

БИОЭЛЕМЕНТОЛОГИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 636.22/28:591.11:546.76

doi:10.33284/2658-3135-107-1-31

**Оценка элементного и биохимического состава сыворотки крови
при включении в рацион бычков казахской белоголовой породы пиколината хрома**

Оксана Вячеславовна Шошина¹

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹oksana.shoshina.98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>

Аннотация. Для увеличения биодоступности химических элементов из рационов используют органические формы и, в частности, пиколинат хрома в виду его эффективного влияния на продуктивность сельскохозяйственных животных и низкого уровня токсичности. Метаболизм хрома в организме до конца не изучен, и вопрос влияния его на механизмы трансформации и обмена элементов остаётся открытым. Цель работы – оценить влияние пиколината хрома в составе рациона на концентрацию химических элементов и биохимические показатели сыворотки крови бычков казахской белоголовой породы в возрасте 12-13 месяцев, средней массой 324 кг. В эксперименте группа контрольных бычков (n=3) получала основной рацион, бычкам I группы (n=3) в рацион включали пиколинат хрома в дозе 7,2 мг/кг сухого вещества (СВ) рациона, животным II группы (n=3) – в дозе 8 мг/кг СВ рациона. По результатам экспериментального исследования была определена оптимальная доза введения в рацион пиколината хрома – 8 мг/кг СВ рациона, что сопровождалось стимуляцией белкового и липидного обмена, а также увеличением биодоступности основных макро- и микроэлементов. В частности, увеличением общего белка на 6,0 %, мочевины – на 154,5 % (P≤0,001) и креатинина – на 2,2 %, а также холестерина – на 28,7 % (P≤0,05), при снижении триглицеридов на 73 % (P≤0,01) и 40 % (P≤0,001) в сыворотке крови, увеличению концентрации As – на 158,1 % (P≤0,001), Cu – на 6,2 % (P≤0,01), Se – на 9,1 % (P≤0,01), Zn – на 6,3 % (P≤0,05), Na – на 3,4 % (P≤0,05).

Ключевые слова: крупный рогатый скот, кормление, рацион, пиколинат хрома, химические элементы, биохимия крови, билирубиновый индекс

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2024-2026 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2024-0002).

Для цитирования: Шошина О.В. Оценка элементного и биохимического состава сыворотки крови при включении в рацион бычков казахской белоголовой породы пиколината хрома // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 31-41. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-31>

BIOELEMENTOLOGY IN ANIMAL HUSBANDRY AND CROP PRODUCTION

Original article

**Assessment of the elemental and biochemical composition of blood serum after inclusion
of chromium picolinate in Kazakh White-Headed bulls' diet**

Oksana V Shoshina¹

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹oksana.shoshina.98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>

Abstract. Organic forms and, in particular, chromium picolinate are used to increase the bioavailability of chemical elements from diets due to its effective impact on the productivity of farm animals and

low toxicity. The metabolism of chromium in the body has not been fully studied, and the question of its effect on the mechanisms of transformation and metabolism of elements remains open. The aim of the work was to evaluate the effect of chromium picolinate in the diet on the concentration of chemical elements and biochemical parameters of blood serum of Kazakh White-Headed bulls aged 12-13 months, with an average weight of 324 kg. In the experiment, a group of control bulls (n=3) received the main diet, chromium picolinate was included in the diet for I group (n=3) of bulls at a dose of 7.2 mg / kg of dry matter (DM), and for II group (n=3) of animals at a dose of 8 mg / kg of DM. According to the results of an experimental study, the optimal dose of chromium picolinate in the diet was determined – 8 mg / kg of DM, which was accompanied by stimulation of protein and lipid metabolism, as well as an increase in the bioavailability of the main macro- and microelements. In particular, an increase in total protein by 6.0 %, urea – by 154.5% ($P \leq 0.001$) and creatinine – by 2.2%, as well as cholesterol – by 28.7% ($P \leq 0.05$), with a decrease in triglycerides by 73% ($P \leq 0.01$) and 40% ($P \leq 0.001$) in blood serum, an increase in the concentration of As – by 158.1% ($P \leq 0.001$), Cu – by 6.2% ($P \leq 0.01$), Se – by 9.1 % ($P \leq 0.01$), Zn – by 6.3% ($P \leq 0.05$), Na – by 3.4% ($P \leq 0.05$).

Keywords: cattle, feeding, diet, chromium picolinate, chemical elements, blood biochemistry, bilirubin index

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024-2026 FSBSI FRC BST RAS (FNWZ-2024-0002).

For citation: Shoshina OV. Assessment of the elemental and biochemical composition of blood serum after inclusion of chromium picolinate in Kazakh White-Headed bulls' diet. *Animal Husbandry and Feed Production*. 2024;107(1):31-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-31>

Введение.

Спектр использования химических элементов в питании животных зависит от особенности пищеварения, физиологического состояния организма, направления продуктивности и т. д. Одним из возможных элементов-катализаторов функциональной активности организма жвачных является хром, который участвует в метаболизме протеинов, липидов и сахаров, энзимов и в механизмах формирования новых клеток крови (Шейда Е.В. и др., 2019; Spears JW, 2019). Приемлемый уровень хрома в рационах полигастричных животных мотивирует образование в крови эритроцитов, гемоглобина, общего белка и его составляющих – альбуминов и глобулинов, общего кальция и фосфора. Именно по этим маркерам можно судить о характере обменных процессов и физиологическом состоянии животного (Кокорев В.А. и др., 2017; Smock TM et al., 2020). В ходе гемопоэза хром вместе с кристаллическим трипсином запускает в работу фермент – трипсин, который отвечает за расщепление пептидов и белков (Кислякова Е.М. и Ломаева А.А., 2017).

В отличие от неорганической формы пиколинат хрома обладает лучшей эффективностью, низкой токсичностью (Han M et al., 2021). Он представляет собой трёхвалентную форму в соединении с пиколиновой кислотой, а также могут быть получен из дрожжей (Kargar S et al., 2019; El Senosi YA et al., 2018; Shan Q et al., 2020).

Информации о метаболизме хрома в организме, воздействии его на продуктивность животных, течение обменных процессов в организме, в том числе на усвоение химических элементов и особенности их трансформации (Фабер В. и др., 2020; Soffa DR et al., 2023) недостаточно. Соответственно, актуальным направлением для проведения исследований в настоящее время является рассмотрение вопроса об оптимальной концентрации хрома в рационе жвачных и его роли в метаболических процессах организма.

Цель исследования.

Оценить влияние пиколината хрома на элементный и биохимический состав крови бычков.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Бычки казахской белоголовой породы в возрасте 12-13 месяцев со средней массой 324 кг.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fncbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Физиологические исследования были проведены на базе лаборатории биологических испытаний и экспертиз и ЦКП БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>).

Эксперимент проводили на бычках (n=9), которые методом групп-аналогов были разделены на три группы: контрольная и две опытные. Рационы были сформированы с учётом рекомендаций (Калашников А.П. и др., 2003) (табл. 1). В рацион I опытной группы включали пиколинат хрома (органическая форма Биопромис хром пиколинат, Sichuan Sinyiml Biotechnology Co., Ltd., Китай) в дозе 7,2 мг/кг СВ рациона, во II группе – в дозе 8 мг/кг СВ. Представленные дозировки пиколината хрома были определены на основе содержания хрома в кормах, которое составляло 6,2 мг на 1 кг корма. При коррекции далее эти дозы были увеличены на 10 % и 20 % в пересчёте на чистый хром на основании определения оптимальной формы в искусственном рубце «*in vitro*» (Шейда Е.В. и др., 2019) и анализа литературных данных (Bin L et al., 2016). Продолжительность экспериментального исследования составила 28 дней.

Таблица 1. Состав и питательность рациона
Table 1. Composition and nutritional value of the diet

Показатели / Indicators	Возраст 12-13 месяцев/ Age 12-13 months
Сено злаковое, кг / Grain hay, kg	1
Сено бобовое, кг / Legume hay, kg	2
Силос кукурузный, кг / Corn silo, kg	11
Дроблёная зерносмесь, кг / Crushed grain mixture, kg	2
Подсолнечный жмых, кг / Sunflower meal, kg	0,2
Патока кормовая, кг / Feed molasses, kg	0,6
Соль лизунец, г / Salt lick, g	40
Диаммоний фосфат, г / Diammonium Phosphate, g	60,4
Премикс ПК-60, г / Premix PK-60, g	20
Питательность рациона / Nutritional value of the diet	
Сухого вещества, кг / Dry matter, kg	7,7
ОЭ, МДж / ME, MJ	74,8
Сырая клетчатка, г / Crude fiber, g	1575,9
Сырой жир, г / Crude fat, g	210,1
Сырой протеин, г / Crude protein, g	974,6

Забор крови у животных для гематологических исследований и элементного состава осуществлялся утром, натощак, из яремной вены в вакуумные пробирки с активатором свёртывания (тромбин).

Для оценки влияния хрома на метаболические процессы в организме телят были просчитаны: коэффициент Де Ритиса (отношение АСТ/АЛТ), билирубиновый индекс Мейленграхта: отношение прямого / непрямого билирубина в сыворотке крови.

Оборудование и технические средства. Исследования были проведены на базе лаборатории биологических испытаний и экспертиз и ЦКП БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>) с применением автоматического гематологического анализатора URIT-2900 VetPlus («URIT Medical Electronic Group Co., Ltd», Китай); автоматического анализатора CS-T240 («DIRUI Industrial Co., Ltd», Китай). Элементный анализ осуществляли на одноквадрольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7900 ICP-MS (Agilent, США). Анализ V, Cr, Fe, Zn, Se и As проводили в гелиевом режиме с использованием столкновительной ячейки.

Стандартные растворы получали из мультиэлементной смеси («Merck», Германия), с добавлением вручную приготовленного стандарта макроэлементов (K, Na, Mg, Ca).

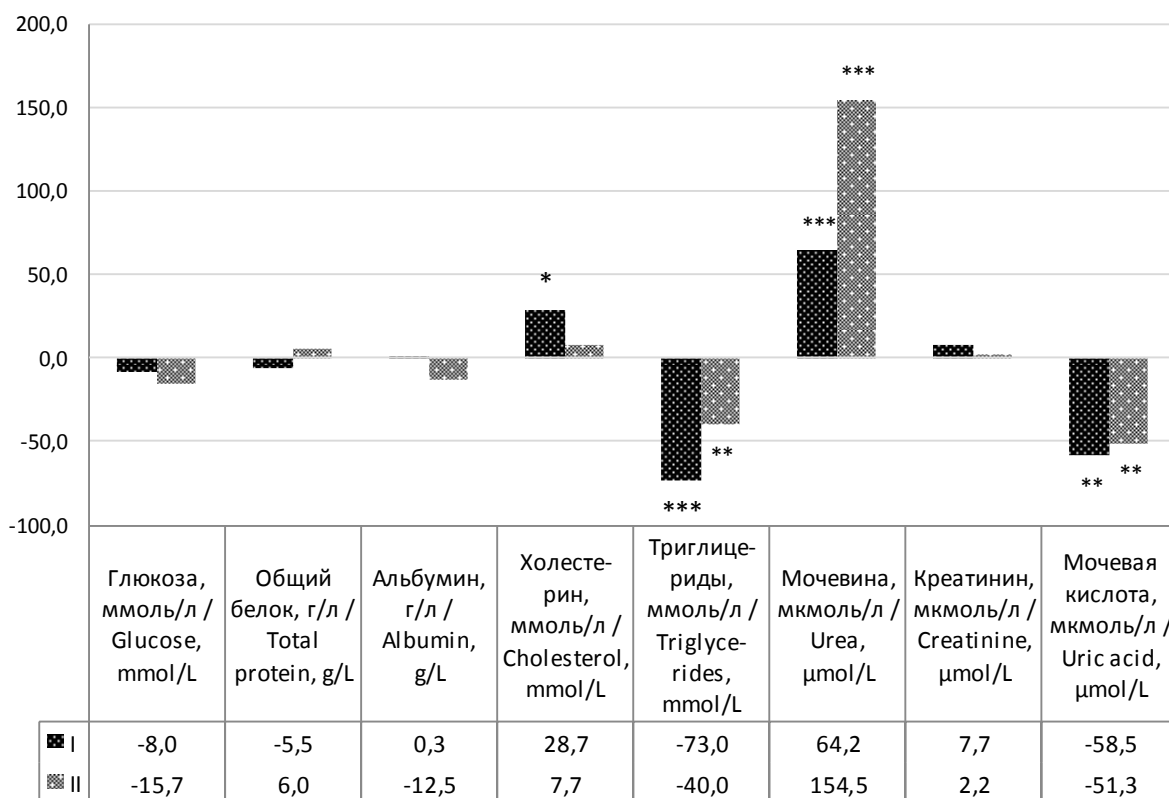
Статистическая обработка. Статистический анализ выполняли с использованием методик ANOVA с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США) Статистическая обработка включала расчёт среднего значения (M) и стандартные ошибки среднего (\pm SEM). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Включение пиколината хрома в рацион способствовало снижению уровня глюкозы относительно контрольной группы на 8,0 % в I и 15,7 % во – II группах, увеличения мочевины – на 64,2 % ($P \leq 0,001$) и 154,5 % ($P \leq 0,001$) по сравнению с контролем. Деструкция белков и мочевой кислоты приводила к образованию креатинина, уровень которого возрастал в I группе на 7,7 %, а во II группе – на 2,2 %. Финальный продукт обмена пуриновых нуклеозидов – мочевая кислота значительно снижалась в I группе на 58,5 % ($P \leq 0,01$), а во II – на 51,3 % ($P \leq 0,01$).

Что касается общего белка, то его концентрация снижалась в I группе на 5,5 % с повышением альбуминов на 0,3 %, а во II группе увеличивалась концентрация общего белка на 6,0 %, со снижением альбуминов на 12,5 %.

Пиколинат хрома активизировал метаболизм жиров, в частности увеличился уровень холестерина на 28,7 % ($P \leq 0,05$) и на 7,7 %, при снижении триглицеридов на 73 % ($P \leq 0,01$) и 40 % ($P \leq 0,001$) соответственно в I и II группах относительно контрольных значений (рис. 1).



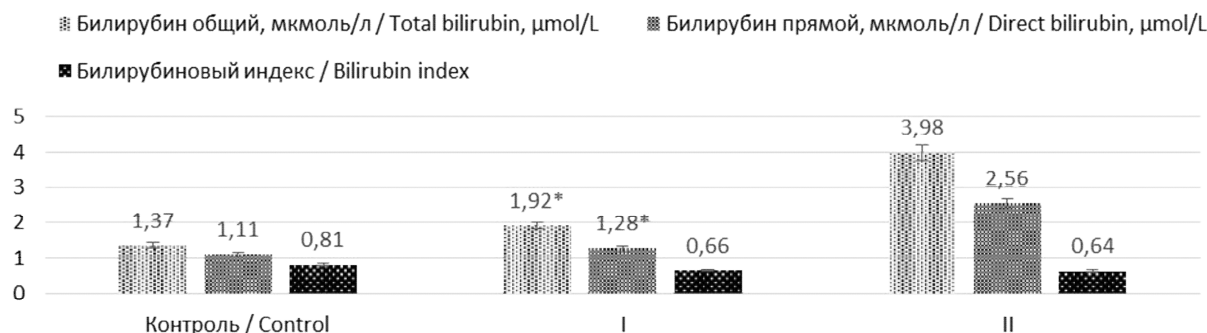
Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$ при сравнении с контролем

Note: * – $P \leq 0.05$, ** – $P \leq 0.01$, *** – $P \leq 0.001$ when compared with the control group

Рисунок 1. Параметры биохимии крови бычков с дополнением рациона пиколилатом хрома относительно контрольных значений, % (n=9, M \pm m)

Figure 1. Parameters of the blood biochemistry of bulls with the addition of chromium picolinate to the diet relative to the control values, % (n=9, M \pm m)

При оценке билирубинового индекса (БИ) установлено, что уровень общего билирубина повышался в I группе на 40,1 %, а во II группе – на 190,5 %. Значения прямого билирубина увеличивались на 15,3 % и на 130,6 % в опытных группах соответственно. В итоге, БИ снижался в I группе на 18,5 %, а во II группе – на 20,9 % (рис. 2).

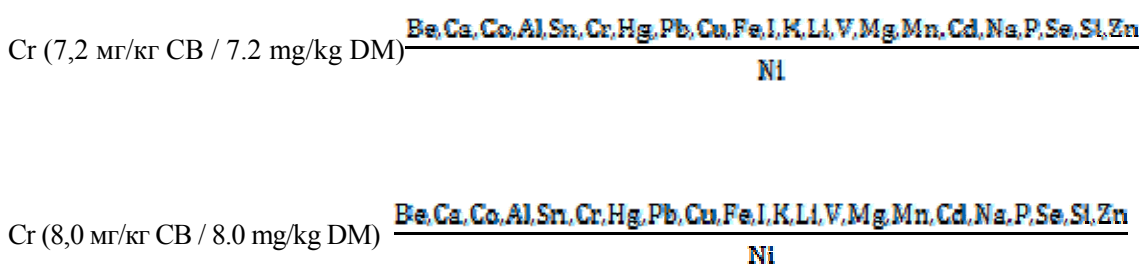


Примечание: * – P≤0,05, при сравнении контрольной группой
 Note: * – P≤0.05, when compared with the control group

Рисунок 2. Индекс билирубина сыворотки крови бычков, %
 Figure 2. Bilirubin index of blood serum in bulls, %

Дополнительное включение пиколината хрома в рацион жвачных, во всех изучаемых дозировках, сопровождалось достоверным увеличением концентрации в крови мышьяка на 78,6 % (P≤0,001) и 158,1 % (P≤0,001), меди – на 4,5 % (P≤0,01) и 6,2 % (P≤0,01), селена – на 6,6 % (P≤0,01) и 9,1 % (P≤0,01), цинка – на 4,5 % (P≤0,05) и 6,3 % (P≤0,05), натрия – на 2,3 % (P≤0,05) и 3,4 % (P≤0,05) в I и II группах соответственно.

В результате, с увеличением дозировки пиколината хрома концентрация химических элементов в крови изменялась разнонаправленно, на основании чего был составлен следующий элементный профиль:



На основании определения элементного состава корма и кала была рассчитана биодоступность антагонистов и синергистов хрома, которая представлена в таблице 2. В результате, с включением в рацион пиколината хрома в дозировке 7,2 мг/кг СВ повышалось усвоение Cd, Cr, Mn, Si, I, K, Mg, Na, P, снижалось – Co, Cu, Pb, Se, Zn, V, Fe, Ca. Дозировка пиколината хрома 8 мг/кг СВ рациона повышала усвоение в организме Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn, V, I, Fe, Ca, K, Mg, Na, P и снижала Se, Si.

Таблица 2. Биодоступность химических элементов в организме бычков
казахской белоголовой породы, %

Table 2. Bioavailability of chemical elements in the body of Kazakh White-Headed bulls, %

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	I опытная / I experimental	II опытная / II experimental
Кадмий / Cadmium	3,59	8,70
Кобальт / Cobalt	-8,64	21,25
Хром / Chrome	36,63	19,64
Медь / Copper	-3,56	4,28
Марганец / Manganese	7,17	11,13
Свинец / Lead	-4,84	21,15
Селен / Selenium	-50,29	-37,54
Кремний / Silicon	1,12	-1,95
Цинк / Zinc	-30,51	7,29
Ванадий / Vanadium	-17,89	20,12
Йод / Iodine	1,80	2,02
Железо / Iron	-22,35	27,97
Кальций / Calcium	-5,32	1,74
Калий / Potassium	2,64	6,35
Магний / Magnesium	0,46	1,93
Натрий / Sodium	24,24	134,60
Фосфор / Phosphorus	0,31	1,42

Обсуждение полученных результатов.

Научные труды многих учёных свидетельствуют о том, что хром занимает одну из важных позиций в биосистеме: почва – растение – животное – человек (Edwards KC et al., 2020; Алексеева Л.В. и др., 2021). Уровень этого элемента в почве и кормах колеблется с учётом географического положения, агротехнологических условий выращивания и хранения растительных культур, однако концентрация его в готовых кормовых продуктах незначительна, при этом метаболизм данного элемента в организме животных характеризуется высоким уровнем.

Отличительная особенность хрома в том, что он меняет в лучшую сторону показатели продуктивности, реакции иммунной системы, нивелирует обменные процессы глюкозы и жирных кислот, а также антиоксидантный статус жвачных. В некоторых исследованиях добавки хрома улучшали потребление сухого вещества, молочную продуктивность и состав молока дойных коров, продуктивность растущего молодняка, иммунный ответ и некоторые параметры крови (Chauhan DK et al., 2023; Lashkari S et al., 2018).

В организме животных основными индикаторами физиологического состояния являются показатели уровня общего белка, мочевины и глюкозы. (Lalhriatpuii M et al., 2023; Zhao C et al., 2023). Нами установлено, что метаболизм белков усиливался в организме животных на основании эскалации уровня мочевины в опытных группах на 64,2 % ($P \leq 0,001$) и 154,5 % ($P \leq 0,001$) соответственно по сравнению с контролем. Глюкоза снижалась в отношении контроля в группах I и II на 8,0 % и 15,7 %. Так, под действием хрома общий белок повышается, за счёт снижения уровня кортизола в крови или от повышения чувствительности тканей к инсулину (Stepniowska A et al., 2020). Хром стимулирует гомеостаз глюкозы путём активации рецепторов инсулина через олигопептид хромодулин, тем самым увеличивая передачу сигнала инсулина и чувствительность к нему (Zhao F et al., 2022).

Креатинин, образующийся в результате распада белка в организме, идёт на обновление тканей печени через мышечную систему, в которой он фосфорилируется до креатинфосфата, и в

дальнейшем происходит окисление и образование самого креатинина (Assis JR, 2021). В нашем эксперименте уровень креатинина возрастал в обеих группах на 7,7 % и 2,2 %.

Алексеева Л.В. с коллегами (2021) выявили, что в результате добавления в рацион бычкам чёрно-пёстрой породы гемовита (53 мл) в сочетании с хелатированной формой хрома (5,2 мг) общий белок составил 92 г/л при стабильном значении глюкозы 3,2-4,2 ммоль/л. Аналогичная динамика подтверждена в проведённом нами эксперименте, где содержание общего белка в сыворотке крови составило 85,3-90,8 г/л, глюкозы – 3,3-3,7 ммоль/л, что входит в пределы физиологической нормы.

В работах Bin-Jumah M с соавторами (2020) показано, что при включении в рацион лактирующих коров хрома в количестве 4 мг/сут не наблюдали выраженного эффекта на показатели мочевины и глюкозы в сыворотке крови, при снижении концентрации общего белка.

Нами установлено, что пиколинат хрома активизировал метаболизм жиров – увеличился уровень холестерина на 28,7 % ($P \leq 0,05$) и на 7,7 %, при снижении триглицеридов на 73 % ($P \leq 0,01$) и 40 % ($P \leq 0,001$) в двух группах, что свидетельствует о влиянии хрома на липидный обмен, вызывая расщепление избыточного жира в организме (Лебедев С.В. и др., 2018).

Исследования по изучению дополнительного включения хрома в ультрадисперсной форме в рационы жвачных показали неоднозначную картину изменения билирубинового индекса. При использовании в составе рациона подсолнечного жмыха билирубиновый индекс повышался на 52,6-63,1 % относительно контроля, а при использовании соевого шрота, напротив, снижался на 33 % (Шейда Е.В. и др., 2020). В проведённом эксперименте установлено, что уровень общего билирубина повышался в группе I на 40,1 %, а в группе II – на 190,5 %. Значения прямого билирубина увеличивались в группах I и II на 15,3 % и 130,6 %. В итоге, билирубиновый индекс снижался в группе I на 18,5 %, а в группе II – на 20,9 % по сравнению с контрольной группой.

Заключение.

Установлено, что дополнение рациона органической формой хрома позитивно воздействует на метаболизм веществ в организме. Наиболее конкурентной является дозировка пиколината хрома 8 мг/кг СВ, в результате чего отмечено увеличение концентрации большинства элементов в сыворотке крови, в частности As – на 158,1 % ($P \leq 0,001$), Cu – на 6,2 % ($P \leq 0,01$), Se – на 9,1 % ($P \leq 0,01$), Zn – на 6,3 % ($P \leq 0,05$), Na – на 3,4 % ($P \leq 0,01$), а также подъёма общего белка на 6,0 %, мочевины – на 154,5 % ($P \leq 0,001$) и креатинина – на 2,2 %.

Список источников

1. Алексеева Л.В., Васильева Л.Ю., Миловидова Е.Д. Взаимосвязь гомеостатических процессов с продуктивностью бычков при введении в рацион различных форм и доз хрома // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2021. № 2(62). С. 177-189. [Alekseyeva LV, Vasilyeva LYu, Milovidova ED. The relationship of homeostatic processes with productivity of bull-calves at introduction in a diet of various forms and doses of chromium. Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology. 2021;2(62):177-189. (In Russ.)]. doi: 10.26456/vtbio206
2. Влияние наночастиц хрома на активность пищеварительных ферментов и морфологические параметры крови телёнка / 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. [Lebedev SV, Kvan OV, Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Grechkina VV, Momčilović B, Ryabov NI. Effect of chromium nanoparticles on digestive enzymes activity and morphological and biochemical parameters of calf blood. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;104(4):136-142. (In Russ.)].
3. 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 // Изве-

стия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 2(76). С. 167-171. [Sheida EV, Lebedev SV, Gubaidullina IZ, Ryazanov VA, Gavrish IA. Impact of different forms of chrome on the chemical elements metabolism in the organism of rats of the Wistar line. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;2(76):167-171. (In Russ.)].

4. Кислякова Е.М., Ломаева А.А. Влияние добавок органического хрома на продуктивные и репродуктивные показатели коров черно-пестрой породы // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2017. Т. 232. № 4. С. 76-80. [Kislyakova EM, Lomaeva AA. Influence of organic chrome additives on productive and reproductive indicators of black and pestered breeds. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2017;232(4):76-80. (In Russ.)].

5. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие / под ред. А.П. Калашников, В.И. Фисинин, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. 3-е изд., доп. и перераб. М., 2003. С. 110-123. [Kalashnikov AP, Fisinin VI, Shheglova VV, Klejmenova NI. Normy i raciony kormlenija sel'skohozejajstvennyh zhivotnyh: spravochnoe posobie. 3-e izd., dop. i pererab. Moscow; 2003:110-123. (In Russ.)].

6. Оценка влияния ультрадисперсных частиц Cr₂O₃ 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. 2020. Т. 103. № 4. С. 14-25. [Sheyda EV, Lebedev SV, Miroshnikov SA, Grechkina VV, Ryazanov VA. Assessment of influence of ultrafine particles of Cr₂O₃ on metabolic processes in the body of calves raised on protein diets. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(4):14-25. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-14

7. Продуктивность полновозрастных коров при разных уровнях хрома в их рационах / В.А. Кокорев, Е.В. Болотин, Н.И. Гибалкина и др., // Животноводство и ветеринарная медицина. 2017. № 2(25). С. 20-30. [Kokorev VA, Bolotin EV, Gibalkina NI et al. Productivity of mature cows at different levels of chromium in their diets. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2017;2(25):20-30. (In Russ.)]

8. Фабер В., Акмалиев Т.А., Гусева О.А. Хром для крупного рогатого скота // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 42-45. [Faber V, Akmaliev TA, Guseva OA. Chromium for ruminants. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2020;4:42-45. (In Russ.)].

9. Assis JR. Chromium in performance and metabolism of dairy cows. *Scientific Electronic Archives*. 2021;14(1):100. doi: 10.36560/14120211280

10. Bin L, Liu Y, Chai J, Hu X, Wu D, Yang B. Chemical properties and biotoxicity of several chromium picolinate derivatives. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2016;164:110-118. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2016.09.006

11. Bin-Jumah M, El-Hack M, Abdelnour S, Hendy Y, Ghanem H, Alsafy S, Khafaga A, Noreldin A, Shaheen H, Samak D, Momenah M, Allam A, Alkahtane A, Alkahtani S, Abdel D, Mohamed A, Lotfi A. Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. *Science of the Total Environment*. 2020;707:135996. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135996

12. Chauhan DK, Kavita V, Yadav S, Tomar R, Tiwari S, Singh D. Amelioration effect of selenium, chromium and zinc supplementation on pancreas of hyperglycemic albino rat. *Biochem Cell Arch*. 2023;23(1):419-425. doi: 10.51470/bca.2023.23.1.419

13. Edwards KC, Kim H, Vincent JB. Release of trivalent chromium from serum transferrin is sufficiently rapid to be physiologically relevant. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2020;202:110901. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2019.110901

14. El Senosi YA, Abou Zaid ARO, Elmaged ADA, Ali MAM. Biochemical study on the regenerative effect of chromium picolinate on experimentally induced diabetes. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2018;7(10):325-343. doi: 10.20959/wjpps201810-12444

15. Han M, Chen Y, Li J, Dong Y, Miao Z, Li J, Zhang L. Effects of organic chromium sources on growth performance, lipid metabolism, antioxidant status, breast amino acid and fatty acid profiles in broilers. *J Sci Food Agric*. 2021;101(9):3917-3926. doi: 10.1002/jsfa.11053

16. Kargar S, Habibi Z, Karimi-Dehkordi S. Grain source and chromium supplementation: effects on feed intake, meal and rumination patterns, and growth performance in Holstein dairy calves. *Animal*. 2019;13(6):1173-1179. doi: 10.1017/S1751731118002793
17. Lashkari S, Habibian M, Jensen SK. A review on the role of chromium supplementation in ruminant nutrition - effects on productive performance, blood metabolites, antioxidant status, and immunocompetence. *Biological Trace Element* 2018;186(2):305-321. doi: 10.1007/s12011-018-1310-5
18. Lalhriatpuii M, Chatterjee A, Dutta TK, Mohammad A, Patra AK. The effects of dietary inorganic and organic chromium supplementation on blood metabolites, hormones, and mineral composition of blood and internal organs in black bengal goats. *Biol Trace Elem Res*. 2023. doi: 10.1007/s12011-023-03856-0
19. Stepniowska A, Tutaj K, Drazbo A, Kozłowski K, Ognik K, Jankowski J. Estimated intestinal absorption of phosphorus and its deposition in chosen tissues, bones and feathers of chickens receiving chromium picolinate or chromium nanoparticles in diet. *PLoS One*. 2020;15(11):e0242820. doi: 10.1371/journal.pone.0242820
20. Spears JW. Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production. *Biological Trace Element Research*. 2019;188(1):35-44. doi: 10.1007/s12011-018-1529-1
21. Smock TM, Samuelson KL, Wells JE, Hales KE, Hergenreder JE, Rounds PW, Richeson JT. Effects of *Bacillus subtilis* PB6 and/or chromium propionate supplementation on serum chemistry, complete blood count, and fecal *Salmonella* spp. count in high-risk cattle during the feedlot receiving and finishing periods. *Transl Anim Sci*. 2020;4(3):txaa164. doi: 10.1093/tas/txaa164
22. Shan Q, Ma FT, Jin YH, Gao D, Li HY, Sun P. Chromium yeast alleviates heat stress by improving antioxidant and immune function in Holstein mid-lactation dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;269:114635. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114635
23. Soffa DR, Stewart JW, Arneson AG, Dias NW, Mercadante VRG, Rhoads RP, Rhoads ML. Reproductive and lactational responses of multiparous dairy cattle to short-term postpartum chromium supplementation during the summer months. *JDS Commun*. 2023;4(2):161-165. doi: 10.3168/jdsc.2022-0287
24. Zhao C, Shen B, Huang Y, Kong Y, Tan P, Zhou Y, Yang J, Xu C, Wang J. Effects of chromium propionate and calcium propionate on lactation performance and rumen microbiota in postpartum heat-stressed holstein dairy cows. *Microorganisms*. 2023;11(7):1625. doi: 10.3390/microorganisms11071625
25. Zhao F, Pan D, Wang N, Xia H, Zhang H, Wang S, Sun G. Effect of chromium supplementation on blood glucose and lipid levels in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(2):516-525. doi: 10.1007/s12011-021-02693-3

References

1. Alekseyeva LV, Vasilyeva LYu, Milovidova ED. The relationship of homeostatic processes with productivity of bull-calves at introduction in a diet of various forms and doses of chromium. *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2021;2(62):177-189. doi: 10.26456/vtbio206
2. Lebedev SV, Kvan OV, Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Grechkina VV, Momčilović B, Ryabov NI. Effect of chromium nanoparticles on digestive enzymes activity and morphological and biochemical parameters of calf blood. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;104(4):136-142.
3. Sheida EV, Lebedev SV, Gubaidullina IZ, Ryazanov VA, Gavrish IA. Impact of different forms of chrome on the chemical elements metabolism in the organism of rats of the Wistar line. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;2(76):167-171.
4. Kislyakova EM, Lomaeva AA. Influence of organic chrome additives on productive and reproductive indicators of black and pestered breeds. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2017;232(4):76-80.

5. Kalashnikov AP, Fisinin VI, Shcheglova VV, Kleymenov NI. Norms and diets for feeding farm animals: Ref. book. 3rd ed., add. and reworked. Moscow; 2003:110-123.
6. Sheyda EV, Lebedev SV, Miroschnikov SA, Grechkina VV, Ryazanov VA. Assessment of influence of ultrafine particles of Cr₂O₃ on metabolic processes in the body of calves raised on protein diets. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(4):14-25. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-14
7. Kokorev VA, Bolotin EV, Gibalkina NI et al. Productivity of mature cows at different levels of chromium in their diets. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2017;2(25):20-30.
8. Faber V, Akmaliev TA, Guseva OA. Chromium for ruminants. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2020;4:42-45.
9. Assis JR. Chromium in performance and metabolism of dairy cows. *Scientific Electronic Archives*. 2021;14(1):100. doi: 10.36560/14120211280
10. Bin L, Liu Y, Chai J, Hu X, Wu D, Yang B. Chemical properties and biotoxicity of several chromium picolinate derivatives. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2016;164:110-118. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2016.09.006
11. Bin-Jumah M, El-Hack M, Abdelnour S, Hendy Y, Ghanem H, Alsafy S, Khafaga A, Noreldin A, Shaheen H, Samak D, Momenah M, Allam A, Alkahtane A, Alkahtani S, Abdel D, Mohamed A, Lotfi A. Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. *Science of the Total Environment*. 2020;707:135996. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135996
12. Chauhan DK, Kavita V, Yadav S, Tomar R, Tiwari S, Singh D. Amelioration effect of selenium, chromium and zinc supplementation on pancreas of hyperglycemic albino rat. *Biochem Cell Arch*. 2023;23(1):419-425. doi: 10.51470/bca.2023.23.1.419
13. Edwards KC, Kim H, Vincent JB. Release of trivalent chromium from serum transferrin is sufficiently rapid to be physiologically relevant. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2020;202:110901. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2019.110901
14. El Senosi YA, Abou Zaid ARO, Elmaged ADA, Ali MAM. Biochemical study on the regenerative effect of chromium picolinate on experimentally induced diabetes. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2018;7(10):325-343. doi: 10.20959/wjpps201810-12444
15. Han M, Chen Y, Li J, Dong Y, Miao Z, Li J, Zhang L. Effects of organic chromium sources on growth performance, lipid metabolism, antioxidant status, breast amino acid and fatty acid profiles in broilers. *J Sci Food Agric*. 2021;101(9):3917-3926. doi: 10.1002/jsfa.11053
16. Kargar S, Habibi Z, Karimi-Dehkordi S. Grain source and chromium supplementation: effects on feed intake, meal and rumination patterns, and growth performance in Holstein dairy calves. *Animal*. 2019;13(6):1173-1179. doi: 10.1017/S1751731118002793
17. Lashkari S, Habibian M, Jensen SK. A review on the role of chromium supplementation in ruminant nutrition - effects on productive performance, blood metabolites, antioxidant status, and immunocompetence. *Biological Trace Element* 2018;186(2):305-321. doi: 10.1007/s12011-018-1310-5
18. Lalhriatpuii M, Chatterjee A, Dutta TK, Mohammad A, Patra AK. The effects of dietary inorganic and organic chromium supplementation on blood metabolites, hormones, and mineral composition of blood and internal organs in black bengal goats. *Biol Trace Elem Res*. 2023. doi: 10.1007/s12011-023-03856-0
19. Stepniowska A, Tutaj K, Drazbo A, Kozłowski K, Ognik K, Jankowski J. Estimated intestinal absorption of phosphorus and its deposition in chosen tissues, bones and feathers of chickens receiving chromium picolinate or chromium nanoparticles in diet. *PLoS One*. 2020;15(11):e0242820. doi: 10.1371/journal.pone.0242820
20. Spears JW. Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production. *Biological Trace Element Research*. 2019;188(1):35-44. doi: 10.1007/s12011-018-1529-1
21. Smock TM, Samuelson KL, Wells JE, Hales KE, Hergenreder JE, Rounds PW, Richeson JT. Effects of *Bacillus subtilis* PB6 and/or chromium propionate supplementation on serum chemistry, complete blood count, and fecal *Salmonella* spp. count in high-risk cattle during the feedlot receiving and finishing periods. *Transl Anim Sci*. 2020;4(3):txaa164. doi: 10.1093/tas/txaa164

22. Shan Q, Ma FT, Jin YH, Gao D, Li HY, Sun P. Chromium yeast alleviates heat stress by improving antioxidant and immune function in Holstein mid-lactation dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;269:114635. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114635
23. Soffa DR, Stewart JW, Arneson AG, Dias NW, Mercadante VRG, Rhoads RP, Rhoads ML. Reproductive and lactational responses of multiparous dairy cattle to short-term postpartum chromium supplementation during the summer months. *JDS Commun*. 2023;4(2):161-165. doi: 10.3168/jdsc.2022-0287
24. Zhao C, Shen B, Huang Y, Kong Y, Tan P, Zhou Y, Yang J, Xu C, Wang J. Effects of chromium propionate and calcium propionate on lactation performance and rumen microbiota in postpartum heat-stressed holstein dairy cows. *Microorganisms*. 2023;11(7):1625. doi: 10.3390/microorganisms11071625
25. Zhao F, Pan D, Wang N, Xia H, Zhang H, Wang S, Sun G. Effect of chromium supplementation on blood glucose and lipid levels in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(2):516-525. doi: 10.1007/s12011-021-02693-3

Информация об авторах:

Оксана Вячеславовна Шошина, младший научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С. Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул.9 Января, 29, тел.: 8-987-891-96-55.

Information about the authors:

Oksana V Shoshina, Junior Researcher, Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after Leushin SG, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-987-891-96-55.

Статья поступила в редакцию 20.02.2024; одобрена после рецензирования 05.03.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 20.02.2024; approved after reviewing 05.03.2024; accepted for publication 18.03.2024.