrCl₃ (9,51%) и УДЧ Cr (8,89%) относительно птицы контрольной группы. К 42 суткам коэффициент Де Ритиса превышал в группе с CrCl₃ в 1,75 раза ($p \leq 0,05$), УДЧ Cr в 1,59 раза ($p \leq 0,05$) контрольные значения. При этом в группе цыплят (CrPic) был стабилен на протяжении всего эксперимента, и находился на уровне 38,31-40,49.

Различная активность трансминазных ферментов, с одной стороны может свидетельствовать о разрушении мембран клеток, с другой стороны – слабой индукции микросомального окисления под влиянием УДЧ переменной валентности (Speetjens J.K., 1999). Остальные формы хрома в оцененных формах не привели к критическим изменениям в системе гемостаза.

О характере течения углеводного обмена судили по содержанию в крови глюкозы. У здоровой птицы определенный уровень глюкозы в крови поддерживается вне зависимости от поступления в организм углеводов с кормом. Гипергликемический эффект выразился на 21 сутки в уменьшении глюкозы при включении CrCl_3 на 14,41%), УДЧ Cr на 15,70% и CrPic на 7,53% ($p \leq 0,05$) относительно цыплят-бройлеров контрольной группы. К 42 суткам в группе, получавшей CrCl_3 уровень глюкозы, превышал на 10% контрольные значения.

Рассчитанный билирубиновый индекс крови, который характеризует выделительную функцию печени и уровень токсичности во все периоды снижался в группе CrCl_3 (46,89%) ($p \leq 0,05$), УДЧ Cr (55,31%) ($p \leq 0,05$) и CrPic (21,98%) относительно контрольной птицы.

Уровень триглицеридов в сыворотке крови у бройлеров, получавших в составе рациона CrCl_3 был большим на 5,12 % относительно контрольной группы. Снижение уровня триглицеридов происходило в группе УДЧ Cr (19,05%) и CrPic (42,86%) ($p \leq 0,05$). На 42 сутки уровень триглицеридов находился в опытных группах на одном уровне, что возможно связано с перестройкой ферментативной системы, а также участия хрома в стимуляции скорости белкового и липидного обмена.

Липидный обмен цыплят можно идентифицировать по количеству холестерина в крови. Высокая активность метаболизма жиров в организме птицы наблюдалась в группе, получавшей CrCl_3 и была выше на 26,71% ($p \leq 0,05$) относительно контрольной группы цыплят. И эта тенденция сохранялась до окончания эксперимента. К 42 суткам группа цыплят с УДЧ Cr и CrPic по содержанию холестерина уступала сверстникам из контрольной группы на 89,38% и 84,07% соответственно, что свидетельствует о блокировании всасывание липидов в кровяное русло и выведение из организма с продуктами обмена. Данное явление было подтверждено повышением индекса ферментемии в опытных группах, что свидетельствовало об аэробном сдвиге клеточного метаболизма за счет

снижения активности анаэробных механизмов. Вариации ферментативной активности крови проявилось в снижении амилазы. Установленный дисбаланс между кальцием и фосфором за счет увеличения последнего, возможно является ответной реакцией на выброс пищеварительных энзимов и участия кальция в качестве буфера кислотно-щелочного равновесия в кишечнике.

Учитывая различную биологическую активность хрома в отношении пищеварительных ферментов, необходимо подчеркнуть, что УДЧ и пиколинат обладают сходным действием за счет возможного непосредственного контакта с молекулами гидролиза углеводов или белков не оказывают репрессирующего воздействия на активность ферментов (W in K. Y., 2005) в желудочно-кишечном тракте.

При изучении микрофлоры содержимого слепой кишки цыплят-бройлеров установлено снижение микробного числа в группе, получавшей хром в виде соли на 34,7 %, на фоне увеличения количества стафилококков и энтеробактерий на 66,7 % и 98,6 % соответственно.

Кроме того, в группе с добавлением хлорид хрома, количество сальмонелл было выше контрольных значений в 2,6 раза, а число бифидо-, лактобактерий и целлюлозолитиков уменьшилось, по сравнению с контролем, на 40,7 %, 80,3 % и 46,4 %, соответственно. Число сальмонелл уменьшалось в группе, получавших УДЧ хрома – на 60 %, по сравнению с контролем. Вместе с тем, количество бифидобактерий увеличилось в группе, получавшей ультра - и органические формы хрома – на 35,1 % и 44,4 %, соответственно, по сравнению с контролем.

Таким образом, включение в рацион бройлеров соли хрома привело к снижению числа нормальной микрофлоры кишечника и приводило к увеличению условно-патогенных групп бактерий (стафилококки, энтеробактерии и сальмонеллы), что является неблагоприятным прогностическим признаком. В свою очередь, включение в рацион УДЧ хрома и пиколината хрома сопровождалось увеличением числа бифидо- и

лактобактерий, которые являются представителями нормальной микрофлоры кишечника с одновременным уменьшением числа условно-патогенной микрофлоры.

Физиологические процессы протекающие в организме раскрывают основы заложенных генетических возможностей организма.

Превосходство по предубойной живой массе на 9,2 и 10,3% ($p \leq 0,05$) во II и III опытных группах сопровождалось большим выходом товарной тушки на 2-3% в группах получавшие хром в ультрадисперсной и органической форме.

На основании закономерностей роста и развития сформулированных С.Г. Сипачевым, где после прекращения роста, происходит резервирование питательных веществ в виде жира различные формы хрома практически одинаково влияли на синтез и отложение белка и жира в тело. Отличие в липидном обмене выжалось в большем накоплении жира в тушках при использовании в качестве источника хлорид хрома на 24%, по сравнению с контролем.

Таким образом, включение в рацион различных форм хрома проявляется в лучшем использовании питательных веществ и их отложению. Наиболее оптимальным вариантом являлись ультрадисперсная и органическая форма о чем свидетельствуют показатели межуточного обмена веществ в организме опытной птицы, которая характеризовалась превосходством показателя обменной энергии сверхподдержания на 7,6 и 4,8% соответственно, что нашло свое отражение в аккумуляции чистой энергии продукции и коэффициенте полезного использования обменной энергии (КПИОЭ). При этом энергопротеиновое отношение во всех группах было практически одинаковым.

Использование хлорида хрома, характеризовалось слабым энергетическим фоном, граничащим с токсическим эффектом. Это предположение было рассмотрено при оценке трансформации энергии и протеина корма в продукцию.

Таким образом, проведенный анализ обмена протеина и энергии в организме цыплят-бройлеров получавших хром в составе рациона в различных формах свидетельствует, что УДЧ хрома по биологическому действию не отличается от аналога в органической форме, что подтверждается выраженным рост стимулирующим эффектом, высокой конверсией энергии за счет синтеза протеина.

Установленные эффекты демонстрируют правильность выбора дозы и источника используемого в рационе хрома, что было апробировано в научно-хозяйственном эксперименте.

Эффективность включения УДЧ хрома и аналога в форме пиколината в дополнение к минеральному премиксу сопровождается снижением себестоимости 1 кг мяса на 1,8 руб, в варианте с пиколинатом на 2,0 руб., что определило увеличение прибыли на 21,4 % и 24,8% и рентабельности производства на 2,2 и 2,5% соответственно.

Таким образом, проведенные производственные испытания подтвердили основные результаты проведенных лабораторных исследований и доказали экономическую эффективность включения в рацион цыплят-бройлеров ультрадисперсных частиц хрома в дозе 100 мкг/кг рациона.

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Включение препаратов хрома в дозировке 100 мкг/кг в полнорационные пшенично-кукурузные комбикорма цыплят-бройлеров, обеспечивающие получение 55-60 граммов среднесуточного прироста, сопровождается различным продуктивным действием. Использование препаратов ультрадисперсных частиц и пиколината хрома сопряжено с повышением интенсивности роста цыплят на 10-12%. Тогда как скармливание хлорида хрома (III) не приводит к повышению интенсивности роста птицы. Напротив, дача последнего сопряжена со снижением эффективности энтерального обмена энергии на 1,5% валовой энергии корма относительно контроля и на 2,9-4,1% в сравнении с другими препаратами хрома. Одной из причин отсутствия продуктивного действия хлорида хрома является значительное на 60-70% снижение численности симбиотных микроорганизмов в кишечнике птицы, что имеет место на фоне значительного роста условно-патогенной микрофлоры до 3 раз по стафилококкам и сальмонеллам. В свою очередь, использование в рационе УДЧ и пиколината хрома сопровождалось увеличением числа бифидо- и лактобактерий, и уменьшением числа условно-патогенной микрофлоры.

2. Включение в рацион цыплят-бройлеров УДЧ хрома в рассматриваемых дозировках оказывает влияние на потребление, переваримость питательных веществ корма и прирост массы тела. При этом наиболее значительный продуктивный эффект наблюдается в дозе 100 и 200 мкг/кг корма, что сопровождается увеличением переваримости протеина и жира на 5 и 8 %, повышением интенсивности роста цыплят-бройлеров на 11-12%, чистой энергии прироста на 5,5%.

3. Применение УДЧ хрома в рационе цыплят-бройлеров не сопровождается увеличением показателей антиоксидантной системы каталазы (КАТ), супероксиддисмутазы (СОД) и малонового диальдегида.

4. Биологическая активность УДЧ хрома в дозах 100 и 200 мкг/кг корма на фоне вариабельности морфо-биохимического статуса выражалась в повышении уровня АЛаТ в 2 раза, АСаТ в 3,5 раза. Стимуляция энергетического и липидного обменов сопровождалась увеличением триглицеридов на фоне изменения уровня глюкозы и холестерина в сыворотке крови при разнонаправленной динамике гематологических показателей: лейкоцитов и эритроцитов. При скармливании УДЧ хрома цыплятам-бройлерам отмечается нарастание концентраций NO-метаболитов на 23,1% на фоне дозировок в 100 мкг/кг и на 10,3% при использовании УДЧ хрома в дозировке 200 мкг/кг.

5. Наиболее оптимальной дозировкой УДЧ хрома в полнорационных пшенично-кукурузных рационах цыплят-бройлеров является 100 мкг/кг корма. При такой дозировке возможно увеличить конверсию протеина корма в продукцию на 5,5%, энергии корма на 6,5%, а также содержание химических элементов в организме Co, Cr, Ca, Zn.

6. Отрицательные эффекты дополнительного включения в рацион цыплят-бройлеров УДЧ хрома в высоких концентрациях (400 мкг/кг) связаны с подавлением всасываемости и инактивацией пищеварительных ферментов (амилаза, липаза), депрессией роста микроорганизмов (бифидобактерий, стафилококков и сальмонелл) и сдвигом рН в щелочную сторону.

7. Метаболический потенциал УДЧ хрома сопоставим с органической формой в дозировке 100 мкг/кг корма и выражался в стимуляции эритро – и гемопоэза, синтезе белка, увеличении конверсии корма, убойного выхода до 71%, приростом живой массы до 10 % на фоне снижения жира в органах и тканях цыплят-бройлеров.

8. Эффективность включения различных источников хрома в форме УДЧ и пиколината сопровождается снижением себестоимости 1 кг мяса на 1,8 руб, и 2,0 руб., увеличением прибыли на 21,4 % и 24,8% и рентабельности производства мяса птицы на 2,2 и 2,5% соответственно.

5 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

С целью повышения эффективности использования полнорационных пшенично-кукурузных комбикормов в кормлении цыплят-бройлеров, обеспечивающих получение 55-60 граммов среднесуточного прироста, рекомендуем вводить УДЧ хрома в дозе 100 мкг/кг, что обеспечит снижение себестоимости производства птицеводческой продукции и увеличение рентабельности на 2,2 %.

6 ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ

Результаты проведенных исследований в перспективе могут быть использованы как в практическом, так и научном плане и подтверждают необходимость дальнейшего изучения эффективности использования различных форм и источников микроэлементов в рационах высокопродуктивных кроссов цыплят-бройлеров в части:

- изучения механизмов формирования продуктивного действия различных источников микроэлементов;
- определения связи микроэкологического статуса кишечника птиц с биологической активностью микроэлементов;
- получения новых знаний об обмене химических элементов и их роли в формировании элементного статуса при различном ингредиентном составе рациона;
- определения тонких механизмов адаптации внешнесекреторной функции поджелудочной железы к высокоактивным субстратам органической и неорганической природы.

7 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айтпаев, А.А. Обмен минеральных веществ у 6-месячных телят / А. А. Айтпаев, Р. Н. Одынец // Минеральное питание с.-х. животных. – Илим, – 1968. – С. 12-14.
2. Алиев, А.А. Современные концепции пищеварения. Энтеральный гомеостаз и плазмoформирующая функция пищеварительной системы / А. А. Алиев // Роль ЖКТ в межклеточном обмене веществ: сб. науч. трудов ВНИИФБиП. – Боровск. –1985. – Т. XXX. – С. 3-10.
3. Андреев, А.И. Оптимизация минерального питания ремонтных телок при травяном типе кормления: автореферат диссертационной работы на соискание ученой степени доктора с.-х. наук: 06.02.02 / Андреев Александр Иванович. - Саранск. – 1997. – 37 с.
4. Архипов, А. Пути повышения эффективности использования кормов / А. Архипов // Птицеводство. – 1989. – № 2. – С. 14-17.
5. Афанасьев, К.А. Несбалансированное кормление как причина нарушения минерального обмена у коров / К.А. Афанасьев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (150). – С.110–116.
6. Ахметзянова, Ф.К. Молочная продуктивность при использовании премикса и приминкора в кормлении коров / Ф.К. Ахметзянова, Н.Н. Мухамет-галиев, Р.Р. Фархуллина // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2013. – Т.215. – С.21-26.
7. Батоев, Ц.Ж. Физиология пищеварения у сельскохозяйственных птиц / Ц.Ж. Батоев // Лекция. – Благовещенск, – 1992. – 35 с.
8. Белехов, Г.П. Минеральное и витаминное питание сельскохозяйственных животных / Г.П. Белехов, А.А. Чубинская. – Л. : Колос. – 1965. – 300 с.

9. Билялов, Е. С. Bentonитовая глина и фитопрепарат Тополин в кормлении уток-несушек / Е. С. Билялов, А. И. Жунусов, А. С. Байматова // Птицеводство. 2013. – №2. – С. 8-11.
10. Биологическая полноценность кормов / Н. Г. Григорьев [и др.] – М. : Агропромиздат. – 1989. – 289 с.
11. Богданов, Г.А. Кормление сельскохозяйственных животных / Г. А. Богданов. - 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат. – 1990. – 624 с.
12. Богданов, Е.А. Общее животноводство. Учение о разведении сельскохозяйственных животных / Е.А. Богданов. – М. : Гостехиздат. – 1926. – 412 с.
13. Брукс, Р. Р. Загрязнение микроэлементами / Р. Р. Брукс // Химия окружающей среды. – М. : Химия, 1982. – С. 371-412.
14. Вишняков, С.И. Обмен микроэлементов у сельскохозяйственных животных / С. И. Вишняков. – М. : Колос, 1967. – 256 с.
15. Вишняков, С.И. Проблемы взаимодействия человека с окружающей средой / С.И. Вишняков, Л.А. Москвиченко // Всесоюз. совещание по охране окружающей среде. – Курск, 1978. – С. 1–138.
16. Гафаров, Ш.С. Эффективность кормовых добавок в кормлении жвачных животных // Аграрное образование и наука. – 2014. – №3. – С.3.
17. Гадзаонов, Р.Х. Коррекция минерального питания бентонитовой глиной «Ирлит-7» у коров / Р.Х. Гадзаонов, Х.Д. Мовсаров // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2010. – №2. – С. 58–61.
18. Газиумарова Л.Д, Титов Л.П., Ключко Н.Л. Бактериологическая диагностика дисбактериоза кишечника: инструкция по применению. Л. – Минск, 2010.
19. Гальперин Ю.М, Лазарев П.И. пищеварение и гомеостаз. -М.-.Наука, – 1986.
20. Гамко, Л.Н. Использование в рационах дойных коров минеральных добавок природного месторождения / Л.Н. Гамко, А.А.

Самохина, Д.В. Власенко // В сб.: Аграрная наука: поиск, проблемы, решения. – 2015. – С.30–34.

21. Георгиевский, В.И. Минеральное питание животных / В.И. Георгиевский, Б.Н. Анненков, В.Т. Самохин. – М.: Колос, 1979.– 471 с.

22. Гибалкина, Н.И. Использование хрома из сенажных рационов молодняком крупного рогатого скота / Н.И. Гибалкина, Захватова Н.С. // XLV Огарёвские чтения. Сборник трудов конференции. - Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск). – 2017. – С. 64–67

23. Голикова, А.Н. Физиология сельскохозяйственных животных /А.Н. Голиков, Н.У. Базанова, З.К. Кожебеков и др. -3-е изд., переработанное и дополненное. – М.: Агропромиздат, 1991. – 432 с.

24. Горюнов, А. С. Рожкова Н.Н. Морфология и агрегация эритроцитов в нанодисперсиях углерода / А. С. Горюнов, А. Г. Борисова, С. П. Рожков, Г. А. Суханова, Н. Н. Рожкова // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2009. - №3. – С. 30-37.

25. Дементьев, С.В. Влияние пробиотиков, тонизирующих препаратов, минеральных добавок и средств природного происхождения на молочную продуктивность коров // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2010. – №3 – С.95–97.

26. Джулай, М.А. Морфологические изменения в гонадах при экспериментальном гипоселенозе / М.А. Джулай, Л.И. Родионова, А.И. Щербак // Экология и здоровье детей России: междунар. науч.-практ. конф. – Смоленск, – 2000. – С. 98-99.

27. Дзагуров Б. А., Журавлева И. О., Кцоева З. А. Влияние рН среды на активность пищеварительных ферментов химуса двенадцатиперстной кишки цыплят-бройлеров при бентонитовых подкормках. Известия Горского государственного аграрного университета, 2013, 3(50): 131-133.

28. Дмитроченко, А.П. Минеральное питание сельскохозяйственных животных: справочник / А.П. Дмитроченко. – М. : Колос, 1973. – С. 15-20.

29. Дмитроченко, А.П., Пшеничный. Кормление сельскохозяйственных животных: справочник / А.П. Дмитроченко, П.Д. Пшеничный. – Л. : Колос, 1975.
30. Егоров И.А., Петросян А., Андрианова Е.Н Био-хром ТМ в кормлении птицы. Птицеводство, №12, 2001, С.3-5.
31. Егоров И., Пономаренко Ю. Использование йода и селена в комбикормах кур-несушек. Комбикорма, №3, 2007, С. 79-80.
32. Ершов Д.Ю., Киппер А.И., Боровикова Л.Н., Гаркушина И.С., Матвеева Н.А., Писарев О.А. Равновесие сорбции химотрипсина на наночастицах селена / Сорбционные и хроматографические процессы, 2011, 6 (11): 923-925.
33. Заводчиков, Н. Д. Решение современных проблем кормопроизводства – путь к эффективному развитию животноводства / Н. Д. Заводчиков, Е. В. Ермош // Известия оренбургского государственного аграрного университета. 2009. – №4. – С. 93-95.
34. Зайналабдиева, Х. М. Влияние микроэлементов (Co, Cu, Zn, Fe, Mn) в виде неорганических солей и комплексонатов на рост и развитие выращиваемых бычков / Х. М. Зайналабдиева // Автореферат на соискание ученой степени канд. биол. наук. – Тверь. 2004. – С. 24.
35. Иванов, М.Ф. Порода и корм // Полн. собр. соч. – М.: Колос, 1963. – Т.1 – С. 297-304.
36. Имангулов, Ш.А. Повышение качества яиц / Ш.А. Имангулов, А.Ш. Кавтарашвили, М.Л. Бебин. – Сергиев Посад : ВНИТИП, 1999. – 30 с.
37. Иммунофармакология микроэлементов / А.В. Кудрин, А.В. Скальный, А.А. Жаворонков [и др.]. – М.: КМК, 2000. – 537 с.
38. Казбулатов, Г.М. Особенности минерального питания стельных сухостойных коров в Республике Башкортостан / Г.М. Казбулатов // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2010. – №6. – С.19–22.

39. Калашников, А.П. Нормы и рационы кормления с.-х. животных / А.П. Калашников, В.И. Фисинин, В.В. Щеглов, Н.И. Клейменов. – М.: Россельхозакадемия, 2003. – 283 с.
40. Капланский, С.Я. Минеральный обмен / С.Я. Капланский. – М.; Л., 1938. – 342 с.
41. Климова, Е. В. Комплексная оценка органических форм эссенциальных микроэлементов цинка, меди, марганца и хрома в опытах *in vitro* и *in vivo* [комплексы с ферментативными гидролизатами пищевых белков для лечебно-профилактического питания] / Е. В Климова // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 2008. – №4. – С. 12-17.
42. Кремптон, Э.У. Практика кормления сельскохозяйственных животных / Э.У. Кремптон, Л.Э. Харрис. – М.: Колос, 1972. – 372 с.
43. Кириченко, И.В. Особенности углеводного обмена у бескрылых утят / И.В. Кириченко, Б.В. Рубан // Повышение продуктивности с.-х. животных. – 1973. – С. 148-152.
44. Крисанов, А.Ф. Технология переработки животных и птицы / А.Ф. Крисанов, В.Н. Пронин, А.Н. Федаев. – Саранск: Из-во Морд. ун-та, 1995. – 105 с.
45. Костин, А.П. Физиология сельскохозяйственных животных / А.П. Костин. – М., «Колос», 1974. – 301 с.
46. Куваева И.Б. Обмен веществ организма и кишечная микрофлора. М., 1976.
47. Кузнецова, К.А. Роль микроэлементов в организме крупного рогатого скота/ К.А. Кузнецова, В.Н. Халина, М.С. Дюмин // В сб.: Современные инновационные подходы к решению актуальных ветеринарных проблем в животноводстве. – 2017. – С.183–190
48. Координационные соединения металлов в медицине / Е.Е. Крисс [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1986. – 216 с.

49. Куваева И.Б. Обмен веществ организма и кишечная микрофлора. Медицина, 1976, 248 с.
50. Кудашев, Р. Белково-витаминно-минеральные добавки для молочных коров / Р.Кудашев, М. Чабаев // Молочное и мясное скотоводство. – 2009. – №1. – С.26–27.
51. Кузнецова, К.А. Роль микроэлементов в организме крупного рогатого скота/ К.А. Кузнецова, В.Н. Халина, М.С. Дюмин // В сб.: Современные инновационные подходы к решению актуальных ветеринарных проблем в животноводстве. – 2017. – С.183–190.
52. Куликов, Л.В. История и методология зоотехнической науки: учеб. пособие / Л. В. Куликов. – М.: Изд-во РУДН, 2000. – 145 с.
53. Куликов, Л.В. Промышленные кроссы и аборигенные популяции сельскохозяйственной птицы в тропиках / Л.В. Куликов // Тропическое птицеводство. – М. : Изд-во ун-та дружбы народов, 1988. – Гл. 3. – С. 41-67.
54. Лебедев С.В., Гавриш И.А., Губайдуллина И.З. Морфо-биохимические показатели и активность пищеварительных ферментов у крыс линии Wistar под влиянием различных источников хрома. Сельскохозяйственная биология, – 2019. – 54(2). – 304 с.
55. Лебедев С.В., Губайдуллина И.З., Вершинина И.А., Макаева А.М., Климова Т.А., Богадица Т.П., Соколай С.Л. Особенности использования хрома как кормовой добавки в рационе цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. - 2019. - №4. - С. 23-32.
56. Лебедев С.В., Гавриш И.А., Губайдуллина И.З., Шабудин С.В. Биологические эффекты, связанные с поступлением в организм цыплят-бройлеров наночастиц хрома в разной дозировке / С.В. Лебедев, И.А. Гавриш, И.З. Губайдуллина, С.В. Шабудин // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54. – № 4. – С. 820-831.
57. Лысов, В.Ф. Особенности функциональных систем и основы этологии сельскохозяйственной птицы / В.Ф. Лысов, В.И. Максимов. – М.: Агроконсалт, 2003. – 96 с.

58. Манелля, А. И. О производстве кормов и их использовании в животноводстве в 2000–2006 гг. / А. И. Манелля // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2007. – №3. – С. 45-51.
59. Маслиев, И.Т. Корма и кормление сельскохозяйственной птицы: справочник / И.Т. Маслиев. – М.: Колос, 1965. – 102 с.
60. Методика проведения балансовых опытов. Томмэ М.Ф. Обмен веществ и энергии у сельскохозяйственных животных. – М.: Госсельхозиздат, 1949. – 320 с.
61. Методика зоотехнического анализа. Лукашек А.А., Тащилин В.А. Зоотехнический анализ кормов. – М.: Колос, 1965. – 216 с.
62. Маслиева, О.И. Анализ качества кормов и продуктов птицеводства. – М.: Колос, 1970. – 176 с.
63. Методические рекомендации по кормлению сельскохозяйственной птицы / Под общ. ред. В. И. Фисинина. – ВНИТИП. Сергиев Посад, – 2009. – 4143 с.
64. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы / Под общ. ред. В. И. Фисинина. – ВНИТИП. Сергиев Посад, – 2004. – 42 с.
65. Микулец, Ю.И. Взаимосвязь витамина А и микроэлементов (Fe, Cu, Zn) в организме цыплят-бройлеров 1-10 сут. возраста / Ю.И. Микулец // Актуальные проблемы биологии в животноводстве : тез. докл. III Междунар. конф. – Боровск, 2000. – С. 331-332.
66. Микулец, Ю.И. Обмен и распределение железа в организме цыплят-бройлеров под влиянием витаминов Е и С / Ю.И. Микулец // Сельскохозяйственная биология. – 2003. – № 6. – С. 109-110.
67. Микулец, Ю.И., и др. Биохимические и физиологические аспекты взаимодействия витаминов и биоэлементов. – М., 2004. – 192 с.
68. Мусулькин, Д.Р. Влияние хрома на удои коров-первотелок / Д.Р. Мусулькин, В.А. Кокорев, А.Н. Федаев и др. // Современные научные

тенденции в животноводстве Сборник статей Международной научно - практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения П.Г. Петского: В 2-х частях. – 2009. – С. 156–158.

69. Мымрин, И.А. Бройлерное птицеводство / И.А. Мымрин - М.: Россельхозиздат, – 1985. – 223 с.

70. Наумова, А.А. Потребность лактирующих коров в минеральных веществах / А.А. Наумова, Т.Л. Филатова, Т.А. Шеховцова // Современные проблемы рационального использования ресурсов в АПК. Сборник трудов конференции. – 1999. – С. 134.

71. Никонов, И. Н. Наноразмерное железо – кормовая добавка для сельскохозяйственной птицы / И. Н. Никонов, Ю. Г. Фолманис, Г. Э. Фолманис, Л. В. Коваленко, Г. Ю. Лаптев, И. А. Егоров, В. И. Фисинин, И. Г. Тананаев // Доклады Академии наук. 2011. – Т.440. – №4. – С. 565-569.

72. Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. – СПб.: Наука, 2008. – 544 с.

73. Овсянников, А.И. Основы опытного дела в животноводстве. – М.: Колос, – 1976. – 320 с.

74. Олль, Ю.К. Минеральное питание в различных природно-хозяйственных условиях / Ю.К. Олль. – Л.: Колос. – 1967. – 208 с.

75. Околелова, Т.М. Кормление сельскохозяйственной птицы / Т.М. Околелова. - М.: ВО Агропромиздат, 1990. – 110 с.

76. Пенионжкевич, Э. Э. Сельскохозяйственная птица: моногр. / Э. Э. Пенионжкевич. – М. : Наука, 1962. – 540 с.

77. Пищевое поведение животных при разных формах баланса незаменимых аминокислот / В.Г. Рядчиков, И.В. Тарабрин, Н.П. Радуль, Р.Х. Зиганшин // Сельскохозяйственная биология. – 2005. – № 5. – С. 3-13.

78. Попов, И.С. Кормление сельскохозяйственных животных: справочник / И. С. Попов. – М. : Сельхозгиз, 1951. – 550 с.

79. Попов, И.С. О некоторых дискуссионных вопросах в науке о кормлении сельскохозяйственных животных / И.С. Попов // Вопросы кормления с.-х. животных. – М. : Сельхозгиз, 1954. – С. 84.
80. Раднатаров, В.Д. Нарушения обмена веществ у овец забайкалья и меры их профилактики / В.Д. Раднатаров, С.Н. Балдаев // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2012. – №1. – С.24–28.
81. Рансбергер К. Теория системной энзимотерапии. Опыт и перспективы системной энзимотерапии, 2003, I: 5-18.
82. Рассолов, С. Н. Баланс азота, кальция и фосфора в рационе ремонтных свинок при скармливании препаратов селена и йода в комплексе с пробиотиком / С. Н. Рассолов, А. М. Еранов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – №10 (84). – С. 54–56
83. Рядчиков, В.Г. Факториальный метод определения потребности свиней в лизине / В.Г. Рядчиков // Сб. науч. тр. СКНИИЖ. – Краснодар, 1986. – С. 26-36.
84. Рядчиков, В.Г. Аминокислотное питание свиней: рекомендации / В.Г. Рядчиков, М.О. Омаров, Б.Д. Кальницкий. – М., 2000. – 62 с.
85. Рядчиков, В.Г. Питание высокопродуктивных коров / В.Г. Рядчиков, Н.И. Подворок, С.А. Потехин. – Краснодар: Изд-во КубГау, 2002. – 82 с.
86. Рядчиков, В.Г. Производство и рациональное использование белка (от Т. Осборна до наших дней) / В.Г. Рядчиков // Аминокислотное питание жвачных и проблема белковых ресурсов. – Краснодар: Изд-во КубГау 2005. – С. 17-70.
87. Седило, Г.М. Интенсивность метаболических процессов в рубце дойных коров при использовании в кормлении стандартной и экспериментальной кормовых добавок / Г.М. Седило, М.И. Полулих, Я.С. Вовк // Бюлопярварин. – 2014. – Т.16. - №16. – С. 122–129.

88. Селянский, В.М. Анатомия и физиология сельскохозяйственной птицы / В.М. Селянский. - М.: Агропромиздат, 1986. – 315 с.
89. Семенов, М.П. Повышение полноценности кормления коров с использованием премиксов на основе природных бентонитов / М.П. Семенов, А.В. Ферсуни, Е.В. Кузьмина // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. – 2014. – Т.1. – №3. – С. 263–268.
90. Сидоренко, С.С. Поведенческие особенности ремонтного молодняка при использовании в кормлении пророщенного зерна / Аграрная наука ЕВРО-Северо-Востока. – 2013. – №1. – С. 39–43.
91. Синещев, А.Д. Биология питания сельскохозяйственных животных: моногр. / А.Д. Синещев. – М.: Колос, 1965. – 399 с.
92. Сизова Е.А. Обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров при использовании в питание ультрадисперсных препаратов-микроэлементов. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Всероссийский научно-исследовательский институт мясного скотоводства. Оренбург, 2017 – 344 с.
93. Сизова, Е.А., Бирюкова, М.С., Данилова, Ю.С. Эффективность применения наноразмерных форм микроэлементов в кормлении цыплят-бройлеров // Нанотехнологии в сельском хозяйстве: перспективы и риски: материалы междунар. науч.-практ. конф., (г. Оренбург, 26-27 сент. 2018 г.) / под общ. ред. чл.-корр. РАН С.А. Мирошникова. Оренбург: Изд-во ФНЦ БСТ РАН, –2018. – С. 145- 149.
94. Сизова, Е.А., Яшева, Е.В. Сравнительная продуктивность цыплят-бройлеров при инъекционном введении разноразмерных ультрадисперсных частиц железа // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т. 102. – № 1. – С. 6-21.
95. Сизова, Ю. В. Биологическая эффективность использования белковых добавок в кормлении молочных коров / Ю.В. Сизова // Вестник

Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова - Улан-Удэ. - 2015. - № 2 (39). - С. 42-47.

96. Скопичев, В.Г. Морфология и физиология животных /В.Г. Скопичев, Б.В. Шумилов. -СПб.: Издательство «Лань», – 2004. – 416 с.

97. Смоляр, В.И. Рациональное питание / В.И. Смоляр. – Киев Наукова Думка, – 1991. – 368 с.

98. Солошенко, В.А. Использование передовых технологий содержания и кормления животных / В.А. Солошенко // Достижения науки и техники АПК. – Москва. – 2007. – №5. – С. 33–34.

99. Сравнительные испытания ультрадисперсного сплава, солей и органических форм Cu и Zn как источников микроэлементов в кормлении цыплят-бройлеров / Е.А. Сизова, С.А. Мирошников, С.В. Лебедев, Ю.И. Левахин, И.А. Бабичева, В.И. Косилов // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – 53(2). – С. 393-403.

100. Стрекозов Н.И. и др. Прогрессивные технологии в скотоводстве / Н.И. Стрекозов и др. // Зоотехния. 2002. – №2. – С.2–5.

101. Танатаров, А.Б. Микроэлементы в кормлении сельскохозяйственной птицы / А. Б. Танатаров // Микроэлементы в биологии и их применение в медицине и в сельском хозяйстве. – 1988. – Т. 3. – С. 212-213.

102. Тляумбетова, Р. Ф. Влияние сибайского цеолита и диаммоний-фосфата на молочную продуктивность коров / Р. Ф. Тляумбетова, Х. Г. Ишму-ратов // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2016. – №2(14). – С.29-36.

103. Торопцев И.В., Ещенко В.А. Инкреторная функция поджелудочной железы. - Томск: Издательство Томского университета, – 1981. – 127 с.

104. Уголев А.М. Пищеварение и его приспособительная эволюция. - М.: Высшая школа, – 1961. –306 с.

105. Улитко, В. Е. Инновационные подходы в решении проблемных вопросов в кормлении сельскохозяйственных животных / В.Е. Улитко //

Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии – 2014. – №4(28). – С.136–147.

106. Фатхутдинова, Л. М. Токсичность искусственных наночастиц / Л. М. Фатхутдинова, Т. О. Халиуллин, Р. Р. Залялов // Казанский медицинский журнал. 2009. – Т.90. – №4. – С. 578-584.

107. Фисинин В.И., Егоров И.А., Драганов И.Ф. Кормление сельскохозяйственной птицы: учебник. // ГЭОТАР-Медиа. – 2011. – С. 344.

108. Фисинин В.И. Методические указания по оптимизации рецептов комбикормов для сельскохозяйственной птицы. / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Ленкова Т.Н., Околелова Т.М., Игнатова Г.В., Шевяков А.Н. и др. ВНИТИП – М., 2009 – 80 с.

109. Фисинин, В. И. Селен в кормлении птицы: Методические рекомендации / Разраб. В. И. Фисинин, Т. М. Околелова, И. А. Егоров, Т. Т. Папазян, А. В. Кулаков, П. А. Кулаков, В. Н. Бевзюк, С. П. Савченко, И. Салахбеков; под общей редакцией академика РАСХН В.И. Фисинина и д-ра биол. наук, проф. Т.М. Околеловой // ВНИТИП – Сергиев Посад: МНТЦ «Племптица», 2005. – 30 с.

110. Фисинин В.И., Егоров И.А., Вертипрахов В.Г., Грозина А.А., Ленкова Т.Н., Манукян В.А., Егорова Т.А. Активность пищеварительных ферментов в дуоденальном химусе и плазме крови у исходных линий и гибридов мясных кур при использовании биологически активных добавок в рационе. Сельскохозяйственная биология, 2017, том 52, № 6, с. 1226-1233

111. Хеннинг, А. Минеральные вещества. Витамины. Биостимуляторы в кормлении сельскохозяйственных животных / А. Хеннинг. – М. : Колос, 1976. – 560 с.

112. Химический состав пищевых продуктов. В 2 кн. : справочник / под ред. проф. И.М. Скурихина, проф. М.Н. Вогарева. –2-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, –1987. – С.23-29.

113. Хорьков, С.С. Профилактика нарушения обмена веществ у крупного рогатого скота / С.С. Хорьков, Е.Н. Балдина // Ветеринарный врач. – 2003. – № 1 (13). – С. 32–33.
114. Хохрин, С.Н. Кормление сельскохозяйственных животных. / С.Н. Хохрин // М.: КолосС, 2004. – 692 с.
115. Цюпко, В.В. Принципы нормирования кормления жвачных животных на основе содержания переваримой, доступной для обмена и чистой энергии в рационе / В.В. Цюпко, В.В. Пронина // С.-х. биология. – 1986. – № 3. – С. 111-120.
116. Чирвинский, Н.П. Изменения сельскохозяйственных животных под влиянием обильного и скудного питания в молодом возрасте: сб. науч. тр. / Н. П. Чирвинский. – М.: Сельхозиздат, –1949. – Т. 1 – С. 125-142.
117. Эрнст, Л.К. Животноводство России 2001-2100 /Л.К. Эрнст //Зоотехния. 2001. - № 10. - С. 2-8.
118. Шишкин, Г.И. Современное состояние и тенденция развития молочного животноводства В Российской Федерации / Г.И. Шишкин // Молочное и мясное скотоводство. 2002. - №2. - С. 13-14.
119. Ярмоц, Л.П. Полноценное кормление высокопродуктивного молочного скота /Л.П. Ярмоц. Курган, 2002. - 160 с.
120. Ярмоц, Л.П. Влияние биоконплексов на переваримость корма и молочную продуктивность / Л.П. Ярмоц, Г.А. Ярмоц, А.С. Иванова // Главный зоотехник. - 2011. - № 5. - С.13-16.
121. Ярмоц, Г.А. Влияние органического селена на перевариваемость питательных веществ рациона и молочную продуктивность коров / Г.А. Ярмоц, Е.И. Жантасов // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство: ежемесячный научно-практический журнал. – 2012. – №7. – С. 19–21.
122. Ярмоц, Г. А. Влияние органических форм микроэлементов на гематологические показатели и продуктивность коров в период раздоя /Г. А.

Ярмоц // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2013. – №3. – С. 12-17.

123. Ярмоц, Л.П. Обмен энергии и азота у лактирующих коров при использовании в кормлении минерального премикса, обогащенного аминокислотами / Л.П. Ярмоц, Ю.А. Петрова // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2014. – № 1. – С.29–34.

124. Яушева, Е. В. Использование наночастиц металлов-микроэлементов в животноводстве: перспективы и угрозы (обзор) / Е. В. Яушева // Вестник мясного скотоводства. 2013. – № 3(81). – С. 7-11.

125. Anderson R.A., Bryden N.A., Polansky M.M. Lack of toxicity of chromium chloride and chromium picolinate in rats. J Am Coll Nutr, 1997, 16:273–279.

126. Anderson R (1987) Chromium. in: Trace elements in human and animal nutrition, Mertz, W. 5th Ed, Vol. 1, Chapter 7, Academic Press Inc., San Diego, CA., USA., ISBN-13: 978–0124912519, pp: 225–244

127. Anderson R.A., Kozlovsky A.S.. Chromium intake, absorption and excretion of subjects consuming self-selected diets. Am. J. Clin. Nutr, 1985, 41:571–77.

128. Anke M, Jaritz M, Holzinger S, Arnhold W, Müller R, Angelow L, Choppe C (2001) Nutrients, macro-,trace-,andultratrace elements inthefoodchainofmouflonsandtheir mineralstatus.In: Nahlik A, Uloth W (eds), Proceedings of the third international symposium on Mouflon, Sopron, pp 262–280

129. Accinni, R. et.al. Effects of combined dietary supplementation on oxidatve and inflammatory status in dyslipidemic subjects // Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis. – 2006. – Vol. 16, N2. – P. 121-127.

130. Ani M., Moshtaghie A.A. The effect of chromium on parameters related to iron metabolism. Biol. Trace Elem. Res, 1992, 32:57–64.

131. Anon. Mineral, trace element and vitamin allowance for ruminant livestock // Rec. Adv. in animal. Nutrit. – London, 1984. – P. 113–142.

132. Arakha M., Pal, S., Samantarrai D., Panigrahi T. K., Mallick B. C., Pramanik, K., Jha, S. Antimicrobial activity of iron oxide nanoparticle upon modulation of nanoparticle-bacteria interface. *Scientific reports*, 2015, 5: 14813 (doi: 10.1038/srep14813).
133. ArvizuRR, DomínguezIA, RubioMS, BórquezJL, PinosRodríguezJM, GonzálezM, JaramilloG Effects of genotype, level of supplementation, and organic chromium on growth performance, carcass and meat traits grazing lamb. *Meat Sci* 88 – 2011 – P. 404–40
134. ARC. The nutrient requirements of farm livestock. Ruminants. – Agricultural Research Council. – London, 1964. – N. 2.
135. Armstrong, D.G., Blaxter K.L. // *British J. Nutr.* – 1957. – V. 11, N 4. – P. 413-425.
136. Arakha M., Pal S., Samantarrai D., Panigrahi T.K., Mallick B.C., Pramanik K., Jha S. Antimicrobial activity of iron oxide nanoparticle upon modulation of nanoparticle-bacteria interface. *Scientific Reports*, 2015, 5: 14813.
137. Bagchi D, Stohs SJ, Downs BW, Bagchi M, Preuss HG Cytotoxicity and oxidative mechanisms of different forms of chromium. *Toxicology*. 2002. 180:5–2
138. Batic M, Raspor P (1998) Uptake and bioaccumulation of Cr (III) in yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Technol Biotechnol* 36:291–297
139. Ban C., Park S.J., Lim S., Choi S.J., & Choi Y.J. (2015) Improving flavonoid bioaccessibility using an edible oil-based lipid nanoparticle for oral delivery. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 5266–72.
140. Blaxter, K. L. The energy metabolism of ruminates / K. L. Blaxter // Zondon Hutehininson, – 1962. – 547 pp.
141. Brady D, Letebele B, Duncan JR, Rose PD (1994) Bioaccumulation of metals by *Scenedesmus*, *Selenastrum* and *Chlorella* algae. *Water SA* 20:213–21
142. Brown M Harnessing chromium in the fight against diabetes. *Drug Discov Today*. 2003. 8:962–963

143. Bielicka A, Bojanowska I, Wiśniewski A (2005) Two faces of chromium-pollutant and bioelement. *Pol J Environ Stud* 14:5–10
144. Cantu Y, Remes A, Reyna A, Martinez D, Villarreal J, Ramos H et al. Thermodynamics, kinetics and activation energy studies of the sorption of chromium (III) and chromium (VI) to a Mn₃O₄ nanomaterial. *Chem Eng J*. 2014. 254:374–383
145. Chen G, Liu P, Pattar GR, Tackett L, Bhonagiri P, Strawbridge AB, Elmendorf JS (2006) Chromium activates glucose transporter 4 trafficking and enhances insulin-stimulated glucose transport in 3T3-L1 adipocytes via a cholesterol-dependent mechanism. *Mol Endocrinol* 20: 857–870
146. Eisler R (1986) Chromium hazards of fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. U.S. Fish and Wildlife Service. Biological report No. 6 (1.6), 85 pp
147. Eisler R (2000) Chromium. *Handbook of chemical risk assessment: health hazards to humans, plants, and animals*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp 45–92
148. Ezzat, W., Abdallah, E.A., Rizk, A.M., Ouda, M.M.M., Raga, E.A. Impact of chromium picolinate supplementation on productive performance, immune response and heat shock proteins of broiler chickens under heat-stress condition. *Egyptian Poultry Science*, 2017. 37(2):559-583.
149. Ghazi, S., Habibian, M., Moeini, M. M. & Abdolmohammadi, A. R. 2012. Effects of Chromium Picolinate Supplementation on Growth Performance, Small Intestine Morphology and Antioxidant Status in Ducks Under Heat Stress Conditions. *International Journal of Morphology*. 36(1):226-234, ISSN: 0717-9367, DOI: 10.4067/S0717-95022018000100226.
150. Ghejua M., Balcub I. Assisted green remediation of chromium pollution. *Journal of Environmental Management*. – 2017. – 203(3). – P. 920-924
151. Gładysz-Płaska A, Majdan M, Pikus S, Sternik D. Simultaneous adsorption of chromium (VI) and phenol on natural red clay modified by HDTMA. *Chem Eng J*. – 2012. – 179. – 140-150.

152. Ginsberg HN (2000) Insulin resistance and cardiovascular disease. *J Clin Invest* 106:453–458
153. Dalólio, F.S., Albino, L.F.T., Silva, J.N., Campos, P.H.R.F., Lima, H.J.D., Moreira, J. & Ribeiro Junior, V. 2018. Dietary chromium supplementation for heat-stressed broilers. *World's Poultry Science Journal*. 74(1):101-116. DOI:10.1017/ S0043933917001064.
154. Grela ER, Studziński T, Rabos A. The role of chromium in human and animals nutrition. *Med Wet*. 1997. 53:312–315 (in Polish)
155. Davda J., Labhasetwar V. Characterization of nanoparticle uptake by endothelial cells. *International Journal of Pharmaceutics*, – 2002, – 233(1-2). – 51-59.
156. Doisy R.J., Streeten D.H.P., Souma M.L., Kalafer M.E., Rekant S.L., Dalakos T.G. Metabolism of chromium 51 in human subjects (Vol. 155). Marcel Dekker, NY, – 1971. pp. 155–68.
157. Drexler, K. E. Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology / K. E. Drexler // New York: Anchor-Doubleday. 1986. – P. 298.
158. Feng Z.V., Gunsolus I.L., Qiu T.A., Hurley K.R., Nyberg L.H., Frew H., Torelli M.D. Impacts of gold nanoparticle charge and ligand type on surface binding and toxicity to Gram-negative and Gram-positive bacteria. *Chem. Sci.*, – 2015. – 6(9). – 5186-5196.
159. Dhal B, Thatoi H.N, Das N.N, Pandey B.D. Chemical and microbial remediation of hexavalent chromium from contaminated soil and mining metallurgical solid waste: a review. *J Hazard Mater*. 2013. 250–251:272–291
160. Frank A, Anke M, Danielsson R (2000) Experimental copper and chromium deficiency and additional molybdenum supplementation in goats. I. Feed consumption and weight development. *Sci Total Environ* 249:133–142
161. Hasan H.G., Mahmood T.J., Ismael P.A. Studies on the relationship between chromium (III) ion and thyroid peroxidase activity in sera of patients with

thyroid dysfunction. *Ibn AL-Haitham Journal for Pure and Applied Science*. – 2017. – 24(2). – 1-10.

162. Haq K., Irfan M., Masood M., Saleem M., Iqbal T., Ahmad I., Khan M. A., Zaffar M., Irfan M. Enhanced room temperature ferromagnetism in Cr-doped ZnO nanoparticles prepared by auto-combustion method. *Journal of Semiconductors*. – 2018. – C. 1-8.

163. Henning, A., Wicke, G. *Arch. Tierernähr*, – 1970. – P. 13-14.

164. Herrán, Y., C. Gutiérrez-Caballero, M. Sánchez-Martín, T. Hernández, A. Viera, J.L. Barbero, E. de Álava, D.G. de Rooij, J.Á. Suja, E. Llano, and A.M. Pendás. 2011. The cohesin subunit RAD21L functions in meiotic synapsis and exhibits sexual dimorphism in fertility. *EMBO J*. 30:3091–3105.

165. Hua Y, Clark S, Ren J, Sreejayan N (2012) Molecular mechanisms of chromium in alleviating insulin resistance. *J Nutr Biochem* 23:313–319

166. Islam E, Yang X, He Z, Mahmood Q. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *J Zhejiang Univ Sci B*. 2007. 8:1–13

167. Jani P, Halbert GW, Langridge J, Florence AT (1990) Nanoparticle uptake by the rat gastrointestinal mucosa: quantitation and particle size dependency. *J Pharm Pharmacol* – 42 – 821-826.

168. Jianlong W, Zeyu M, Xuan Z (2004) Response of *Saccharomyces cerevisiae* to chromium stress. *Process Biochem* 39:1231–1235

169. Juhnke S, Peitsch N, Hübener N, Grosse C, Nies DH (2002) New genes involved in chromate resistance in *Ralstonia metallidurans* strain CH34. *Arch Microbiol* 179:15–25

170. Juturu V, Komorowski JR (2003) Chromium compounds: cytotoxicity and carcinogenesis. Letter to the Editor. *Toxicology* 186:171–173

171. Krejpcio Z, Kurył T, Dębski B, Wójciak RW (2007) Effect of fructans and chromium(III) on blood glucose and insulin and beta-oxidation in lymphocytes of type 1 diabetes rats. *Med Wet* 63(Supp):1494–1496 (in Polish)

172. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, 2011. - p. 213
173. Kani, M. M. 2015. The Effects of Different Sources of Organic and Inorganic Chromium on Blood Parameters of Broiler Chickens. *Indian Journal of Science and Technology*. 8(28):1.
174. Kaszycki P, Fedorovych D, Ksheminska H, Babyak L, Wójcik D, Koloczek H (2004) Chromium accumulation by living yeast at various environmental conditions. *Microbiol Res* 159:11–17
175. Karajanagi S.S., Vertegel A.A., Kane R.S., Dordick J.S. Structure and function of enzymes adsorbed onto single-walled carbon nanotubes. *Langmuir*, 2004, 20(26):11594-11599.
176. Kornegay E.T., Wang Z., Wood C.M., Lindemann M.D. Supplemental chromium picolinate influences nitrogen balance, dry matter digestibility, and carcass traits in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*. – 1997. – 75(5). – 1319-1323.
177. Krzysik M, Grajeta H, Prescha A (2008) Chromium content in selected convenience and fast foods in Poland. *Food Chem* 107:208–212
178. Krzysik M, Grajeta H (2010) The role of chromium in etiopathogenesis of selected diseases. *Bromatol Chem Toksykol* 43:428–435 (in Polish)
179. Kawabata A., Matsunami M., Sekiguchi F. Gastrointestinal roles for proteinase-activated receptors in health and disease. *Review, Br. J. Pharmacol*, 2008, 153: 230-240.
180. Ksheminska H, Fedorovych D, Babyak L, Yanovych D, Kaszycki P, Koloczek H (2005) Chromium (III) and (VI) tolerance and bioaccumulation in yeast: a survey of cellular chromium content in selected strains of representative genera. *Process Biochem* 40:1565–1572
181. Kim, Y. H., Han, I. K., Choi, Y. J., Shin, I. S., Chae, B. J., Kang, T. H. Effects of dietary levels of chromium picolinate on growth performance, carcass

quality and serum traits in broiler chicks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 1996. 9(3): 341–347, ISSN: 1011-2367.

182. La Rue, D. C. Trace mineral source and quality / D. C. La Rue, M. D. Bernhardt // *Proceeding*. – 1987. – P. 1-13.

183. Lehninger, A. // *J. Biochem* – 1970. – P. 129.

184. Lewicki S, Rattman D, Kurył T, Snochowski M, Dębski B (2009) The effect of chromium (III) on fatty acid metabolism and insulin path related gene expression in mouse myocytes cells line C2C12. *Zywn Nauk Technol* 4:183–194 (in Polish)

185. Lewicki S, Zdanowski R, Krzyżowska M, Lewicka A, Dębski B, Niemcewicz M et al. The role of chromium III in the organism and its possible use in diabetes and obesity treatment. *Ann Agric Environ Med*. 2014. 21:331–335

186. Li, R., Zhou, Y., Li, Y., Guo, L., Zhang, Y. & Qi, Z. 2018. Effects of different levels of organic and inorganic chromium on growth performance and immunocompetence of broilers under heat stress. *Biological Trace Element Research*. 146(3):309–317

187. Lie T.F., Yeh H.S., Lu F.Y., Fu C.M. Nanoparticles of chromium picolinate enhance chromium digestibility and absorption. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2009. – 89(7). – 1164-1167.

188. Lien T.F., Yeh H.S., Lu F.Y., & Fu C.M. Nanoparticles of chromium picolinate enhance chromium digestibility and absorption. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2009, 89, 1164–1167.

189. Mantovani, A. Organic forms of trace elements as feed additives: Assessment of risks and benefits for farm animals and consumers / A. Mantovani, Ch. Frazzoli, F. Cubadda // *Pure & Applied Chemistry*. 2010. – V.82. – №2. – P. 393-407.

190. Mertz, W. Chromium in human nutrition: a review / W. Mertz // *Journal of Nutrition*. - 1993. - 626 p.

191. Schwarz, K., Mertz, W. A Glucose Tolerance Factor and Its Differentiation from Factor 3. *Arch. Biochem. Biophys*. 1957, 72, 515–518.

192. Staniek H, Kostrzevska-Poczekaj M, Arndt M, Szyfter K (2010) Genotoxicity assessment of chromium (III) propionate complex in the rat model using the comet assay. *Food Chem Toxicol* 48:89–92
193. Miller K. P., Wang L., Benicewicz B. C., & Decho A. W. Inorganic nanoparticles engineered to attack bacteria. *Chemical Society Reviews*, 2015, 44(21): 7787-7807
194. Motozono Y., Hatano K., Sugawara N., Ishibashi T. Effects of dietary chromium picolinate on growth, carcass quality and serum lipids of female broilers. *Nihon Chikusan Gakkaiho.* – 1998. – 69(7). – 659-665.
195. Muter O, Patmalnieks A, Rapoport A (2001) Interactions of the yeast *Candida utilis* and Cr (VI): metal reduction and its distribution in the cell and medium. *Process Biochem* 36:963–970
196. MikscheLW, LewalterJ(1997) Healthsurveillanceandbiologicaleffectmonitoringforchromiumexposed workers. *Regul Toxicol Pharm* 26:S94–S99
197. National Research Council (NRC) (1997). *The Role of Chromium in Animal Nutrition*. National Academy Press:Washington, DC, USA.
198. National Research Council (NRC) *Mineral tolerance of animals*. Second revised edition, Committee on minerals and toxic substances in diets and water for animals, Board on agriculture and natural resources, Division on earth and life studies. National Academy Press, Washington D.C, 2005.
199. Nasset, R.S. Role of digestion tract in the utilization of protein and amino acids / R. S. Nasset // *JAMA.* – 1957. – V. 164, N 2. – P. 172-177.
200. Nasset, R.S. Amino acids in gut contents during digestion in the dog / R. S. Nasset // *J. Nutr.* – 1962. – V. 72, N 2. – P. 11-31.
201. Nasset, R.S. The role of digestive tract in protein metabolism / R. S. Nasset // *Amer. J. Dig. Dis.* – 1964. – V. 9, N 3. – P. 175-181.
202. Navidshad, B., Pirsaraei, Z. A., Chashnidel, Y. Effects of dietary chromium polynicotinate supplementation on performance, fat deposition and plasma lipids of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*. 2009. 9(1):61–64, ISSN: 15944077, DOI: 10.4081/ijas.2010.e13.

203. Nriagu JO, Kabir A (1995) Chromium in the Canadian environment. *Environ Rev* 3:121–144
- O’Shea TJ, Everette AL, Ellison LE (2001) Cyclodiene insecticides, DDE, DDT, arsenic and mercury contamination of big brown bats (*Eptesicus fuscus*) foraging at a Colorado Superfund site. *Arch Environ Contam Tox* 40:112–120
204. Nies DH (2004) Essential and toxic effects of elements on microorganisms. In: Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoeppler M (eds) *Elements and their compounds in the environment*. Wiley-VCH Verlag GmbH&Co.KGaA, Weinheim, pp 257–276
205. Nielsen FH (2007) Summary: the clinical and nutritional importance of chromium – still debated after 50 years of research. *The Nutritional Biochemistry of Chromium (III)* Elsevier, pp 265–276
206. Nugara D., Edwards H.M. // *J. Nutr.* – 1963. – V. 80, N 2. – P. 181-184.
207. *Nutrition Business Journal*. NBJ’s Supplement Business Report 2003. San Diego, CA: Penton Media Inc; 2003.
208. Oberleas D., Harland B.F. Impact of phytic acid on nutrient availability. In: *Phytase in animal nutrition and waste management*. N.Y., 1996. : 77-84.
209. Okada S., Tsukada H., Tezuka M. Effect of chromium (III) on nucleolar RNA synthesis. *Biological Trace Element Research*. – 1989. – 21(1). – 35-39 (doi: 10.1007/BF02917234).
210. Onderci M., Sahin N., Sahin K., Kilic N. Antioxidant properties of chromium and zinc. *Biological Trace Element Research*. – 2003. – 92(2). – 139-149.
211. Orhan, C., Tuzcu, M., Defo Deeh, P., Sahin, N., Komorowski, J.R., Sahin, K. Organic Chromium Form Alleviates the Detrimental Effects of Heat Stress on Nutrient Digestibility and Nutrient Transporters in Laying Hens. *Biological Trace Element Research*. 2018. 1-9. Available:

212. OSHA – Occupational Safety and Health Administration (2006) Occupational exposure to hexavalent chromium, Final rule. Fed Regist 71:10099–10385
213. Pattar GR, Tackett L, Liu P, Elmendorf JS (2006) Chromium picolinate positively influences the glucose transporter system via affecting cholesterol homeostasis in adipocytes cultured under hyperglycemic diabetic conditions. *Mutat Res* 610:93–100
214. Prasad, A.S. Zinc and overview / A. S. Prasad // *Nutr.* – 1995. – V. 1. – P. 93-99.
215. Pechova A, Pavlata L. Chromium as an essential nutrient: a review. *Vet Med Czech.* 2007. 52:1–18
216. Peters H.J., Köhler H., Duck H.J., Günther K.R., Pankau H. Cadmium, cobalt, chromium, and experimental myocardial infarction. *Biol Trace Elem Res.* – 1982. – 4(2-3). – 241-243.
217. Peitzsch N, Eberz G, Nies DH (1998) *Alcaligenes eutrophus* as a bacterial chromate sensor. *Appl Environ Microbiol* 64:453–458
218. Peterson RL, Banker KJ, Garcia TY, Works CF (2008) Isolation of a novel chromium (III) binding protein from bovine liver tissue after chromium (VI) exposure. *J Inorg Biochem* 102:833–84
219. Preuss H.G., Grojec P.L., Lieberman & Anderson, R.A. (1997) Effects of different Cr compounds on blood pressure and lipid peroxidation in spontaneously hypertensive rats. *Clinical Nephrology.* – 47. – 325-330.
220. Piva, A., Meola, E., Gatta, P.P., Biagi, G., Castellani, G., Mordenti, A. L. & Mordenti, A. The effect of dietary supplementation with trivalent chromium on production performance of laying hens and the chromium content in the yolk. *Animal Feed Science and Technology.* 2003. 106(1-4):149-163.
221. Pollard GV, Richardson CR, Karnezos TP (2002) Effects of supplemental organic chromium on growth, feed efficiency and carcass characteristics of feedlot steers. *Anim Feed Sci Technol* 98:121–12

222. Rothman S., Liebow C., Isenman L.C. Conservation of digestive enzymes. *Physiol. Rev*, 2002, 82:1 – 18
223. Preuss HG, Lieberman S, Anderson RA, Grojec P: Effects of different chromium compounds on sugar-induced hypertension. *Clin Nephrol* 47: 325–330, 1997
224. Samanta S., Haldar S., Ghosh T. K. Production and carcass traits in broiler chickens given diets supplemented with inorganic trivalent chromium and an organic acid blend. *British poultry science*, 2008, 49(2): 155-163.
225. Sahin K., Sahin N., Onderci M., Gursu F., Cikim G. Optimal dietary concentration of chromium for alleviating the effect of heat stress on growth, carcass qualities, and some serum metabolites of broiler chickens. *Biological Trace Element Research*. – 2002. – 89(1). – 53-64.
226. Sahoo S.K., Labhasetwar V. Nanotech approaches to drug delivery and imaging. *Drug Discovery Today*. – 2003. – 8(24). – 1112-1120.
227. Shahid M., Shamshad S., Rafiq M., Khalid S., Bibi I., Niazi N.K., Dumat C., Rashid M.I. Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: a review. *Chemosphere*. – 2017. – 178. – 513-533.
228. Şahin K, Küçük O, Şahin N, Ozbey O (2001) Effects of dietary chromium picolinate supplementation on egg production, egg quality and serum concentrations of insulin, corticosterone and some metabolites of Japanese quails. *Nutr Res* 21:1315–1321
229. Sargeant T., Lim T.H., Jenson R.L. Reduced chromium retention in patients with hemochromatosis: a possible basis of hemochromatotic diabetes. *Metabolism*, 1979, 28:70–79
230. Shukla A., Shukla J.P. Hexavalent chromium induced alterations in the nucleic acids and protein metabolism in the liver of the fingerlings of freshwater siluroid, *Mystus (M.) vittatus* (Bl.) *Int. J. Pharm. Sci. Res.*, – 2016. – 10. – 20 (doi: 10.13040/IJPSR.0975-8232.7(6).2667-70).

231. Singh N, Uppal H, Chawla S, Singh S, Tripathy S (2015) An efficient and fast process for the removal of trivalent and hexavalent chromium from contaminated water using zinc peroxide nanomaterial. *Pharm Anal Acta* 6:412
232. Simonoff M., Llabador Y., Hamon C., Peers A.M., Simonoff G.N. Low plasma chromium in patients with coronary artery and heart diseases. *Biol. Trace Elem. Res.*, – 1984. – 6. – 431-439.
233. Sizova E.A., Miroshnikov S.A., Lebedev S.V., Kudasheva A.V., Ryabov N.I. On the prospects of nanopreparations based on the alloys of trace elements-antagonists (for example, Fe and Co). *Agricultural Biology*, 2016, 51(4), 553-562.
234. Sizova E.A., Miroshnikov S.A., Lebedev S.V., Levakhin Y.I., Babicheva I.A., Kosilov V.I. Comparative tests of various sources of microelements in feeding chicken-broilers. *Agricultural Biology [Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya]*. – 2018. – 53(2). – 393-403.
235. Slepicka P., Kasalkova N.S., Siegel J., Kolska Z., Bacakova L., Svorcik V. Nano-structured and functional-ized surfaces for cytocompatibility improvement and bactericidal action. *Biotechnology Advances*. – 2015. – 6(33). – 1120-1129.
236. Song RX, Barnes CJ, Zhang Z, Bao Y, Kumar R, Santen RJ (2004) The role of Shc and insulin-like growth factor 1 receptor in mediating the translocation of estrogen receptor alpha to the plasma membrane. *Proc Natl Acad Sci USA* 101:2076–2081
237. Speetjens J.K., Collins R.A., Vincent J.B., Woski S.A. The nutritional supplement chromium (III) tris (picolinate) cleaves DNA. *Chemical research in toxicology*, 1999, 12(6):483-487.
238. Suwalsky M, Castro R, Villena F, Sotomayor CP (2008) Cr (III) exerts stronger structural effects than Cr (VI) on the human erythrocyte membrane and molecular models. *J Inorg Biochem* 102:842–849

239. Tahami Z., Hosseini S.M., Bashtani M. Effect of organic acids supplementation on some gastrointestinal tract characteristics and small intestine morphology of broiler chickens. *Anim. Prod. Res.* – 2014. – 3(3). – 1-9.
240. Thacker U, Parikh R, Shouche Y, Madamwar D. Hexavalent chromium reduction by *Providencia* sp. *Process Biochem.* 2006. 41:1332–1337
241. Thor MY, Harnack L, King D, Jasthi B, Pettit J (2011) Evaluation of the comprehensiveness and reliability of the chromium composition of foods in the literature. *J Food Comp Anal* 24: 1147–1152
242. Toghyani, M., Khodami, A., Gheisari, A. A. Effect of organic and inorganic chromium supplementation on meat quality of heat-stressed broiler chicks. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences.* - 2008. - 3(2): 62–67, ISSN: 15574563, DOI: 10.3844/ajavsp.2008.62.67.
243. Tribovillard N, Algeo TJ, Lyons T, Riboulleau A. Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: an update. *Chem Geol.* 2006. 232:12–32
244. Ugolev A.M., & Kuzmina V.V. Digestive processes and adaptation in fish. Institute of Biology of Inland Waters. I.D. Papanin: Moscow. (In Russian), 1993.
245. Ugolev A.M. Membrane digestion: Polysubstrate processes, organization and regulation. Science: Moscow., 1972.
246. Vertegel A.A., Siegel R.W., Dordick J.S. Silica nanoparticle size influences the structure and enzymatic activity of adsorbed lysozyme. *Langmuir*, 2004,20(16), 6800-6807
247. Vincent J. The nutritional biochemistry of chromium (III). Elsevier, 2018.
248. Vincent JB, Stallings D. Chapter 1 – Introduction: a history of chromium studies (1955–1995). *The nutritional biochemistry of chromium.* Elsevier, Amsterdam, 2007. Pp. 1–40
249. Wang M.Q., Xu Z.R. Effect of chromium nanoparticle on growth performance, carcass characteristics, pork quality and tissue chromium in finishing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 17, 2004, pp. 1118–1122.

250. Wang M.Q., Xu Z.R., Zha L.Y., & Lindemann M.D. Effects of chromium nanocomposite supplementation on blood metabolites, endocrine parameters and immune traits in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 139, 2007, 69–80.
251. Wang Y, Liu Y, Wan H, Zhu Y, Chen P, Hao P, Cheng Z, Liu J. Moderate selenium dosing inhibited chromium (vi) toxicity in chicken liver. *J Biochem Mol Toxicol.* – 2017. – 31(8). – e21916.
252. Weksler-Zangen S, Mizrahi T, Raz I, Mirsky N. Glucose tolerance factor extracted from yeast: oral insulin-mimetic and insulin-potentiating agent: in vivo and in vitro studies. *Br J Nutr.* 2012. 108:875–882
253. Ward, T. L. Effect of dietary chromium picolinate on growth, nitrogen balance and body composition of growing broiler chicks. *Poultry Science.* 1993. 72(1): 37.
254. Wise JP, Wise SS, Little JE. The cytotoxicity and genotoxicity of particulate and soluble hexavalent chromium in human lung cells. *Mutat Res.* 2002. 517:221–229
255. Wise JP, Wise SS, Kraus S, Shaffiey F, Grau M, Chen TL et al Hexavalent chromium is cytotoxic and genotoxic to the North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*) lung and testes fibroblasts. *Mutat Res.* 2008. 650:30–38
256. Zaccaroni A, Andreani G, Ferrante MC, Carpena E, Isani G, Lucisano A (2008a) Metal concentrations in the liver and kidney of raptor species from the Calabria region, Italy. *Acta Vet Beograd* 58:315–324
257. Zha L, Zeng J, Sun S, Deng H, Luo H, Li W. Chromium(III) nanoparticles affect hormone and immune responses in heat-stressed rats. *Biol Trace Elem Res.* – 2009. – 129(1-3). – 157-169.
258. Zha LY, Zeng JW, Chu XW, Mao LM, Luo HJ. Efficacy of trivalent chromium on growth performance, carcass characteristics and tissue chromium in heat-stressed broiler chicks. *J Sci Food Agric.* 2009; 89:1782–1786. doi: 10.1002/jsfa.3656

259. Zhitkovich A (2011) Chromium in drinking waters: sources, metabolism and cancer risks. *Chem Res Toxicol* 24:1617–162

260. Yang, W.Z.; Xu, L.; Li, C.; Beauchemin, K.A., Short communication: Effects of supplemental canola meal and various types of distillers' grains on growth performance of backgrounded steers. *Can. J. Dairy Sci.*, – 2013. – 93 (2). – 281-286.

261. Yin RV, Phung OJ. Effect of chromium supplementation on glycated hemoglobin and fasting plasma glucose in patients with diabetes mellitus. *Nutr J.* 2015 Feb 13;14:14. doi: 10.1186/1475-2891-14-14.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Концентрация химических элементов в рационе цыплят–бройлеров,
мкг/г

Элемент	Стартовый рацион	Ростовой рацион
Al	58,51±5,85	50,94±5,09
As	0,11±0,013	0,12±0,014
B	15,71±1,57	11,91±1,19
Ca	5833±583	3518±352
Cd	0,08±0,013	0,08±0,012
Co	0,13±0,016	0,28±0,033
Cr	4,4±0,44	5,04±0,5
Cu	55,63±5,56	45,87±4,59
Fe	133±13	132±13
Hg	<0,0036	<0,0036
I	1,71±0,17	0,73±0,088
K	7135±714	5977±598
Li	0,09±0,013	0,1±0,015
Mg	2252±225	2039±204
Mn	129±13	115±12
Na	2048±205	2114±211
Ni	3,96±0,4	3,04±0,3
P	5686±569	5664±566
Pb	2,76±0,28	1,23±0,12
Se	0,22±0,026	0,24±0,029
Si	15,48±1,55	18,05±1,81
Sn	0,02±0,003	0,01±0,002
Sr	16,12±1,61	11,54±1,15
V	0,62±0,074	0,64±0,077
Zn	152±15	111±11