

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*



**ШОШИНА ОКСАНА ВЯЧЕСЛАВОВНА**

**Обмен веществ и мясная продуктивность бычков казахской  
белоголовой породы, выращиваемых на мясо при различном  
уровне хрома в рационе**

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

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

**Научный руководитель:**  
доктор биологических наук,  
член-корреспондент РАН  
Лебедев Святослав Валерьевич

Оренбург – 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	8
1.1 Использование минеральных добавок в животноводстве .....	8
1.2 Биологическая роль хрома в организме жвачных животных .....	15
1.3 Особенности влияния хрома на обмен веществ и формирование продуктивных качеств животных.....	25
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	29
2.1 Схема эксперимента и методика исследований .....	29
3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	37
3.1 Результаты лабораторных исследований «in vitro» .....	37
3.1.1 Изучение метаболических параметров в рубце при использовании различных форм хрома .....	37
3.1.2 Оценка активности рубцовой микробиоты и процессов метаболизма в рубце при дополнительном включении различных доз пиколината хрома .....	41
3.2 Результаты физиологического опыта при использовании в рационе бычков различных доз пиколината хрома .....	44
3.2.1 Корма и рационы кормления .....	44
3.2.2 Оценка переваримости питательных компонентов рациона .....	45
3.2.3 Обмен энергии и азота в организме подопытных животных.....	47
3.2.4 Обмен кальция, фосфора и хрома.....	50
3.2.5 Гематологические показатели подопытных животных.....	52
3.2.6 Особенности обмена химических элементов в организме бычков казахской белоголовой породы .....	56
3.3 Результаты научно-хозяйственного исследования на молодняке крупного рогатого скота.....	60
3.3.1 Содержание и кормление подопытных животных .....	60
3.3.2 Рост и развитие подопытных бычков .....	63
3.4 Мясная продуктивность и качество мяса.....	67
3.4.1 Убойные качества и морфологический состав туш.....	67
3.4.2 Химический состав мякоти и длиннейшей мышцы спины .....	69
3.5 Экономическая эффективность выращивания бычков .....	72
4 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ .....	74
5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	87
6 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ.....	89
7 ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	90
8 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	91
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	118

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** При выращивании мясного скота основополагающую ценность для обеспечения генетического потенциала имеет правильный набор кормов и разнообразный состав рациона по количеству и качеству составляющих ингредиентов. Недостаток или избыток нутриентов в рационе может отрицательно повлиять на состояние пищеварительной системы, ухудшением переваримости и биодоступности питательных компонентов корма и в целом привести к снижению продуктивности. Для решения проблемы в качестве модуляторов повышения доступности питательных компонентов используют химические элементы-катализаторы обменных процессов.

Одним из химических элементов участвующих в биохимических реакциях организма является хром, который занимает ведущее место в метаболизме углеводов, белков и липидов, способствует повышению пищеварения и иммунитета. Хром в органической форме в большей степени биодоступен, чем его неорганический аналог (Amata I.A. 2013; Senosi Y.A. 2018), что доказано в исследованиях (Кокорев В.А. и др., 2017; Лобков В.Ю. и др., 2019; Шейда Е.В. и др., 2018; Муратова А.Р. 2019; Фабер В. и др., 2020; Лебедев С.В. и др., 2020а; Horst E.A. et al., 2018; Vompadre F.V. et al., 2020). Дополнение рациона хромом смягчает отрицательное влияние стресса, поддерживает в пределах физиологической нормы глюкозу в крови, повышает потребление корма, нормализует кишечное пищеварение.

В этом плане актуальным является поиск оптимальных источников хрома, его комплексное изучение в плоскости проявления биологического действия на физиолого-биохимические функции организма.

**Степень разработанности темы.** В настоящее время проводятся научные исследования, направленные на совершенствование норм кормления по значимым микроэлементам (Калашников, А.П. и др., 2003; Кокорев В.А. и др., 2015), таких как хром. Биологическая роль хрома состоит в его эссенциальности, участии в метаболизме веществ у жвачных животных и важной позиции в

углеводном, белковом, жировом и ферментативном обменах (Фабер В. и др., 2020; Bompadre F.V. et al., 2020).

Пиколинат хрома является перспективной и популярной пищевой добавкой в питании человека и животных (Liu B. et al., 2016). Имеются подтверждения значительной биодоступности органического хрома в противовес неорганическому, в связи с уникальным хелатированием элемента карбоновыми кислотами, включая метионин (Lukaski H.C. et al., 2007).

Ввиду недостаточности информации о влиянии хрома на обменные процессы организма полигастричных животных и продуктивные качества, представленные исследования внесут определенный вклад по расширению спектра минеральных веществ в рационе жвачных животных.

**Цель и задачи исследований.** Целью исследования, выполняемого в соответствии с «Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2020-2023 годы» (№АААА-А19-119040290046-2) и грантом на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (№ 075-15-2024-550) являлось изучение обмена веществ и продуктивных качеств бычков казахской белоголовой породы при включении в рацион различных доз и источников хрома. А также подтвердить гипотезу о стимулирующем действии хрома на рубцовое пищеварение, обмен веществ и продуктивность крупного рогатого скота с целью разработки мероприятий по совершенствованию норм кормления крупного рогатого скота.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Изучить переваримость питательных веществ «in vitro» при использовании различных источников хрома;
2. Определить влияние хрома на степень использования азота, энергии, обмен макро- и микроэлементов в организме бычков;
3. Установить влияние различных доз хрома на гематологические показатели и вариабельность усвоения питательных веществ в организме бычков казахской белоголовой породы;

4. Изучить влияние пиколината хрома в составе рациона на интенсивность роста, химический состав мякоти и длинной мышцы спины бычков казахской белоголовой породы;

5. Дать экономическую оценку использования рационов с различным уровнем пиколината хрома при выращивании бычков казахской белоголовой породы.

**Научная новизна.** Впервые в исследованиях «in vitro» определена эффективная форма хрома и установлена оптимальная дозировка для крупного рогатого скота мясного направления продуктивности. На основании исследования «in vivo» доказано положительное влияние пиколината хрома на обмен веществ, морфологические и биохимические значения крови, усвоение химических элементов и мясную продуктивность. Научная новизна подтверждена патентом на изобретение РФ № 2751961 С1 от 21.07.2021 «Способ повышения переваримости питательных компонентов корма при включении в рацион крупного рогатого скота хрома».

**Теоретическая значимость работы** заключается в фактическом обосновании продуктивных эффектов связанных с применением органических источников хрома в рационе крупного рогатого скота мясного направления продуктивности. Подтверждена гипотеза стимулирующего действия хрома в органической форме на рубцовое пищеварение, обмен веществ и качество животноводческой продукции.

**Практическая значимость работы** складывается из современных идей использования различных источников и дозировок хрома в качестве модуляторов обмена веществ, продуктивных качеств полигастричных животных. Использование пиколината хрома в дозе 8 мг/кг СВ в рационе молодняка крупного рогатого скота при выращивании на мясо обеспечивает увеличение живой массы на 4 % при откорме до 18 месячного возраста и повышения рентабельности производства говядины на 1,3 %.

**Методология и методы исследования.** В эксперименте использовались стандартизированные техники зоотехнического, биохимического, физико-

химического анализа с использованием современного аналитического оборудования. Собранные цифровые значения обрабатывались через программный комплекс «Statistica 10.0».

#### **Основные положения, выносимые на защиту.**

- Переваримость сухого вещества и степень выраженности процессов метаболизма пищеварения в рубце зависит от различных форм хрома;
- Выбор пиколината хрома связан с биологической активностью в отличие от других форм этого микроэлемента;
- Применение пиколината хрома в качестве добавки к рациону бычков оказывает благоприятный эффект на процессы пищеварения, положительным балансом азота, энергией прироста и лучшим усвоением химических элементов;
- Оптимальная дозировка пиколината хрома в рационе бычков мясной породы улучшает морфологические и биохимические показатели крови, усиливает обмен нутриентов;
- Включение в рацион пиколината хрома позволяет повысить эффективность использования питательных веществ корма, увеличить продуктивность крупного рогатого скота и рентабельность производства говядины.

**Степень достоверности и апробация работы.** Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, основаны на фактических данных. Подготовка, биометрический анализ и интерпретация полученных результатов проведены с использованием современных методов обработки информации и статистического анализа. Основные положения работы доложены и обсуждены на заседании научных сотрудников и специалистов отдела кормления сельскохозяйственных животных имени профессора С.Г. Леушина ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Оренбург, 2020, 2021, 2022, 2023). Результаты исследования были представлены на научно-практических конференциях: «Молекулярно-генетические технологии анализа экспрессии генов продуктивности и устойчивости к заболеваниям животных» (Москва,

2021), «Роль ветеринарной и зоотехнической науки на современном этапе развития животноводства» (Ижевск, 2021), «От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК» (Екатеринбург, 2022), «Проблема адаптации организма человека и животных под влиянием различных экологических факторов» (Душанбе, 2022), «Актуальные проблемы ветеринарной медицины и биотехнологии» (Оренбург, 2022), «Наука будущего – наука молодых» (Оренбург, 2023), «Перспективы устойчивого развития аграрно-пищевых систем на основе рационального использования региональных генетических и сырьевых ресурсов» (Волгоград, 2023).

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследований внедрены на базе КФХ Пфейфер А.Г. с. Фёдоровка Акбулакского р-на Оренбургской области.

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1 Использование минеральных добавок в животноводстве

В организме животных минеральные вещества имеют важное физиологическое и биологическое назначение. В частности они образуют структурные ферменты, составляют основу определённых гормонов, которые стабилизируют процессы метаболизма и важные для жизни функции, повышая продуктивные качества животных (Ламанд Г. 2013; Ногаева В.В. и др., 2019). Характерная черта минеральных веществ – не способность синтезироваться в организме. Кроме того, основная часть жизненно-важных как макро-, так и микроэлементов не способны откладываться в живых организмах, в связи с чем отмечается недостаток не одного, а сразу нескольких минеральных веществ с последующей дестабилизацией в их соотношении с развитием алиментарных нарушений (Позывайло О.П. и др., 2014; Крупин Е.О. 2018).

Микроэлементы играют важную роль в иммунной функции и окислительном метаболизме. Различный уровень и источник микроэлементов в рационе не оказывает значительного краткосрочного воздействия на индексы окислительного метаболизма (Шагалиев Ф. и др., 2013). Молодняку крупного рогатого скота для сохранения интенсивного роста требуется значительно больше минеральных элементов, в отличие от взрослых животных. Если при временном недостатке организм взрослых животных может компенсировать из депо, тогда как у молодняка нехватка этих элементов отражается в снижении роста и развития. В случае дефицита в организме микроэлементов активность регуляторов и катализаторов обмена веществ резко снижается (Шейко И.П. и др., 2014; Корочкина Е.А. 2016). Многие минеральные вещества локализуются в селезенке, почках, легких и железах внутренней секреции (Лушников Н.А. и др., 2020).

Корма растительного происхождения составляют основу рациона, при этом ими нельзя удовлетворить потребность животных в минеральных

веществах. Имеются подтверждения, что разнообразные микроэлементы вместе с рационом способны ускорять ход минерального обмена, повышать переваривание и усвоение энергии с белком, а также интенсивность роста (Espinosa C.D. et al., 2019). В результате потребления животными кобальта усиливаются физиологические и биохимические процессы организма, в ходе чего улучшается качество продукции, так как кобальт необходим микроорганизмам рубца для образования витамина В12. В метаболизме млекопитающих витамин В12 является неотъемлемой частью двух ферментативных систем, участвующих в многочисленных реакциях, таких как метаболизм углеводов, липидов, некоторых аминокислот и ДНК. Железо в соединении с кобальтом повышает показатели роста и переваримости у животных (Лунева Р.А. и др., 2019; Gonzalez-Montaña J-R. et al., 2020).

Селен необходим для роста, развития и жизнедеятельности животных. Внесение в рацион селена приводит к усилению переваривания сухого и органического вещества, а также сырого протеина (Białek M. et al., 2019). Пищевые потребности крупного рогатого скота в селене оцениваются в 100 мкг/кг сухого вещества для мясного скота и в 300 мкг/кг сухого вещества для молочных коров. Рационы с высоким содержанием ферментируемых углеводов, нитратов, сульфатов, кальция или цианистого водорода отрицательно влияют на использование организмом селена, содержащегося в рационе (Краснословцева А.С. 2017; Mehdi Y. et al., 2016; Apperson K.D. et al., 2018).

Разнообразные соединения цинка способствуют задержке азота и переваривания жира, тем самым вызывают повышение роста животных (Такеев М.Э. и др., 2019; Cui H. et al., 2017). Цинк (Zn) рассматривается в системах животноводства как необходимый элемент, при коррекции на уровне менее чем 200 мг/кг. Это объясняется международными правилами ограничения максимального уровня добавок цинка в кормах ввиду его токсичности (Romeo A. et al., 2014). Разнородность биологического назначения цинка связано с мобилизацией ферментов, метаболизмом белков и углеводов, обновлением клеток крови, хорошими воспроизводительными способностями, оссификацией.

Цинк ингибирует некоторые ферменты, такие как пантотенатсинтетазу, креатинфосфорилазу, ацетилирующие ферменты (Стеклова А.Н. и др., 2017; Лобков В.Ю. и др., 2019). Независимо от формы цинка, его биоэффект выражается усовершенствованием расщепления сухого вещества, летучих жирных кислот, работы антиоксидантов, минимизацией рубцового аммиака (Hosseini-Vardanjani S.F. et al., 2020). Использование нано-ZnO вместо ZnO и Zn-метионина не оказывает влияния на рубцовый аммиак-N, сохраняет синтез микробного азота. По сравнению с контрольной диетой добавки Zn (22,6 мг/кг сухого вещества) увеличивали содержание N ( $P=0,037$ ) и снижали содержание аммиака в рубце ( $P=0,046$ ) (Alijani K et al., 2020). Добавление цинка ослабляет реакцию белков теплового шока и повышает иммунитет в мононуклеарных клетках периферической крови молочных коров (Sheikh A.A. et al., 2017). Помимо конструктивного задействования цинка в кормопроизводстве выявляются отрицательные моменты: рост тромбоцитов, триглицеридов, билирубина, общего белка, креатинина, мочевой кислоты, мочевины, и спад эритроцитов, лейкоцитов (Шейда Е.В. и др., 2020а).

Йод является незаменимым микроэлементом для человека и животных, он входит в состав гормонов щитовидной железы, таких как тироксин и трийодтиронин, которые выполняют множество функций в энергетическом обмене и росте, а также в качестве передатчика нервных стимулов (Flachowsky G. et al., 2014). Дополнение рационов йодными комплексами повышает молочную продуктивность, приросты живой массы и яйценоскость птиц (Быкова Е.В. и др., 2017).

Биологическая роль кремния связана с укреплением опорно-двигательного аппарата, а также иммунитета. Высокоэффективное действие отмечено в результате совместного использования кремния с хелатными формами веществ (Подобед Л. 2017).

В отличие от большинства микроэлементов, медь у жвачных животных имеет узкие пределы безопасности. В последние годы во всем мире было зарегистрировано возросшее число вспышек отравления медью крупного

рогатого скота, что настоятельно требует разработки стратегий мониторинга состояния меди в рационе кормления. Например, трехстороннее взаимодействие между медью, молибденом и серой (Cu-Mo-S) в рубце делает жвачных животных очень восприимчивыми (Lopez-Alonso M. et al., 2020), а вот добавки Cu, Zn и Mn, являются предпочтительными для крупного рогатого скота по сравнению с другими минеральными источниками (Ranches J. et al., 2021). На биологическую доступность минералов в значительной степени влияет антагонизм и синергизм, например, медь и селен влияют на утилизацию друг друга в желудочно-кишечном тракте и являются полезными для снижения окислительного стресса и усиления гуморального иммунного ответа (Mudgal V. et al., 2018). При добавлении меди в диапазоне от 10 до 40 мг/кг сухого вещества к высококонцентрированным финишным диетам уменьшает отложение подкожной жировой ткани и снижает концентрацию холестерина, но увеличивает ненасыщенный жирнокислотный состав (Engle T.E. 2011). Добавление S и Mo снижает запасы Cu в печени независимо от основного источника корма, что связано со снижением потребления и в результате потерей молочной продуктивности (Sinclair L.A. et al., 2017). Авторы Jalali S et al., 2020 доказали, что общая продуктивность мясных коров и их телят, получавших гидроксиформы Cu, Mn и Zn, не отличалась от таковой у коров, получавших сульфатно-органическую комбинацию сульфатов и органических микроэлементов. Пищевые добавки Cu, Zn и Mn в виде сульфатов или глицинатов в течение 30 дней не оказывают влияния ни на функцию нейтрофилов крови «in vitro», ни на концентрацию этих элементов в сыворотке крови коров голштинской породы в конце лактации (Dietz A.M. et al., 2017).

Следовательно, если возникает дефицит в организме животных кобальта, меди, железа, йода, марганца, селена или цинка может развиваться снижение продуктивности (Derek J. 2016) на фоне нарушения белкового, жирового, углеводного и минерального обменов (Эфендиев Б.Ш. и др., 2018). Устранить этот дефицит можно с использованием минеральных добавок и тех типов кормления, при которых потребность в минеральных веществах будет в полной

мере компенсирована (Самохин С.С. 2017; Dias R.S. at al., 2016). Последствия хронического дефицита микроэлементов сопровождается снижением воспроизводства, рождением нежизнеспособного молодняка, выбраковкой животных, снижением продуктивности и качества продуктов животноводства (Плавинский С.Ю. и др., 2016; Залюбовская Е.Ю. 2018; Suttle N.F. at al., 1989) и устраняется введением минеральных солей совместно с концентратами (Межевов А.Б. 2012), но при этом доказано, что микроэлементы в виде минеральных солей в рационах хуже перевариваются животными всех видов, так как во время пищеварения возникают нежелательные взаимодействия между микроэлементами и руминальным содержимым (Arce Cordero J.A. at al., 2020). Наилучший эффект достигается, когда их вводят в рацион вместе с питательными веществами в органической форме (Тулаева Е.В. и др., 2014). Органическая форма микроэлементов в рационах крупного рогатого скота увеличивает показатели живой массы и среднесуточного прироста, а кроме того усовершенствует обменные процессы и благотворно действует на данные развития и роста (Залюбовская Е.Ю. и Чубин А.Н. 2017).

Микроэлементы играют особую роль в контроле свободных радикалов на клеточном уровне и влияют на баланс антиоксидантов и свободных радикалов, и, поскольку кишечная среда снижает поглощение ионных минералов, была разработана технология хелатирования для повышения биодоступности (Andrieu S. 2008). Нехватку микроэлементов у сельскохозяйственных животных устраняют с помощью соединений, в состав которых входят циклические группы органических молекул – хелатные комплексы. Такие комплексы веществ характеризуются биологической совместимостью металла и лиганда.

Органический хром является популярным вариантом, который часто используется в пищевых добавках и кормах для животных. Он обозначен многообразными формами, такими как пропионат, пиколинат, соединения с аминокислотами (в особенности с метионином) и хром дрожжевого происхождения. Каждая из этих форм имеет свои особенности, но основное отличие между ними заключается в биодоступности. Многие исследования

доказывают, что пропионат хрома обладает наибольшей биодоступностью. В 2014 году проводилось исследование на откормочном поголовье свиней с использованием различных источников органического хрома. Результаты этого исследования показали, что группы свиней, которым был добавлен трипиколинат, пропионат или дрожжи, демонстрировали лучшие показатели продуктивности по сравнению с контрольной группой (среднесуточный прирост, конверсия корма), однако группа, которой был добавлен хром-метионин не показала таких же положительных результатов (Клименко А. и Волков С. 2021).

Пахолкив Н.И. и другие соавторы (2013) осуществили исследование по мониторингу воздействия разнообразных уровней определённых микроэлементов, включая органическую и неорганическую разновидность хрома, на существование микрофлоры рубца крупного рогатого скота в среде «*in vitro*». На основе чего хром-метионин в искусственной среде рубца стимулировал участие микрофауны в процессах метаболизма в сравнении с хромом неорганического происхождения. В связи, с чем достоверно возрастала масса микроорганизмов, действенность гидролитических энзимов, амилолитическое и целлюлозолитическое функционирование рубцовых бактерий (Vampidis V. et al., 2020; Baggerman J.O. et al., 2020).

Губайдуллина И.З. и др., 2023 изучили влияние различных форм хрома (Cr), а именно: хлорида ( $\text{CrCl}_3$ ), пиколината (CrPic) и ультрадисперсных частиц (УДЧ Cr) на биохимические данные крови, антиоксидантный статус и микробиологический состав содержимого кишечника цыплят бройлеров кросса Арбор Айкрес. В ходе чего авторы установили, что УДЧ Cr и CrPic улучшали прирост живой массы на 9,2 и 10,3 % на фоне увеличения содержания в крови метаболитов оксида азота на 16,4 и 17,9 % по сравнению с контрольной группой. Увеличивали число бифидобактерий на 24,2 и 17,7 % и лактобактерий на 25-27 %, но делали низкой концентрацию глюкозы и холестерина.  $\text{CrCl}_3$  не влиял на повышение метаболитов в крови, но содержание глюкозы и холестерина возрастало. Уровень амилазы под воздействием хлорида хрома повышался, а условно-патогенная микрофлора снижала свою функциональную активность.

Поэтому включать в состав премиксов и добавок для рациона необходимо ультрадисперсную форму хрома и пиколинат хрома.

Целью исследования Untea, A. et al., 2017 было оценить влияние пиколината хрома (CrPic) на показатели роста, усвояемость питательных веществ, а также качество белка и липидов у растущих кастрированных свиньях-самцах породы Топигс с начальной массой тела  $17,16 \pm 0,62$  кг. Свиньям-самцам дополнительно к рациону добавляли 200 частей на миллион CrPic. В конце эксперимента были взяты образцы крови, а также отобраны образцы мяса. Не было замечено существенных различий в показателях продуктивности или плазмы крови. Пиколинат хрома не влиял на усвояемость азота, но жир переваривался хуже. Пищевые качества собранных образцов были оценены для последующего анализа. В образцах вырезки и ветчины было повышено содержание белка по сравнению с группой, не получавшей пиколинат хрома. В грудинке и ветчине лучшей группы концентрация жира значительно снизилась.

Кравченко А.В. 2019 дополнял рацион молодых свиней при откорме серноокислым хромом – 4,2 мг/кг сухого вещества и наночастицами хрома – 0,1 мг/кг сухого вещества. По результатам выяснил, что хром эффективно подействовал на перевариваемость в исследуемых группах сухого и органического веществ на 1,6 %, 1,1 % и 1,4 %, 1,1 %, сырого жира на 0,6 % и 2,9 % по отношению к контролю.

Mooney K.W. et al., 1997 в своей работе установили, что под действием Cr процентное содержание и скорость накопления белка в туше были увеличены, а процентное содержание и скорость накопления липидов в туше были снижены у свиней, получавших Cr. Никаких изменений в метаболитах крови в результате дополнительного введения Cr не произошло ни в одном из экспериментов. Эти результаты свидетельствуют о том, что пиколинат хрома более эффективен, чем  $\text{CrCl}_3$ , и что Cr необходимо добавлять в течение всего периода выращивания и отделки для улучшения состава туши.

Более эффективный биосинтез металла в отличие от ввода веществ в неорганической форме возможен только с использованием в рационах хелатных

соединений микроэлементов. Хелатные комплексы могут пересекать плацентарный барьер и оказывать хорошее воздействие на гемопоз и метаболические процессы организма плода (Худякова В.В. 2016). На сегодняшний день известно, что хелаты можно получить из таких металлов, как хром, цинк, железо, кобальт, марганец, медь в соединении с биологическими лигандами. В зависимости от разновидностей лигандов, хелатные комплексы получили следующие названия: глицинаты (соединения цинка с глицином), органический микроэлементный комплекс (соединения биодоступного цинка, железа, марганца, меди и L-аспарагиновая аминокислота), кремний в форме хелатов, добавки с йодированными молочными белками, а также цинк в соединении с аминокислотами. Хелатные комплексы могут формироваться только из переходных металлов с лигандами (Лебедев С.В. и др., 2022). В зависимости от типа лиганда хелатный комплекс получил следующие названия: глициновая соль (объединение глицина и Zn), комплекс органических микроэлементов (сочетание биодоступных Fe, Cu, Mn, Zn и L-аспарагиновая аминокислота), кремний в форме хелатов, добавки с йодированными молочными белками, а также цинк в соединении с аминокислотами. Хелатные комплексы могут формироваться только из переходных металлов с лигандами (Лебедев С.В. и др., 2022).

## **1.2 Биологическая роль хрома в организме жвачных животных**

Хром как элемент считается одним из важных для организма животных, но не взирая на это, механизм биологического действия, а также оптимально-допустимые нормы ввода в рационы для нормального функционирования организма остаются малоизученными. Хром поддерживает активность инсулина на протяжении диссоциации глюкозы, а также при воздействии на клетки (Титов В.Н. и др., 2016; Лебедев С.В. и др., 2018; Шейда Е.В. и др., 2018; Li S. et al., 2016).

Хром является важным металлом, широко используемым в различных отраслях промышленности: металлургия, химия, текстильная и кожевенная промышленность. В тоже время соединения хрома могут представлять серьезную угрозу для здоровья человека и выступать факторами производственного вреда. Хром характеризуется высокой способностью проникать в легочную ткань, накапливаясь в организме. Его избыток вызывает нарушения процессов окисления и цикла трикарбоновых кислот. С повышением валентности степень токсичности хрома усиливается. Если хром поступает в организм свыше 1,5 мг/кг массы тела, то развивается острое хромовое отравление, которое проявляется разрушением эритроцитов, острой почечной и печеночной недостаточностью, аллергическими реакциями, что связано с повышенной окислительной способностью хрома (Barceloux D.G. 1999).

Типичные разновидности хрома – органическая и неорганическая, различающиеся биодоступностью, а также интенсивностью поглощения. Самые известные неорганические формы металлическая форма с нулевой валентностью, трёхвалентная форма с валентностью 3+ и шестивалентная форма с валентностью 6+ (Lu L. et al., 2019). Трёхвалентный хром присутствует в продуктах питания. Соль хрома (шестивалентный) причисляется к соединениям с повышенной токсичностью для живых организмов с канцерогенными и мутагенными признаками, которые проявляются врождёнными дефектами и ухудшением репродуктивности со смертельным исходом при больших концентрациях (Jobby R. et al., 2018; Devoy J. et al., 2019; Zou W. et al., 2020).

Трёхвалентный хром играет важную роль в организме: он участвует в метаболизме протеинов, сахаров и жиров, активизирует активность инсулина, снижает концентрацию кортизола в крови и улучшает транспорт глюкозы на клеточном уровне, тем самым повышая содержание веществ в организме.

Cr 3+ выполняет значимые функции внутри живых существ: участие в белковом, углеводном и липидном обмене, усиление деятельности инсулина, уменьшение в крови гормона коры надпочечников – кортизола, преобразование транспортирования глюкозы, тем самым увеличивая накопление инсулина в

клетках тела и снижая в ходе биосинтеза белка запасы жира. В дополнение к этому структурирует наследственный материал, подавляет липогенную деятельность оптимизирует поглощение аминокислот клетками мышц для белкового синтеза (Haldar S. et al., 2007; Haq Z. et al., 2016; Vincent J.V. and Lukaski H.C. 2018).

Дополнение рационов хромом поднимает иммунную функцию и стрессовую выносливость, положительно воздействует на энергетический метаболизм (Фабер В. и др., 2020; Hasan H.G. et al., 2011; Bompadre F.V. et al., 2020). Рекомендованное количество хрома в сутки животным 300-500 мг/кг сухого вещества рациона (Кононский А.И. 1992; Zade S. at al., 2014). Лебедев Н.И. 1990 определил, что максимальное значение хрома в рационах для крупного рогатого скота не может превышать 1 мг/кг сухого вещества. Добавление различных источников Cr в дозе 1,0 мг/кг СВ улучшает утилизацию Zn и Cr ( $p < 0,05$ ) у крупного рогатого скота (Keshri A. at al., 2019). Сравнительное исследование переваривания основных веществ у крупного рогатого скота с рационами, содержащими различные концентрации хрома, показало, что дозировка 26,65 - 29,06 мг на голову в сутки является оптимальной и высокоэффективной концентрацией этого элемента, так как повышаются значения переваримости питательных веществ, продуктивных качеств и удоя (Мусулькин Д.Р. 2009). Исследованиями авторов установлены возрастные закономерности содержания и перераспределения хрома у молодняка крупного рогатого скота: в возрастной динамике 6-18 мес. общее количество хрома повышается в 2,53 раза или с 76,65-194,0 мг (Кокорев В.А. и др., 2017а).

Эксперименты многих исследований подтверждают, что Cr способен значительно изменять производительные качества, реакцию иммунитета, обмен глюкозы и жирных кислот у крупного рогатого скота (Lashkari S. at al., 2020).

Зачастую исследователи рекомендуют с рационами задавать микроминерал хром в форме органического соединения, поскольку эксперименты на высокопроизводительных коровах показали благотворное воздействие на репродукцию (Ломаева А.А., 2018). Среди органических

вариаций хрома преимущественно выбирают хром совместно с пиколином, дрожжами, никотинатом, метионином. Органические вариации хрома не объединяются с другими кормами в кишечнике, поэтому абсорбция и усвоение убыстряется. К тому же все органические вариации хрома эффективно воздействуют на выход продукции (Han M. et al., 2021).

Пиколилат хрома (III) – это химическое соединение с формулой  $\text{Cr}(\text{C}_5\text{H}_4\text{N}(\text{CO}_2\text{H}))_3$ , сокращенно формула выглядит так:  $\text{CrPic}_3$  (Vincent J. 2010). Он имеет искаженную октаэдрическую геометрию и является изоструктурным аналогом кобальта (III) и марганца (III). Хром (III) представляет собой твердую кислоту Льюиса и как таковой обладает высоким сродством к карбоксилатному кислороду и средним сродством к пиридиновому азоту пиколината. Каждый пиколилатный лиганд действует как бидентатный хелатирующий агент и нейтрализует +3 заряд  $\text{Cr}^{3+}$  (Nakimi M. 2013).

Биологическая функция пиколината хрома обусловлена содействием инсулину в ликвидации глюкозы, предотвращая депрессию (Скорик Н.А. и др., 2020). Цитотоксическое и генотоксическое действие выражает пиколилат хрома 200 мкг и 400 мкг. Несмотря на это требуется дополнительное изучение механизмов влияния пиколината хрома на организм (Imamoğlu N. et al., 2008; Bompadre T.F.V. et al., 2020).

Как только пиколилат хрома (III) попадает в организм и контактирует со слизистой оболочкой желудка происходит кислотный гидролиз комплекса (Vincent J. 2015). Гидролизованый  $\text{Cr}^{3+}$  присутствует в форме гексаква и после того, как реакция рН этого микроэлемента в тонкой кишке достигает щелочного значения происходит полимеризация с образованием нерастворимого  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ -гидроксид-оксида (процесс оляции). Приблизительно 2 %  $\text{Cr}^{3+}$  всасывается через кишечник в виде пиколината хрома (III) посредством ненасыщенного пассивного транспорта (Vincent J. 2001). Хотя абсорбция низкая,  $\text{CrPic}_3$  абсорбируется более эффективно и накапливается в тканях наивысшими концентрациями, чем другие органические и неорганические источники, например, такие, как  $\text{CrCl}_3$  и никотинат хрома. Это одно из основных

преимуществ пиколината хрома (III) перед другими вариантами добавок хрома. Органические источники, как правило, лучше усваиваются, поскольку содержат более липофильные лиганды, которые обычно нейтрализуют заряд металла, тем самым облегчая прохождение через кишечную мембрану (Debski B. et al., 2014).

Пиколинат хрома [CrPic] или хром пиколиновой кислоты может снижать высокий уровень глюкозы в крови, липидов, инсулина и холестерина, при этом работая совместно с инсулином, вырабатываемым поджелудочной железой, для метаболизма углеводов. Его получают путем сочетания хрома с пиколиновой кислотой, которая помогает организму усваивать хром.

Оксид цинка [ZnO] также набирает обороты благодаря своим уникальным свойствам в процессе нанотехнологий. Наночастицы оксида цинка, опосредованные пиколинатом хрома, демонстрируют хорошие результаты в отношении противомикробной активности, а также цитотоксичности, то есть являются эффективным антибактериальным средством и потенциальным цитотоксичным агентом (Shree M.K. et al., 2020).

Очередной органической формой пользующейся в рационах животных на откорме при тепловом стрессе считается полиникотинат хрома. Toghyani et al., (2008) аргументировали полезность полиникотината хрома на качественную оценку мяса при хранении в переменных температурных условиях, более того запасы белка в таком мясе превосходили результаты с неорганическим хромом в рационе.

Различные учёные агитируют хром комбинировать с дрожжами по причине существенных результатов. Корректирование рационов коров на лактации дрожжами активизировало механизмы переваривания клетчатки и азотистый выход микробов, ввиду этого поднимались надои молока (Kani M.M. 2015; Alhidary I.A. et al., 2018).

Выяснено, что содержание хрома в кормах значительно разнится. Его анализ в рационах технически сложен, поскольку хром в кормах всегда присутствует в низких концентрациях, и очень небольшие количества хрома могут быть обнаружены при переработке сырья и отборе проб для лабораторного

анализа. Например, в фураже и его побочных продуктах содержится больше хрома, чем в зерновых кормах. Данных о биодоступности хрома в кормовых культурах для полигастричного скота существует мало, но в итоге установлено, что он имеет низкую усвояемость. При изучении влияния типа зерна (ячмень против кукурузы) и добавок Cr на потребление корма, и прирост массы у молочных телят выяснилось, что тип зерна не влиял на потребление корма и ростовые показатели, однако добавление Cr уменьшило непитательное пероральное поведение и увеличило потребление стартового корма за счет увеличения частоты приема пищи и тем самым улучшило показатели роста (Kargar S. et al., 2019).

Приемлемая концентрация хрома в рационах животных с многокамерным желудком высокоэффективно повлияло на механизмы пищеварительной системы, модернизируя переваримость сухого вещества, органического вещества, сырого протеина, жира, клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ, а также использование фосфора, кальция, хрома и азота организмом животных (Кокорев В.А. и др., 2017б).

Механизм всасывания хрома у жвачных животных до конца не изучен, но было продемонстрировано, что очень небольшое количество хрома всасывается в рубце – всего 1 %. Основным местом всасывания этого элемента считается тонкий кишечник (Фабер В и др., 2020). После абсорбции хром сцепляется с железотранспортирующим белком – трансферрином и распространяется в печень, селезенку, почки, семенники, кости, а в мышцы попадает незначительными количествами. Значительное количество невсосавшегося хрома удаляется через кал и мочу (Deng G. et al., 2016; Vincent J.B., 2019).

Авторы Nabibi Z et al., 2019 добавляли в рацион телят хром и пришли к выводу, что этот микроэлемент увеличивает скорость клиренса инсулина и уменьшает время достижения полумаксимальной концентрации и площадь под кривой у телят, которым задавали ячмень, но не кукурузу. Телята были в целом здоровы, и тип зерна не влиял на показатели здоровья и крови, связанные с энергетическим обменом. Однако добавление Cr увеличивало консистенцию

кала, уменьшало частоту дыхания и продолжительность пневмонии, а также повышало чувствительность к инсулину. Baggerman J. et al., 2020 объясняют такое явление тем, что хром усиливает реакцию на инсулин через белок хромодулин, который активирует тирозинкиназы рецепторов инсулина для улучшения выведения циркулирующей глюкозы из крови в чувствительные к инсулину ткани.

В исследовании Kneeskern S.G. et al., 2016 определялось влияние добавок пропионата хрома на показатели роста, метаболизм инсулина и глюкозы, а также характеристики туши мясного скота. Результаты исследования показали, что CrP имел тенденцию уменьшать внутримышечный жир, не изменяя показатели роста. С увеличением дней откорма все бычки становились более инсулинрезистентными.

Mousavi F. et al., 2019 в своём эксперименте на молочных телятах, которые подвергались летнему воздействию, доказали, что повышенное диетическое обеспечение Cr имело тенденцию к снижению фекального балла, изменению характера жевания, увеличению антиоксидантной способности за счет возрастания концентрации каталазы в сыворотке крови, но при этом без изменений оставались показатели роста, метаболический статус или периферический метаболизм глюкозы и инсулина.

Leiva T. et al., 2018 дополняли концентратный рацион коров пропионатом хрома и выяснили, что в итоге снижалась концентрация инсулина в сыворотке крови и соотношение инсулина к глюкозе. Cr-пропионат улучшал базальную чувствительность к инсулину у этих животных, но замена кукурузы солями Са пальмового масла в концентрате не улучшала чувствительность к инсулину у молочных коров голштинской породы.

В исследовании (Yuan K. et al., 2014) оценили влияние пропионата хрома (CrPr) на метаболизм, функцию нейтрофилов и размер адипоцитов у лактирующих молочных коров. На размер адипоцитов лечение не влияло. Дополнительные CrPr и метионина оказывают минимальное влияние на метаболизм при кормлении в течение 35 дней вблизи пика лактации, но

возможно модулирование врожденной иммунной функции у лактирующих молочных коров, хром может изменять системный липидный обмен.

Пропионат хрома может увеличить утилизацию глюкозы при выращивании молочных телок (Sumner J.M. at al., 2007; Jin X. at al., 2012; Emami A. at al., 2015). Jovanovic L. at al., 2017 также доказал, что хромовая добавка улучшает утилизацию глюкозы у телят, усиливая внутриклеточную сигнализацию инсулина в скелетной мышечной ткани. А вот добавление хрома в рацион лактирующих коров породы Джироландо улучшает метаболизм глюкозы и предотвращает повышение температуры тела в условиях теплового стресса (Ribeiro L.D. at al., 2020).

Авторами Baggerman J.O. at al., 2020 установлено, что пропионат хрома может усиливать клеточную функцию и рост за счет повышения эффективности функции белков транспортера глюкозы типа 4. Результаты исследования по оценке влияния повышения концентрации CrP на производительность откормочной площадки, показатели крови, характеристики туши и свойства скелетных мышечных волокон у бычков откормочной площадки показали, что пропионат хрома увеличивает вес тела, среднесуточный прирост и массу горячей туши без изменений параметров циркулирующих сывороток или общей экспрессии белков транспортера глюкозы типа 4.

Пиколинат хрома, также называемый хромом пиколиновой кислоты может снизить высокий уровень глюкозы, липидов в крови, а также инсулина и холестерина. Пиколинат хрома работает вместе с инсулином, который вырабатывается поджелудочной железой для метаболизма углеводов. Его получают путем соединения хрома с пиколиновой кислотой. Кислота помогает организму усваивать хром. Исследования на животных показывают, что пиколинат хрома может быть канцерогеном, он проникает непосредственно в клетки и может вызывать мутации (Imamoğlu N. at al., 2008; Shree M. et al., 2020).

Современным направлением в исследованиях выступает применение в животноводстве микроэлементов в наноформе. Важное свойство этих биологических препаратов – активизация физиологических и биологических

механизмов с употреблением их в небольших количествах, повышая экономическую эффективность.

Препараты на основе ультрадисперсных частиц оказывают положительное воздействие на микробиоценоз рубца жвачных, в связи с чем применение наноматериалов высокоперспективное направление для животноводства (Алексеева Л.В. и Лукьянов А.А. 2016). Механизм воздействия НЧ отличается от того, как действуют ионные формы микроэлементов на организм, что влияет на эффективность. Именно поэтому интерес к нанотехнологиям возрос в последнее десятилетие. Нанотехнологии – это разработка и создание наноматериалов, которые могут быть использованы в сельском хозяйстве, создании «зелёных» НЧ из растений (Мирошников С.А. и др., 2017). Наночастицы меди, цинка, марганца, кобальта, железа, а также селена вносимые с водой в дозе 1 и 2 % от премикса П60-3, оказывают положительное воздействие на показатели продуктивности крупного рогатого скота (Козинец А.И. и др., 2019). Дополнение рационов наночастицами в составе металлов микроэлементов вызывает изменения течения пищеварительных процессов в рубце, а точнее наночастицы вызывали снижение реакции рН с 7,1 до 6,7-6,9 (Мирошников И.С. 2017). Имеются доказательства того, что вещества в виде наночастиц способны оказывать влияние на колонии микроорганизмов. Так, в исследовании Лукьянова А.А. и др., 2016 установлено, что в процессе анаэробного сбраживания наночастицы цинка и железа усиливают бактериальный синтез метана. На большом количестве полигастрического скота была изучена добавка из УДЧ металлов в рационе. По результатам установили, что возрастали значения переваримости основных питательных веществ, а также продуктивность и воспроизводительные критерии молодых животных (Измайлович И.Б. и др., 2018).

Наночастицы хрома нетоксичные и разнообразно влияют на показатели крови и метаболизм телят. Такое проявлялось в снижении данных по общему белку на 9,6 %, а холестерина на 16,9 %, одновременно с этим возрастал уровень глюкозы на 10,6 % и триглицеридов на 14,3 %. Интенсивность амилазы падала в заключение откорма, что сказалось на подъёме в пищеварительных соках

двенадцатиперстной кишки уровнем липазы и протеазы (Лебедев С.В. и др., 2018).

Хром в форме ультрадисперсных частиц – ускоритель систем биохимических реакций, способен обновлять био- и морфологические величины крови, ускоряя метаболизм белков и липидов в организме. В то же время мало информации о том, что УДЧ Cr в кормлении не наносят вреда на процессы обмена веществ (Шейда Е.В. и др., 2020б).

С внутримышечной инъекцией НЧ Cr 0,02 мг/кг живой массы однократно в течение 5 дней снижается влияние стресса для животных на период транспортировки и предубойной подготовки, что оказывает полезное воздействие на показатели продуктов убоя: повышение влагоемкости, снижение потери сока, усиление яркости, длительный срок годности (Кизаев М.А. и др., 2018).

В последние годы ультрадисперсные твердые частицы становятся все более востребованным источником микроэлементов для применения в животноводстве. К примеру, УДЧ хрома применяются для того, чтобы уменьшить отложения жира и оптимизировать метаболизм у животных. Ожидается, что включение УДЧ хрома в белковые рационы усилит секрецию панкреатического сока и усилит активность пищеварительных ферментов, тем самым повышая продуктивность крупного рогатого скота (Шейда Е.В. и др., 2020в).

Подводя итоги данному разделу обзора, можно считать, что Cr взаимно с ферментами задействован в обмене белков, углеводов и липидов, мотивирует функционирование инсулина для расширенного проникновения глюкозы в клетки и минимизирует количество свободных жирных кислот в крови, что колоссально необходимо в период разнообразных стрессов (Кокорев В.А. и др., 2017а; Шейда Е.В. и др., 2019; Козинец А.И. и др., 2020; Berenjian A. at al., 2017).

### **1.3 Особенности влияния хрома на обмен веществ и формирование продуктивных качеств животных**

Продуктивность животных зависит от способности ферментативной системы адекватно реагировать на поступающие нутриенты с кормом. В частности хром способен активизировать ферменты, ответственные за поддержку структуры белков и усиление обмена углеводов. Установлено, что у поджелудочной железы может возникнуть адаптация к типу кормления, из-за изменения состава собственной секреции в зависимости от задаваемого корма. По этой причине выгодным направлением для животноводства выступает применение органической формы хрома в качестве активаторов энзимов пищеварения (Фабер В. и др., 2020; Kneeskern S.G. et al., 2016; Anderson R.A. 1994). Дополнение рациона бычков мясного скота хромом приводит к активации протеазы. Кроме того, активность протеазы увеличивается на второй день эксперимента, а затем снижается на третий день. Уровень липазы имеет аналогичные волнообразные изменения. Напротив, уровень амилазы снижается в часовых точках отбора проб и повышается в суточных точках у экспериментальных животных (Лебедев С.В. и др., 2018).

Рассматривая различные эффекты хрома на ферментативную активность пищеварения, следует отметить, что наночастицы и пиколинат оказывают одинаковое воздействие при непосредственном контакте с центрами активности ферментов, что формирует продуктивный ответ (Win K.Y. et al., 2005).

В исследовании Лебедева С.В. и др., 2019а на 105 белых крысах линии Вистар весом 70-80 г при добавлении НЧ  $\text{CrCl}_3$  в дозе 300 мкг/кг наблюдалась стимуляция активности амилазы поджелудочной железы, а в варианте с применением  $\text{CrPic}$  в аналогичной дозе, этот показатель снижался. Одновременно  $\text{CrPic}$  оказывает липазостимулирующее и протеазоактивирующее действие. В двенадцатиперстной кишке деятельность амилазы снижалась на 54,3 %, а активность липазы наоборот повышалась на 67,7 %, что свойственно для

CrPic 300. Таким образом, НЧ CrCl<sub>3</sub> и НЧ CrPic в дозе 500 мкг/кг мотивировали активность липазы.

Хром может сразу же попадать в кишечник (спустя 1 час после приёма корма) и формировать там устойчивый и плохо всасываемый гидрат, так как он способствует выработке ферментов пищеварения (Mooney K.W. et al., 1997).

Введение в рацион молодняка белковых добавок приводит к ухудшению внешнесекреторной функции поджелудочной железы, а также интенсивности панкреатического секрета и ферментов пищеварения. Такое снижение может быть восполнено путём дополнения рациона ультрадисперсными частицами Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Параллельно с чем осуществляется стимулирование функции выделения поджелудочной железы и убыстряется рабочая активность протеазы, липазы и амилазы (Шейда Е.В. и др., 2020б).

Раскрыта сверхэффективная динамика роста активности ферментов поджелудочной железы вследствие дополнения основного рациона ультрадисперсными частицами хрома 1,4 мг/гол. Повышался уровень амилазы на 33,2 %, протеазы на 25,4 % (Лебедев С.В. и др., 2020б).

Во всемирной научной литературе нет данных, описывающих механизм действия наночастиц хрома на ферменты пищеварения, поэтому в качестве перспективы имеется возможность модуляции активности этих наночастиц путем индукции. В процессе адсорбции белков на наночастицах крупного размера формируются дополнительные связи, оказывающие влияние на перестройку структур и функций белков (Vertegel A.A. et al., 2004).

Воздействие хрома на продуктивные критерии животных с многокамерным желудком неоднозначно, в связи с этим долговременное влияние хрома на производительность требует изучения (Lashkari S. et al., 2018).

Из-за активного поедания кормов, высокой скорости роста, хороших значений качества туши, иммунологических и воспроизводительных функций хром рационализирует воздействие инсулина на мускульную и липидную ткани, благодаря чему стабилизируются особенности продуктивности животных (Шейда Е.В. и др., 2020б; Budde A.M. et al., 2019; Bin-Jumah M. et al., 2020).

Например, в исследовании Кокорева В.А. и др. (2018б) приводится сравнение бычков и тёлочек на основе рассчитанной нормы потребления хрома в основном рационе. В итоге эти животные сравнительно с другими опытными группами обладали наивысшей живой массой. Добавление в рацион бычков пропионата хрома в дозировке 0,45 мг/кг корма улучшает живую массу и среднесуточный прирост (Baggerman J. et al., 2020).

Было изучено влияние добавок хрома (Cr) на потребление корма и структуру питания, прирост массы тела и рост скелета, а также на здоровье и метаболические критерии экологически теплонагруженных молочных телят в период до отъема. В целом, добавление Cr к экологически теплонагруженным молочным телятам улучшало потребление корма и сокращало дни с диареей и продолжительность лечения, но оказывало минимальное влияние на увеличение веса, метаболизм и показатели окислительного стресса и функции инсулина (Kargar S. at al., 2018).

Оптимальный уровень хрома при травяном кормлении крупного рогатого скота улучшает продуктивные показатели всех возрастных групп. Так, хлорид хрома в дозировках 5,57-10,74 мг на 100 кг веса бычков во много раз увеличивал показатели массы убоя на 10,3-11,4 кг, удельный вес жира на 0,2 %, убойный выход на 1,3-1,6 %, количества мякоти в полутушах на 4,8-5,9 %, массу костной ткани на 2,5 %, коэффициент мясности на 2,4 % по сравнению с другими дозировками (Кокорев В.А. и др., 2018а).

Внутримышечное введение наночастиц хрома в дозе 0,02 мг/кг массы тела на протяжении 5 дней до начала действия стрессового источника оказывает положительное влияние на количественные и качественные показатели их мясной продуктивности. Подтверждением этому является повышение массы мякоти в туше на 2,0 кг, синтеза сухого вещества и жира – на 1,7 % и 3,8 % соответственно по сравнению с контрольными аналогами (Никулин В.Н. и др., 2019).

Использование наночастиц хрома в дозе 0,050 мг и 0,075 мг/1 кг СВ корма для экспериментальных коров увеличивает среднесуточную массу тела на 6,6-3

%, снижает производственные затраты на 1,4-4,9 % и обеспечивает дополнительную прибыль в размере 4,9-18,0 руб. на корову. Использование наночастиц хрома в виде жидкости в кормлении молодого крупного рогатого скота до 75-дневного возраста достигается путем введения данного состава в молочный рацион в процессе ежедневного кормления каждого телёнка (Козинец А.И. и др., 2020; Rikhari K. at al., 2012).

Нанокристаллические металлы находят применение в виде модуляторов обмена веществ, оказывающих положительное воздействие на значения продуктивности и физиологические параметры. Определены оптимальные дозировки для нанопорошков Fe, Co и Cu – 0,08 мг/кг, 0,02 мг/кг и 0,04 мг/кг в сутки. Добавление нанокристаллических металлов в рацион животных в таком количестве увеличивало прирост живой массы на 22,4 % – УДЧ Fe, на 13,7 % – УДЧ Co и на 10,7 % – УДЧ Cu (Назарова А.А. 2009).

В дальнейшем следует расширить приведённые исследования с целью определения влияния микроэлемента хрома на качество получаемых продуктов животноводства и непосредственно на человека. Определить и выявить все предполагаемые риски для человечества (Кебеков М.Э. и др., 2018).

Недавно были проведены исследования по воздействию несхожих вариаций хрома на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров (2020); по использованию органического хрома в рационах коров черно-пестрой породы и его воздействию на продуктивные качества (2018); по установлению оптимальной нормы хрома при использовании в рационах тёлочек и бычков чёрно-пестрой породы неорганической формы хрома ( $\text{CrCl}_3$ ) (2003). Однако до настоящего времени отсутствуют сведения по влиянию различного уровня органической формы пиколината хрома на обменные процессы и продуктивность по мясу молодняка крупного рогатого скота мясной селекции, в связи с чем, нами было выполнено текущее исследование.

## 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Схема эксперимента и методика исследований

Исследования были выполнены в период с 2020 по 2023 год в отделе кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. профессора С.Г. Леушина и лаборатории биологических испытаний и экспертиз с использованием материально-технической и методической базы Центра нанотехнологий в сельском хозяйстве и Центра коллективного пользования ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФНЦ БСТ РАН). Научно-хозяйственный эксперимент проводился на базе КФХ Пфейфер А.Г. с. Фёдоровка Акбулакского р-на Оренбургской области.

Для решения поставленных задач было проведено 3 эксперимента (рисунок 1):

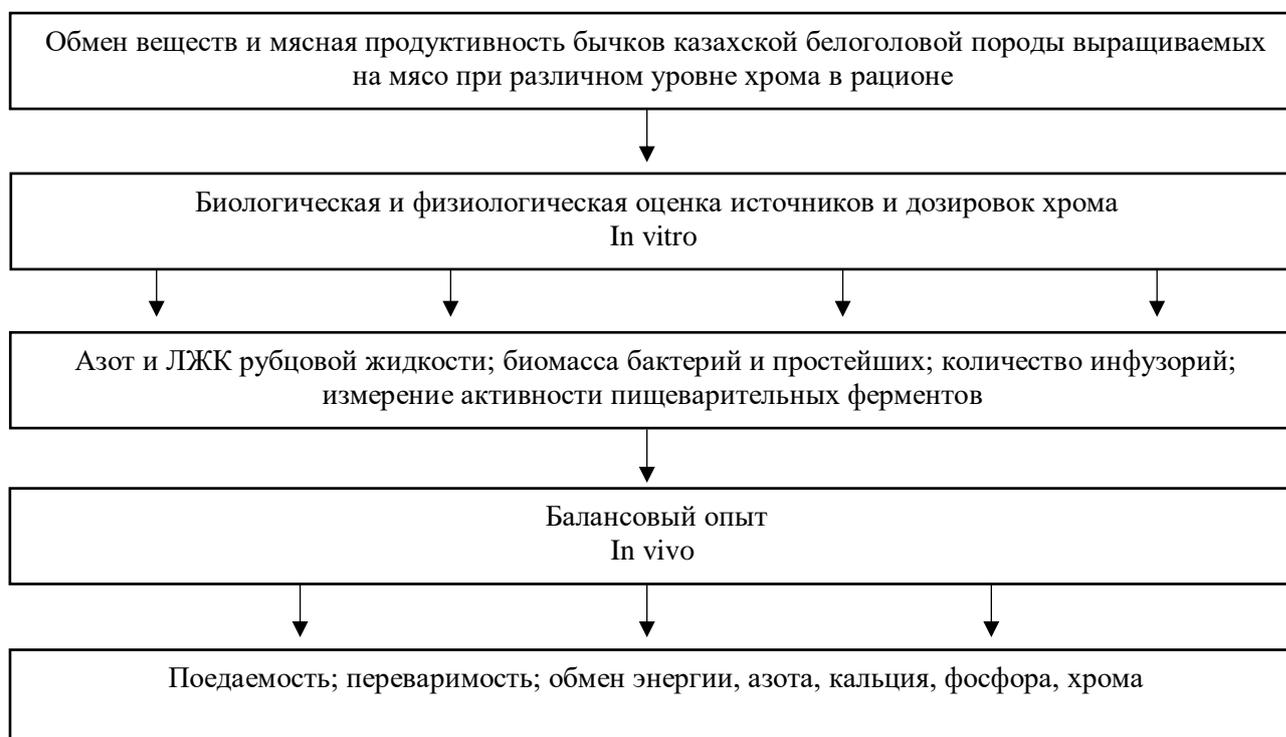


Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента

Целью первого экспериментального исследования было изучить влияние различных вариаций хрома на рубцовое пищеварение «in vitro».

Исследования по определению оптимальной формы и дозы хрома были выполнены на модели «искусственного рубца» с использованием установки - инкубатора «ANKOM Daisy II» (модификации D200 и D200I). Термостат ТС-1/80 СПУ (ООО «Амедис Инжиниринг», г. Нижний Новгород, Россия).

В качестве источника хрома были использованы ультрадисперсные частицы  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ( $d=96\text{нм}$ , Z-потенциал  $90 \pm 0,5$  мВ, содержание хрома 99,3% полученные методом химического осаждения в Лаборатории синтеза наноструктур ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», неорганическая форма -  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (ГОСТ 4473–78) и органическая в виде пиколината хрома (ЗАО «Эвалар», Россия). В качестве модельного корма в исследовании «in vitro» были использованы пшеничные отруби (ПО).

При изучении «in vitro» рубцового пищеварения проводили отбор рубцовой жидкости у бычков через хроническую фистулу рубца. Пробы фильтровали через 4 слоя марли и в отфильтрованной её части определяли концентрацию водородных ионов (рН) иономером рН-150 МИ. Пшеничные отруби массой 500 мг смешивали с препаратами (НЧ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , пиколинат хрома,  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) соответствующей концентрации и помещали в мешочки, изготовленные из полиамидной ткани, которые предварительно были взвешены и пронумерованы. Мешочки зашивались и опускались в установку - инкубатор «ANKOM Daisy II» и инкубировались в искусственном рубце при постоянной  $T=39,5^\circ\text{C}$  в течении 48 часов. По окончании инкубации образцы промывались и высушивались при температуре  $+60^\circ\text{C}$  до константного веса.

При тестировании различных форм хрома использовали в качестве контрольного образца пшеничные отруби (ПО), I группа – ПО+УДЧ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в дозировке 1,5 мг/кг СВ, II группа – ПО+пиколинат хрома в дозировке 8 мг/кг СВ, III группа – ПО+ $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  в дозировке 5,1 мг/кг СВ. Для тестирования различных доз пиколината хрома были сформированы 4 образца: Контроль – пшеничные отруби (ПО), I группа – ПО+пиколинат хрома в дозе 6,4 мг/кг СВ, II группа – ПО+пиколинат хрома в дозе 7,2 мг/кг СВ, III группа – ПО+пиколинат хрома в дозе 8 мг/кг СВ.

Коэффициент переваримости сухого вещества «in vitro» вычисляли как разницу масс образца корма с мешочком до и после двухстадийной инкубации по следующей формуле:

$$K = \frac{(A-B)}{C} \times 100 \%, \quad (1)$$

где К – коэффициент переваримости сухого вещества корма (%);

А – исходная масса 1 (образец корма с мешочком) (мг);

В – масса после двухстадийной инкубации (образец корма с мешочком) (мг);

С – исходная масса 2 (образец корма без массы мешочка) (мг).

Показатели обмена азотистых метаболитов в рубцовом содержимом устанавливали – азот небелковый и общий методом Къельдаля по методике Ахажанова К.К. (2016); аммиачный азот – микродиффузным методом по Конвею. Летучие жирные кислоты определяли на хроматографе Кристалл ЛЮКС 4000.

Измерение активности протеолитических и амилолитических ферментов в рубцовой жидкости проводили следующими методами: определение амилазы – по гидролизу крахмала (Батоев Ц.Ж. 2001) с использованием КФК-3 (длина волны 670 нм) и выражали в мг расщепленного крахмала 1 мл химуса в течение одной минуты, протеаз – по расщеплению казеина по Гаммерстену (США) при колориметрическом контроле на КФК-3 (длина волны 450 нм) (Батоев Ц.Ж. 2001).

Для количественного определения бактерий и простейших с использованием центрифугирования при различных оборотах отделяли фракции, эпиндорфы взвешивали, содержание бактерий и простейших определяли по разнице масс. Для осаждения бактерий использовали скорость 3 тыс. об/мин в течение 3 минут, а для осаждения простейших 6 минут при 13-15 тыс. об/мин. Подсчёт инфузорий проводили при помощи счётной камеры

Горяева. Для этого в отфильтрованную рубцовую жидкость добавляли раствор формалина, NaCl и метиленовый синий. На покровное стекло помещали 1 каплю данной жидкости под камеру Горяева. Производили подсчет инфузорий (Сенько А.В. и Воронов Д.В. 2010).

Общее количество инфузорий определяли по формуле:

$$K = A \times 5000, \quad (2)$$

где  $K$  – количество инфузорий в  $1 \text{ мм}^3$ ;

$A$  – количество подсчитанных инфузорий.

На втором этапе исследования изучалось влияние различных дозровок хрома на физиолого-биохимические параметры, обмен веществ и продуктивность бычков казахской белоголовой породы.

Для определения влияния оптимальной дозировки пиколината хрома на переваримость питательных веществ корма, обмен энергии, азота, кальция, фосфора и хрома был проведён балансовый опыт, который осуществляли на 9 бычках, подобранных методом групп-аналогов по живой массе, общему состоянию, породе, возрасту и случайным образом разделенных на группы: контрольная – получала стандартный рацион (ОР), который включал сено злаковое (1 кг), сено бобовое (2 кг), силос кукурузный (11 кг), дроблёная зерносмесь (2 кг), жмых подсолнечный (0,2 кг), патока кормовая (0,6 кг), соль поваренная (40 г), монокальцийфосфат (60,4 г), премикс (20 г). Контрольная группа получала основной рацион. I группа – дополнительно к ОР получала пиколинат хрома в дозе 7,2 мг/кг СВ рациона, II группа – дополнительно к ОР получала пиколинат хрома в дозе 8 мг/кг СВ рациона (таблица 1). Данные дозы определены, исходя из содержания хрома в кормах 6,2 мг на 1 кг корма, после чего их повышали на 10 % и 20 % в пересчёте на чистый хром, на основании результатов определения оптимальной формы в искусственном рубце «in vitro».

Таблица 1 – Схема балансового опыта

Варианты групп	Возраст при постановке, мес	Кол-во животных, гол	Периоды (сутки)		Структура рациона
			подготовительный	учётный	
Контрольная	12	3	10	8	Основной рацион (ОР)
I	12	3	10	8	ОР+10 % пиколината хрома СВ
II	12	3	10	8	ОР+20 % пиколината хрома СВ

По истечению 10 суток подготовительного периода были переведены на условия основного учётного периода (8 суток). Содержание на момент исследования – привязное, индивидуальное кормление, изолированное помещение. Уход за животными и экспериментальные исследования проводили в соответствии с инструкциями и рекомендациями Российских нормативных актов 1987 года (приказ № 755 от 12 декабря 1977 года, Министерство здравоохранения СССР и National Press Academy, Washington DC, 1996). При проведении исследований были предприняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить количество используемых образцов.

В учётный период балансового опыта определяли количество съеденных кормов и их остатков (методика Овсянникова А.И. 1976), для этого ежедневно, перед раздачей, корма взвешивали, а их остатки учитывали на следующие сутки перед утренним кормлением. Отбирали пробы кормов и их остатков, из которых в конце учётного периода составляли средние пробы каждого вида корма и их остатков в количестве 800-1000 г, а также собирали средние пробы кала 10 % и мочи 3% от общего количества в сутки, проводили исследования по методикам зоотехнического анализа (Лукашик А.А. и Тацилин В.А. 1965). Зоотехнические анализы были проведены в Испытательном центре Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН.

В пробах кала определяли массовую долю сухого вещества (ГОСТ 31640-2012), сырого протеина (ГОСТ 13496.4-2019), сырого жира (ГОСТ 13496.15-

2016), сырой клетчатки (ГОСТ 31675-2012), сырой золы (ГОСТ 26226-95), кальция (ГОСТ 26570-95), фосфора (ГОСТ 26657-97), хрома (ГОСТ 30692-2000; ГОСТ 32343-2013), в корме устанавливали массовую долю сахара и крахмала (ГОСТ 26176-2019), массовую долю железа, кобальта, меди, цинка и марганца (ГОСТ 30692-2000; ГОСТ 32343-2013). На основании химического состава образцов рассчитывали коэффициенты переваримости питательных веществ рационов, а вместе с этим использование энергии, обмена азота, кальция и фосфора в организме животных по методике В.И. Левахина (2016).

По данным ежедневного учета массы кала и его состава рассчитывали потерю веществ, за вычетом которых находилось усвоенное количество корма.

В пробах мочи (3 % от общего количества) определяли удельный вес, минеральные вещества, содержание азота по методике Лебедева П.Т. и Усовича А.Т. (1976).

С целью оценки здоровья и уровня метаболизма в конце учетного периода проводили исследования крови. Забор крови у животных для оценки морфологических и биохимических показателей осуществлялся утром, до кормления, на 7 сутки учетного периода из яремной вены в вакуумные пробирки с добавлением антикоагулянта для морфологических исследований, а для биохимических показателей – в вакуумные пробирки с активатором свёртывания (тромбин). Гематологические исследования проводили в лаборатории «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» и Испытательном центре ФНЦ БСТ РАН. Морфологический анализ осуществляли на автоматическом гематологическом анализаторе URIT-2900 VetPlus. Биохимический анализ сыворотки крови – на автоматическом анализаторе CS-T240 («DIRUI Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческих наборов для ветеринарии (ЗАО «ДИАКОН-ДС», Россия).

Элементный состав сыворотки крови, корма и кала был проведен с помощью метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) на приборе «квадрупольный масс-спектрометр Nexion 300D (Perkin Elmer, США)» в клинично-диагностической лаборатории г. Москва.

Результаты физиологических исследований были приняты во внимание с учётом проектирования и реализации научно-хозяйственного эксперимента, в рамках которого предоставлен обоснованный мониторинг тестирования изучаемого препарата.

На третьем этапе проведен научно-хозяйственный опыт, направленный на тестирование полученных результатов по итогам двух экспериментов, структура отображена в таблице 2.

Таблица 2 – Схема научно-хозяйственного опыта

Варианты групп	Кол-во животных, гол	Периоды (сутки)		Структура рациона
		подготовительный	основной	
Контрольная	10	30	273	Основной рацион (ОР)
I	10	30	273	ОР+10 % пиколината хрома СВ
II	10	30	273	ОР+20 % пиколината хрома СВ

Для научно-хозяйственного эксперимента сформировали три группы 9-месячных бычков казахской белоголовой породы (n=30). После подготовительного периода (30 суток), животные в течение 273 суток находились на режиме основного учетного периода. Животные контрольной группы получали основной рацион (ОР), который включал сено злаковое 1 кг, сено бобовое 1,5 кг, силос кукурузный 8 кг, зерносмесь 1,5 кг, жмых подсолнечный 0,1 кг, патока кормовая 0,5 кг. Бычки I опытной группы - (ОР+пиколинат хрома в дозе 7,2 мг/кг СВ рациона), а бычки II опытной группы (ОР+пиколинат хрома в дозе 8 мг/кг СВ рациона). Дозировки определялись, на основании содержания хрома в 1 кг корма 10-12 мес. – 5,9 мг, 13-14 мес. – 7,3 мг, 15-16 мес. – 8,1 мг, а 17-18 мес. – 9,3 мг и были увеличены на 10 % и 20 % в пересчёте на чистый хром, на основании определения оптимальной формы в искусственном рубце «in vitro».

Эксперимент проводили в зимний период, бычков содержали беспривязно в здании со свободно-расположенным выходом на выгульную площадку, для поения использовались железные ёмкости. Рационы для животных составлялись на основе разработанных норм кормления (Калашников А.П. и др., 2003) и рассчитывались на получение среднесуточного прироста 900-1000 г (10-14 месяцев) и 1000-1100 г (15-18 месяцев) на основании химического состава кормов. В ходе исследования фактическое потребление кормов устанавливали каждый месяц в два смежных дня (методика Овсянникова А.И. 1976).

Рост и развитие подопытных бычков изучали на основании данных ежемесячного взвешивания, проводимого утром, до кормления. По результатам взвешиваний производили расчет динамики живой массы и относительного и абсолютного приростов по группам. Для изучения мясной продуктивности экспериментальных животных в возрасте 18 месяцев был проведён контрольный убой трёх бычков из каждой группы и на основании полученных данных определяли выход основных питательных веществ мясной продукции по методике ВАСХНИЛ (1990). Для анализа отбирали средние пробы мяса-фарша и длиннейшей мышцы спины на уровне 9-11 рёбер. В мясо-фарша определялось содержание влаги (ГОСТ 25011-2017), белка (М04-89-2019), жира (ГОСТ 23042-2015), золы, а в длиннейшей мышце спины, кроме этих показателей, дополнительно триптофан и оксипролин (ВНИИМС, 1991).

Экономическую эффективность выращивания и откорма бычков с рационом, включающим различный уровень пиколината хрома, устанавливали на основании расчёта себестоимости единицы продукции, реализационной стоимости валовой продукции и уровня рентабельности по методике Левахина В.И. и др. (2016).

Статистический анализ выполняли с использованием методик ANOVA программный пакет «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США) и «Microsoft Excel» («Microsoft», США). Статистическая обработка включала расчёт среднего значения (M) и стандартные ошибки среднего ( $\pm$ SEM). Достоверность различий

сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на  $p \leq 0,05$ .

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.1 Результаты лабораторных исследований «in vitro»

##### 3.1.1 Изучение метаболических параметров в рубце при использовании различных форм хрома

*Оценка переваримости.* Аттестация «in vitro» различных вариаций хрома в дозировках 1,5 мг/кг СВ, 8 мг/кг СВ и 5,1 мг/кг СВ (в пересчёте на чистый хром 1 мг/кг СВ) определила, что переваримость сухого вещества контрольной модели с отрубями составляет 72,2 % (таблица 3).

Таблица 3 – Переваримость сухого вещества образца корма при дополнительном включении различных форм хрома, %

Опытная добавка	Переваримость %
Контроль (ПО)	72,2±0,3
ПО + НЧ Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 1,5 мг/кг СВ	78,1±0,8**
ПО + Пиколинат хрома – 8 мг/кг СВ	78,8±0,4***
ПО + CrCl <sub>3</sub> *6H <sub>2</sub> O - 5,1 мг/кг СВ	77,1±0,2***

Примечание: ПО – пшеничные отруби (500 мг), \*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,001$ , при сравнении с контролем.

Введение CrCl<sub>3</sub>\*6H<sub>2</sub>O приводило к улучшению переваривания сухого вещества на 4,9 % ( $p \leq 0,001$ ) по сравнению с контрольным образцом. Добавление наночастиц Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> стимулировало переваримость сухого вещества на 5,9 % ( $p \leq 0,01$ ), а пиколинат хрома на 6,6 % ( $p \leq 0,001$ ) относительно контрольных значений.

*Определение концентрации метаболитов азота и летучих жирных кислот в рубцовой жидкости.* Добавление в рацион НЧ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и CrCl<sub>3</sub>\*6H<sub>2</sub>O сопровождалось снижением уксусной (0,5 % и 22,1 %) и пропионовой (2,6 % и

13,4 %), на фоне увеличения на 0,9 % уксусной и на 8,7 % пропионовой в образце с пиколином хрома (таблица 4).

Таблица 4 – Уровень ЛЖК рубцовой жидкости после инкубирования в искусственном рубце «in vitro», мг/дм<sup>3</sup>

Показатель	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
рН	6,8±0,05	6,7±0,03	6,5±0,02**	6,4±0,01***
Уксусная кислота	40,7±0,4	40,5±0,2	41,1±0,6	31,7±0,9
Пропионовая кислота	38,1±0,5	37,1±0,06	41,4±0,2*	33±0,7
Масляная кислота	36,9±0,8	38,9±0,09	42,3±0,07***	33,2±0,2
Валерьяновая кислота	3,5±0,06	3,6±0,03	3,8±0,04***	3,2±0,05
Капроновая кислота	1,08±0,03	1,07±0,04	1,05±0,02	0,8±0,01

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,001$

Уровень масляной кислоты увеличился на 5,4 % и 14,6 % ( $p \leq 0,001$ ) при добавлении НЧ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и пиколината хрома, но уменьшался в группе с  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  на 10 %. Уровень валериановой кислоты с НЧ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и пиколином хрома возрастал на 2,8 % и 8,5 % ( $p \leq 0,001$ ), но снижался на 8,6 % с добавлением  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Капроновая кислота повышалась на 0,9 % с НЧ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , на 2,8 % с пиколином хрома и на 25,9 % с  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Уровень общего азота в рубцовой жидкости во всех опытных образцах был выше контрольных значений на 26,2 % ( $p \leq 0,001$ ), 21,5 % ( $p \leq 0,001$ ) и 13,01 % ( $p \leq 0,01$ ), белкового азота на 82,6 % ( $p \leq 0,001$ ), 64,7 % ( $p \leq 0,001$ ) и 48,5 % ( $p \leq 0,001$ ), мочевиного азота на 14,7 % ( $p \leq 0,01$ ), 19,7 % ( $p \leq 0,001$ ), 7,2 % соответственно.

Таблица 5 – Уровень азота в рубцовой жидкости после инкубирования, мг/%

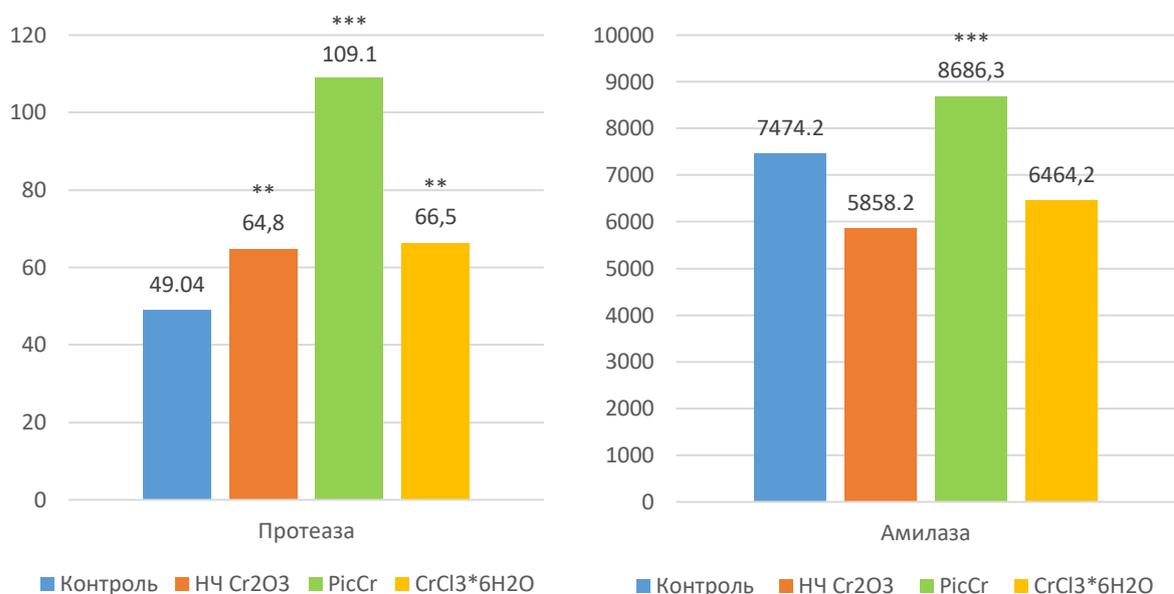
Группа	Показатель				
	общий	небелковый	аммиачный	мочевинный	белковый
Контрольная	53,8±1,3	25,9±0,6	4,7±0,05	4,01±0,07	27,9±0,9
I опытная	67,9±0,8 ***	16,9±0,2	3,9±0,2	4,6±0,3 **	51,05±0,2 ***
II опытная	65,4±0,3 ***	19,4±0,8	4,8±0,06	4,8±0,02 ***	46,03±0,08 ***
III опытная	60,8±0,2 **	19,3±0,1	4±0,1	4,3±0,1	41,5±0,3 ***

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,001$

Аммиачный азот снижался на 17,02 % и 14,8 % с НЧ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , а с добавлением пиколината хрома повышался на 2,1 %. Данные показатели характеризуют степень усвоения азота из корма, а именно течение процессов гидролиза белков и дезаминирования.

В ходе определения небелкового азота было зафиксировано, что во всех опытных группах снижался его уровень на 34,7 %, 25,1 % и 25,4 % в отличие от контрольных значений (таблица 5).

*Ферментативная активность рубцовой жидкости.* В рубцовой жидкости при добавлении НЧ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  усиливалась активность протеазы на 32,1 % ( $p \leq 0,01$ ), с пиколинатом хрома на 122,5 % ( $p \leq 0,001$ ), а с  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  на 35,6 % ( $p \leq 0,01$ ) по отношению к контролю. Активность амилазы усиливалась с внесением пиколината хрома в отруби на 16,2 % ( $p \leq 0,001$ ), но снижалась при введении НЧ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  на 21,6 % и 13,5 % в сравнении с контрольными значениями (рисунок 2).



Примечание: \*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,001$ , при сравнении с контролем.

Рисунок 2 – Динамика ферментативной активности рубцовой жидкости, мг(мл)/мин

Проведенные исследования показали, что внесение H<sub>2</sub>CrO<sub>3</sub> и пиколината хрома оказали наилучший эффект, повышая переваримость сухого вещества рациона на 5,9 % ( $p \leq 0,01$ ) и 6,6 % ( $p \leq 0,001$ ), концентрацию летучих жирных кислот на 0,7 % и 7,7 %, уровень метаболитов азота на 82,6 % ( $p \leq 0,001$ ) и 64,7 % ( $p \leq 0,001$ ) – белкового, на 34,7 % и 25,1 % – небелкового, на 28,7 % ( $p \leq 0,001$ ) и 24,9 % ( $p \leq 0,001$ ) – общего азота, что свидетельствует о стимуляции процессов гидролиза белков и дезаминирования. Включение пиколината хрома способствовало усилению ферментативных процессов в рубце, повышая протеолитическую активность на 122,5 % ( $p \leq 0,001$ ), амилолитическую на 16,2 % ( $p \leq 0,001$ ). H<sub>2</sub>CrO<sub>3</sub> повышали протеолитическую активность на 32,1 % ( $p \leq 0,01$ ), а амилолитическую снижали на 21,6 %. На основании установленного максимально положительного эффекта по комплексу показателей для дальнейших исследований был выбран пиколинат хрома.

### 3.1.2 Оценка активности рубцовой микробиоты и процессов метаболизма в рубце при дополнительном включении различных дозировок пиколината хрома

*Определение биомассы бактерий и простейших в рубцовом содержимом.*

Расчёт численности инфузорий в камере Горяева показал, что пиколинат хрома в дозировке 6,4 мг/кг СВ стимулировал рост количества инфузорий на 0,2 %, в дозировке 7,2 мг/кг СВ на 1,2 %, в дозе 8 мг/кг СВ на 1,8 % ( $p \leq 0,05$ ).

Дозозависимый эффект выражался в увеличении биомассы простейших на 0,4 %, а бактерий на 2,9 % – 6,4 мг/кг СВ рациона. При дозе 7,2 мг/кг СВ увеличение составляло соответственно на 0,8 % – простейших и на 5,8 % – бактерий. В дозе 8 мг/кг СВ уровень биомассы простейших увеличился на 1,34 % ( $p \leq 0,05$ ), а бактерий на 8,8 % (таблица 6).

Таблица 6 – Изменения микробиоты рубца под влиянием пиколината хрома в различных дозировках

Группа	Показатель		
	простейшие, г/100 мл	бактерии, г/100 мл	инфузории тыс./мл
Контрольная	2,23±0,01	0,34±0,014	388±1,9
I опытная	2,24±0,005	0,35±0,020	389±1,05
II опытная	2,25±0,002	0,36±0,019	393±2,3
III опытная	2,26±0,003*	0,37±0,021	395±1,4*

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ , при сравнении с контролем.

Количество в жидкости рубца инфузорий от 353-391 тыс./мл несущественно превосходило критерии нормы – 250-350 тыс./мл. Подобные величины по количеству микробиоты в рубце обозначают нормальное развитие механизмов ферментации.

*Оценка уровня метаболитов азота и летучих жирных кислот в рубцовой жидкости.* При добавлении пиколината хрома в дозировках 6,4 мг/кг СВ, 7,2 мг/кг СВ и 8 мг/кг СВ рациона показатели ЛЖК в рубцовой жидкости были

неоднозначными. Дозозависимый эффект проявлялся увеличением уксусной кислоты от 37,7 % ( $p \leq 0,001$ ) до 106 % ( $p \leq 0,001$ ), пропионовой кислоты от 45,7 % ( $p \leq 0,001$ ) до 93,9 % ( $p \leq 0,001$ ) и масляной кислоты на 6,9 % ( $p \leq 0,001$ ), 45,6 % ( $p \leq 0,001$ ) и 54,4 % ( $p \leq 0,001$ ). При этом валериановая кислота с добавлением в отруби пиколината хрома в дозе 6,4 мг/кг СВ снижалась на 7,6 %, а при дозировке 7,2 мг/кг СВ и 8 мг/кг СВ повышалась на 25,5 % ( $p \leq 0,001$ ) и 30,9 % ( $p \leq 0,001$ ). Капроновая кислота в трёх группах повышалась относительно контрольных значений на 12 % ( $p \leq 0,01$ ), 4 % ( $p \leq 0,01$ ) и 1,3 % ( $p \leq 0,01$ ) (таблица 7).

По завершению инкубации в рубцовой жидкости определяли величину водородного показателя (рН) который в опытных группах не превышал норму (6,2 - 6,9).

Таблица 7 – Уровень ЛЖК рубцовой жидкости, мг/%

Показатель	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
рН	6,7±0,01	6,9±0,03**	6,5±0,05	6,7±0,02
Уксусная	19,9±0,11	27,4±0,16***	35,3±0,20***	41±0,23***
Пропионовая	16,4±0,09	23,9±0,19***	30,7±0,17***	31,8±0,14***
Масляная	21,7±0,10	23,2±0,13***	31,6±0,12***	33,5±0,19***
Валерьяновая	2,23±0,01	2,06±0,08	2,80±0,02***	2,92±0,06***
Капроновая	0,75±0,007	0,84±0,005**	0,78±0,003**	0,76±0,004**

Примечание: \*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,001$ , при сравнении с контролем.

Уровень общего азота при смешивании с рационом пиколината хрома в неодинаковых дозировках был выше контрольных значений на 7 %, 13,5 % и 18,1 %, белкового на 25,3 %, 26,7 % и 35 %, мочевинового на 14,5 % ( $p \leq 0,05$ ), 7,7 % ( $p \leq 0,01$ ) и 17,7 % ( $p \leq 0,001$ ) соответственно относительно контроля (таблица 8).

Таблица 8 – Уровень азота рубцовой жидкости, мг/%

Группа	Показатель				
	общий	небелковый	аммиачный	мочевинный	белковый
Контрольная	56,8±3,35	26,8±1,33	4,70±0,06	4,01±0,07	30±3,85
I опытная	60,8±1,57	23,2±1,28	4,68±0,07	4,59±0,12*	37,6±1,39
II опытная	64,5±1,13	26,5±0,55	4,03±0,13	4,32±0,10	38±0,32
III опытная	67,1±3,04	26,6±1,67	4,80±0,2	4,72±0,05***	40,5±2,21

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,001$ , при сравнении с контролем.

В результате пиколинат хрома снижал уровень небелкового азота на 13,4 %, 1,1 % и 0,7 % во всех группах. С дозировками 6,4 мг/кг СВ и 7,2 мг/кг СВ снижался уровень аммиачного азота на 0,4 % и 14,2 % при увеличении с дозировкой 8 мг/кг СВ на 2,1 %.

*Переваримость сухого вещества.* В результате исследований «in vitro» установлено, что если переваримость сухого вещества контрольного рациона (пшеничные отруби) составила 72,2 %, а с пиколинатом хрома в дозировках 6,4 и 7,2 мг/кг СВ корма переваримость увеличилась на 3,1 % ( $p \leq 0,05$ ) и 3,4 % ( $p \leq 0,05$ ) соответственно. Наилучшая переваримость (разница с контролем 5,9 %,  $p \leq 0,01$ ) была отмечена при добавлении пиколината хрома в дозировке 8 мг/кг СВ корма (таблица 9).

Таблица 9 – Влияние различных доз пиколината хрома на переваримость сухого вещества в образце корма, %

Опытная добавка	Переваримость %
Контроль (ПО)	72,2±0,4
ПО+ Пиколинат хрома – 6,4 мг/кг СВ	75,3±0,9*
ПО + Пиколинат хрома – 7,2 мг/кг СВ	75,6±0,2*
ПО + Пиколинат хрома – 8 мг/кг СВ	78,1±0,3**

Примечание: ПО – пшеничные отруби (500 мг), \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ , при сравнении с контролем.

Следовательно, дополнительное включение пиколината хрома в дозировке 8 мг/кг СВ увеличивало интенсивность метаболических процессов в рубце, что подтверждалось увеличением биомассы бактерий на 8,8 %, простейших на 1,34 % ( $p \leq 0,05$ ), количества инфузорий на 1,8 % ( $p \leq 0,05$ ), повышением переваримости сухого вещества на 5,9 % ( $p \leq 0,01$ ), уровня летучих жирных кислот на 80,3 % и общего азота на 18,3 %.

### **3.2 Результаты физиологического опыта при использовании в рационе бычков различных доз пиколината хрома**

Согласно исследованию, выполненному «in vitro», по набору критериев, положительно влияющих на морфологические и биохимические значения разнообразных доз пиколината хрома взяты дозы с наилучшим влиянием – 7,2 мг/кг СВ и 8 мг/кг СВ рациона.

При проведении физиологического опыта бычки казахской белоголовой породы пребывали в идентичной среде выращивания. В период подготовки к эксперименту рационы всех групп были одинаковыми и содержали сбалансированное количество регламентированных питательных веществ. Бычки находились в стандартном помещении на привязи и имели свободный доступ к воде и корму. В состав рациона входило: 1 кг сена злакового, 2 кг сена бобового, 11 кг силоса кукурузного, 2 кг концентратов злаковых, 0,2 кг жмыха, 0,6 кг патоки, 40 г соли поваренной, 60,4 г диаммония фосфата, 20 г премикса. Опытным группам I и II был добавлен пиколинат хрома в дозах 7,2 и 8 мг/кг СВ рациона.

#### **3.2.1 Корма и рационы кормления**

Структура рациона: 10 % сена злакового, 20 % сена бобового, 35 % силоса кукурузного, 35 % концентрированных кормов (зерносмесь, жмых подсолнечный, патока кормовая). В результате, рацион для бычков 12-13

месячного возраста относился к силосно-концентратному типу кормления (приложение 1, приложение 2).

В итоге было установлено, что добавление подопытным бычкам в состав рациона пиколината хрома в количестве 8 мг/кг СВ рациона в сутки в некоторой степени повлияло на потребление нутриентов рациона (приложение 4).

### 3.2.2 Оценка переваримости питательных компонентов рациона

На основании оценки потребления и переваримости корма установлено, что бычки I группы больше потребили сухого вещества на 105,3 г (1,45 %), органического вещества на 98,1 г (1,43 %), сырого протеина на 11,4 г (1,23 %), сырого жира на 2,7 г (1,34 %), сырой клетчатки на 30,1 г (2,09 %), безазотистых экстрактивных веществ на 164,4 г (3,85 %) (таблица 10).

Таблица 10 – Количество питательных веществ потреблённых подопытными бычками в течение суток, г

Группа	Показатель					
	сухое вещество	органическое вещество	сырой протеин	сырой жир	сырая клетчатка	БЭВ
Контрольная	7283 ±97,6	6825 ±91,1	923 ±8,06	197 ±2,86	1438 ±25,3	4266 ±54,8
I опытная	7388 ±64,4	6923 ±60,1	934 ±6,31	200 ±1,58	1468 ±18,3	4430 ±87,4
II опытная	7571 ±60,1	7093 ±56	952 ±6,32*	205,23 ±1,62	1518 ±16	4663 ±125*

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ , при сравнении с контролем.

В организм животных II группы с кормом больше поступило сухого вещества, органического вещества, сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ на 287,5 г (3,95 %), на 267,9 г (3,92 %), на 28,85 г (3,13 %) ( $p \leq 0,05$ ), на 7,48 г (3,78 %), на 79,5 г (5,53 %), на 396,82 г (9,3 %) ( $p \leq 0,05$ ).

Добавление в рацион бычков пиколината хрома в различных дозировках в некоторой степени обладало стимулирующим влиянием на переваримость основных питательных веществ (таблица 11).

Таблица 11 – Переваримость питательных веществ подопытными бычками, г/сут

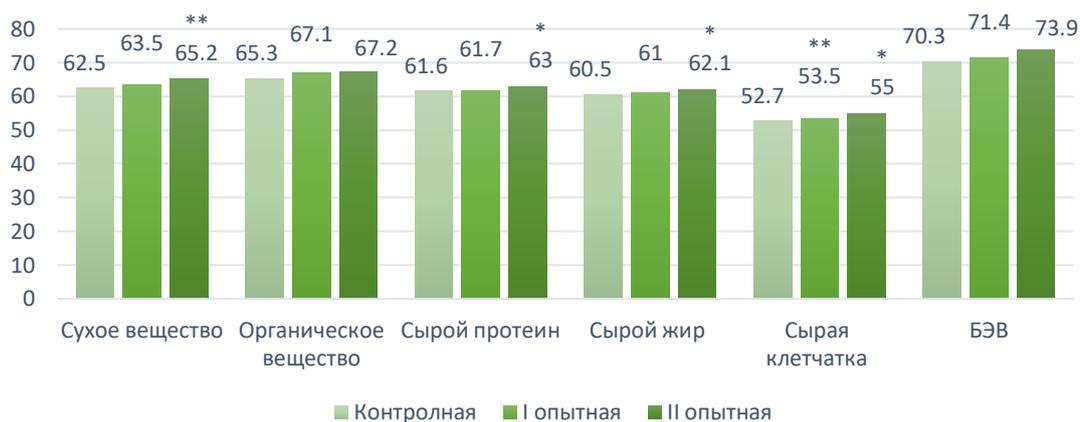
Группа	Показатель					
	сухое вещество	органическое вещество	сырой протеин	сырой жир	сырая клетчатка	БЭВ
Контрольная	4557 ±99,3	4459 ±68,8	581 ±9,33	119 ±2,44	758 ±87,8	2999 ±713
I опытная	4688 ±65,3	4647 ±210	576 ±8,86	122 ±1,09	785 ±23,6	3165 ±387
II опытная	4936 ±58,4*	4766 ±82,7*	600 ±6,68	127 ±2,92	835 ±35,8	3448 ±599

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ .

Животные в первой экспериментальной группе лучше переваривали сухое вещество на 131,2 г (2,88 %), органическое вещество – на 188,6 г (4,23 %), сырой протеин – на 4,99 г (0,86 %), сырой жир – на 2,51 г (2,09 %), сырую клетчатку на 27,02 г (3,44 %) и безазотистые экстрактивные вещества – на 166,46 г (5,55 %). В свою очередь II опытная группа: 379,44 г (8,33 %) ( $p \leq 0,05$ ), 307,87 г (6,9 %) ( $p \leq 0,05$ ), 18,45 г (3,17 %), 7,61 г (6,35 %), 77,13 г (10,2 %), 449,48 г (4,9 %).

Бычки, получавшие в рационе пиколинат хрома в дозе 8 мг/кг СВ рациона превосходили сверстников, получавших пиколинат хрома в дозе 7,2 мг/кг СВ рациона по сухому веществу на 248 г (5,03 %), по органическому веществу на 119 г (2,57 %), по сырому протеину на 24,4 г (3,9 %), по сырому жиру на 5,1 г (4 %), по сырой клетчатке на 50,1 г (5,99 %), по безазотистым экстрактивным веществам на 283 г (0,08 %).

Коэффициенты переваримости вычисляли делением количества переваренных и потребленных питательных веществ, умноженных на 100% (рисунок 3).



Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ , при сравнении с контролем.

Рисунок 3 – Коэффициенты переваримости питательных веществ рационов экспериментальных бычков, %

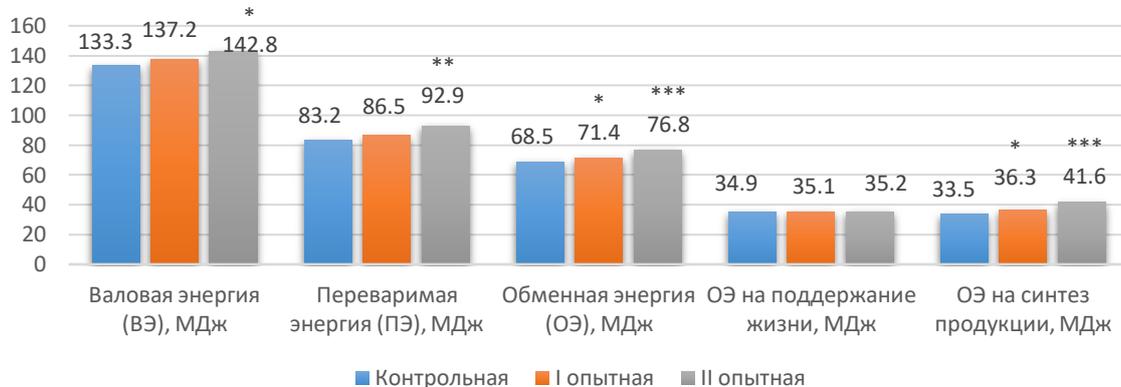
Установлено, что бычки I и II опытных групп превосходили группу контроля по переваримости сухого вещества на 0,96 % и 2,66 % ( $p \leq 0,01$ ), по сырому жиру на 0,55 % и 1,6 % ( $p \leq 0,05$ ), по сырой клетчатке на 0,76 % ( $p \leq 0,001$ ) и 2,32 % ( $p \leq 0,05$ ), по сырому протеину на 0,15 % и 1,47 % ( $p \leq 0,05$ ).

На основе вышеописанного можно утверждать, что целесообразно вводить пиколинат хрома в рацион для бычков, выращиваемых на мясо, в количестве 8 мг/кг СВ рациона на основании благоприятного воздействия на потребление, переваривание и усвоение питательных веществ.

### 3.2.3 Обмен энергии и азота в организме подопытных животных

Экспериментально установлено, что бычки I и II групп с потребленными кормами получали валовой энергии больше контрольной на 2,9 % и 7,1 % ( $p \leq 0,05$ ), переваримой энергии на 3,9 % и 11,7 % ( $p \leq 0,01$ ), обменной на 4,2 % ( $p \leq 0,05$ ) и 12,2 % ( $p \leq 0,001$ ) больше контрольной группы. В итоге поступление этих веществ в организм бычков II группы оказалось выше, чем в I группе на 4,12 %, 7,49 % и 7,62 %.

Энергию для синтеза продукции бычки I группы на 8,3 % ( $p \leq 0,05$ ), а II группы на 24,1 % ( $p \leq 0,001$ ) использовали лучше контрольных. Энергия прироста повышалась в I группе на 8,2 % ( $p \leq 0,05$ ), во II на 23,5 % ( $p \leq 0,01$ ) (рисунок 4).



Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,001$ , при сравнении с контролем.

Рисунок 4 – Обмен энергии в организме подопытных животных, МДж/гол/сутки

Коэффициент полезного использования обменной энергии на рост подопытных бычков в контрольной группе от валовой энергии был наиболее низким и уступал бычкам I и II групп на 5,2 % и 14,2 %. Коэффициент использования от обменной энергии контрольной группы уступал двум опытным группам на 3,8 % и 10,1 % ( $p \leq 0,05$ ) (таблица 12).

Таблица 12 – Коэффициенты использования энергии подопытными животными, %

Группа	Показатель		
	Энергия прироста, МДж	КПИ прироста от ВЭ, %	КПИ прироста от ОЭ, %
Контрольная	11,5±0,25	8,67±0,44	16,8±0,52
I опытная	12,5±0,23*	9,12±0,12	17,5±0,45
II опытная	14,3±0,14**	9,9±0,67	18,6±0,56*

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ , при сравнении с контролем.

Благоприятное действие пиколината хрома в составе рациона выражалось в положительном балансе азота во всех группах, но из-за разной поедаемости наблюдались особенности между экспериментальными группами в поступлении азота.

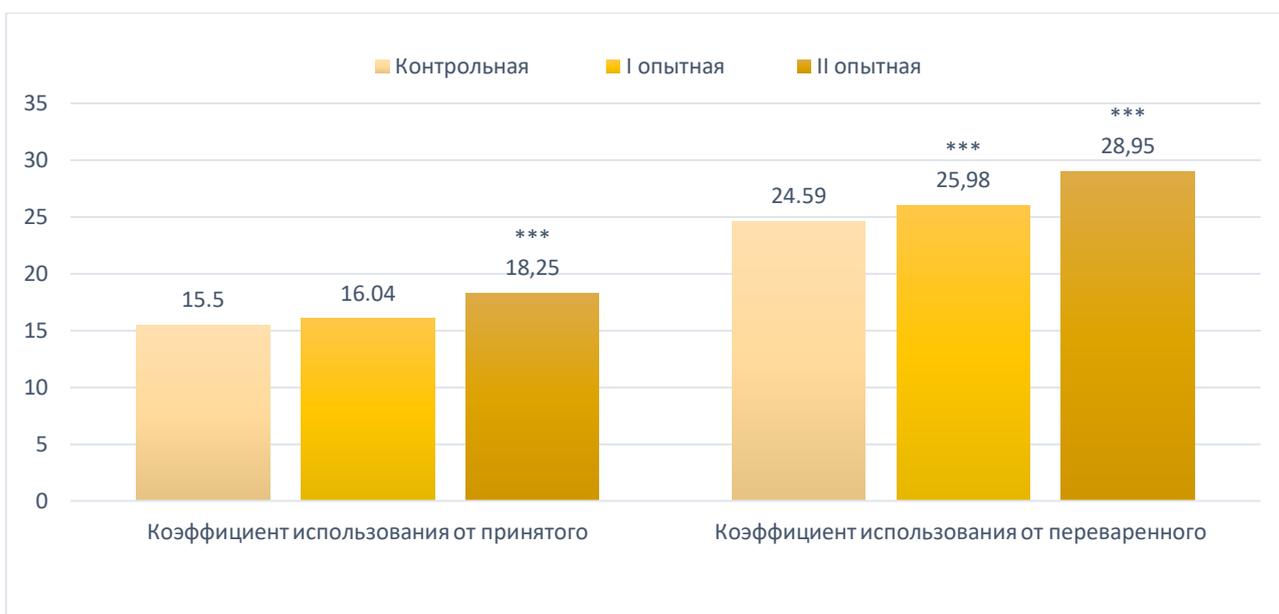
В I группе потребление азота было выше, чем в контроле на 1,2 %. Самое большее потребление отмечено во II группе на 3,1 % ( $p \leq 0,05$ ) при соответственном выделении с калом больше контрольных на 4,6 % ( $p \leq 0,05$ ) и на 3,2 % при дозе 8 мг/кг СВ. Бычки I группы, получавшие с рационом хром в количестве 7,2 мг/кг СВ рациона выделяли азота больше контрольных на 4,8 % ( $p \leq 0,05$ ). Бычки II группы, которые получали с рационом хром в количестве 8 мг/кг СВ рациона на 3,1 % меньше, чем контрольные. Выведение азота с мочой в I и II опытных группах было ниже контрольных значений на 2,7 % и 2,8 % соответственно. В итоге с добавлением в рацион пиколината хрома было отложено азота в I группе на 4,7 %, а во II группе на 21,4 % ( $p \leq 0,01$ ) больше чем в контроле. Пиколинат хрома воздействовал на усвояемость азота из рациона (таблица 13).

Таблица 13 – Среднесуточный баланс азота, г

Группа	Показатель				
	Принято	Выделено в кале	Переварено	Выделено в моче	Отложено на 1 голову
К	147±1,26	54,6±0,76	93,1±1,85	70,2±0,24	22,2±0,52
I	149±1,03	57,2±0,48 *	92,3±1,49	68,3±0,04	23,5±0,29
II	152±1,02 *	56,3±1,27	96±2,29	68,2±0,2	27,5±0,63 **

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ , при сравнении с контролем.

Экспериментальные бычки I и II групп лучше использовали азот от принятого на 0,5 % и 2,7 % ( $p \leq 0,001$ ), а также от переваренного на 1,4 % ( $p \leq 0,001$ ) и 4,4 % ( $p \leq 0,001$ ) больше соответственно (рисунок 5).



Примечание: \*\*\* -  $p \leq 0,001$  при сравнении с контролем.

Рисунок 5 – Коэффициенты использования азота, %

Из вышеизложенного заключается, что оптимальная концентрация хрома способствует лучшему использованию азота, повышая продуктивные качества животных. Кроме того, дозировка пиколината хрома для II опытной группы проявила положительное действие на механизмы обмена азота в организме, что в итоге повысило коэффициент полезного действия этих кормов.

### 3.2.4 Обмен кальция, фосфора и хрома

Исходя из собранного материала по объёму потреблённого кальция, животные I и II опытных групп превосходили контрольную группу на 1,6 % и 4,3 %. Через почки кальций выводился в I и II группах на 1 % и 8,2 % меньше, чем в контрольной группе. С калом кальция выделялось в опытных группах на 3,5 % и 3,4 % меньше по сравнению с контрольной группой.

Уровень отложения кальция в расчёте на одну голову в экспериментальных группах I и II был выше контрольных значений на 10,4 % ( $p \leq 0,01$ ) и 21,3 % ( $p \leq 0,001$ ). Коэффициент использования кальция в I и II группах был выше данных контроля на 8,7 % ( $P \leq 0,001$ ) и 16,3 % ( $p \leq 0,001$ ) (таблица 14).

Таблица 14 – Среднесуточный баланс кальция, г

Группа	Показатель				
	Принято	Выделено в кале	Выделено в моче	Отложено на 1 голову	Коэффициент использования, %
К	48,3±0,57	23,4±0,62	8,51±0,54	16,4±0,03	33,9±0,11
I	49,1±0,41	22,6±0,15	8,42±0,50	18,1±0,31 **	36,9±0,32 ***
II	50,4±0,53	22,6±0,31	7,81±0,12	19,9±0,22 ***	39,5±0,33 ***

Примечание: \*\* -  $P \leq 0,01$ , \*\*\* -  $p \leq 0,001$  при сравнении с контролем

Анализируя данные таблицы 15, установлено, бычки группы I и II выводили с калом на 1,1 % и 0,3 % больше фосфора, чем контрольная группа. Фосфор из почек выводился в I и II группах на 3,4 % и 24,5 % меньше, чем в контрольной группе.

Таблица 15 – Среднесуточный баланс фосфора, г

Группа	Показатель				
	Принято	Выделено с калом	Выделено с мочой	Отложено на 1 голову	Коэффициент использования, %
К	32,9±0,64	11,2±0,08	3,47±0,33	18,2±0,60	55,2±2,68
I	32,9±0,30	11,3±0,01	3,35±0,23	18,3±0,24	55,5±0,33
II	33±0,04	11,2±0,17	2,62±0,34	19,1±0,49	57,8±0,12

В итоге, в расчете на одну голову было отложено фосфора в I группе всего на 0,5 %, а во II опытной группе на 4,9 % больше контрольных значений соответственно. Коэффициент использования фосфора в I группе на 0,5 % больше контроля, а во II группе был выше данных контроля на 4,7 %.

В результате анализа данных (таблица 16) установлено, что количество принятого хрома с кормом в двух опытных группах было больше, чем в контроле на 0,69 мг (11,6 %) ( $p \leq 0,05$ ) и 1,47 мг (24,7 %) ( $p \leq 0,001$ ) соответственно.

Таблица 16 – Среднесуточный баланс хрома, мг

Группа	Показатель				
	Принято	Выделено с калом	Выделено с мочой	Отложено на 1 голову	Коэффициент использования, %
К	5,94±0,03	5,44±0,21	0,14±0,01	0,36±0,02	5,72±0,23
І	6,63±0,21 *	6,09±0,51	0,14±0,03	0,40±0,07	6,03±0,36
ІІ	7,41±0,05 ***	6,75±0,27 **	0,16±0,05	0,50±0,06	6,75±0,08 *

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0,001$  при сравнении с контролем

С калом хрома выделялось у подопытных бычков І группы на 0,65 мг (11,9 %), а во ІІ на 1,31 мг (24,1 %) ( $p \leq 0,01$ ) больше чем в контрольной группе.

Экскреция хрома через почки превосходила контрольные значения во ІІ группе на 0,02 мг (14,3 %), а в І группе хрома выделялось в одинаковом количестве с контрольными значениями. В итоге в расчете на одну голову было отложено хрома в опытных группах на 0,04 мг (11,1 %) и 0,14 мг (38,9 %) больше чем в контрольной группе, а коэффициент использования хрома в І и ІІ группах был выше контрольных значений на 0,3 % и 1 % ( $p \leq 0,05$ ).

В целом, оптимизация концентрации хрома в силосно-концентратных рационах привела к лучшему использованию кальция, фосфора и хрома бычками в ходе эксперимента. Лучшими показателями отличалась ІІ опытная группа.

### 3.2.5 Гематологические показатели подопытных животных

Изучение морфологических параметров крови у бычков показало, что добавление пиколината хрома в рацион приводит к повышению уровня лейкоцитов в І группе (7,2 мг/кг СВ) на 6,1 %, а во ІІ группе (8 мг/кг СВ) на 1,1 % ( $p \leq 0,05$ ), что не выходило за пределы нормы – 4,5-12  $10^9/1$ . Гемоглобин увеличивался в обеих группах на 11,3 % ( $p \leq 0,05$ ) и 10,6 % ( $p \leq 0,05$ ) относительно контроля, не превышая значения нормы – 90-120 г/л. Пиколинат хрома в разных дозировках вызывал увеличение среднего объема эритроцитов на 9,7 % ( $p \leq 0,001$ )

в первой группе и на 9,5 % ( $p \leq 0,05$ ) во второй группе. Уровень тромбоцитов не превышал установленную норму ( $260-270 \cdot 10^9/l$ ), так в I группе они повышались на 0,7 %, а в группе II на 0,4 % по сравнению с контрольными данными. Содержание эритроцитов в крови также не выходило за пределы нормы ( $5-7,5 \cdot 10^{12}/l$ ), при этом в двух исследуемых группах эритроциты были выше контрольных значений на 5,6 % и 5 % (таблица 17).

Таблица 17 – Данные морфологии крови в зависимости от уровня хрома в рационе подопытных бычков

Показатели	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
Лейкоциты, $10^9/l$	6,62±0,02	7,02±0,2	7,50±0,3*
Нейтрофилы, %	26,6±0,18	27,4±0,5	39±7,05
Лимфоциты, %	61,2±0,27	60,5±0,23	50,2±0,1
Моноциты, %	6,10±0,06	6,23±0,1	5,33±0,9
Эозинофилы, %	4,53±0,08	4,97±0,2	4,44±1,05
Базофилы, %	0,40±0,06	0,90±0,3	0,94±0,4
Нейтрофилы, $10^9/l$	1,78±0,01	1,93±0,08	3,01±0,6
Лимфоциты, $10^9/l$	4±0,06	4,25±0,1	3,71±0,5
Моноциты, $10^9/l$	0,62±0,02	0,44±0,03	0,39±0,07
Индекс соотношения лимфоцитов и моноцитов	6,45	9,65	9,51
Эозинофилы, $10^9/l$	0,03±0,04	0,34±0,01	0,32±0,5
Базофилы, $10^9/l$	0,02±0,05	0,05±0,02	0,06±0,03
Эритроциты, $10^{12}/l$	5,52±0,08	5,83±0,18	5,80±0,12
Гемоглобин, г/л	97,3±1,2	108±3,9	107±2,8*
Гематокрит, %	23,3±0,11	26,4±0,8*	26,15±0,5**
Средний объем эритроцита, fl	41,2±0,2	45,2±0,05***	45,1±0,07***
Среднее содержание гемоглобина в эритроцитах, pg	17,03±0,2	18,5±0,1**	18,5±0,2**
Средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах, г/л	419±0,6	410±2,52	410±3,2
Ширина распределения эритроцитов, %	17,2±0,3	17,9±0,03	17,9±0,05
Ширина распределения эритроцитов (стандартное отклонение), %	29,5±0,1	33,1±0,06***	32,9±0,05***
Тромбоциты, $10^9/l$	262±0,6	264±4,2	263±3,3

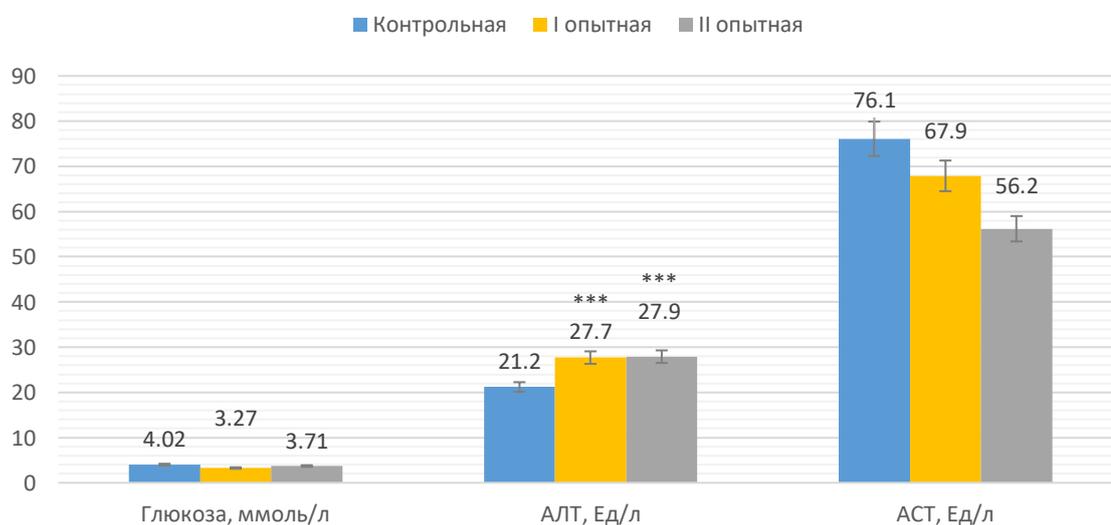
Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0,001$  при сравнении с контрольной группой

Индекс соотношения лимфоцитов и моноцитов (ИСЛМ), показывающий взаимодействие аффекторного и эффекторного составляющих иммунного ответа,

возрастал у бычков первой группы на 49,6 %, а у второй группы на 47,4 %, это свидетельствует об участии хрома в механизмах регуляции иммунного ответа.

В результатах проведенного исследования мы обнаружили интересные изменения биохимических показателей крови при введении пиколината хрома в рацион бычков (рисунок 6, приложение 6).

В частности, уровень глюкозы был ниже контрольных значений на 18,6 % в I группе и на 7,7 % во II группе. Для проверки функционального состояния внутренних органов определяли уровень аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ), при этом выявили, что АЛТ повысилась на 30,7 % ( $p \leq 0,001$ ) и 31,6 % ( $p \leq 0,001$ ), напротив АСТ снизилась на 10,7 % и 26,1 % в опытных группах. Интересно отметить, что соотношение активности АСТ и АЛТ аминотрансфераз изменилось в зависимости от дозы пиколината хрома. В контрольной группе животных наблюдались высокие значения коэффициента де Ритиса, тогда как в I группе этот показатель снизился на 26,9 %, во II группе на 40 %. Данный препарат способствует активизации цикла трикарбоновых кислот и преобладанию центрального звена метаболизма.

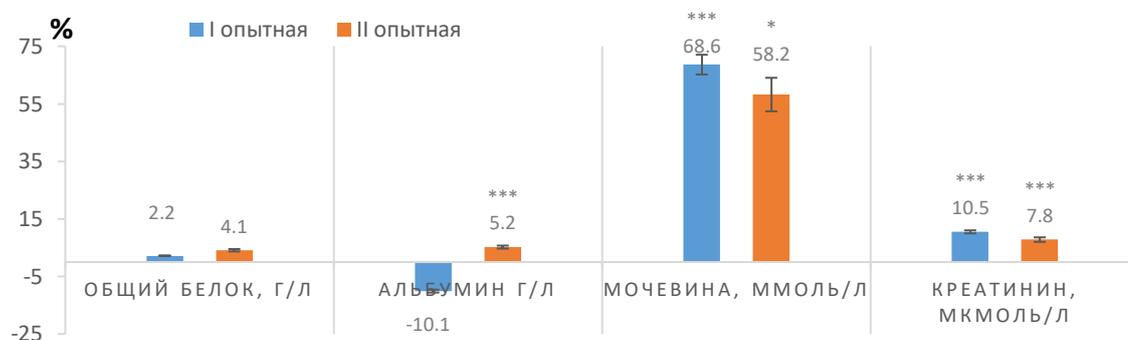


Примечание: \*\*\* –  $p \leq 0,001$  при сравнении с контрольной группой

Рисунок 6 – Биохимические показатели крови у подопытных бычков

Добавка с хромом усиливала обмен белков, что подтверждается эскалацией уровня мочевины и креатинина в крови (рисунок 7).

Происходило увеличение мочевины на 68,6 % ( $p \leq 0,001$ ) в I группе и на 58,2 % ( $p \leq 0,05$ ) во II группе, креатинина на 10,5 % ( $p \leq 0,001$ ) и 7,8 % ( $p \leq 0,001$ ). Уровень общего белка возрастал в I группе на 2,2 %, а во II группе повышался на 4,1 %. Произошло снижение альбумина в I группе на 10,1 % и увеличение на 5,2 % ( $p \leq 0,001$ ) во II группе.



Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,001$  при сравнении с контролем

Рисунок 7 – Биохимические параметры крови, определяющие метаболизм жиров в организме экспериментальных бычков по сравнению с группой контроля, %

Также было зафиксировано, что пиколинат хрома усиливал интенсивность обмена липидов различной плотности (рисунок 8).



Примечание: \*\* -  $p \leq 0,01$ , \*\*\* -  $p \leq 0,001$  при сравнении с контролем

Рисунок 8 – Разница показателей липидного обмена в организме подопытных бычков относительно контрольной группы, %

Это проявлялось повышением билирубина в I и II группах на 129,9 % ( $p \leq 0,001$ ) и 40,1 % ( $p \leq 0,001$ ), холестерина на 36,1 % ( $p \leq 0,001$ ) и 28,2 % ( $p \leq 0,001$ ). Тем не менее триглицериды снижались в I группе на 83,8 %, а во II группе на 75,7 % сравнительно с контролем. Такие результаты свидетельствуют о сдвиге метаболических процессов в сторону анаболизма, в виду чего повышаются продуктивные качества подопытных животных (Лебедева И.Ю. и др., 2018).

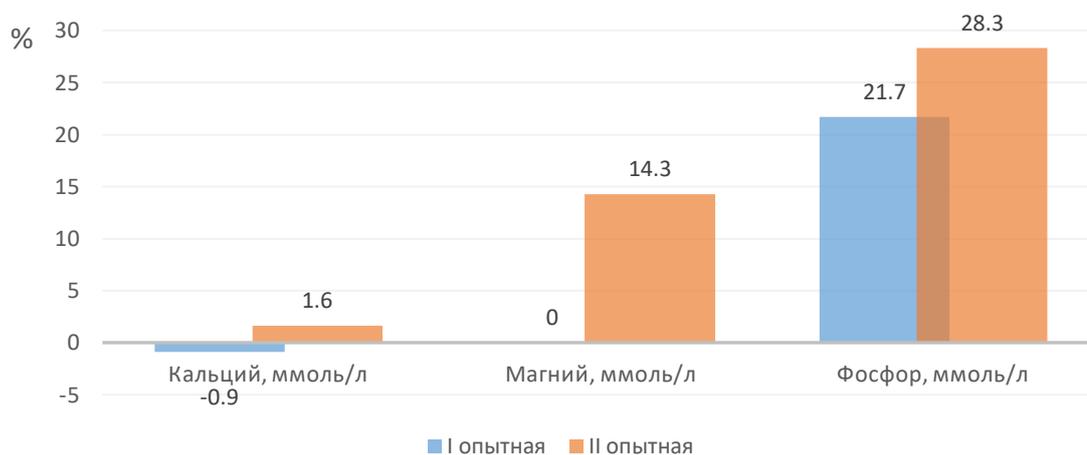


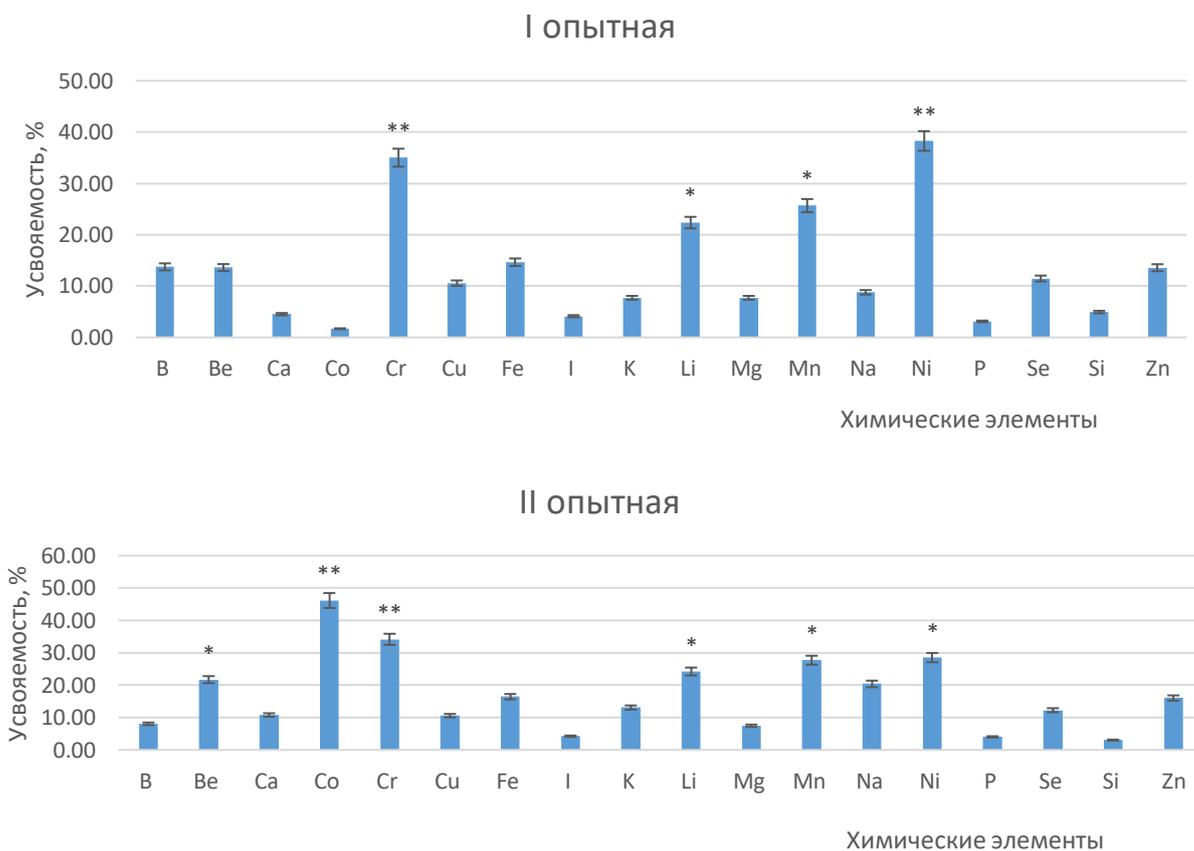
Рисунок 9 – Разница химических элементов сыворотки крови при введении пиколината хрома в рационы бычков, %

Также мы обратили внимание на изменения в содержании минеральных веществ в крови. Уровень кальция снижался на 0,9 % в I группе, но возрастал на 1,6 % во II группе. Уровень магния оставался стабильным в I группе, но повышался на 14,3 % во II группе. Фосфор повышался в I группе на 21,7 % и на 28,3 % во II группе по сравнению с контролем (рисунок 9).

Принимая во внимание указанные выше значения крови, сделан вывод о том, что пиколинат хрома в концентрации 8 мг/кг СВ рациона значительно модернизировал обмен веществ в противоположность концентрации 7,2 мг/кг СВ рациона.

### 3.2.6 Особенности обмена химических элементов в организме бычков казахской белоголовой породы

С учётом минералов, поступающих в живой организм обновляется обмен веществ, в котором существенная функция отводится микро- и макроэлементам. В рамках работы выполнялся микронутриентный анализ рациона, выделенного кала, сыворотки крови и производился расчет усвояемости микронутриентов в организме экспериментальных бычков.



Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ , при сравнении с контролем

Рисунок 10 – Биодоступность жизненно необходимых микронутриентов в организме экспериментальных бычков (разница с контрольной группой, %)

Снижение концентрации в выделенном кале бычков опытных групп большинства химических элементов способствовало лучшей усвояемости их в организме, так с добавлением пиколината хрома в дозе 7,2 мг/кг СВ рациона в организме бычков I группы бром усваивался на 13,7 %, бериллий на 13,6 %, кальций на 4,5 %, хром на 35 % ( $p \leq 0,01$ ), медь на 11 %, железо на 14,6 %, калий на 7,7 %, литий на 22,5 % ( $p \leq 0,05$ ), магний на 7,7 %, марганец на 26,2 % ( $p \leq 0,05$ ), натрий на 8,8 %, никель на 38,6 % ( $p \leq 0,01$ ), селен на 11,5 %, кремний на 4,9 %, цинк на 13,6 %.

цинк на 13,6 %. Ввиду увеличения дозы пиколината хрома до 8 мг/кг СВ рациона в организме бычков II группы отмечено, что бром усваивался на 8,1 %, бериллий на 22 % ( $p \leq 0,05$ ), кальций на 10,8 %, кобальт на 46,8 % ( $p \leq 0,01$ ), хром на 35,2 % ( $p \leq 0,01$ ), медь на 10,6 %, железо на 16,4 %, калий на 13,1 %, литий на 24,6 % ( $p \leq 0,05$ ), магний на 7,5 %, марганец на 28,2 % ( $p \leq 0,05$ ), натрий на 20,4 %, никель на 28,4 % ( $p \leq 0,05$ ), селен на 12,3 %, цинк на 16 % (рисунок 11).



Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ , \*\*\* -  $p \leq 0,001$ , при сравнении с контролем

Рисунок 11 – Биологическая доступность токсичных микроэлементов в организме подопытных бычков (разница с контрольной группой, %).

Касательно токсичных элементов определен низкий предел усвоения. В частности отмечено достоверное снижение усвоения в двух группах Al на 64,7–72,8 % ( $p \leq 0,01$ ), As на 114,3–121,1 % ( $p \leq 0,001$ ), Pb на 15,5–25,6 % ( $p \leq 0,05$ ), Cd на 3,1–6,1 % и Sn на 86,1–105 % ( $p \leq 0,001$ ) (рисунок 7).

Обобщая материал, следует отметить, что с увеличением дозы пиколината хрома в рационе возникают изменения разного направления по усвояемости микронутриентов:

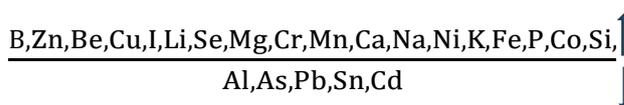


Таблица 18 – Уровень химических элементов в сыворотке крови при дополнительном включении в рацион пиколината хрома

Элемент	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
As	0,00136 (0,00133...0,00139)	0,00243 (0,00239...0,00247) ***	0,00351 (0,00348...0,00354) ***
Be	0,00006 (0,000056...0,000065)	0,000061 (0,000057...0,000067)	0,000062 (0,000058...0,000066)
Cd	0,00003 (0,000026...0,000034)	0,000032 (0,000028...0,000036)	0,000033 (0,000030...0,000037)
Co	0,00081 (0,00077...0,00085)	0,00087 (0,00077...0,00091)	0,00089 (0,00085...0,00093)
Cr	0,00145 (0,00141...0,00149)	0,00149 (0,00145...0,00153)	0,00151 (0,00147...0,00155)
Cu	0,5355 (0,5351...0,5358)	0,5596 (0,5351...0,5358)**	0,5687 (0,5683...0,5691)**
Hg	0,00025 (0,00021...0,00029)	0,00026 (0,00022...0,00030)	0,00027 (0,00023...0,00031)
Li	0,1199 (0,11103...0,1195)	0,1297 (0,12101...0,1293)	0,1312 (0,1316...0,1308)
Mn	0,00346 (0,00342...0,00350)	0,00368 (0,00364...0,00372)	0,00373 (0,00368...0,00376)
Ni	0,00094 (0,00090...0,00098)	0,0009 (0,00086...0,00094)	0,00085 (0,00081...0,00089)
Pb	0,00025 (0,00020...0,00028)	0,00026 (0,00023...0,00031)	0,00028 (0,00024...0,00032)
Se	0,04886 (0,04882...0,04890)	0,0521 (0,0517...0,0525)**	0,0533 (0,0529...0,0537)**
Si	0,1433 (0,1429...0,1437)	0,1507 (0,1503...0,1511)	0,1529 (0,1525...0,1533)
Sn	0,00025 (0,00021...0,00028)	0,00027 (0,00023...0,00031)	0,00027 (0,00023...0,00031)
V	0,00052 (0,00048...0,00056)	0,00055 (0,00051...0,00058)	0,00057 (0,00053...0,00061)
Zn	0,7156 (0,7152...0,7159)	0,7478 (0,7475...0,7482)*	0,7607 (0,7603...0,7611)*
Al	0,00856 (0,00852...0,00860)	0,00922 (0,00918...0,00926)	0,00934 (0,00930...0,00938)
I	0,06504 (0,06500...0,06508)	0,0683 (0,0679...0,0687)	0,0697 (0,0693...0,06101)
Fe	2,405 (2,401...2,409)	2,432 (2,428...2,436)	2,456 (2,452...2,460)
Ca	70,47 (70,43...70,51)	74,3 (74,26...74,35)	75,2 (75,16...75,24)
K	201,5 (201,1...201,9)	202 (198...206)	204,5 (204,1...204,8)
Mg	22,4 (22,0...22,7)	23,59 (23,55...23,63)	24,33 (24,29...23,37)
Na	3483,8 (3483,5...3484,1)	3565 (3561...3569)*	3601,8 (3601,4...3602)*
P	103,7 (103,3...104,1)	113,5 (113,2...113,9)	113,8 (113,4...114,1)

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ , \*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,001$ , при сравнении с контролем

В дополнение к усвоению химических элементов нами была определена концентрация макро- и микроэлементов в сыворотке крови. Так, количество мышьяка в двух исследуемых группах возрастало сопоставимо с контрольными числами на 78,6 % ( $p \leq 0,001$ ) и 158,1 % ( $p \leq 0,001$ ), меди на 4,5 % ( $p \leq 0,01$ ) и 6,2 % ( $p \leq 0,01$ ), селена на 6,6 % ( $p \leq 0,01$ ) и 9,1 % ( $p \leq 0,01$ ), цинка на 4,5 % ( $p \leq 0,05$ ) и 6,3 % ( $p \leq 0,05$ ), а натрия на 2,3 % ( $p \leq 0,05$ ) и 3,4 % ( $p \leq 0,05$ ) (таблица 18).

В итоге, концентрация элементов (As, Cu, Se, Zn, Na) в сыворотке крови двух исследуемых групп достоверно возрастала относительно контрольных значений.

Таким образом, включение в рацион пиколината хрома способствовало лучшей усвояемости эссенциальных и условно-эссенциальных элементов: Be – на 22 % ( $p \leq 0,05$ ), Co – на 46,8 % ( $p \leq 0,01$ ), Cr – на 35,2 % ( $p \leq 0,01$ ), Fe – на 16,4 %, Li – на 24,6 % ( $p \leq 0,05$ ), Mn – на 28,2 % ( $p \leq 0,05$ ), Na – на 20,4 %, Ni – на 28,4 % ( $p \leq 0,05$ ), Zn – на 16 %. Уровень токсических элементов под влиянием пиколината хрома в организме бычков снижался: As – на 121,1 ( $p \leq 0,001$ ), Pb – на 25,6 % ( $p \leq 0,05$ ), Sn – на 105 % ( $p \leq 0,001$ ).

### **3.3 Результаты научно-хозяйственного исследования на молодняке крупного рогатого скота**

#### **3.3.1 Содержание и кормление подопытных животных**

В процессе проведения научно-хозяйственного исследования был составлен кормовой рацион на основе норм кормления, химического состава кормов и их обеспеченности в хозяйстве.

В подготовительный период (9 мес.) экспериментальным бычкам задавали основной рацион, в состав которого входило сено злаковое 1 кг (10 %), сено бобовое 1,5 кг (20 %), силос кукурузный 8 кг (35 %), зерносмесь дробленая 1,5 кг (35 %), поваренная соль 31 г. Во время основного периода эксперимента (10-18 мес.) в I и II опытные группы в состав концентратов дополнительно вводили

пиколинат хрома в дозах 7,2 и 8 мг/кг СВ рациона (приложение 3). Корма, которые входили в состав экспериментальных рационов в период проведения исследования подвергались зоотехническому анализу.

В основной период научно-хозяйственного опыта структура рационов варьировалась с учётом возраста, массы тела и приростов экспериментальных бычков. В частности для бычков 10-12 месяцев в структуру рациона входило: 30 % сена злакового и бобового, 35 % силоса кукурузного, 35 % концентрированных кормов (зерносмесь, жмых подсолнечный, патока кормовая). Для бычков 13-14 месячного возраста структура рациона состояла из 30 % сена злакового и бобового, 45 % силоса кукурузного, 25 % концентрированных кормов (зерносмесь, жмых подсолнечный, патока кормовая). В возрасте 15-16 месяцев на корма приходилось: 30 % грубых, 30 % сочных, 40 % концентрированных, а в 17-18 месяцев: 35 % грубых, 25 % сочных и 40 % концентрированных.

Итак, рационы для бычков 10-12 месячного возраста принадлежали к силосно-концентратному типу, для 13-14 месяцев к силосно-сенному, а рационы животных в возрасте 15-16 и 17-18 месяцев были концентратного типа.

В среднем за период эксперимента бычки контрольной группы в сутки потребляли злаковое сено – 1,4 кг, бобовое сено – 2,2 кг, кукурузный силос – 11,6 кг, зерносмесь злаковых культур – 2,9 кг, жмыха подсолнечного – 0,2 кг, патоки кормовой – 0,9 кг, поваренной соли – 50,2 г, диаммония фосфата – 67,5 г, премикса П-62-1 – 30,7 г. Рацион содержал 9,4 кг сухого вещества, 94,1 МДж обменной энергии, 1171 г сырого протеина, переваримого 815,3 г, 1798,9 г сырой клетчатки, 1159 г крахмала, 667 г сахара, 244 г сырого жира, 57,3 г кальция, 23,5 г фосфора, 14,3 г серы, 3,8 мг йода, 6 мг кобальта, 7,3 мг хрома, 68,1 мг меди, 269 мг цинка, 439 мг марганца, 1471 мг железа, 141 мг каротина, 880 мг витамина Е, 0,9 тыс. МЕ витамина Д.

Внесение различных доз пиколината хрома в рационы экспериментальных групп оказало некоторое влияние на количество съеденного грубого и сочного кормов. Поедаемость у бычков контрольной группы по злаковому сену составляла 86,7 %, по бобовому сену – 94,3 %, по силосу

кукурузному – 91,5 %, концентраты и кормовая патока съедались все (приложение 7). В группе I бычки потребляли 89 % сена злакового, 95,5 % сена бобового и 92,7 % силоса кукурузного (приложение 8).

Поедаемость животными во II опытной группе составила 91,3 % злакового сена, 96,8 % бобового сена и 95,1 % кукурузного силоса, что выше по сену злаковому и бобовому на 3,1 – 6,8 %, а также по силосу кукурузному на 5,4 %. В проведенном научно-хозяйственном опыте потребление сухого вещества, обменной энергии, сырого протеина экспериментальными бычками на 100 кг живой массы составило в группе контроля 2,2 кг, 22,3 МДж и 278,2 г, в группе I – 2,3 кг, 22,4 МДж и 279,7 г, в группе II – 2,3 кг, 22,8 МДж и 283,8 г (приложение 9). На основании проведенного анализа поедаемости установлено, что бычки I опытной группы за весь период научно-хозяйственного эксперимента потребили бобового и злакового сена на 5,5 и 5,8 кг (0,9-1,6 %) больше контрольной, а II опытная на 19,2 и 24,9 кг (3,1-6,9 %) соответственно.

Вместе с тем бычки из группы контроля уступали экспериментальным группам по поедаемости силоса кукурузного на 27,4–169,3 кг (0,8-5,4 %). Концентраты (зерносмесь и подсолнечный жмых) и патока кормовая потреблялись животными всех сопоставляемых групп полностью.

В конце научно-хозяйственного эксперимента подтверждена высокая потребляемость питательных составляющих, а также микронутриентов в группе II, которая принимала пиколинат хрома в дозе 8 мг/кг СВ рациона. Так, превосходство по обменной энергии, сырому протеину, кальцию, фосфору, хрому составило 2,1 МДж (2,2 %), 23,4 г (2 %), 2,5 г (4,3 %), 0,3 г (1,4 %), 2,1 г (28,6 %), чуть ниже этих результаты в I группе. Такие элементы, как сера, йод, кобальт, медь, цинк, марганец, железо попадали в животный организм приблизительно в равных пропорциях, но повышались по сравнению с контрольными бычками (приложение 10).

Таким образом, пиколинат хрома в дозировке 8 мг/кг СВ рациона оказывал положительное влияние на потребление грубых и сочных кормов, а также на

переваримость основных питательных веществ, что повлияло на ростовые показатели опытных животных.

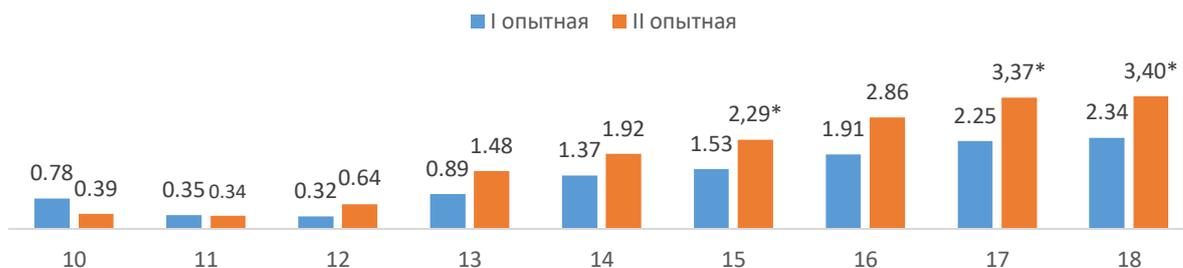
### 3.3.2 Рост и развитие подопытных бычков

Благодаря кормлению экспериментальных животных различными дозировками пиколината хрома развивался гибкий эффект касательно продуктивности, так на начало эксперимента в 10-месячном возрасте все подопытные бычки характеризовались приблизительно схожим весом от 255 до 257 кг, то в 12 месяцев бычки из группы контроля отставали от ровесников из I и II опытных групп на 0,2 % и 0,6 %, в 13 месяцев – на 0,9 % и 1,4 %, в 15 месяцев – на 1,5 % и 2,3 % ( $p \leq 0,05$ ), в 17 месяцев – на 2,2 % и 3,3 % ( $p \leq 0,05$ ). В конце научно-хозяйственного опыта в возрасте 18 месяцев – на 2,3 % и 3,4 % ( $p \leq 0,05$ ) соответственно (таблица 19, рисунок 12).

Таблица 19 – Темпы живой массы подопытных бычков, кг

Возраст, мес	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
10	257±1,35	255±1,24	256±1,52
11	286±2,30	285±3,48	287±2,16
12	313±1,96	314±2,87	315±3,22
13	338±2,94	341±2,62	343±3,55
14	365±3,28	370±4,05	372±2,91
15	392±2,75	398±3,87	401±3,42*
16	419±4,63	427±6,28	431±5,45
17	445±5,31	455±3,90	460±3,67*
18	470±6,73	481±4,50	486±3,58*

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$  при сравнении с контролем



Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ , при сравнении с контролем

Рисунок 12 – Разница в живой массе подопытных бычков, %

При расчете абсолютного прироста установлено, что наименьшими значениями характеризовалась контрольная группа животных. В возрасте 10-11 месяцев I и II группы преобладали над контролем на 1,4 кг (4,8 %) и 1,8 кг (6,2 %) ( $p \leq 0,05$ ), в 11-12 месяцев – на 2,2 кг (8,1 %) и 1 кг (3,7 %), в 12-13 месяцев – на 0,8 кг (3,1 %) и 1,9 кг (7,3 %), в 13-14 месяцев – на 2,6 кг (9,8 %) ( $p \leq 0,05$ ) и 3,3 кг (12,5 %) ( $p \leq 0,01$ ), в 14-15 месяцев – на 1,5 кг (5,5 %) ( $p \leq 0,05$ ) и 2,1 кг (7,7 %) ( $p \leq 0,05$ ), в 15-16 месяцев – на 1,7 кг (6,3 %) и 2,2 кг (8,1 %) ( $p \leq 0,05$ ), в 16-17 месяцев – на 2,3 кг (8,8 %) и 2,8 кг (10,7 %), в 17-18 месяцев во II группе абсолютный прирост повышался на 1,5 кг (5,9 %), а в I группе снижался на 0,1 кг (0,3 %). В итоге за период эксперимента 10-18 месяцев в I и II опытных группах показатели абсолютного прироста превышали контрольные на 12,4 кг (5,8 %) и 16,6 кг (7,8 %) соответственно. Разница между бычками I и II групп за весь период эксперимента составила 4,2 кг (1,9 %) с лучшими результатами для II группы (таблица 20).

Темпы роста подопытного скота указывают на адекватное кормление, полноценный рацион и хорошие условия выращивания. Включение в рацион бычкам пиколината хрома в дозировке 7,2 мг/кг СВ рациона для I группы сопровождалось увеличением среднесуточного прироста в возрастной период 10-11 месяцев – на 45 г или 4,9 % ( $p \leq 0,05$ ), в 11-12 месяцев – на 71 г или 8,2 % ( $p \leq 0,05$ ), в 13-14 месяцев – на 84 г или 9,9 %, в 15-16 месяцев – на 55 г или 6,3 %, но в 17-18 месяцев среднесуточный прирост снижался на 3 г или 0,4 % (таблица 21).

Таблица 20 – Абсолютный прирост у подопытных бычков, кг

Возрастной период, мес	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
10-11	28,7±0,71	30,1±0,85	30,5±0,48*
11-12	27±0,56	29,2±0,94	28±0,73
12-13	25,9±1,07	26,7±1,53	27,8±1,65
13-14	26,3±0,94	28,9±0,52*	29,6±0,43**
14-15	27,1±0,36	28,6±0,47*	29,2±0,61**
15-16	27±0,80	28,7±0,42	29,2±0,64*
16-17	26,1±0,98	28,4±1,07	28,9±1,45
17-18	25,4±1,52	25,3±1,36	26,9±1,07
10-18	213,5±7,24	225,9±7,5	230,1±8,13

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ , при сравнении с контролем

Бычкам II группы задавали пиколинат хрома в дозировке 8 мг/кг СВ рациона, что в результате привело к повышению среднесуточного прироста в возрасте 10-11 месяцев на 58 г или 6,3 % ( $p \leq 0,05$ ), в 11-12 месяцев на 33 г или 3,8 %, в 13-14 месяцев на 106 г или 12,5 % ( $p \leq 0,01$ ), в 15-16 месяцев на 71 г или 8,2 % ( $p \leq 0,05$ ), в 17-18 месяцев на 48 г или 5,9 % (таблица 21).

Таблица 21 – Среднесуточные приросты у подопытных бычков, г

Возрастной период, мес	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
10-11	925±13,5	970±15,2*	983±16,1*
11-12	870±23,7	941±16,1*	903±11,4
12-13	835±35,3	861±27,5	896±10,7
13-14	848±42,1	932±18,3	954±19,3**
14-15	874±36,5	922±21,4	941±15,8
15-16	870±24,8	925±17,6	941±15,7*
16-17	841±47,2	916±23,1	932±18,6
17-18	819±52,3	816±41,5	867±26,3
10-18	860±38,4	910±19,7	927±17,1

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ , при сравнении с контролем

За весь период эксперимента в первой группе прирост увеличивался на 50 г (5,8 %), а во второй на 67 г (7,8 %) по сравнению с контрольной группой, при разнице между опытными группами 17 г (1,9 %) (таблица 21).

Увеличение среднесуточных приростов каждой сопоставляемой группы основано на балансе рациона по питательным веществам, и их удобоваримости.

Анализируя показатели динамики роста, установлено, что при повышении живой массы подопытных бычков по ходу научно-хозяйственного эксперимента, относительная скорость роста снижалась. На начало исследования (в возрасте 10 месяцев) относительная скорость роста контрольного скота составила 10,6 %, при снижении к 18 месяцам до 5,5 %. В возрасте 10-11 месяцев разница между контролем и группами I и II составила 0,6 %, в 17-18 месяцев – 0,14 %, а в 10-18 месяцев – 2,7 % и 3,2 %. Такие показатели обусловлены физиологическими изменениями, связанными со снижением основных биохимических процессов, возникающих внутри клеток организма, и как следствие – изменяют клеточные функции (таблица 22).

Таблица 22 – Относительная скорость роста подопытных бычков, %

Группа			Интервал возраста, мес
II опытная	I опытная	Контрольная	
11,21	11,14	10,56	10-11
9,29	9,73	9,01	11-12
8,44	8,14	7,94	12-13
8,27	8,12	7,47	13-14
7,53	7,44	7,15	14-15
7,01	6,94	6,65	15-16
6,48	6,43	6,03	16-17
5,68	5,40	5,54	17-18
61,87	61,37	58,64	10-18

Таким образом, применение пиколината хрома в количестве 8 мг/кг СВ в составе рациона для крупного рогатого скота мясной породы является предпочтительным за счет разницы в приросте живой массы между группами.

### 3.4 Мясная продуктивность и качество мяса

#### 3.4.1 Убойные качества и морфологический состав туш

Для сравнительного изучения влияния различного уровня хрома в рационах подопытных животных на качество мяса был проведён контрольный убой 9 бычков по 3 головы из каждой группы (таблица 23).

Таблица 23 – Значения контрольного убоя экспериментальных бычков

Показатель	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
Масса, кг:			
предубойная	458±4,87	468±3,92	474±3,65*
парной туши	250±2,86	258±2,50*	264±2,27**
Выход туши, %	54,6	55,2	55,7
Масса внутреннего жира, кг	14,7±1,97	15,6±1,57	15,9±1,43
Выход внутреннего жира, %	3,2	3,3	3,4
Убойная масса, кг	265±3,87	274±2,61	280±2,51**
Убойный выход, %	57,81	58,55	59,09

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ , при сравнении с контролем

Установлено, что убойные значения бычков всех сопоставляемых групп были на высоком уровне.

Тем не менее бычки из контрольной группы уступали сверстникам из опытных групп по весу перед убоем на 10 кг (2,1 %) и 16 кг (3,4 %) ( $p \leq 0,05$ ), а по весу парных туш на 8 кг (3,2 %) ( $p \leq 0,05$ ) и 14 кг (5,5 %) ( $p \leq 0,01$ ), в результате чего выход туши повышался в I группе на 0,6 %, а во II группе на 1,1 %.

Превосходством по отложению внутреннего жира характеризовались бычки, получавших добавку с пиколинатом хрома в I группе (увеличение на 0,9 кг или 6,1 %) и во II группе (увеличение на 1,2 кг или 8,1 %). В этих группах также наблюдалось повышение выхода жира на 0,1 % и 0,2 %. Убойная масса в группах I и II превышала контрольные значения на 9 кг (3,4 %) и 15 кг (5,7 %), а убойный выход на 0,7 % и 1,3 %.

В ходе исследования морфологии туш экспериментальных бычков были обнаружены достоверные результаты, касающиеся их мясной продуктивности (таблица 24).

Таблица 24 – Морфология туш подопытных бычков

Показатель	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
Масса: охлажденной туши, кг	246±2,36	253±2,19*	259±1,85***
мякоти, кг	197±2,71	204±2,56	209±2,47**
Выход мякоти, %	80,1	80,5	80,5
Масса костей, кг	41,7±1,3	42,1±1,18	43,1±0,92
Выход костей, %	16,9	16,6	16,6
Масса сухожилий и связок, кг	7,53±0,17	7,51±0,14	7,56±0,11
Выход сухожилий и связок, %	3,05	2,96	2,91
Индекс мясности	4,74	4,85	4,86
Показатель пищевой ценности	4,02	4,11	4,13

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ , \*\*\* -  $p \leq 0,001$ , при сравнении с контролем

Превосходством по массе охлажденной туши на 7 кг (2,8 %) ( $p \leq 0,05$ ) и 12,9 кг (5,2 %) ( $p \leq 0,001$ ) по сравнению с контрольной группой было установлено в I и II опытных группах. Масса мякоти превосходила показатели контроля на 6,6 кг (3,3 %) и 11,3 кг (5,7 %) ( $p \leq 0,01$ ), а её выход на 0,3 % и 0,4 %. В то же время, масса костей в группах с добавлением пиколината хрома увеличилась на 0,4 кг (1 %) и 1,4 кг (3,3 %), а выход костей на 0,2 % уменьшался. Масса сухожилий и связок в I группе снижалась на 0,02 кг (0,3 %), а во II группе повышалась на 0,03 кг (0,4 %), их выход составил 3 % и 2,9 %. Самый высокий индекс мясности был во II группе (4,86 единиц) при снижении в I группе (4,85 единиц), что на 2,3 % и 2,5 % преобладает над контролем. Сверяя пригодные и непригодные к пище составляющие туши заметили, что в I и II группах показатель пищевой ценности прибавлялся на 2,2 % и 2,7 % по сравнению с контролем. Это свидетельствует о потенциальной биологической активности пиколината хрома.

### 3.4.2 Химический состав мякоти и длиннейшей мышцы спины

Химический состав мяса позволяет определить начало физиологического созревания, пищевой и энергетической ценности, особенности конверсии питательных веществ.

Различные дозы хрома в рационе экспериментальных бычков оказали разностороннее действие на убойные показатели и данные химического состава мякоти туш. Анализируя данные, установлено, что мякоть бычков из I и II групп содержала больше сухого вещества на 0,9 % и 1,4 % ( $p \leq 0,05$ ) сравнительно с контрольными значениями, что обосновывается повышенным составом в мякоти протеинов и липидов, идентичностью зольных веществ обеих групп, числа которых равнялись контролю (таблица 25).

Таблица 25 – Биосинтез и энергетическая ценность мякоти туш экспериментальных животных 18 месячного возраста

Группа	Показатель			
	Синтезировано протеина в мякоти, кг	Синтезировано жира в мякоти, кг	Энергетическая ценность 1 кг мякоти, МДж	Энергетическая ценность всей мякоти туши, МДж
К	37,89	25,73	8,16	1652
I	40,17	27,76	8,42	1770
II	41,55	29,07	8,57	1845



Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ , при сравнении с контролем

Рисунок 13 – Химический состав мякоти бычков 18 месячного возраста

Настоящий эксперимент доказывает, что использование хрома в рационе, приводит к увеличению содержания белка и жира при сопоставлении с контрольными животными. Разница между I и II группами, а также контрольной составляла 0,4 % и 0,6 % ( $p \leq 0,05$ ) по протеину, а по жиру 0,5 % и 0,8 %. С увеличением дозировки пиколината хрома наблюдалось повышение содержания протеина и жира в мякоти (рисунок 13). На этом основании энергетическая ценность общей мякоти туш бычков из групп I и II была выше, чем в группе контроля на 118 МДж (7,1 %) и 193 МДж (11,7 %), а энергетическая ценность 1 кг мякоти бычков, принимающих пиколинат хрома в количестве 7,2 и 8 мг/кг СВ рациона составила 8,42 МДж в группе I и 8,57 МДж в группе II, что на 3,2 % и на 5 % выше контроля.

Гораздо детализированные сведения мышечной комплектации возможно извлечь в ходе экспертизы длиннейшей мускулатуры позвоночника животных (таблица 26).

Установлено, что количество сухого вещества, сырого жира и протеина длиннейшей мышцы спины повышалось в I и II группах на 0,7 % и 1,1 % ( $p \leq 0,05$ ) (СВ), 0,4 % и 0,6 % (СП), 0,5 % и 0,8 % (СЖ). Уровень сырой золы в двух опытных группах был на одном уровне с контрольными значениями (рисунок 14). Примечательно, что увеличение содержание жира и протеина в опытных группах сопоставимо со значениями энергетической ценности длиннейшей мускулатуры позвоночника, уровень которой повышался на 0,13 МДж (3 %) и на 0,23 МДж (5,4 %) соответственно.

Таблица 26 – Химическая структура длиннейшей мускулатуры позвоночника бычков 18 месячного возраста.

Показатель	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
Энергетическая ценность 1 кг мякоти, МДж	4,3	4,4	4,5
Триптофан, мг/%	360±3,63	360,5±3,57	371±3,52*
Оксипролин, мг/%	55,7±4,58	56,3±4,39	55,9±4,35
pH	5,7±0,16	5,5±0,24	5,4±0,23
Влагоёмкость, %	53,2±0,57	53,6±0,51	55,7±0,48*
БКП	6,5	6,4	6,7

Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ , при сравнении с контролем



Примечание: \* -  $p \leq 0,05$ , при сравнении с контролем

Рисунок 14 – Химический состав длиннейшей мышцы спины бычков 18 месячного возраста

Для того чтобы охарактеризовать пищевую ценность белков ткани мышц рассчитывают белково-качественный показатель или БКП путём деления триптофана на оксипролин. На основании расчёта получили следующие данные: в I группе БКП снижался на 1,5 %, а во II повышался на 3,1 %.

Для выявления технологических свойств мяса значимыми критериями выступают влагоудерживающая способность (влагоёмкость) и находящаяся в прямой зависимости с влагоёмкостью – концентрация ионов водорода (pH). Анализируя данные проведённого исследования отметили, что значения pH в двух опытных группах по сравнению с контрольным вариантом снижались на 3,5

%, а величина влагоёмкости в двух опытных группах была выше контрольной на 0,4 % и 2,5 % ( $p \leq 0,05$ ).

Таким образом, пиколинат хрома в рационе молодняка мясного скота в дозировке 8 мг/кг СВ рациона стимулирует показатели роста и убойного выхода туши, положительно влияет на мясную продуктивность и может быть полезной для разработки эффективных способов кормления и улучшения продуктивности скота.

### 3.5 Экономическая эффективность выращивания бычков

С использованием дозировок пиколината хрома – 7,2 и 8 мг/кг СВ рациона снижались затраты на 1 ц прироста живой массы обменной энергии на 5,1 %, а по переваримому протеину на 1,5-1,6 % (таблица 27).

Таблица 27 – Экономическая эффективность выращивания бычков

Показатель	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
Абсолютный прирост, кг	213	225	230
Живая масса в конце эксперимента, кг	470	481	486
Затраты на 1 ц прироста:			
Обменной энергии, МДж	11994	11386	11379
Переваримого протеина, кг	47,19	46,42	46,46
Общие производственные затраты, руб.:	72500	73642	7419
Затраты за период опыта, руб.	34123	35265	35817
Реализационная стоимость 1 гол., руб	84744	86580	87642
Себестоимость 1 ц прироста, руб.	15983	15611	15565
Прибыль, руб	12243	12937	13448
Уровень рентабельности, %	16,8	17,5	18,1

Оценка данных таблицы показала, что с использованием дозировок пиколината хрома от 7,2 до 8 мг/кг СВ рациона стоимость затрат снижалась на 1

ц прироста живой массы по обменной энергии на 5,1 %, а по переваримому протеину на 1,5-1,6 %.

Абсолютный прирост бычков опытных групп повышался на 5,8-7,8 %, при этом общие производственные затраты были выше на 1142,1-1693,2 руб, что обосновано незаметной стоимостью пиколината хрома в комплексе расходов 5 %. При этом сумма затрат 1 ц прироста живой массы наоборот снижалась на 371,8-417,2 руб. Уровень прибыли от реализации повышался на 5,6-9,8 %, а рентабельность производства увеличивалась до 17,6-18,1 % или на 0,7 % и 1,3 %.

Таким образом, реализованный научно-хозяйственный эксперимент даёт обоснование ввода пиколината хрома в рацион бычков казахской белоголовой породы, а именно препарат полезен со стороны потребления и перевариваемости кормов и конструктивно влияет на рост животных и экономику производственной сферы говядины.

#### 4 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В метаболических процессах организма животных первостепенная роль уделяется микроэлементам. Зная сведения индивидуальных потребностей животного организма в микроэлементах, которые определяются на основе физиологического состояния и ориентировочного значения производительности, можно гарантировать хорошее течение обменных процессов и максимальную скорость роста животных (Semkiv M.V. 2021).

Уже сегодня разрабатываются исследования по дальнейшему познанию микроэлементов. Деятелями науки раскрываются подробности известных, и актуализируются прежде не освоенных показателей норм кормления, обеспечивающих высокую продуктивность животных. Значительную ценность представляет хром, задействованный в обмене углеводов, белков, жиров и ферментов (Лебедев С.В. и др., 2023). Однако хром входит в категорию недоисследованных элементов, в виду малых сведений о значимости в рационе животных с многокамерным желудком (Кокорев В.А. и др., 2017в; Шошина О.В. и др., 2022; Wu Z.Z. et al., 2021).

После проведения эксперимента по воздействию различной концентрации хрома в рационе молодых полигастричных животных мясной породы, на обмен веществ и продуктивность, мы доказали гипотезу о необходимости использования хрома органической формы, как стимулятора обменных процессов, физиологических функций и продуктивности для дальнейшей разработки способа оптимизации рубцового пищеварения.

Имеются сведения того, что эффективной формой хрома на сегодняшний день является органический формат в виде пиколината, который предложен в качестве средства для лечения метаболических нарушений, способен повышать чувствительность к инсулину и снижать уровень глюкозы в сыворотке крови. В то же время неоднозначность и ограниченность этих исследований не позволяет делать однозначные выводы об использовании хрома в животноводстве (Шейда

Е.В. и др., 2019). Кроме того, имеются сведения о токсичности некоторых препаратов хрома.

По состоянию процессов метаболизма в организме можно судить о переваримости питательных составляющих корма, следуя из чего, высокая степень переваримости указывает на хорошее усвоение и наибольший выход продукции. С целью повышения переваримости питательных составляющих корма в многокамерном желудке крупного рогатого скота нужно совершенствовать рационы определённым количеством питательных и минеральных веществ (Кокорев В.А. и др., 2004; Болотин Е.В. 2012; Шошина О.В. и др., 2022). Альтернативой органического варианта хрома выступает пиколинат хрома, который в большей степени биологически доступный, чем неорганические формы (Lyons S.M. 1994). В текущем эксперименте представлена максимальная биологическая доступность пиколината хрома при сопоставлении с ультрадисперсной формой данного элемента, отмечено повышение переваримости сухого вещества рациона на 6,6 % ( $p \leq 0,001$ ).

УДЧ Cr и PicCr стимулируют циркуляцию и рекреацию ферментов пищеварения, оказывая воздействие на связь с центром активности фермента (Лебедев С.В. и др., 2018). Минимальные количества таких микроэлементов вызывают усиление обмена железа, максимальные же приводят к его ухудшению (Ani M. et al., 1992).

В собственном исследовании «in vitro» по изучению переваримости образцов корма, состоящих из отрубей, с добавлением НЧ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в дозе 1,5 мг/кг СВ и пиколината хрома в дозе 8 мг/кг СВ значительно повышало переваримость сухого вещества относительно контроля на 5,9 % ( $p \leq 0,01$ ) и 6,6 % ( $p \leq 0,001$ ). Высоким показателям переваримости сухого вещества способствовало увеличение активности пищеварительных ферментов рубцовой жидкости: в образце с НЧ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> повышалась амилаза на 21,6 %, а протеаза – на 32,1 % ( $p \leq 0,01$ ), в образце с пиколинатом хрома – на 16,2 % ( $p \leq 0,001$ ) и на 122,5 % ( $p \leq 0,001$ ) относительно контроля. Шейда Е.В. с соавторами (2020в) в ходе эксперимента по добавлению в рационы УДЧ Cr обнаружили противоположный

амилолитический эффект в опытных группах: снижение во II, III и IV группах на 38,5 % ( $p \leq 0,05$ ), 59 %, 63,3 % ( $p \leq 0,05$ ).

По уровню летучих жирных кислот в рубцовой жидкости, отвечающих за интенсивность процессов ферментации углеводов, отмечалось, что внесение в состав корма пиколината хрома в качестве источников микроэлементов усилило микробиологические процессы и привело к повышению уровней ЛЖК. На основании чего, произошло усиление активности ферментов протеазы и амилазы, это свидетельствует о том, что пиколинат хрома значительно активизировал микробиологические процессы в рубце бычков.

По финальным значениям показателей азота жидкости рубца определили, что насыщенность общим азотом поднималась в группе с органическим хромом на 21,5 % ( $p \leq 0,001$ ), посредством действенности микроорганизмов и трансформации кормового азота в рубцовую жидкость. Концентрация небелкового азота в рубцовой жидкости бычков всех экспериментальных групп была ниже контроля на 34,7 %, 25,1 % и 25,4 %, что объясняется высокой усвояемостью азота микроорганизмами рубца для построения белка своего тела.

Хром улучшает переваривание кормов через его основные составляющие: клетчатку, протеин, жир, микронутриенты, стабилизируя пищеварение (Лебедев С.В. и др., 2020а). Учёными обнаружено до 1 % усвоения хрома в рубце, но большая его часть абсорбируется в отделе тонкого кишечника в зависимости от формы. Хром в органическом виде абсорбируется на 15 % и 20 % лучше неорганического, так как органический хром хелатируется органическими кислотами и метионином (Фабер В. и др., 2020).

Физиологическими опытами доказано позитивное влияние приемлемой концентрации хрома в рационах животных с многокамерным желудком на переваримость сухого вещества, органического вещества, сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ (Кокорев В.А. и др., 2015; Лебедев С.В. и др., 2023).

В соответствии с данными балансового опыта сделаны выводы: добавление подопытным бычкам в состав рациона пиколината хрома в дозировке

8 мг/кг СВ рациона увеличивало потребление концентратов, а также грубых и сочных кормов, за счёт большего попадания в животный организм главных питательных веществ, энергии, микроэлементов и витаминов.

Основываясь на данных поедаемости корма бычки II опытной группы больше потребляли сырого протеина, сырой клетчатки и БЭВ на 3,1 %, 5,5 %, 9,3 %. С калом было выведено меньше сухого вещества, сырого протеина на 3,4 %, 3,1 %, одновременно с этим усвоение сухого и органического вещества животными было выше на 8,3 % и 6,9 %. Коэффициенты переваримости у этих бычков возрастали по сухому веществу – на 4,3 %, по сырому протеину – на 2,4 %, по сырому жиру – на 2,6 % и по БЭВ – на 4,4 %.

Переваримость регулируется минеральным составом рациона за счет лучшего потребления организмом микронутриентов кормов. Неполноценный или излишний набор элементов в рационе изменяет в худшую сторону переваримость и усвоение питательных веществ. Допустимый уровень хрома в рационе оказывает позитивное воздействие на коэффициенты переваримости, уровень азота в организме, а также энергию роста (Козинец А. и др., 2020; Лебедев С.В. и др., 2023). В научном изыскании Alex T.H. et al., (2021) на стадии перегрева мелкий рогатый скот кормили рационами в совокупности с пиколином хрома, что приводило к значительному увеличению потребления корма и энергии.

Мельчайшие размеры хрома способствуют его прохождению в капилляры крови и слиянию с трансферрином или по-другому белком плазмы крови, в последующем он распределяется в ткани и выводится с мочой и калом 60-90 % от поступившего с кормами (Bonpadre T.F.V. et al., 2020; Лебедев С.В. и др., 2022).

Индикаторы обмена белка в организме – это аланинаминотрансфераза (АЛТ) и аспаргатаминотрансфераза (АСТ), которые принимают участие в обмене аминокислот (Лебедев С.В. и др., 2022). По нашим данным, уровень АЛТ повышался в I группе с пиколином хрома в дозе 7,2 мг/кг СВ на 30,7 %, во II группе с пиколином хрома 8 мг/кг СВ – на 31,6 % ( $p \leq 0,001$ ). Напротив,

уровень АСТ снижался в I группе на 10,7 %, во II группе – на 26,1 % по сравнению с контрольными показателями, что свидетельствует об отсутствии признаков разрушения клеток печени, сердца, скелетных мышц и почек, в которых фермент АСТ пребывает в высоких концентрациях (Василенко В.В. 2021).

Уровень мочевины и креатинина в крови показывает, насколько активны в своей деятельности почки, печень и система мышц. Эти показатели считаются конечными продуктами азотистого обмена. С дополнительным включением в рацион бычков пиколината хрома концентрация мочевины возрастала в I группе на 68,6 % ( $p \leq 0,001$ ), а во II – на 58,2 % ( $p \leq 0,001$ ). Энергетический обмен мышечной и остальных тканей находится в зависимости от креатинина, который формируется во время разрушения белков и мочевой кислоты. В I группе креатинин был выше на 10,5 ( $p \leq 0,001$ ) %, во II группе – на 7,8 % в зависимости от контроля ( $p \leq 0,001$ ).

Учёными Лебедевым С.В. и др., (2018) выявлено, что НЧ Cr в дозе 300 мг/кг в рационе телят приводят к гипергликемии, которая характеризуется возрастанием на 10,6 % и 14,3 % глюкозы и триглицеридов, понижением холестерина. Другими авторами Vin L. et al., 2016 замечено, что хром с дозой 4 мг/сут. в рационе коров на период лактации вызывал увеличение уровня общего белка, но не влиял на показатели триглицеридов, холестерина, мочевины и глюкозы. В результате проведения своего исследования механизмы обмена веществ выражались повышением концентрации общего белка в I группе на 2,2 % и II группе на 4,1 %. Общий белок включает переносчика разных веществ в ткани – альбумин, который в последующем выводит продукты распада этих веществ к выделительным органам. Альбумин по сравнению с контролем падал в I группе на 10,1 %, а в группе II возрастал на 5,2 % ( $p \leq 0,001$ ).

Комплексы хелатов при добавлении в рацион животных с многокамерным желудком оказывают воздействие на течение обмена белков и антиоксидантной защиты (Лебедев С.В. и др., 2023). В эксперименте Stepniowska A. et al., (2020) добавки на основе хрома увеличивали в сыворотке крови концентрацию общего

белка, в виду того, что падал уровень кортизола в крови. Комплекс хелатного соединения хрома вызывал ускорение синтеза мочевины посредством дезактивации аммиака, образование которого идёт в ткани в результате катаболизма аминокислот. С добавлением метионина хрома к рациону телят уровень аммиака снижался на 26,8 % и 21,2 %, а уровень мочевины увеличивался по сравнению с контролем (Vincent J.B. 2019).

Состояние углеводного обмена в организме определяют по концентрации глюкозы в крови, при окислении которой вырабатывается огромное количество энергии. Есть подтверждения того, что инсулин может повышаться от уменьшения глюкозы и её попадания в клетку, в результате чего угнетаются процессы липолиза. Снижение холестерина в крови возникает из-за мобилизации жиров (Deka R.S. et al., 2015). Добавка к рациону в виде хрома в органической форме поднимает уровень глюкозы на 23,5 % ( $p \leq 0,01$ ) и 31 % ( $p \leq 0,001$ ) при сопоставлении с контролем, что доказывает действие хрома как модулятора в отношении к глюкозе (Кислякова Е.М. и Ломаева А.А. 2017). В собственном эксперименте концентрация глюкозы снижалась на 18,6 % и 7,7 %, что мотивирующе действовало на энергообмен.

Подразумевается участие хромодулина в обмене глюкозы. Хромодулин – это природный олигопептид, в основу которого входят: глицин, цистеин, аспартат и глутамат (Arakawa H. et al., 2016). Этот олигопептид способен объединяться с инсулиновым рецептором, приводя в активность фермент тирозинкиназу, воздействуя в адипоцитных мембранах на фосфотирозинфосфатазу (Lashkari S. et al., 2018; Baggerman J.O. et al., 2020). Молекула хромодулина соединяет четыре эквивалента хрома, невзирая на незначительный размер. В случае передозировки хромом с валентностью 6+ или 3+ хромодулин способствует выведению лишнего количества из организма с мочой (Edwards K.C. et al., 2020; Лебедев С.В. и др., 2022).

Предложен алгоритм, благодаря которому хромодулин доставляет сигналы к инсулину. Апохромодулин пребывает в восприимчивых к гормону поджелудочной железы клетках. В последующем инсулин связывается с

рецептором, преобразуя конформацию. При этом внутри рецептора осуществляется аутофосфорилирование остатков тирозина, что обусловлено ростом концентрации инсулина в крови. Впоследствии рецептор видоизменяется в активную тирозинкиназу и сигнал передаётся от инсулина в клетку. Ответом на инсулин хром перемещается из крови в клетки, которые восприимчивы к инсулину, где и осуществляется наполнение апохромодулина хромом. Для удержания рецептора в действующей конформации холохромодулин объединяется именно с рецептором, что приводит к усилению киназной активности рецептора. В случае прекращения распространения сигналов поднимается количество инсулина в крови, в силу чего конформация становится слабее и холохромодулин транспортируется в кровь и в завершении удаляется с мочой.

Микроэлемент Cr воздействует на углеводный и липидный обмен, а также на метаболические процессы аммиака и нуклеиновых кислот. Добавление в рационы животных с многокамерным желудком хромовых препаратов оказывает отличный эффект на пищеварение. Размер хрома незначительный, что способствует проникновению в капилляры крови и в последующем его захватывают клетки. Вслед за этим Cr связывается с трансферрином и с учетом химической конфигурации распределяется по тканям, а далее, как ацетатные и цитратные комплексы удаляется с мочой и фекалиями 60 % или 90 % от объема поступлений (Vompadre T.F.V. et al., 2020).

В ходе разбора лабораторных значений по биохимии крови экспериментальных животных выявили, что базисные значения были в пределах установленной нормы и сильно не отличались между собой. Дополнение рациона пиколинатом хрома увеличивало механизмы липидного обмена, и возрастали уровни холестерина, билирубина в сыворотке крови. В частности, холестерин с дозировкой пиколината хрома 7,2 мг/кг СВ и 8 мг/кг СВ повышался на 36,1 % ( $p \leq 0,001$ ) и 28,2 % ( $p \leq 0,001$ ), а концентрация триглицеридов снижалась на 83,8 % и 75,7 % ( $p \leq 0,05$ ). Билирубин возрастал на 129,9 % ( $p \leq 0,001$ ) и 40,1 % при сравнении с контролем ( $p \leq 0,001$ ).

Шейдой Е.В. и другими авторами (2019) определено, что пиколинат хрома в совокупности с кормами для испытуемых животных в дозировке 300 мкг/кг, сопоставляя с контролем, поднимает концентрацию кальция, фосфора и калия на 49,2 %, 98,4 % и 44,1 %. Исследование, проведенное нами показало, что с добавлением бычкам в рацион пиколината хрома 8 мг/кг СВ увеличивался уровень кальция на 1,6 %, магния на 14,3 %, а фосфора на 28,3 %. При дозировке пиколината хрома 7,2 мг/кг СВ рациона уровень фосфора возрастал на 21,7 %, кальция снижался на 0,9 %, а уровень магния не изменялся в сравнении с контролем. Следовательно, было зафиксировано усиление белкового, углеводного и липидного метаболизма в виду того, что пиколинат хрома в дозе 8 мг/кг СВ рациона – стимулятор механизмов обмена веществ.

Для определения влияния пиколината хрома на обменные механизмы основополагающих макроэлементов, таких как Са и Р рассмотрели баланс этих элементов внутри организма и заметили положительную динамику в каждой изучаемой группе. А именно в двух группах при сопоставлении с контролем улучшалось потребление Са на 1,6 % и 4,3 %, его выделение с калом и мочой снижалось на 3,5 %, 3,4 %, и 1 %, 8,2 %, а откладывалось в организме лучше на 10,4 % ( $p \leq 0,01$ ) и 21,3 % ( $p \leq 0,001$ ). Полученные в собственном исследовании данные оказались схожими с работой Ambarwati Y. et al., 2021, где изучалось действие хрома на обменные процессы и продуктивные качества коров. В результате учёные обнаружили положительную динамику в балансе кальция и фосфора: отложение 13,9–15,8 г и 7,9–8,7 г, что подтверждает хорошее течение процессов метаболизма в организме этих животных.

Комбинация хрома и кальция стабилизирует углеводный обмен. Абсорбция, дальнейшее распределение и выведение фосфора регулируется обменом кальция. Фосфаты облегчают поглощение аминокислот внутри кишечника. Нормальная концентрация хрома стимулирует накопление фосфора в организме (Vajdi M. et al., 2022).

Поступление фосфора с рационом было приблизительно на равных с контролем, его удаление с калом у бычков I группы (пиколинат хрома 7,2 мг/кг

СВ) и II группы (пиколинат хрома 8 мг/кг СВ) на 1,01 % и 0,3 % выше контрольных чисел. С мочой его удаление снижалось на 3,4 % и 24,5 % в отличие от контроля. Отложение и коэффициент использования в двух группах на 0,5 %, 4,9 % и 0,5 %, 4,7 % выше значений контроля.

Ключевой показатель хорошего развития животного – интенсивность роста, сказывающаяся на колебаниях динамики живой массы. В течение научно-хозяйственного опыта обнаружили, что бычки, получавшие пиколинат хрома в дозировках 7,2 и 8 мг/кг СВ рациона в 10-месячном возрасте почти совпадали по весу от 255 до 257 кг, то в 12 месяцев контрольные бычки отставали от ровесников из I и II опытных групп на 1,4 кг и 2,3 кг, в 13 месяцев – на 2,2 кг и 4,2 кг, в 15 месяцев – на 6,3 кг и 9,6 кг ( $p \leq 0,05$ ), в 17 месяцев – на 10,3 кг и 14,6 кг ( $p \leq 0,05$ ). В конце научно-хозяйственного опыта в возрасте 18 месяцев – на 10,2 кг и 16,1 кг ( $p \leq 0,05$ ) соответственно.

По данным абсолютного прироста собственного исследования за весь опыт зафиксировали превышение контрольных чисел в двух группах на 12,4 кг (5,8 %) и 16,6 кг (7,8 %). Среднесуточный прирост также превышал в возрастном промежутке 10–18 месяцев на 50 г (5,8 %) ( $p \leq 0,01$ ) и 67 г (7,8 %), так как рацион был сбалансирован по протеину, углеводам, энергии, минеральным элементам, витаминам, характеризовался наилучшим набором кормов, что влияло на повышенное переваривание и лучшее усвоение.

К примеру, Кокорев В.А. и др., (2019) животным задавали хлористый хром в оптимальном, пониженном и повышенном количестве. В итоге, животные с оптимальным количеством хрома в рационе вырастали на 3,7 кг (3,4 %) и 0,8 кг (0,7 %) больше получавших этот хром в пониженной и повышенной концентрации. Среднесуточный прирост возрастал с оптимальным уровнем хрома в рационе на 1,8 % и 4,9 % по сравнению с остальными вариантами. Абсолютный прирост получился следующим: при оптимальном количестве хрома – 128 кг, при пониженном количестве хрома – 122 кг, а при повышенном количестве хрома – 126 кг.

Вопрос воздействия хрома на продуктивные параметры молодых животных, находящихся в активном росте продолжает быть открытым. Budde A. et al., (2019) узнали, что хром совместно с кормами значительно повышали среднесуточный прирост жвачных на откорме. Впрочем, некоторые исследования доказали обратное (Hung A. et al., 2021). Козинец А.И. и др., (2020) добавляли НЧ Cr телятам в рацион 0,050-0,075 мг/кг сухого вещества и заметили увеличение среднесуточного прироста на 3,3 % и 6,6 %, а себестоимость продукции падала на 1,4 % и 4,9 %. Дополнительная прибыль от реализации продукции вышла 4,9-18 руб., исходя из расчетов на одну голову.

Химический состав тела анализируют по длиннейшей мышце спины, из-за того, что она доступна для научных работ. Однако важно изучать не только общий состав мышц, но и качественную структуру мышц по отдельности. Стандартный образец мякоти туши сочетает помимо мышц – жир внутримышечный, между мускулами и под кожей (Левахин В.И. и др., 2016). Длиннейшая мышца спины считается надёжным показателем качества мышечной ткани всей туши. Она предоставляет более объективную информацию о состоянии мышц, чем проба мякоти туши. Качество и количество мякоти туши напрямую влияет на состояние длиннейшей мышцы спины (Харламов А.В. и др., 2014).

Множество исследований свидетельствуют о влиянии рациона на состав тканей животных. Так, например, Кизаев М.А. и др., 2018 выявили, что наночастицы хрома в дозе 0,02 мг/кг живой массы бычков чёрно-пёстрой породы минимизируют стрессовую нагрузку на организм за время транспортировки и предубойной подготовки животных, поэтому улучшается общая антиоксидантная способность организма, а также количественные и качественные показатели продуктов убоя. Мясо приобретает наибольшую влагоёмкость и минимальную потерю мясного сока, наивысшие признаки светимости и красного цвета, а также длительный срок годности.

Мы, изучив анализ данных мясной продуктивности, отметили, что бычки всех сравниваемых групп имели высокие убойные показатели, но все-таки бычки

из группы контроля отставали от сверстников из опытных групп по весу перед убоем на 2,1 % и 3,4 % ( $p \leq 0,05$ ), а по массе парных туш на 3,2 % ( $p \leq 0,05$ ) и 5,5 % ( $p \leq 0,01$ ), в результате чего выход туши повышался в I группе на 0,6 %, а во II группе на 1,1 %. В целом, исследования по добавкам Cr для крупного рогатого скота на откормочных площадках противоречивы из-за источника хрома и уровня включения. Длительное кормление пропионатом хрома с диапазоном норм включения (от 0,25 мг Cr / кг СВ до 0,45 мг Cr / кг СВ) продемонстрировало увеличение прироста живой массы (Baggerman et al., 2020; Hallmark et al., 2020) и массы туши (Budde A. et al., 2019). Тем не менее, при скормлировании пропионата хрома в сочетании с дрожжевыми продуктами, обеспечивающими 3,2 мг хрома на бычка в день, не наблюдалось отличий от контроля в отношении роста или характеристик туш (Van-Bibber Kruger et al., 2016). Sánchez-Mendoza et al., 2014 добавляли хелатированный Cr в сочетании с дрожжевыми продуктами и не сообщали о разнице в показателях роста животных, но указывали, что продукт на основе хрома увеличивал площадь длинных мышц и повышал выход туши.

Оценка морфологических параметров туши характеризует мясные качества животных. В опыте Никулина В.Н. и др., 2019 по изучению влияния наночастиц хрома на мясную продукцию молодняка крупного рогатого скота показано, что по массе мякоти, которая представляет основную ценность туши, бычки опытной группы всего на 1,1 % превосходили сверстников базового варианта. Существенной разницы по индексу мясности между исследуемыми вариантами групп отмечено не было и составило 3,95-3,97. Исследование качественных характеристик говядины, полученной от подопытных бычков, показало благоприятное соотношение влаги, а также сухого вещества в мясе всех исследуемых групп и составило 2,14-2,12. Мякоть опытной группы имела более низкий уровень влажности, что указывает на её более высокую плотность. Анализ протеинового состава мякоти выявил относительно равные показатели в разных группах – 18,62-18,74 %. В мясе бычков, получавших НЧ Cr, жира было на 0,32 % больше, поэтому возрастала энергетическая ценность. У бычков опытной группы накапливалось в мякотной части туши больше сухого

вещества, протеина и жира на 1,7 %, 0,5 % и 3,8 % по сравнению с контрольной группой. Разница в накоплении основных компонентов сухого вещества отразилась на энергетической ценности всей мякоти, которая оказалась выше у бычков опытной группы на 2,4 %, чем в контроле.

В собственном эксперименте установили, что различные дозы хрома в рационе экспериментальных бычков оказали различное воздействие на убойные показатели и данные химического состава. Мякоть бычков из группы I (пиколинат хрома 7,2 мг/кг СВ) и группы II (пиколинат хрома 8 мг/кг СВ) содержала больше сухого вещества на 2,8 % ( $p \leq 0,05$ ) и 4,3 % ( $p \leq 0,05$ ) сравнительно с контрольными значениями, что объясняется более высоким содержанием белка и жира в мякоти, одинаковым содержанием зольных элементов в двух группах, значения которых были на одном уровне с данными контроля. Хром в рационе, приводит к увеличению содержания протеина и межмышечных липидов при сопоставлении с контрольными животными. Разница между I и II группами, а также контрольной составляла 2,1 % и 3,2 % ( $p \leq 0,05$ ) по протеину, а по жиру 3,9 % и 6,3 %. С увеличением дозировки пиколината хрома наблюдалось повышение содержания белка и жира в мякоти. Учитывая это, энергетическая ценность всей мякоти туш бычков из групп I и II была выше, чем в группе контроля на 7,1 % и 11,7 %, а энергетическая ценность 1 кг мякоти бычков, получавших пиколинат хрома в дозировках 7,2 и 8 мг/кг СВ рациона составила 8,42 МДж в группе I и 8,57 МДж в группе II, что на 3,2 % и на 5,0 % выше контроля.

Лебедев С.В. и др., 2020а при выращивании телят казахской белоголовой породы с 9 до 18 месяцев вносили в рацион смесь аминокислот в сочетании с сернокислым хромом  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$  (0,38 мг/кг) и кобальтом в форме  $\text{CoCO}_3$  (0,57 мг/кг). Через химическую экспертизу длиннейшей мускулатуры позвоночника определили уровень белка в спектре от 19,59 до 19,79 % ( $p \leq 0,05$ ). Не наблюдалось существенных различий в содержании жира, а белковый качественный показатель был выше у животных экспериментальных групп по сравнению с контрольной на 5,5 % ( $p \leq 0,05$ ) и 4,5 % ( $p \leq 0,05$ ).

Мы в своём эксперименте исследовали химическую структуру длиннейшей мускулатуры позвоночника и результаты были следующими: уровень сухого вещества, сырого жира и протеина длиннейшей мышцы спины повышался в двух группах на 0,7 % и 1,1 % ( $p \leq 0,05$ ); 0,5 % и 0,8 %; 0,4 % и 0,6 %. Значения энергетической ценности длиннейшей мышцы спины повышались на 3 % и 5,4 %. При расчёте белково-качественного показателя получили, что в I группе БКП снижался на 1,5 %, а во II группе повышался на 3,1 %.

Механизм формирования продуктивности у животных: пиколинат хрома мотивирует усиление переваримости и поедание корма, в соответствии с чем, в теле аккумулируется основная часть нутриентов. Валовой, переваримой и обменной энергии в организме бычков оказалось больше чем в контроле, поэтому обменная энергия лучше преобразовывалась и расходовалась на синтез продукции и энергию прироста, следовательно, коэффициент продуктивного использования был больше. В результате большего отложения азота в теле животных мы можем предположить, что этот азот будет идти на формирование мышечной ткани.

В ходе научно-хозяйственного эксперимента была подтверждена эффективность использования органической разновидности хрома в форме пиколината в рационе крупного рогатого скота. Эта добавка привела к значительному увеличению прибыли и рентабельности производства. При использовании пиколината хрома в рационе, прибыль увеличилась на 5,6-9,8 %, а рентабельность производства до 17,6-18,1 %. Такие результаты свидетельствует о том, что добавление пиколината хрома в рацион экономически выгодное решение. Оптимальная дозировка хрома составляет 8 мг/кг СВ рациона, благодаря чему производители говядины могут включать в рацион своих животных пиколинат хрома для получения высокой прибыли и повышения рентабельности производства говядины.

## 5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследование различных источников хрома в эксперименте «in vitro» сочеталось увеличением переваримости сухого вещества от 4,9 % ( $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) до 6,6 % (пиколинат хрома), летучих жирных кислот (0,7 % - 7,7 %), метаболитических продуктов азота: 64,7-82,6 % ( $p \leq 0,001$ ) – белкового, 25,1-34,7 % – небелкового, 24,9-28,7 % ( $p \leq 0,001$ ) общего азота. А также проявлялось усилением ферментативных процессов в рубце, повышая протеолитическую активность на 122,5 % ( $p \leq 0,001$ ), амилолитическую на 16,2 % ( $p \leq 0,001$ ).

2. Дополнительное введение пиколината хрома в дозировке 8 мг/кг СВ стимулировало интенсивность метаболитических процессов в рубце, что сопровождалось увеличением биомассы бактерий на 8,8 % и простейших на 1,3 % ( $p \leq 0,05$ ), количества инфузорий на 1,8 % ( $p \leq 0,05$ ), что привело к увеличению переваримости СВ на 5,9 % ( $p \leq 0,01$ ), уровня ЛЖК на 80,3 % и общего азота на 18,3 %.

3. Включение в рацион бычков казахской белоголовой породы пиколината хрома в дозировке 8 мг/кг СВ рациона способствует стимулированию обменных процессов, выраженной увеличением обмена энергии на синтез продукции на 24,1 % ( $p \leq 0,001$ ) и энергии прироста на 23,5 %. Выраженный эффект проявлялся эскалацией потребления азота на 3,1 % и отложением кальция, фосфора и хрома в организме.

4. Метаболитический потенциал пиколината хрома сопровождался вариабельностью гемопоза, что выражалось снижением уровня глюкозы на 7,7 %, повышением общего белка, альбумина, мочевины и креатинина, при оптимизации липидного обмена: увеличение билирубина на 40,1 % ( $p \leq 0,001$ ), холестерина на 28,2 % ( $p \leq 0,001$ ) и снижением триглицеридов на 75,7 %, а также лабильностью кальция, магния и фосфора.

5. С увеличением дозировки пиколината хрома в 7,2 и 8 мг/кг СВ рациона наблюдалось повышение содержания протеина и жира в мякоти, что сопоставимо с увеличением энергетической ценности 1 кг мякоти туши от 8,42

МДж до 8,57 МДж, в длиннейшей мышце спины от 0,13 МДж до 0,23 МДж, на фоне увеличения белково-качественного показателя.

6. Дозозависимый эффект пиколината хрома характеризовался разнополярными изменениями в ретенции химических элементов и выражался в

элементном профиле:  $\frac{\text{B,Be,Ca,Co,Cr,Cu,Fe,I,K,Li,Mg,Mn,Na,Ni,P,Se,Si,Zn}}{\text{Al,As,Pb,Sn,Cd}}$



7. Применение пиколината хрома в дозе 8 мг/кг СВ рациона оказало положительное действие на ростовые показатели, основанные на увеличении среднесуточных приростов до 11,01 %, живой массы на 3,3 % и рентабельности производства на 1,3 %.

## **6 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ**

С целью увеличения эффективности использования кормов, обмена веществ и снижения экономических затрат на выращивание молодняка крупного рогатого скота рекомендуем в состав рациона включать пиколинат хрома в дозировке 8 мг/кг СВ рациона, что обеспечивает повышение продуктивности и рентабельность производства говядины на 1,3 %.

## **7 ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Результаты диссертационного исследования перспективны в направлении:

1. Разработка системы направленной регуляции деятельности желудочно-кишечного тракта и пищеварительных желез, способствующие эффективному использованию питательных компонентов кормов и повышению продуктивности.
2. Управление таксономическим составом микробиома рубца бычков мясной породы, установление взаимосвязи между активностью микробиоты и минеральной обеспеченности животных.

## 8 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева, Л.В. Взаимосвязь гомеостатических процессов с продуктивностью бычков при введении в рацион различных форм и доз хрома. Вестник Тверского государственного университета / Л.В. Алексеева, Л.Ю. Васильева, Е.Д. Миловидова // 2021 – №2 (62). – С. 177-189. doi: 10.26456/vtbio206.
2. Алексеева, Л.В. Процессы рубцового метаболизма в организме бычков при введении в рацион нанопорошка меди и её соли / Л.В. Алексеева, А.А. Лукьянов // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ Спец. вып. – 2016. – № 2. – С. 5.
3. Ахажанов, К.К. Зооанализ кормов // Учебное пособие Раздел: Корма и кормовые добавки. – Алматы. – 2016. – 84 с.
4. Батанов, С.Д. Влияние минеральной добавки «Стимул» на биохимические показатели крови коров-первотелок / С.Д. Батанов, Г.Ю. Березкина, В.В. Килин // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2014. – Т. 220. – №4. – С. 38-42.
5. Батоев, Ц.Ж. Физиология пищеварения птиц. Улан-Удэ: Изд-во Бурят. гос. ун-та. – 2001. – 214 с.
6. Болотин, Е.В. Продуктивность полновозрастных коров при разных уровнях хрома в их рационах: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. / Е.В. Болотин // Саранск. – 2012. – 23 с.
7. Быкова, Е.В. Влияние органического микроэлементного комплекса йода ОМЭК-Й на метаболические процессы в организме дойных коров / Е.В. Быкова, А.П. Коробов, А.П. Гуменюк // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 6. – С. 3-6.
8. Василенко, В.В. Интерпретация печеночных тестов / В.В. Василенко // GastroScan.ru. – 2021.
9. Глущенко, Н.Н. Биологическое действие высокодисперсных порошков металлов / Н.Н. Глущенко, И.П. Ольховская, Т.В. Плетенева, Л.Д.

Фаткуллина, Ю.А. Ершов, Ю.И. Федоров // Известия АН, сер. биол. 1989. – № 3. – С. 415.

10. Губайдуллина, И.З. Влияние различных форм хрома на биохимические показатели, антиоксидантный статус организма и микробиологический состав кишечника цыплят-бройлеров / И.З. Губайдуллина, И.А. Вершинина, А.П. Иванищева // Животноводство и кормопроизводство. – 2023. – Т. 106. – № 1. – С. 215-227. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-215

11. Залюбовская, Е.Ю. Влияние скармливания различных форм микроэлементов на рост, развитие и обмен веществ молодняка крупного рогатого скота / Е.Ю. Залюбовская, А.Н. Чубин // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – №4(44). – С. 116-120.

12. Залюбовская, Е.Ю. Влияние скармливания нормируемых микроэлементов в минеральной и органической формах на рост, развитие и обмен веществ молодняка крупного рогатого скота / Е.Ю. Залюбовская // Ветеринария сегодня. – 2018. – № 1 (24). – С. 26-28.

13. Измайлович, И.Б. Ультрадисперсные порошки металлов – новое поколение микроэлементов / И.Б. Измайлович, Н.Н. Якимович // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2018. – № 4. – С. 7-11.

14. Калашников, А.П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие / Калашников А.П., Фисинин В.И., Щеглова В.В., Клейменова Н.И. // под ред. 3-е изд., доп. и перераб. М. – 2003. – С. 110-123.

15. Кебеков, М.Э. Технология откорма бычков с использованием нанопорошка железа / М.Э. Кебеков, О.А. Гогаев, А.В. Дзеранова, Р.Д. Бестаева, А.Т. Кокоева // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2018. – Т.55. – №52. – С.77-82.

16. Кизаев, М.А. Влияние наночастиц хрома на качественные показатели мяса бычков при воздействии стресс-факторов / М.А. Кизаев, Е.А. Ажмулдинов, М.Г. Титов, Т.А. Мыльникова // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101. – № 4. – С. 21-27.

17. Кислякова, Е.М. Влияние добавок органического хрома на продуктивные и репродуктивные показатели коров черно-пестрой породы / Е.М. Кислякова, А.А. Ломаева // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2017. – № 4. – С. 76-80.

18. Козинец, А.И. Использование наночастиц микроэлементов в рационах коров / А.И. Козинец, Т.Г. Козинец, О.Г. Голушко, М.А. Надаринская // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2019. – № 22-1. – С. 185-192.

19. Козинец, А.И. Использование наночастиц хрома в рационах молодняка крупного рогатого скота / А.И. Козинец, Т.Г. Козинец, О.Г. Голушко, М.А. Надаринская, М.С. Гринь, С.А. Гонакова, А.В. Соловьев // Зоотехническая наука Беларуси. – 2020. – Т. 55. – № 1. – С. 360-368.

20. Козинец, А.И. Продуктивность телят до 75-дневного возраста при использовании наночастиц хрома / А.И. Козинец, Т.Г. Козинец, О.Г. Голушко, М.А. Надаринская, М.С. Гринь, С.А. Гонакова // Зоотехническая наука Беларуси. – 2021. – Т. 56. – № 1. – С. 218-226.

21. Козинец, А.И. Продуктивность телят до 75-дневного возраста при использовании наночастиц хрома / А.И. Козинец, О.Г. Голушко, Т.Г. Козинец, М.А. Надаринская, М.С. Гринь, С.А. Гонакова, А.В. Соловьев // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2020. – № 23-1. – С. 128-135.

22. Кокорев В.А. Продуктивность полновозрастных коров при разных уровнях хрома в их рационах / В.А. Кокорев, Е.В. Болотин, Н.И. Гибалкина, Н.И. Федаев // Животноводство и ветеринарная медицина. – № 2. – 2017в. – С. 20-30.

23. Кокорев, В.А. Влияние разных уровней хрома в рационах при травяном типе кормления на продуктивность молодняка крупного рогатого скота / В.А. Кокорев, А.М. Гурьянов, Н.И. Гибалкина // Селекция на современных популяциях отечественного молочного скота как основа импортозамещения животноводческой продукции. – 2018б. – С. 329-336.

24. Кокорев, В.А. Влияние хрома на обмен веществ и молочную продуктивность коров / В.А. Кокорев, А.Б. Межевов, Н.И. Гибалкина, А.Н. Федаев // Животноводство и молочное дело. – 2015. – С. 3-14.

25. Кокорев, В.А. Влияние хрома на продуктивность коров чернопестрой породы / В.А. Кокорев, А.М. Гурьянов, Н.И. Гибалкина, А.Н. Федаев, Е.В. Болотин // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. – 2017б. – С. 97-112.

26. Кокорев, В.А. Использование факториального метода для определения потребности молодняка крупного рогатого скота в хrome при сенажном типе кормления / В.А. Кокорев, А.М. Гурьянов, Н.И. Гибалкина // Инновационные технологии в АПК. – 2018а. – С. 66-74.

27. Кокорев, В.А. Обмен хрома в организме молодняка крупного рогатого скота при сенажном типе кормления / В.А. Кокорев, А.М. Гурьянов, Н.И. Гибалкина // Современные технологии в животноводстве: проблемы и пути их решения. – 2017а. – С. 270-283.

28. Кокорев, В.А. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных животных / В.А. Кокорев, А.М. Гурьянов, Ю.Н. Прытков, А.С. Федин, Н.В. Дугушкин, Д.Ш. Гайирбегов, А.Н. Федаев, Е.В. Громова, В.Д. Петуненков, Н.И. Гибалкина, А.А. Кистина, С.Г. Кузнецов // Зоотехния. – 2004. – № 7. – С. 12-16.

29. Кокорев, В.А. Продуктивность полновозрастных коров при разных уровнях хрома в их рационах / В.А. Кокорев, Е.В. Болотин, Н.И. Гибалкина, А.Н. Федаев, А.М. Гурьянов // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2017в. – С. 97-112.

30. Кондакова, К.С. Влияние различных видов обработки кормовых средств и добавок, содержащих микронаночастицы металлов, на способность бактерий рубца к адгезии / К.С. Кондакова, Е.А. Дроздова, Е.В. Япрынцева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – №1(33). – С. 245-247.

31. Корочкина, Е.А. Влияние микроэлементов цинка, кобальта, йода, селена, марганца, меди на здоровье и продуктивные качества животных / Е.А. Корочкина // Генетика и разведение животных. – 2016. – № 3. – С. 69-73.
32. Котова, Т.В. Физиологические параметры гемостаза у животных, получавших ферроглюкин и гликопин / Т. В. Котова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2020. – Т. 243. – № 3. – С. 131-137.
33. Краснослободцева, А.С. Премикс с использованием органических селена и йода / А.С. Краснослободцева // Наука в центральной России. – 2017. – № 5(29). – С. 110-115.
34. Красочко, П.А. Анализ препаратов на основе наночастиц микроэлементов, применяемых в животноводстве и ветеринарии / П.А. Красочко, Т.И. Лебедева, И.А. Красочко, А.Э. Станкуть, О.Ю. Черных, Р.А. Кривонос, В.И. Белоусов // Сборник научных трудов КНЦЗВ. – 2021. – Т. 10. – № 1. – С. 92-99.
35. Крупин, Е.О. Влияние сбалансированного кормления коров в сухостойный период на содержание макро- и микроэлементов в молозиве и молоке / Е.О. Крупин, Ш.К. Шакиров, М.Г. Зухрабов // Аграрный научный журнал. – № 11. – 2019. – С. 65-69.
36. Крупин, Е.О. Влияние эссенциальных микроэлементов на здоровье животных и их продуктивность / Е.О. Крупин // Вестник современных исследований. – 2018. – № 12.1(27). – С. 361-364.
37. Курилкина, М.Я. Характеристика рубцового пищеварения жвачных животных при введении в рацион металлорганических комплексов / М.Я. Курилкина, Т.Н. Холодилина, Д.М. Муслюмова, К.Н. Атландерова, М.М. Поберухин // Вестник мясного скотоводства. – 2017. – № 3(99). – С. 113-119.
38. Ламанд, Г. Недостаток микроэлементов в кормлении телят / Г. Ламанд // Farmanimals. – 2013. – № 3-4. С. 84-90.

39. Лебедев, П.Т. Методы исследования кормов, органов и тканей животных / П.Т. Лебедев, А.Т. Усович // 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Россельхозиздат, 1976. - 389 с.

40. Лебедев, С.В. Влияние ингредиентного состава рационов на экзокринную функцию поджелудочной железы жвачных животных (обзор) / С.В. Лебедев, Е.В. Шейда, И.А. Вершинина // Животноводство и кормопроизводство. – 2020б. – Т. 103. – № 1. – С. 142-157.

41. Лебедев, С.В. Влияние наночастиц хрома на активность пищеварительных ферментов и морфологические и биохимические параметры крови теленка / С.В. Лебедев, О.В. Кван, И.З. Губайдуллина, И.А. Гавриш, В.В. Гречкина, Б. Момчилович, Н.И. Рябов // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101. – № 4. – С. 136-142.

42. Лебедев, С.В. Влияние смеси незаменимых аминокислот в сочетании с кобальтом и хромом на химический состав и качество мяса телят казахской белоголовой породы / С.В. Лебедев, В.В. Гречкина, М.В. Клычкова, О.С. Мукашев // Животноводство и кормопроизводство. – 2020а. – Т. 103. – № 1. – С. 168-179. Doi: 10.33284/2658-3135-103-1-168

43. Лебедев, С.В. Влияние хромсодержащих ультрадисперсных частиц на морфофункциональные особенности организма цыплят-бройлеров / С.В. Лебедев, И.З. Губайдуллина, И.А. Вершинина, А.М. Макаева, И.В. Маркова, Т.А. Климова, Т.П. Богадица, С.Л. Соколай // Животноводство и кормопроизводство. – 2019б. – Т. 102. – № 4. – С. 23-32.

44. Лебедев, С.В. Морфо-биохимические показатели и активность пищеварительных ферментов у крыс линии Wistar под влиянием различных источников хрома / С.В. Лебедев, И.А. Гавриш, И.З. Губайдуллина // Сельскохозяйственная биология. – 2019а. – Т. 54. – № 2. – С. 304-315. doi: 10.15389/agrobiology.2019.2.304rus.

45. Лебедева, И.Ю. Репродуктивный статус и биохимические показатели крови у голштинских коров с разной молочной продуктивностью в связи с обменом липидов в послеотельный период / И.Ю. Лебедева, В.Б. Лейбова, А.А.

Соломахин, О.С. Митяшова, Р.А. Рыков // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53. – № 6. – С. 1180-1189.

46. Левахин, В.И. Пособие для проведения научно-исследовательских работ в зоотехнии: учебно-методическое пособие / В.И. Левахин, Н.А. Балакирев, А.В. Харламов, Г.И. Левахин, Г.К. Дускаев, М.А. Кизаев, И.А. Бабичева, С.И. Мироненко // Москва-Оренбург: Изд-во ВНИИМС. – 2016. – 227 с.

47. Лобков, В.Ю. Цинк в рационах телят / В.Ю. Лобков, Л.В. Клетикова, А.И. Фролов // Аграрный вестник верхневолжья. – 2019. – № 3 (28). – С. 53-60. doi: 10.35523/2307-5872-2019-28-3-53-60.

48. Лукашик, Н.А. Зоотехнический анализ кормов: практикум / Н.А. Лукашик, В.А. Тащилин // Москва: Колос. – 1965. – 225 с

49. Лукьянов, А.А. Влияние нанопорошков меди и её соли на метаболические процессы в рубце бычков герефордской породы / А.А. Лукьянов, Л.В. Алексеева, Н.А. Лукьянова // Зоотехния. – 2016. – № 3. – С. 11-12.

50. Лунева, Р.А. Биологическая роль минеральных элементов / Р.А. Лунева, А.С. Горелик, С.Ю. Харлап, Я.С. Павлова, И.С. Колесниченко // Качество продукции, технологий и образования. – 2019. – С. 44-49.

51. Лушников, Н.А. Эффективность использования комплексной минеральной добавки при кормлении бычков абердин-ангусской породы / Н.А. Лушников, Т.А. Сандакова // Приоритетные направления регионального развития. – 2020. – С. 726-730.

52. Межевов, А.Б. Влияние хрома на обмен веществ и молочную продуктивность коров / А.Б. Межевов // автореф. на соиск. ученой степ. канд. с-х. наук: 06.02.08 – кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов. – 2012. – С. 25.

53. Мезенцева, А.А. Использование минеральных добавок в кормлении телят / А.А. Мезенцева // Сборник научных трудов всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2015. – Т. 1. – № 8. – С. 768-770.

54. Микроэлементный препарат для животных: пат. 2640908. Рос. Федерация. № 2016121770/61/31. Рыжов А.А., Рыжова В.В., Володькина Г.М., Коровицын Е.С; заявл. 31.05.2016; опубл. 12.01.2018, Бюл. № 2. 7 с.

55. Минеральная балансирующая кормовая добавка для молодняка крупного рогатого скота на откорме и способ ее получения: пат. 2711985 Рос. Федерация. № 201913166310/16. Семенюк А.Н., Цыбульский И.М., Михеев А.Л., Переходов В.Н; заявл. 08.10.2019; опубл. 23.01.2020, Бюл. № 3. 14 с.

56. Мирошников, И.С. Влияние препаратов наночастиц металлов-микроэлементов на рубцовое пищеварение и метаболизм химических элементов в системе «бактерии-простейшие» рубца / И.С. Мирошников // Вестник мясного скотоводства. –2017. – № 1(97). – С. 68-77.

57. Мирошников, С.А. Наноматериалы в животноводстве (обзор) / С.А. Мирошников, Е. А. Сизова // Вестник мясного скотоводства. – 2017. – № 3(99). – С. 7-22.

58. Муратова, А.Р. Коррекция физиологического статуса у телят с использованием хелатных форм микроэлементов / А.Р. Муратова // Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых ученых. – 2019. – С. 221-224.

59. Мусулькин, Д.Р. Влияние разных уровней хрома на обмен веществ и продуктивность нетелей и коров / Д.Р. Мусулькин // автореф. на соиск. ученой степ. канд. биолог. наук: 06.02.02. – кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов С., 2009. 26 с.

60. Назарова А.А. Влияние нанопорошков железа, кобальта и меди на физиологическое состояние крупного рогатого скота / А.А. Назарова // автореф. на соиск. ученой степ. канд. биолог. наук: 03.00.13. – физиология Р., 2009. 20 с.

61. Нестерова, Е.Л. Хром, марганец, железо: лабораторный практикум для студентов направления 18.03.02 / Е.Л. Нестерова, Г.С. Качалова // «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», по профилю подготовки «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов». – 2016. – С. 52.

62. Никулин, В.Н. Способ сокращения потерь мясной продукции у бычков при транспортных и предубойных стрессах / В.Н. Никулин, И.А. Бабичева, О.А. Ляпин, Е.А. Ажмулдинов, М.А. Кизаев, М.Г. Титов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1(75). – С. 179-181.

63. Ногаева, В.В. Влияние микроэлементов на повышение продуктивности молодняка крс / В.В. Ногаева, Б.С. Калоев, Ф.М. Кулова // Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. – 2019. – С. 269-271.

64. Овсянников, А.И. Основы опытного дела в животноводства. Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений. М., «Колос». – 1976. – 304 с.

65. Плавинский, С.Ю. Влияние оптимизации микроминерального питания молодняка крупного рогатого скота на его последующую молочную продуктивность / С.Ю. Плавинский, Г.П. Жукова // Проблемы зоотехнии, ветеринарии и биологии животных на дальнем востоке. – 2016. – С. 35-40.

66. Подобед, Л. Минеральное питание. Сравнительная эффективность минеральных кормовых добавок / Л. Подобед // Мясная промышленность. – 2017. – № 1(116). – С. 66-67.

67. Позывайло, О.П. Содержание макро- и микроэлементов в кормах и крови у коров- первотелок на третьем месяце лактации / О.П. Позывайло, И.В. Котович, Н.В. Кулеш // Веснік мазырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта ім. І.П. Шамякіна. – 2014. – № 2(43). – С. 21-25.

68. Рахимжанова, И.А. Белково-витаминно-минеральные добавки в рационах подсосных телят мясных пород / И.А. Рахимжанова, Б.Х. Галиев, Н.М. Ширнина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4(60). – С. 148-149.

69. Самохин, С.С. Влияние уровня минерального питания на процессы пищеварения у лактирующих коров / С.С. Самохин, Н.В. Абрамова // Сетевой научный журнал Орел Гау. – 2017. – № 1(8). – С. 60-63.

70. Сенько, А.В. Методические рекомендации по исследованию содержимого рубца у коров / А.В. Сенько, Д.В. Воронов // ВКН: Гродненский Государственный Аграрный Университет. – 2010. – С. 309-334.

71. Способ приготовления кормовой добавки для молодняка крупного рогатого скота: пат. 2711259 Рос. Федерация. 201910943550/10 Лебедев С.В., Шейда Е.В., Губайдуллина И.З., Гавриш И.А., Кван О.В., Мирошников И.С., Рязанов В.А., Быков А.В., Рогачев Б.Г; заявл.07.12.2020; опубл.15.01.2020 Бюл. № 2. 7 с.

72. Стеклова, А.Н. Милиэлемент цинк для животных / А.Н. Стеклова, А.А. Широгорова, В.И. Носкова // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика. – 2017. – С. 119-122.

73. Степанова, И.А. Показатели минерального обмена бычков чернопестрой породы при введении в рацион нанопорошков меди и железа / И.А. Степанова // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2. – № 5. – С. 191-194.

74. Такеев, М.Э. Правильное хорошо сбалансированное минеральное питание / М.Э. Такеев, А.А. Биджиева // International agricultural journal. – 2019. – Т. 62. – № 4. – С. 386-393.

75. Туаев, Е.В. Влияние скармливания хрома в минеральной и органической форме молодняку крупного рогатого скота на их рост, развитие и обмен веществ / Е.В. Туаев, Р.В. Сковороднев // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития. – 2017. – С. 177-180.

76. Туаева, Е.В. Использование хелатных форм микроэлементов в кормлении молодняка крупного рогатого скота в условиях амурской области / Е.В. Туаева, Т.А. Краснощекова, П.А. Сайтов // Проблемы зоотехнии, ветеринарии и биологии животных. – 2019. – С. 122-130.

77. Фабер, В. Хром для крупного рогатого скота / В. Фабер, Т. Акмалиев А., О.А. Гусева // Молочное и мясное скотоводство. – 2020. – № 4. – С. 42-45

78. Харламов, А.В. Химический состав длиннейшей мышцы спины и конверсия протеина и энергии кормов в мясную продукцию бычков различных

генотипов / А.В. Харламов, А.М. Мирошников, О.А. Завьялов, А.Н. Фролов // Вестник мясного скотоводства. – 2014. – № 3(86). – С. 45-48.

79. Худякова, В.В. Применение хелатных соединений в животноводстве / В.В. Худякова // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК. – 2016. – С. 183-189.

80. Шагалиев, Ф. Минеральное питание и молочная продуктивность / Ф. Шагалиев, С. Ардаширов // Животноводство России. – 2013. – № 3. – С. 43-44.

81. Шейда, Е.В. Оценка влияния ультрадисперсных частиц  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  на метаболические процессы в организме телят, выращиваемых на белковых рационах / Е.В. Шейда, С.В. Лебедев, С.А. Мирошников, В.В. Гречкина, В.А. Рязанов // Животноводство и кормопроизводство. – 2020б. – Т. 103. – № 4. – С. 26-36. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-14.

82. Шейда, Е.В. Влияние различных форм хрома на обмен химических элементов в организме крыс линии Wistar / Е.В. Шейда, С.В. Лебедев, И.З. Губайдуллина, В.А. Рязанов, И.А. Гавриш // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2(76). – С. 167-171.

83. Шейда, Е.В. Изменение активности пищеварительных ферментов панкреатического сока под влиянием ультрадисперсных частиц  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  на фоне скармливания белковых рационов при выращивании крупного рогатого скота / Е.В. Шейда, С.В. Лебедев, С.А. Мирошников, В.В. Гречкина, В.А. Рязанов, О.В. Шошина // Животноводство и кормопроизводство. – 2020в. – Т. 103. – № 4. – С. 26-36. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-26.

84. Шейда, Е.В. Изменение морфологических и биохимических показателей крови крыс при дополнительном введении в рацион аспарагината цинка / Е.В. Шейда, В.В. Гречкина, Е.А. Русакова // Животноводство и кормопроизводство. – 2020а. – Т. 103. – № 2. – С. 100-113.

85. Шейда, Е.В. Хром, его роль в питании животных / Е.В. Шейда, С.В. Лебедев, И.А. Гавриш, Э.З. Губайдуллина // Мясное скотоводство – приоритеты и перспективы развития. – 2018. – С. 165-167.

86. Шейко, И.П. Организация полноценного кормления сельскохозяйственных животных с использованием органических микроэлементов / И.П. Шейко, В.Ф. Радчиков, А.И. Саханчук, С.А. Линкевич, Е.Г. Кот, С.П. Воронин, Д.С. Воронин, В.В. Фесина // Зоотехния. – 2014. – № 3. – С. 80-86.

87. Эфендиев, Б.Ш. Уровень минерального питания стельных коров и его влияние на эмбриональное и постэмбриональное развитие телят / Б.Ш. Эфендиев, А.С. Вороков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2(160). – С. 111-115.

88. Adams, R.S. Variability in mineral and trace element content of dairy cattle feeds / R.S. Adams // J Dairy Sci. 1975. – № 58(10). – P. 1538-48. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(75)84750-3.

89. Ahmad, A. Effect of in vitro zinc supplementation on HSPs expression and Interleukin 10 production in heat treated peripheral blood mononuclear cells of transition Sahiwal and Karan Fries cows / A. Ahmad, S. Anjali, A.O. Aarif // Journal of Thermal Biology. – 2016. – № 56. – P. 68-76. doi: 10.1016/j.jtherbio.2016.01.002.

90. Alijani, K. Effect of nano-ZnO, compared to ZnO and Zn-methionine, on performance, nutrient status, rumen fermentation, blood enzymes, ferric reducing antioxidant power and immunoglobulin G in sheep / K. Alijani, J. Rezaei, Y. Rouzbehan // Animal Feed Science and Technology. – 2020. – № 267(3). – P. 114532. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114532.

91. Allan, J. The Effect of Iron Dextran Injection on Daily Weight Gain and Haemoglobin Values in Whole Milk Fed Calves / J. Allan, P. Plate, S.V. Winden // Animals (Basel). – 2020. – № 10(5). – P. 853. doi: 10.3390/ani10050853.

92. Ambarwati, Y. Docking Interaction of Chromium (III) Phenylalanine with Protein Tyrosine Phosphatase / Y. Ambarwati, M.A. Martoprawiro, I. Mulyani, Ismunandar, D. Onggo // Journal of Physics Conference Series. – 2021. – V. 1751. – № 1. Article number 012102. doi: 10.1088/1742-6596/1751/1/012102.

93. Anderson, J.L. In situ rumen dry matter, neutral detergent fiber, and crude protein degradability in dairy cows and in vitro intestinal digestibility of dried distillers

grains with solubles with varying fat concentrations / J.L. Anderson, K.J. Herrick // Journal of Dairy Science. – 2020. – № 35(4). – P. 503-508. doi: <https://doi.org/10.15232/aas.2020-01994>.

94. Andrieu, S. Is there a role for organic trace element supplements in transition cow health / S. Andrieu // Vet J. – 2008. – № 176(1). – P. 77-83. doi: 10.1016/j.tvjl.2007.

95. Añez-Osuna, F. Level and source of fat in the diet of gestating beef cows: I. Effects on the prepartum performance of the dam and birth weight of the progeny / F. Añez-Osuna, G.B. Penner, J. Campbell, M.R. Dugan, C.J. Fitzsimmons, P.G. Jefferson, H.A. Lardner, J.J. McKinnon // J Anim Sci. – 2019. – № 97(7). – P. 3103-3119. doi: 10.1093/jas/skz171.

96. Ani, M. The effect of chromium on parameters related to iron metabolism / M. Ani, S. William, J. Swecke, AA. Moshtaghie // Biological Trace Element Research. – 1992. – № 32(1-3) – P. 57-64. doi: 10.1007/BF02784588.

97. Apperson, K.D. Effects of feeding pregnant beef cows selenium-enriched alfalfa hay on passive transfer of ovalbumin in their newborn calves / K.D. Apperson, W.R. Vorachek, B.P. Dolan, G. Bobe, G.J. Pirelli, J.A. Hall // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2018. – № 50. – P. 640-645. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.05.014>.

98. Arce-Cordero, J.A. Copper sulfate and sodium selenite lipid-microencapsulation modifies ruminal microbial fermentation in a dual-flow continuous-culture system / J.A. Arce-Cordero, H.F. Monteiro, A.L. Lelis, L.R. Lima, R. Restelatto, V.L. N. Brandao, H. Leclerc, D. Vyas, A.P. Faciola // Journal of Dairy Science. – 2020. – № 103(8). – P. 7068-7080. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17913>.

99. Baggerman, J.O. Chromium propionate supplementation alters animal growth performance, carcass characteristics, and skeletal muscle properties in feedlot steers / J.O. Baggerman, Z.K. Smith, A.J. Thompson, J. Kim, J.E. Hergenreder, W. Rounds, B.J. Johnson // Transl Anim Sci. – 2020. – № 4(3). – P. 146. doi: 10.1093/tas/txaa146.

100. Barceloux, D.G. Chromium / D.G. Barceloux // *J Toxicol Clin Toxicol.* – 1999. - № 37(2). – P. 173-94. doi: 10.1081/clt-100102418
101. Berenjian, A. Effect of Chromium Nanoparticles on Physiological Stress Induced by Exogenous Dexamethasone in Japanese Quails / A. Berenjian, S.D. Sharifi, S. Ghazanfari // *Biol Trace Elem Res.* – 2018. – № 184(2). – P. 474-481. doi: 10.1007/s12011-017-1192-y.
102. Bernhard, B.C. Chromium supplementation alters both glucose and lipid metabolism in feedlot cattle during the receiving period / B.C. Bernhard, N.C. Burdick, R.J. Rathmann, J.A. Carroll, D.N. Finck, M.A. Jennings, T.R. Young, B.J. Johnson // *J Anim Sci.* – 2012. – № 90(13). – P. 4857-65. doi: 10.2527/jas.2011-4982.
103. Besong, S. Influence of supplemental chromium on concentrations of liver triglyceride, blood metabolites and rumen VFA profile in steers fed a moderately high fat diet / S. Besong, J.A. Jackson, D.S. Trammell, V. Akay. // *J Dairy Sci.* – 2001. – № 84(7). – P. 1679-85. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74603-6.
104. Białek, M. Composition of rumen-surrounding fat and fatty acid profile in selected tissues of lambs fed diets supplemented with fish and rapeseed oils, carnosic acid, and different chemical forms of selenium / M. Białek, M. Czuderna // *Livestock Science.* – 2019. – № 226. – P. 122-132. doi.org/10.1016/j.livsci.2019.06.013.
105. Bin, L. Chemical properties and biotoxicity of several chromium picolinate derivatives / L. Bin, Y. Liu, J. Chai, X. Hu, D. Wu, B. Yang // *Journal of Inorganic Biochemistry.* – 2016. – P. 164. doi:10.1016/j.jinorgbio.2016.09.006.
106. Bin-Jumah, M. Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review / M. Bin-Jumah, M.E. El-Hack, S.A. Abdelnour, Y.A. Hendy, H.A. Ghanem, S.A. Alsafy, A.F. Khafaga, A.E. Noreldin, H. Shaheen, D. Samak, M.A. Momenah, A.A. Allam, A.A. AlKahtane, S. Alkahtani, M.M. Abdel-Daim, L. Aleya // *Sci Total Environ.* – 2020. – № 10. – P. 707:135996. doi: 10.1016/j.scitotenv.
107. Bompadre, T.F.V. Long-term chromium picolinate supplementation improves colostrum profile of Santa Ines ewe / T.F.V. Bompadre, D.B. Moretti, G.Z. Sakita, E.H. Ieda, M.I.V. Martinez, E.A.N. Fernandes, R. Machado-Neto, A.L.

Abdalla, H. Louvandini // *Biological Trace Element Research*. – 2020. – V. 193. – № 2. – P. 414-421. doi: 10.1007/s12011-019-01741-3.

108. Budde, A.M. Effect of zinc source, concentration, and chromium supplementation on performance and carcass characteristics in feedlot steers / A. Budde, K. Sellins, K. Lloyd, J. Wagner, J. Heldt, J. Spears, T. Engle // *Journal of Animal Science*. – 2019. – V. 97. – №. 3. – P. 1286-1295. doi: 10.1093/jas/skz016.

109. Cui, H. Effects of sources and concentrations of zinc on growth performance, nutrient digestibility, and fur quality of growing-furring female mink (*Mustela vison*) / H. Cui, T.T. Zhang, H. Nie, Z.C. Wang, X.L. Zhang, B. Shi, F.H. Yang, X. H. Gao // *J Anim Sci*. – 2017 – № 95(12). – P. 5420-5429. doi: <https://doi.org/10.2527/jas2017.1810>.

110. Debski, B. The role of Chromium III in the organism and its possible use in diabetes and obesity treatment / B. Debski, M. Goniewicz, M. Krzywowski, A. Lewicka, S. Lewickil, M. Niemcewiz, R. Zdanowski // *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. – 2014. – V. 21. – № 2. – P. 331-335. doi: 10.5604/1232-1966.1108599.

111. Derek, J. Selenium in Cattle: A Review / J. Derek // *Molecules*. – 2016. – № 21(4). – P. 545. doi: 10.3390/molecules21040545.

112. Devoy, J. Intra-erythrocyte chromium as an indicator of exposure to hexavalent chromium: An in vivo evaluation in intravenous administered rat / J. Devoy, F. Cosnier, E. Bonfanti, G. Antoine, H. Nunge, A.M. Lambert-Xolin, M.J. Decret, L. Douteau, M. Lorcin, S. Sebillaud, S. Grossmann // *Toxicol Lett*. – 2019. – P. 133-141. doi: 10.1016/j.toxlet.2019.07.020

113. Dias, R.S. Utilization of macrominerals and trace elements in pregnant heifers with distinct feed efficiencies / R.S. Dias, Y.R. Montanholi, S. Lopez, B. Smith, S.P. Miller, J. France // *Journal of Dairy Science*. – 2016. – № 99(7). – P. 5413-5421. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10796>.

114. Dietz, A.M. Short communication: Effects of supplementing diets of Holsteins with copper, zinc, and manganese on blood neutrophil function / A.M. Dietz,

W. P. Weiss, M.J. Faulkner, J.S. Hogan // *Journal of Dairy Science*. – 2017. – № 100(3). – P. 2201-2206. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11787>.

115. Edenburn, B.M. Effects of supplementing zinc or chromium to finishing steers fed ractopamine hydrochloride on growth performance, carcass characteristics, and meat quality / B.M. Edenburn, S.G. Kneeskern, B.M. Bohrer, W. Rounds, D.D. Boler, A.C. Dilger, T.L. Felix // *J Anim Sci*. – 2016. – 94(2). – P. 771-9. doi: [10.2527/jas.2015-9979](https://doi.org/10.2527/jas.2015-9979).

116. Emami, A. Effects of Cr Methionine on Glucose Metabolism, Plasma Metabolites, Meat Lipid Peroxidation, and Tissue Chromium in Mahabadi Goat Kids / A. Emami, M. Ganjkhanlou, A. Zali // *Journal of dairy science*. – 2015. – № 164(1). – P. 50-57. doi: [10.1007/s12011-014-0190-6](https://doi.org/10.1007/s12011-014-0190-6).

117. Engle, T.E. Copper and lipid metabolism in beef cattle: a review / T.E. Engle // *J Anim Sci*. – 2011. – № 89(2). – P. 591-6. doi: [10.2527/jas.2010-3395](https://doi.org/10.2527/jas.2010-3395).

118. Espinosa, C.D. Effects of copper hydroxychloride and distillers dried grains with solubles on intestinal microbial concentration and apparent ileal and total tract digestibility of energy and nutrients by growing pigs / C.D. Espinosa, R.S. Fry, M.E. Kocher, H.H. Stein. // *J Anim Sci*. – 2019 – № 97(12). – P. 4904-4911. doi: [10.1093/jas/skz340](https://doi.org/10.1093/jas/skz340).

119. Flachowsky, G. Influencing factors on iodine content of cow milk / G. Flachowsky, K. Franke, U. Meyer, M. Leiterer, F. Schöne // *Eur J Nutr*. – 2014. – № 53(2). – P. 351-65. doi: [10.1007/s00394-013-0597-4](https://doi.org/10.1007/s00394-013-0597-4).

120. González-Montaña, J-R. Relationship between Vitamin B12 and Cobalt Metabolism in Domestic Ruminant: An Update / J-R. González-Montaña, F. Escalera-Valente, A.J. Alonso, J.M. Lomillos, R. Robles, M.E. Alonso // *Animals (Basel)*. – 2020. – № 10(10). – P. 1855. doi: [10.3390/ani10101855](https://doi.org/10.3390/ani10101855).

121. Graham, T.W. Trace element deficiencies in cattle / T.W. Graham // *Vet Clin North Am Food Anim Pract*. – 1991. – № 7(1). – P. 153-215. doi: [10.1016/s0749-0720\(15\)30816-1](https://doi.org/10.1016/s0749-0720(15)30816-1).

122. Habibi, Z. Grain source and chromium supplementation: Effects on health, metabolic status, and glucose-insulin kinetics in Holstein heifer calves / Z. Habibi, S.

Karimi-Dehkordi, S. Kargar, M. Sadeghi // *J Dairy Sci.* – 2019. – № 102(10). – P. 8941-8951. doi: 10.3168/jds.2019-16619.

123. Hakimi, M. Structural and Spectral Characterization of a Chromium (III) Picolinate Complex: Introducing a New Redox Reaction / M. Hakimi // *Journal of the Korean Chemical Society.* – 2013. – V. 57. – № 6. – P. 721-725. doi: 10.5012/jkcs.2013.57.6.721.

124. Hallmark, H.D. Effect of zinc and chromium supplementation on performance and carcass characteristics in feedlot steers / H.D. Hallmark, J.T. Zervoudakis, J.A. Torrecilhas, L.K. Hatamoto-Zervoudakis, H. Toller, O. Guimaraes, T.E. Engle // *J. Anim. Sci.* – 2020. – № 98. – P. 400-401. doi: 10.1093/jas/skaa278.703.

125. Hasan, H.G. Studies on the relationship between chromium (III) ion and thyroid peroxidase activity in sera of patients with thyroid dysfunction / H.G. Hasan, T.J. Mahmood, P.A. Ismael // *Ibn AL-Haitham Journal for Pure and Applied Science.* – 2011. – V. 24. – № 2. – P. 120-127.

126. Hidiroglou, M. Trace element deficiencies and fertility in ruminants: a review / M. Hidiroglou // *J Dairy Sci.* – 1979. – № 62(8). – P. 1195-206. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(79)83400-1.

127. Horst, E.A. Effect of chromium on bioenergetics and leukocyte dynamics following immunoactivation in lactating Holstein cows / E.A. Horst, S.K. Kvidera, E.J. Mayorga, C.S. Shouse, M. Al-Qaisi, M.J. Dickson, J. Ydstie, H.A. Ramirez, A.F. Keating, D.J. Dickson, K.E. Griswold, L.H. Baumgard // *J Dairy Sci.* – 2018. – № 101(6). – P. 5515-5530. doi: 10.3168/jds.2017-13899.

128. Hosseini-Vardanjani, S.F. Effect of feeding nano-ZnO on performance, rumen fermentation, leukocytes, antioxidant capacity, blood serum enzymes and minerals of ewes / S.F. Hosseini-Vardanjani, J. Rezaei, S. Karimi-Dehkordi, Y. Rouzbehan // *Small Ruminant Research.* – 2020. – № 191(2). – P. 106170. doi: 10.1016/j.smallrumres.2020.106170.

129. Hung, A. Nano-chromium picolinate and heat stress enhance insulin sensitivity in crossbred sheep / A. Hung, B. Leury, M. Sabin, F. Fahri, K. Digiaco, M.

T.-F. Lien, F. Dunshea // *Animal Nutrition*. – 2023. – V. 13. – P. 173-184. doi: 10.1016/j.aninu.2023.01.003.

130. Hung, A.T. Dietary nano chromium picolinate can ameliorate some of the impacts of heat stress in crossbred sheep / A.T. Hung, B.J. Leury, M.A. Sabin, F. Fahri, K. DiGiacomo, T.-F. Lien, F.R. Dunshea // *Animal Nutrition Journal*. – 2021. – V. 7. – № 1. – P. 198-205. doi: 10.1016/j.aninu.2020.07.004.

131. Imamoğlu, N. Effects of chromium picolinate on micronucleus frequency and morphology of lymphocytes in calves / N. Imamoğlu, F. Uyanik, B. KocaoğluGüçlü, O. Erdem, B. CemLiman, H. Dönmez Altuntaş // *Biol Trace Elem Res*. – 2008. – № 125(2). – P. 133-40. doi: 10.1007/s12011-008-8163-2.

132. Jalali, S. Influence of supplemental copper, manganese, and zinc source on reproduction, mineral status, and performance in a grazing beef cow-calf herd over a 2-year period / S. Jalali, K.D. Lippolis, J.K. Ahola, J.J. Wagner, J.W. Spears, D. Couch, T.E. Engle // *Applied Animal Science*. – 2020. – № 95(4). – P.745-753. doi: 10.15232/aas.2020-01982.

133. Jin, X. Effect of Chromium Propionate Supplementation on Lactation Performance and Blood Parameters of Dairy Cows / X. Jin, S.L. Li, W.J. Zhang // *Journal of Animal and Veterinary Advances*. – 2012. – № 11(16). – P. 3031-3035. doi: 10.3923/javaa.2012.3031.3035.

134. Jin, Y. Effects of concentrate level and chromium-methionine supplementation on the performance, nutrient digestibility, rumen fermentation, blood metabolites, and meat quality of Tan lambs / Y. Jin, Y. Zhou // *Animal Bioscience*. – 2022. – V. 35. – № 5. P. 677-689. doi: 10.5713/ab.20.0802.

135. Jobby, R. Biosorption and biotransformation of hexavalent chromium [Cr(VI)]: A comprehensive review / R. Jobby, P. Jha, A.K. Yadav, N. Desai // *Chemosphere*. – 2018. – P. 255-266. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.05.050.

136. Jovanovic, L. Effect of Peroral Administration of Chromium on Insulin Signaling Pathway in Skeletal Muscle Tissue of Holstein Calves / L. Jovanovic, M. Pantelic, R. Prodanovic, I. Vujanac, M. Duric, S. Tepavcevic, S. Vranjes-Duric, G.

Koricanac, D. Kirovski // *Biol Trace Elem Res.* – 2017. – № 180(2). – P. 223-232. doi: 10.1007/s12011-017-1007-1.

137. Kaewpila, C. Dietary fat sources affect feed intake, digestibility, rumen microbial populations, energy partition and methane emissions in different beef cattle genotypes / C. Kaewpila, K. Sommart, M. Mitsumori // *Animal.* – 2018. – № 12(12). – P. 2529-2538. doi: 10.1017/S1751731118000587.

138. Kargar, S. Effects of chromium supplementation on weight gain, feeding behaviour, health and metabolic criteria of environmentally heat-loaded Holstein dairy calves from birth to weaning / S. Kargar, F. Mousavi, S. Karimi-Dehkordi // *Arch Anim Nutr.* – 2018. – № 72(6). – P. 443-457. doi: 10.1080/1745039X.2018.1510157.

139. Kargar, S. Grain source and chromium supplementation: effects on feed intake, meal and rumination patterns, and growth performance in Holstein dairy calves / S. Kargar, Z. Habibi, S. Karimi-Dehkordi // *Animal.* – 2019. – № 13(6). – P. 1173-1179. doi: 10.1017/S1751731118002793.

140. Keshri, A. Effect of chromium supplementation on rhythmic alterations in growth performance and nutrient utilization of growing cattle during heat stress / A. Keshri, D. Roy, V. Kumar, M. Kumar, R. Kushwaha, S. Vaswani, C.K. Prasad, A. Prakash, S. Choudhury // *Biological rhythm research.* – 2019. – P. 1064-1072. doi:10.1080/09291016.2019.1616143.

141. Khorsandi, S. Lactation and reproductive performance of high producing dairy cows given sustained-release multi-trace element/vitamin ruminal bolus under heat stress condition / S. Khorsandi, A. Riasi, M. Khorvash, S.A. Mahyari, F. Mohammadpanah, F. Ahmadi // *Livestock Science.* – 2016. – № 187. – P. 146-150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.03.008>.

142. Kleczkowski, M. Role of antioxidants in the protection against oxidative stress in cattle-trace elements and enzymatic mechanisms (Part 3) / M. Kleczkowski, W. Kluciński, J. Sikora, M. Zdanowicz // *Pol J Vet Sci.* – 2004. – № 7(3). – P. 233-40.

143. Kneeskern, S.G. Effects of chromium supplementation to feedlot steers on growth performance, insulin sensitivity, and carcass characteristics / S.G. Kneeskern,

A.C. Dilger, S.C. Loerch, D.W. Shike, T.L. Felix // *J Anim Sci.* – 2016. – № 94(1). – P. 217-26. doi: 10.2527/jas.2015-9517.

144. Lashkari, S.A. Review on the Role of Chromium Supplementation in Ruminant Nutrition-Effects on Productive Performance, Blood Metabolites, Antioxidant Status, and Immunocompetence / S. Lashkari, M. Habibian, S.K. Jensen // *Biol Trace Elem Res.* – 2018. – № 186(2). – P. 305-321. doi: 10.1007/s12011-018-1310-5.

145. Leiva, T. Effects of excessive energy intake and supplementation with chromium propionate on insulin resistance parameters in nonlactating dairy cows / T. Leiva, R.F. Cooke, A.C. Aboin, F.L. Drago, R. Gennari, J.L. Vasconcelos // *J Anim Sci.* – 2014. – № 92(2). – P. 775-82. doi: 10.2527/jas.2013-6852.

146. Leiva, T. Effects of supplemental calcium salts of palm oil and chromium-propionate on insulin sensitivity and productive and reproductive traits of mid- to late-lactating Holstein × Gir dairy cows consuming excessive energy / T. Leiva, R.F. Cooke, A.P. Brandão, R.D. Bertin, E.A. Colombo, V.F. Miranda, L.A. Lourenço, S.M. Rodrigues, J.L. Vasconcelos // *J Dairy Sci.* – 2018. – № 101(1). – P. 491-504. doi: 10.3168/jds.2017-13081.

147. Li, S. Leptin in normal physiology and leptin resistance / S. Li, X. Li // *Science Bulletin.* – 2016. – № 61(19). – P. 1480-1488. doi: 10.1007/s11434-015-0951-4.

148. Liu, B. Chemical properties and biotoxicity of several chromium picolinate derivatives. / B. Liu, Y. Liu, J. Chai, X. Hu, D. Wu, B. Yang // *Journal of Inorganic Biochemistry.* – 2016. – P. 164. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2016.09.006.

149. Lyons, S.M. The medical fast-track. / S.M. Lyons // *Anaesthesia.* – 1994. – № 49(10). – P.841-842. doi: 10.1111/j.1365-2044.1994.tb04253.x.

150. Lopez-Alonso, M. Copper Supplementation, A Challenge in Cattle / M. Lopez-Alonso, M. Miranda // *Animals (Basel).* – 2020. – № 10(10). – P. 1890. doi: 10.3390/ani10101890.

151. Manriquez, D. Case Study: Assessment of human-conditioned sorting behavior in dairy cows in farm research trials / D. Manriquez, L. Chen, P. Melendez, P. Pinedo // *Biology*. – 2019. – № 34(6). – P. 664-670. doi: 10.15232/PAS.2018-01749.
152. Mehdi, Y. Selenium in Cattle: A Review / Y. Mehdi, I. Dufrasne // *Molecules*. – 2016. – № 21(4). – P. 545. doi: 10.3390/molecules21040545.
153. Montemor C., Sachetin M.W. The performace of nelore steers supplemented with organic chromium / C. Montemor, M.W. Sachetin // *Semina: ciencias agrarias*. – 2009. – № 30(3). – P. 701-708.
154. Mooney, K.W. Efficacy of chromium picolinate and chromium chloride aspotential carcass modifiers in swine / K.W. Mooney, G.L. Cromwell // *Journal of Animal Science*. – 1997. – №75(10). – P. 2661-2671. doi: 10.2527/1997.75102661x.
155. Mousavi, F. Effect of chromium supplementation on growth performance, meal pattern, metabolic and antioxidant status and insulin sensitivity of summer-exposed weaned dairy calves / F. Mousavi, S. Karimi-Dehkordi, S. Kargar , M.H. Ghaffari // *Animal*. – 2019. – №13(5). – P. 968-974. doi:10.1017/S1751731118002318.
156. Mudgal, V. Selenium and copper interaction at supra-nutritional level affecting blood parameters including immune response against P. multocida antigen in Murrah buffalo (*Bubalus bubalis*) calves / V. Mudgal, A.K. Garg, R.S. Dass, M. Rawat // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. – 2018. – № 50. – P. 415-423. doi: 10.1016/j.jtemb.2018.08.008.
157. Olson, K.C. Management of mineral supplementation programs for cow-calf operations / K.C. Olson // *Vet Clin North Am Food Anim Pract*. – 2007. – № 23(1). – P. 69-90. Doi: 10.1016/j.cvfa.2006.11.005.
158. Osorio, J.S. Corium molecular biomarkers reveal a beneficial effect on hoof transcriptomics in peripartal dairy cows supplemented with zinc, manganese, and copper from amino acid complexes and cobalt from cobalt glucoheptonate / J.S. Osorio, F. Batistel, E.F. Garrett, M.M. Elhanafy, M.R. Tariq, M.T. Socha, J.J. Looor // *Journal of Dairy Science*. – 2016. – № 99(12). – P. 9974-9982. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10698>.

159. Pechova, A. Effects of Chromium Supplementation on Growth Rate and Metabolism in Fattening Bulls / A. Pechova, J. Illek, L. Pavlata // *Acta Veterinaria Brno.* – 2002. – №. 71(2). – P. 535-541. doi: 10.2754/avb200271040535.

160. Purwar, V. Effect of protected fat, yeast, niacin, zinc and chromium supplementation on the productive performance of heat-stressed Karan Fries heifers / V. Purwar, P.S. Oberoi, M.N. Alhussien, P. Santoshi, K.N. Diwakar // *Indian journal of dairy science indian journal of dairy science.* – 2018. – № 71(3). – P. 252-257.

161. Ramirez-Ramirez, H.A. Reduced-fat dried distillers grains with solubles reduces the risk for milk fat depression and supports milk production and ruminal fermentation in dairy cows / H.A. Ramirez-Ramirez, E. Castillo Lopez, C.R. Jenkins, N.D. Aluthge, C. Anderson, S.C. Fernando, K.J. Harvatine, P.J. Kononoff // *J Dairy Sci.* – 2016. – № 99(3). – P. 1912-1928. doi: 10.3168/jds.2015-9712.

162. Ranches, J. Low moisture, cooked molasses blocks: A limited intake method for supplementing trace minerals to pre-weaned calves / J. Ranches, R.A. De Oliveira, M. Vedovatto, E.A. Palmer, P. Moriel, L.D. Silva, G. Zylberlicht, J.S. Drouillard, J.D. Arthington // *Animal Feed Science and Technology.* – 2021. – № 1023. – P. 273. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114793.

163. Ren-ju, S. Contents of Trace Metal Elements in Cow Milk Impacted by Different Feedstuffs / S. Ren-ju, T. Hui-li, H. Jian-guo, G. Xue-jun // *Journal of Northeast Agricultural University (English Edition).* – 2015. – № 22(3). – P. 54-61. doi: 10.1016/S1006-8104(16)30007-1.

164. Ribeiro, L.D. Chromium supplementation improves glucose metabolism and vaginal temperature regulation in Girolando cows under heat stress conditions in a climatic chamber / L.D. Ribeiro, F.Z. Brandão, L.R. Carvalheira, T.F. Goes, R.A. Filho, C.C. Quintão, M.F. Pires, L.A. Camargo, B.C. Carvalho // *Trop Anim Health Prod.* – 2020. – № (4). – P. 1661-1668. doi: 10.1007/s11250-019-02173-w.

165. Rikhari, K. Lactation performance and milk quality in crossbred cows fed chromium supplemented ration / K. Rikhari, D.P. Tiwari, A. Kumar // *Indian journal of animal sciences.* – 2012. – № 82(12). – P. 1551-1557.

166. Romeo, A. Zinc fate in animal husbandry systems / A. Romeo, V. Vacchina, S. Legros, E. Doelsch // *Metallomics*. – 2014. – № 6(11). – P.1999-2009. doi: 10.1039/c4mt00062e.

167. Sadri, H. Chromium supplementation and substitution of barley grain with corn: effects on metabolite and hormonal responses in periparturient dairy cows / H. Sadri, H.R. Rahmani, M. Khorvash, G.R. Ghorbani, R.M. Bruckmaier // *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. – 2012. – № 96(2). – P. 220-7. doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01141.

168. Sanchez-Mendoza, B. Influence of feeding Cr-enriched enzymatically hydrolyzed yeast on growth performance, dietary energetics, and carcass characteristics in feedlot cattle under conditions of high ambient temperature / B. Sánchez-Mendoza, A. Montelongo-Terriquez, A. Plascencia, N. Torrentera, R.A. Ware, R.A. Zinn // *J. Appl. Anim. Res.* – 2014. – № 2119. – P. 1-6. doi: 10.1080/09712119.2014.978781.

169. Semkiv, M.V. Organization and improvement of biochemical control of full-fledged feeding of cows / M.V. Semkiv // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. – 2021. – № 852(1). – P. 012092. doi: 10.1088/1755-1315/852/1/012092.

170. Senosi Y.A. Biochemical study on the regenerative effect of chromium picolinate on experimentally induced diabetes / Y.A. Senosi, Omayma, A.R.A. Zaid, A.D.A. Elmaged, M.A.M. Ali // *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. – 2018. – № 7(10). – P. 325-343. doi: 10.20959/wjpps201810-12444.

171. Sheikh, A.A. Inorganic zinc supplementation modulates heat shock and immune response in heat stressed peripheral blood mononuclear cells of periparturient dairy cows / A.A. Sheikh, A. Aggarwal, B. Indu, O. Aarif // *Theriogenology*. – 2017. – № 95. – P. 75-82. doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.02.024.

172. Shree, M.K. Cytotoxicity and Antimicrobial Activity of Chromium Picolinate Mediated Zinc Oxide Nanoparticle / M.K. Shree, A. Lakshminarayanan, R. Shanmugam // *Journal of Pharmaceutical Research*. – 2020. – P. 28-32. doi: 10.9734/jpri/2020/v32i2030726.

173. Sigarini, K.D. Determination of the Lead, Cadmium, and Chromium Concentration in Mineral Feeds and Supplements for Cattle Produced in the Mato Grosso State, Brazil / K.D. Sigarini, A.P. Oliveira, D.L. Martins, A.S. Brasil, K.C. Oliveira, R.D. Villa // *Biol Trace Elem Res.* – 2017. – № 177(1). – P. 209-214. doi: 10.1007/s12011-016-0869-y.

174. Sinclair, L.A. Added dietary sulfur and molybdenum has a greater influence on hepatic copper concentration, intake, and performance in Holstein-Friesian dairy cows offered a grass silage- rather than corn silage-based diet / L.A. Sinclair, D. Johnson, S. Wilson, A.M. Mackenzie // *Journal of Dairy Science.* – 2017. – № 100(6). – P. 4365-4376. doi: 10.3168/jds.2016-12217.

175. Souza, J.D. Comparison of a palmitic acid-enriched triglyceride supplement and calcium salts of palm fatty acids supplement on production responses of dairy cows / J.D. Souza, A.L. Lock // *J. Dairy Sci.* – 2018. – № 101. – P. 3110-3117. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13560>.

176. Spears, J.W. Boron, Chromium, Manganese, and Nickel in Agricultural Animal Production / J.W. Spears // *Biological Trace Element Research.* – 2019. – V. 188. – № 1. – P. 35-44. doi: 10.1007/s12011-018-1529-1.

177. Stępniewska, A. Estimated intestinal absorption of phosphorus and its deposition in chosen tissues, bones and feathers of chickens receiving chromium picolinate or chromium nanoparticles in diet / A. Stępniewska, K. Tutaj, A. Drażbo, K. Kozłowski, K. Ognik, J. Jankowski // *PLoS One.* – 2020. – V. 15. – № 11. – P. e0242820. doi: 10.1371/journal.pone.0242820.

178. Sumner, J.M. Effects of chromium propionate on response to an intravenous glucose tolerance test in growing Holstein heifers / J.M. Sumner, F. Valdez, J.P. Mc Namara // *J Dairy Sci.* – 2007. – № 90(7). – P. 3467-74. doi: 10.3168/jds.2006-623.

179. Suttle, N.F. Recent developments in trace element metabolism and function: trace elements, disease resistance and immune responsiveness in ruminants / N.F. Suttle, D.G. Jones // *J Nutr.* – 1989. – № 119(7). – P. 1055-61. doi: 10.1093/jn/119.7.1055.

180. Uddin, K.M. Synthesis, spectroscopic characterization, and theoretical studies on the substitution reaction of chromium(III) picolinate / K.M. Uddin, A. Alrawashdeh, T. Debnath, M. Aziz, R. Poirier // *Journal of Molecular Structure*. – 2019. – V.1189. – № 9. – P. 28-39. doi: 10.1016/j.molstruc.2019.04.015.
181. Untea, A. Effects of chromium supplementation on growth, nutrient digestibility and meat quality of growing pigs / A. Untea, I. Varzaru, T. Panaite, M. Habeanu, M. Ropota, M. Olteanu, Cornescu G-M // *South African Journal of Animal Science*. – 2017. – V. 47. – № 3. – P. 332. doi: 10.4314/sajas.v47i3.10.
182. Vajdi, M. Effects of Chromium Supplementation on Lipid Profile: an Umbrella of Systematic Review and Metaanalysis / M. Vajdi, V. Musazadeh, A. Karimi, H. Heidari, M.J. Tarrahi, G. Askari // *Biological Trace Element Research*. – 2023. – № 201(8). – P. 3658-3669. doi: 10.1007/s12011-022-03474-2.
183. Van Bibber-Krueger, C.L. Effects of a yeast combined with chromium propionate on growth performance and carcass quality of finishing steers / C.L. Van Bibber-Krueger, J.E. Axman, J.M. Gonzalez, C.I. Vahl, J.S. Drouillard // *J. Anim. Sci.* – 2016. – № 94(7). – P. 3003-3011. doi: 10.2527/jas.2016-0454.
184. Vertegel, A.A. Silica nanoparticle size influences the structure and enzymatic activity of adsorbed lysozyme / A.A. Vertegel, R.W. Siegel, J.S. Dordick // *Langmuir*. – 2004. – № 20(16). – P. 6800-6807. doi: 10.1021/la0497200.
185. Vincent, J. Chromium: celebrating 50 years as an essential element. /J. Vincent // *Dalton Transactions*. – 2010. – V. 39. – №. 16. – P. 3787–3794. doi: 10.1039/B920480F.
186. Vincent, J. The Bioinorganic Chemistry of Chromium (III) / J. Vincent // *Polyhedron*. – 2001. – V. 20. – № 1-2. – P. 1-26. doi: 10.1016/S0277-5387(00)00624-0.
187. Vincent, J. The Nutritional Biochemistry of Chromium (III) /Vincent, J// Amsterdam: Elsevier B.V. – 2015. – P.57-70.
188. Vincent, J.B. Chromium / J.B. Vincent, H.C. Lukaski // *AdvNutr*. – 2018. – № 9(4). – P. 505-506. doi: 10.1093/advances/nmx021.

189. Vincent, J.B. Effects of chromium supplementation on body composition, human and animal health, and insulin and glucose metabolism / J.B. Vincent // *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. – 2019. – V. 22. – № 6. – P. 483-489. doi: 10.1097/MCO.0000000000000604.
190. Weiss, W.P. A 100-Year Review: From ascorbic acid to zinc-Mineral and vitamin nutrition of dairy cows / W.P. Weiss // *J Dairy Sci*. – 2017. – № 100(12). – P. 10045-10060. doi: 10.3168/jds.2017-12935.
191. Win, K.Y. Effects of particle size and surface coating on cellular uptake of polymeric nanoparticles for oral delivery of anticancer drugs / K.Y. Win, S.S. Feng // *Biomaterials*. – 2005. – № 26(15). – P. 2713-2722. doi: 10.1016/j.biomaterials.2004.07.050.
192. Wu, H. Evaluation of ferric oxide and ferric citrate for their effects on fermentation, production of sulfide and methane, and abundance of select microbial populations using *in vitro* rumen cultures / H. Wu, Q. Meng, Z. Yu // *Bioresource Technology*. – 2016. – № 211. – P. 603-609. doi: 10.1016/j.biortech.2016.03.126.
193. Wu, Z.Z. Effect of chromium methionine supplementation on lactation performance, hepatic respiratory rate and anti-oxidative capacity in early-lactating dairy cows / Z.Z. Wu, W.C. Peng, J.X. Liu, G.Z. Xu, D.M. Wang // *Animal*. – 2021. – № 15(9). – P. 100326. doi: 10.1016/j.animal.2021.100326.
194. Yohe, T.T. Form of calf diet and the rumen. I: Impact on growth and development / T.T. Yohe, H. Schramm, C.L. Parsons, H.L. Tucker, B.D. Enger, N.R. Hardy, K.M. Daniels // *J Dairy Sci*. – 2019. – № 102(9). – P. 8486-8501. doi: 10.3168/jds.2019-16449.
195. Yuan, K. Effects of supplemental chromium propionate and rumen-protected amino acids on nutrient metabolism, neutrophil activation, and adipocyte size in dairy cows during peak lactation Randomized Controlled Trial / K. Yuan, C.F. Vargas-Rodriguez, L.K. Mamedova, M.B. Muckey., M.A. Vaughn, D.D. Burnett, J.M. Gonzalez, E.C. Titgemeyer, K.E. Griswold, B.J. Bradford // *Dairy Sci*. – 2014. – № 97(6). P. 3822-31. doi: 10.3168/jds.2013-7770.

196. Zade, S. Energy metabolites, lipid variables and lactation performance of periparturient Murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*) fed on diet supplemented with inorganic chromium / S. Zade, V. Mani, R.S. Deka, M. Kumar, H.K. Neelam, J. Kewalramani, A.K. Tyagi // *Biol Trace Elem Res.* – 2014. – № 159(1-3). – P. 115-27. doi: 10.1007/s12011-014-0010-z.
197. Zhang, F.J. Effects of temperature-humidity index and chromium supplementation on antioxidant capacity, heat shock protein 72, and cytokine responses of lactating cows / F.J. Zhang, X.G. Weng, J.F. Wang, D. Zhou, W. Zhang, C.C. Zhai, Y.X. Hou, Y.H. Zhu // *J Anim Sci.* – 2014. – V. 92. – № 7. – P. 3026-34. doi: 10.2527/jas.2013-6932.
198. Zou, W. Selective determination of Cr(VI) and non-chromatographic speciation analysis of inorganic chromium by chemical vapor generation-inductively coupled plasma mass spectrometry / W. Zou, C. Li, J. Hu, X. Hou // *Talanta.* – 2020. – P. 218. doi: 10.1016/j.talanta.2020.121128.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Питательность и химический состав компонентов рациона (в 1 кг корма)

Перечень показателей	Сено злаковое	Сено бобовое	Силос кукурузный	Зерно смесь (дроблёная)	Жмых подсолнечный	Патока кормовая
кормовые единицы, кг	0,763	0,46	0,319	1,2	1,08	0,76
сухое вещество, кг	0,889	0,832	0,245	0,900	0,900	0,800
обменная энергия, МДж	7,6	7,1	3,19	11,4	10,42	9,36
сырой протеин, г	43,0	127,3	19,0	186,0	406,0	99,0
переваримый протеин, г	22,0	90,5	10,9	136,0	324,0	60,0
сырая клетчатка, г	375	272,8	62,7	35	130,0	-
сахара, г	27,0	34,2	7,2	33,0	61,9	543,0
крахмал, г	46,0	21,3	8,0	393	26	-
жир, г	20,0	19,2	7,4	13,0	78,0	-
кальций, г	4,0	16,2	1,26	0,8	3,0	3,2
фосфор, г	0,5	1,9	0,445	0,7	6,5	0,2
сера, г	-	1,7	0,32	-	5,6	1,4
йод, мг	-	0,3	0,05	-	0,38	0,68
кобальт, мг	-	0,10	0,04	-	0,2	0,60
хром, мг	0,8	-	0,29	0,86	2,4	-
медь, мг	1,66	7,5	1,5	2,7	17	4,6
цинк, мг	10,2	17,0	6,6	17,6	40	20,8
марганец, мг	24,7	27,2	17,0	13,7	38,0	24,6
железо, мг	94,0	40,6	61,0	53,4	214,0	283,0
каротин, мг	0,2	37,0	10,0	0,2	-	-
витамин Е, мг	32,2	63,0	39,5	12,0	11,0	3,0
витамин А, МЕ	-	-	-	-	-	-
витамин Д, МЕ	-	0,360	0,05	-	0,005	-

## Рационы подопытных бычков за период балансового опыта

Показатель	Возраст, мес.
	12-13
Сено злаковое, кг	1
Сено бобовое, кг	2
Силос кукурузный, кг	11
Зерносмесь, кг	2
Жмых подсолнечный, кг	0,2
Кормовая патока, кг	0,6
Соль, г	40
Диаммоний фосфат, г	60,4
Премикс, г	20
Питательность рациона	
энергетические кормовые единицы	7,5
обменной энергии, МДж	74,8
сухого вещества, кг	7,7
протеина: сырого, г	974,6
переваримого, г	689,2
клетчатки, г	1575,9
сахаров, г	496,6
крахмала, г	819,2
жира, г	210,1
кальция, г	52,2
фосфора, г	33,04
серы, г	25
йода, мг	3,8
хром, мг	6,2
кобальта, мг	2,73
меди, мг	53,93
цинка, мг	237,9
марганца, мг	353,05
железа, мг	1294,6
каротина, мг	160
витамина Е, мг	793,5
витамина А, тыс. МЕ	-
витамина Д, тыс. МЕ	3,4

## Рационы подопытных бычков за период научно-хозяйственного опыта

Показатель	Возраст, мес.			
	10 – 12	13 – 14	15 – 16	17 – 18
Сено злаковое, кг	1	1	1,5	2,5
Сено бобовое, кг	2	2	3	2,5
Силос кукурузный, кг	10	14	13,5	12,5
Зерносмесь, кг	2	2	3,5	4,3
Жмых подсолнечный, кг	0,2	0,3	-	-
Кормовая патока, кг	0,7	0,7	1	1,1
Соль, г	38	42	57	64
Диаммоний фосфат, г	48,7	57,8	77,6	85,9
Премикс, г	20	20	35	43
Питательность рациона				
энергетические кормовые единицы	7,5	8,5	11,1	12,2
обменной энергии, МДж	74,9	85,2	110,9	122,4
сухого вещества, кг	7,6	8,7	11,2	12,1
протеина: сырого, г	965,5	1082,1	1358	1485,4
переваримого, г	625,9	760,6	960,9	1047,6
клетчатки, г	1513,2	1777,0	2156,8	2283,9
сахаров, г	543,6	578,6	764,8	827,2
крахмала, г	811,2	845,8	1372	1650
жира, г	202,7	240,1	283,4	300,4
кальция, г	51,2	56,51	74,61	72,39
фосфора, г	18,72	21,15	27,15	30,23
серы, г	24,7	26,5	35,0	39,0
йода, мг	3,70	3,95	5,3	5,9
хром, мг	5,9	7,3	8,1	9,3
кобальта, мг	7,40	7,95	8,5	9,0
меди, мг	74,0	79,50	106,0	118,0
цинка, мг	333,0	358,0	477,0	531,0
марганца, мг	370,0	397,5	530,0	590,0
железа, мг	1261,9	1527,3	1738	1705,3
каротина, мг	155,5	167,0	254,0	283,0
витамина Е, мг	754,3	913,4	1074,7	1041,1
витамина А, тыс. МЕ	-	-	-	-
витамина Д, тыс. МЕ	2,9	3,5	4,8	5,3

Фактическая поедаемость корма экспериментальными бычками за сутки  
эксперимента

Показатель	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
Сено злаковое, кг	0,858	0,890	0,923
Сено бобовое, кг	1,865	1,895	1,93
Силос кукурузный, кг	10,0	10,2	10,7
Зерносмесь, кг	2,0	2,0	2,0
Жмых подсолнечный, кг	0,2	0,2	0,2
Кормовая патока, кг	0,6	0,6	0,6
Соль, г	40,0	40,0	40,0
Пиколинат хрома, мг	-	6,82	7,13
Диаммоний фосфат, г	64,57	63,61	62,04
Премикс, г	22,0	22,0	22,0
Питательность рациона			
обменной энергии, МДж	72,02	72,9	74,6
энергетические кормовые единицы сухого вещества, кг	7,2	7,3	7,5
протеина: сырого, г	923,5	934,5	951,9
переваримого, г	656,1	663,2	674,2
сахаров, г	484,4	486,9	491,8
клетчатки, г	1439,5	1468,5	1518
жира, г	197,8	200,4	205,3
крахмала, г	808,7	810,9	815,5
фосфора, г	32,96	32,97	33,01
кальция, г	48,33	49,21	50,45
серы, г	11,57	11,71	11,97
кобальта, мг	1,379	1,396	1,429
йода, мг	1,835	1,858	1,897
меди, мг	44,14	44,71	45,9
хрома, мг	5,8	5,92	6,09
марганца, мг	320,1	325,3	335,9
железа, мг	1206,2	1224,5	1261,9
цинка, мг	195,9	198,4	202,9
каротина, мг	119,3	121,8	127,3
витамина А, тыс. МЕ	-	-	-
витамина Д, тыс. МЕ	0,758	0,778	0,813
витамина Е, мг	726,9	740,9	767,3

## Концентрация химических элементов в крови

Элементы	Группа		
	Контрольная	I группа	II группа
Макроэлементы, мкг/г			
Кальций	109±5,1	70,5±6,3*	104,5±0,4
Калий	202±40,3	204±31,2	201±28,4
Магний	22,4±1,4	23,6±3,4	24,33±3,1
Натрий	3601±460	3565±56,9	3483±86,3
Фосфор	118±12,0	103±8,2*	133±15,1*
Эссенциальные микроэлементы, мкг/г			
Кобальт	0,0008±0,00005	0,003±0,0005*	0,00094±2,1*
Медь	0,53±0,03	0,73±0,09*	0,61±0,02*
Железо	2,64±0,3	2,40±0,6*	2,97±0,2*
Йод	0,065±0,0005	1,83±0,06	0,114±0,04*
Марганец	0,003±0,0002	0,005±0,0002*	0,004±0,0002*
Хром	0,0015±0,0003	0,002±0,0004*	0,00145±4,04
Селен	0,087±0,001	0,070±0,007*	0,048±0,003*
Цинк	0,84±0,04	0,71±0,02*	0,96±0,02*
Токсичные микроэлементы, мкг/г			
Алюминий	0,01±0,002	0,02±0,006*	0,008±0,0002
Мышьяк	0,0013±0,0006	0,00351±5,7**	0,00243±2,3**
Кадмий	0,00007±0,000002	0,00003±0,000006	0,00008±0,000004
Серебро	0,00025±0,00001	0,00066±0,00002*	0,00025±0,00001
Свинец	0,0004±0,00001	0,002±0,0002*	0,00025±0,00003
Кремний	0,14±0,05	0,16±0,03*	0,16±0,03*
Стронций	0,0003±0,00002	0,0004±0,00002*	0,0003±0,00002*

Примечание: \* -  $P \leq 0,05$ ; \*\* -  $P \leq 0,01$ , при сравнении с контролем

## Биохимические показатели крови у подопытных бычков

Показатель	Группа		
	Контрольная	I	II
Глюкоза, ммоль/л	4,02±0,01	3,27±0,03	3,71±0,08
Общий белок, г/л	90,33±0,24	92,3±0,24	94,05±0,21
Альбумин, г/л	36,7±0,2	33,0±0,58	38,6±0,09***
АЛТ, Ед/л	21,2±0,17	27,7±0,26***	27,9±0,12***
АСТ, Ед/л	76,1±0,75	67,9±0,27	56,2±0,15
Коэффициент де Ритиса (АСТ:АЛТ)	3,35	2,45	2,01
Билирубин общий, мкмоль/л	1,37±0,02	3,15±0,08***	1,92±0,03***
Холестерин, ммоль/л	2,02±0,02	2,75±0,01***	2,59±0,008***
Триглицериды, ммоль/л	0,37±0,3	0,06±0,003	0,09±0,003
Мочевина, ммоль/л	0,67±0,08	1,13±0,07***	1,06±0,03*
Креатинин, мкмоль/л	116,9±0,08	129,2±1,12***	126,0±0,4***
Мочевая кислота, мкмоль/л	19,3±0,23	5,9±0,9	8,0±0,6

Примечание: \* –  $p \leq 0,05$ , \*\* –  $p \leq 0,01$  при сравнении с контрольной группой

Суточные рационы подопытных бычков контрольной группы  
(по фактической поедаемости)

Показатель	Возраст, мес.				В среднем за опыт
	10 – 12	12 – 14	14 – 16	16 – 18	
Сено злаковое, кг	0,854	0,863	1,31	2,21	1,31
Сено бобовое, кг	1,85	1,88	2,86	2,41	2,25
Силос кукурузный, кг	8,86	12,9	12,5	11,8	11,52
Зерносмесь, кг	2,0	2,0	3,5	4,3	2,95
Жмых подсолнечный, кг	0,2	0,3	-	-	0,25
Кормовая патока, кг	0,7	0,7	1,0	1,1	0,875
Соль, г	38,0	42,0	57,0	64,0	50,25
Диаммоний фосфат, г	48,7	57,8	77,6	85,9	67,5
Премикс П-62-1, г	22,0	23,0	35,0	43,0	30,75
Питательность рациона					
энергетические кормовые единицы	7,02	8,08	10,63	11,79	9,38
обменной энергии, МДж	70,2	80,8	106,3	117,9	93,8
сухого вещества, кг	7,0	8,2	10,6	11,6	9,35
протеина: сырого, г	909,4	1031,6	1302,1	1430,7	1168,4
переваримого, г	589,5	728,2	924,7	1012,9	813,8
клетчатки, г	1363,2	1639,5	2007,6	2133,3	1785,9
сахаров, г	530,1	566,1	751,9	815,4	665,9
крахмала, г	799,4	834,7	1361,2	1640,5	1158,9
жира, г	189,1	227,5	270,6	289,1	244,1
кальция, г	47,03	52,9	60,55	68,86	57,33
фосфора, г	18,09	20,41	26,08	29,18	23,44
серы, г	11,32	13,23	15,75	16,73	14,26
йода, мг	2,78	3,08	4,41	4,93	3,80
кобальта, мг	4,99	5,98	6,01	7,03	6,01
хрома, мг	5,60	6,56	8,48	9,28	7,48
меди, мг	42,8	50,8	86,6	92,53	68,18
цинка, мг	190,2	221,5	283,7	347,8	260,8
марганца, мг	302,5	376,1	444,1	558,3	420,2
железа, мг	1162,5	1435,2	1648,1	1631,9	1469,4
каротина, мг	107,8	148,4	154,8	152,4	140,8
витамина Е, мг	679,9	845,3	1005,7	981,6	878,1
витамина Д, тыс. МЕ	0,7	0,906	1,02	1,25	0,969

Суточные рационы подопытных бычков I группы  
(по фактической поедаемости)

Показатель	Возраст, мес.				В среднем за опыт
	10 – 12	12 – 14	14 – 16	16 – 18	
Сено злаковое, кг	0,88	0,90	1,3	2,2	1,33
Сено бобовое, кг	1,89	1,90	2,89	2,4	2,27
Силос кукурузный, кг	8,89	13	12,68	11,9	11,62
Зерносмесь, кг	2,0	2,0	3,5	4,3	2,95
Жмых подсолнечный, кг	0,2	0,3	-	-	0,25
Кормовая патока, кг	0,7	0,7	1,0	1,1	0,875
Соль, г	38,0	42,0	57,0	64,0	50,25
Диаммоний фосфат, г	48,7	57,8	77,6	85,9	67,5
Премикс П-62-1, г	22,0	23,0	35,0	43,0	30,75
Питательность рациона					
энергетические кормовые единицы	7,07	8,14	10,69	11,79	9,42
обменной энергии, МДж	70,7	81,4	106,9	117,9	94,22
сухого вещества, кг	7,1	8,3	10,7	11,8	9,53
протеина: сырого, г	917,9	1039,9	1310,9	1430,1	1174,7
переваримого, г	595,4	733,5	930,6	1012,4	817,9
клетчатки, г	1382,4	1661,2	2030,1	2133,6	1801,8
сахаров, г	531,5	567,8	753,9	815,7	667,2
крахмала, г	800,2	836	1362,9	1641,0	1160,02
жира, г	190,5	229,2	272,6	289,3	245,4
кальция, г	47,7	53,45	61,25	68,79	57,79
фосфора, г	18,30	20,66	26,24	29,18	23,59
серы, г	11,41	13,33	15,87	16,73	14,33
йода, мг	2,86	3,12	4,45	4,95	3,84
кобальта, мг	5,06	5,98	6,03	7,04	6,03
хрома, мг	6,39	7,47	9,63	10,62	8,53
меди, мг	43,14	51,20	87,54	92,56	68,61
цинка, мг	191,6	223,3	285,7	348,03	262,1
марганца, мг	304,9	379,6	448,02	559,2	422,9
железа, мг	1171,6	1446,2	1662,8	1635,3	1478,9
каротина, мг	108,5	149,9	156,7	153,2	142,1
витамина Е, мг	688,2	854,2	1016,9	1001,7	890,2
витамина Д, тыс. МЕ	0,709	0,922	1,03	1,25	0,978

Суточные рационы подопытных бычков II группы  
(по фактической поедаемости)

Показатель	Возраст, мес.				В среднем за опыт
	10 – 12	12 – 14	14 – 16	16 – 18	
Сено злаковое, кг	0,918	0,927	1,34	2,30	1,4
Сено бобовое, кг	1,92	1,94	2,91	2,5	2,32
Силос кукурузный, кг	9,85	13,9	12,8	12,0	12,14
Зерносмесь, кг	2,0	2,0	3,5	4,3	2,95
Жмых подсолнечный, кг	0,2	0,3	-	-	0,25
Кормовая патока, кг	0,7	0,7	1,0	1,1	0,88
Соль, г	38	42	57	64	50,25
Диаммоний фосфат, г	57,30	59,39	77,6	85,9	70,05
Премикс П-62-1, г	22,0	23,0	35,0	43,0	30,75
Питательность рациона					
энергетические кормовые единицы	7,34	8,39	10,74	11,89	9,59
обменной энергии, МДж	73,45	83,9	107,4	118,9	95,91
сухого вещества, кг	7,4	8,5	10,78	11,8	9,62
протеина: сырого, г	943,9	1065	1316,1	1442,2	1191,8
переваримого, г	611,3	749	934,1	1020,5	828,7
клетчатки, г	1460,8	1735,2	2042,9	2163,9	1850,7
сахаров, г	539,6	575,5	755,1	818,02	672,1
крахмала, г	808,5	843,8	1363,8	1642,6	1164,7
жира, г	198,7	237,1	273,8	291,6	250,3
кальция, г	49,5	55,2	63,3	71,15	59,79
фосфора, г	18,51	20,90	26,34	29,39	23,78
серы, г	11,8	13,7	15,94	16,88	14,58
йода, мг	2,95	3,19	4,48	4,99	3,90
кобальта, мг	5,14	6,02	6,09	7,09	6,08
хрома, мг	7,40	8,50	10,78	11,80	9,62
меди, мг	44,98	52,92	88,46	94,17	70,13
цинка, мг	199,2	230,5	286,8	352,4	267,2
марганца, мг	323,4	396,9	450,2	563,6	433,5
железа, мг	1236,6	1503,5	1671,2	1650,0	1515,3
каротина, мг	118,7	159,4	157,7	154,9	147,7
витамина Е, мг	732,4	896,8	1023,4	1016,4	917,2
витамина Д, тыс. МЕ	0,769	0,974	1,04	1,27	1,01

Фактическое потребление кормов и питательных веществ подопытными бычками за основной период научно-хозяйственного опыта на 1 голову

Показатель	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
Сено злаковое, кг	357	363	374
Сено бобовое, кг	614	619	633
Силос кукурузный, кг	3144	3172	3314
Зерносмесь, кг	805	805	805
Жмых подсолнечный, кг	68,2	68,2	68,2
Кормовая патока, кг	238	238	238
Соль, кг	13,7	13,7	13,7
Пиколинат хрома, г	-	18,62	21,01
Диаммоний фосфат, кг	18,43	18,43	18,43
Премикс, кг	8,39	8,39	8,39
Питательность рациона			
энергетические кормовые единицы	2560	2571	2618
обменной энергии, МДж	25607	25722	26183
сухого вещества, кг	2552	2585	2626
протеина: сырого, кг	318	320	325
переваримого, кг	222	223	226
клетчатки, кг	487	491	505
сахаров, кг	181	182	183
крахмала, кг	316	316	317
жира, кг	66,6	66,9	68,3
кальция, кг	15,65	15,78	16,32
фосфора, кг	6,39	6,44	6,49
серы, кг	3,89	3,91	3,98
йода, мг	1037	1048,3	1064,7
кобальта, мг	1640	1646,2	1659,8
меди, г	18,61	18,73	19,14
цинка, г	71,19	71,57	72,95
марганца, г	114,7	115,5	118,3
железа, г	401,1	403,8	413,7
каротина, г	38,44	38,78	40,32
витамина Е, г	239,7	243,04	250,4
витамина Д, тыс. МЕ	264,5	266,9	275,7