

Пиколинат хрома и его действие на метаболические процессы, а также продуктивность бычков мясного типа

С. В. Лебедев¹, О. В. Шошина^{1✉}, Б. С. Нуржанов¹, Н. М. Ширнина¹, Е. В. Шейда¹

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

✉E-mail: oksana.shoshina.98@mail.ru

Аннотация. Добавки на основе хрома имеют преимущества для растущего скота, которые выражаются в улучшении показателей выращивания и откорма. Именно поэтому целью нашего исследования явилось изучение действия хрома на процессы метаболизма и продуктивные качества бычков, использование организмом энергии, кальция и фосфора. **Методы.** Телята казахской белоголовой породы разделены методом пар-аналогов на 3 группы. Научно-хозяйственный опыт был проведен на 30 бычках ($n = 10$). Физиологический опыт проводился на 9 бычках ($n = 3$). Схема эксперимента: контрольные животные – стандартный рацион; I – пиколинат хрома в дозе 1,721 мг/кг сухого вещества рациона; II – в дозе 1,739 мг/кг сухого вещества рациона. **Научная новизна** состояла в том, что в первый раз проведены исследования по определению влияния пиколината хрома в различных дозировках на процессы метаболизма и продуктивность бычков казахской белоголовой породы. **Результаты.** Установили, что благотворное влияние на продуктивные качества бычков оказал пиколинат хрома в дозировках 1,721–1,739 мг/кг сухого вещества рациона. Так, опытные группы потребили валовой энергии больше контрольной на 2,9 и 7,19 %; переваримой – на 4,2 и 11,9 %, обменной – на 4,34 и 12,3 %. Энергия прироста повышалась в исследуемых группах на 8,53 и 22,1 %. Коэффициенты продуктивного использования кальция возрастали в I и II группах на 8,4 и 16,1 %, а по фосфору – на 0,1 и 4,7 % соответственно, что выражалось в превосходстве в 15 месяцев по живой массе на 9,3 и 13,7 кг. Интенсивность белкового обмена характеризовалась увеличением мочевины в сыворотке крови в I группе на 68,5 %, а во II – на 36,8 %, креатинина – на 68,5 % и 36,8 % по сравнению с контролем при снижении мочевой кислоты на 69,4 и 58,5 %.

Ключевые слова: бычки, энергия, кальций, фосфор, абсолютный прирост, среднесуточный прирост.

Для цитирования: Лебедев С. В., Шошина О. В., Нуржанов Б. С., Ширнина Н. М., Шейда Е. В. Пиколинат хрома и его действие на метаболические процессы, а также продуктивность бычков мясного типа // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 09. С. 76–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-09-76-86.

Дата поступления статьи: 21.03.2023, **дата рецензирования:** 12.04.2023, **дата принятия:** 26.05.2023.

Chromium picolinate and its effect on metabolic processes, as well as the productivity of meat-type steers

S. V. Lebedev¹, O. V. Shoshina^{1✉}, B. S. Nurzhanov¹, N. M. Shirnina¹, E. V. Sheyda¹

¹Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

✉E-mail: oksana.shoshina.98@mail.ru

Abstract. Chromium-based additives have advantages for growing livestock, which are expressed in improving the indicators of cultivation and fattening. That is why the purpose of our study was to study the effect of chromium on the metabolism and productivity of bulls, the use of energy, calcium and phosphorus by the body. **Methods.** Calves of the Kazakh white-headed breed, divided by the method of pairs of analogues into 3 groups. The scientific and economic experiment was carried out on 30 bulls ($n = 10$). The physiological experiment was carried out on 9 bulls

($n = 3$). Experimental scheme: control animals – standard diet; I – chromium picolinate at a dose of 1.625 mg/kg of ration dry matter; II – at a dose of 1.765 mg/kg of ration dry matter. The scientific novelty consisted in the fact that for the first time studies were conducted to determine the effect of chromium picolinate in various dosages on the metabolic processes and productivity of Kazakh white-headed bulls. Results. It was found that chromium picolinate in dosages of 1.739–1.765 mg/kg of dry matter of the diet had a beneficial effect on the productive qualities of bulls. So, the experimental groups consumed gross energy more than the control by 2.9 and 7.19 %; digestible by 4.2 and 11.9 % and exchangeable by 4.34 and 12.3 %. The growth energy increased in the studied groups by 8.53 and 22.1 %. The coefficients of productive use of calcium increased in groups I and II by 8.4 and 16.1 %, and in phosphorus by 0.1 and 4.7 % respectively, which was expressed in superiority in 15 months in live weight by 9.3 and 13.7 kg. The intensity of protein metabolism was characterized by an increase in serum urea in group I by 68.5 %, and in group II by 36.8 %, creatinine by 68.5 % and 36.8 % compared with the control with a decrease in uric acid by 69.4 and 58.5 %.

Keywords: bulls, energy, calcium, phosphorus, absolute gain, average daily gain.

For citation: Lebedev S. V., Shoshina O. V., Nurzhanov B. S., Shirnina N. M., Sheyda E. V. Pikolinat khroma i ego deystvie na metabolicheskie protsessy, a takzhe produktivnost' bychkov myasnogo tipa [Chromium picolinate and its effect on metabolic processes, as well as the productivity of meat-type steers] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. Vol. 23, No. 09. Pp. 76–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-09-76-86. (In Russian.)

Date of paper submission: 21.03.2023, **date of review:** 12.04.2023, **date of acceptance:** 26.05.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Хром участвует во многих функциях метаболизма, он активирует определенные ферменты и стабилизирует аминокислоты и нуклеиновые кислоты. Хром всасывается в желудочно-кишечном тракте, а затем транспортируется в клетку путем связывания с плазменным белком трансферрином [16]. Хром попадает в клетку под действием инсулина и связывается с олигопептидом апохромодулином. Этот олигопептид связывается с четырьмя атомами хрома (III), образуя хромодулин, который играет важную роль в повышении эффективности инсулиновой сигнализации. После связывания с инсулин-активируемым рецептором хромодулин на порядок увеличивает активность тирозинкиназы. Этот фермент является частью внутриклеточного инсулинового рецептора [9].

Известно, что хром участвует в регуляции углеводного и липидного (и, возможно, также белкового) метаболизма путем повышения эффективности инсулина. Он входит в состав молекулярного комплекса, который облегчает связывание и действие инсулина, улучшая при этом усвоение глюкозы клетками после кормления. Инсулин оказывает стимулирующее действие на процесс жевания, увеличивая поступление глюкозы в клетки и, следовательно, на моторику рубца [15].

В последнее время добавкам на основе хрома уделяется большое внимание, поскольку возникает все больше доказательств того, что они могут иметь преимущества для растущего скота, которые выражаются в улучшении показателей выращивания и откорма [12]. Как правило, положительные реакции на добавки с хромом связаны с очевидным изменением распределения энергии или с улучшением иммунокомпетентности и стрессоустойчивости [29].

Хром обычно существует в форме неорганических соединений или органических комплексов. Самые распространенные степени окисления хрома это – Cr⁰ (металлическая форма), Cr³⁺ (трехвалентная форма) и Cr⁶⁺ (шестивалентная форма). Есть доказательства того, что такие разновидности органического хрома, как Cr-пиколилат, Cr-метионин, комплекс Cr-никотиновой кислоты и Cr-дрожжей характеризуются повышенной биодоступностью и скоростью всасывания в отличие от неорганических форм хрома [10]. В целом биодоступность неорганического хрома составляет от 1 % до 3 %, в то время как органического хрома может составлять от 15 % до 30 %. Это объясняется хелатированием минерала органическими кислотами, аминокислотами, пептидами или другими соединениями [20].

Добавки хрома обычно состоят из трехвалентной его формы в сочетании с лигандами, такими как пиколиновая кислота, в результате чего образуется соединение хромипиколилат. Они способствуют усилению иммунитета и развитию стойкости к стрессовым ситуациям, а также оказывают положительное действие на обмен энергии в организме [17]. Cr³⁺ (трехвалентная форма) по завершении абсорбции переходит в плазменные белки. Хром в предельно допустимой дозировке тесно связывается с трансферрином, а если предел дозировки превышен, то в крови хром связывается с остальными белками, некоторое его количество захватывают эритроциты [7].

Пиколилат хрома в виде трехвалентного комплекса является менее токсичной формой, чем его шестивалентная форма, и демонстрирует высокую биодоступность, поэтому широко используется при нарушениях углеводного обмена. Пиколилат Cr (III) может быть восстановлен до соединений

Таблица 1

Энергетический баланс у лабораторных животных, МДж

Контроль	I группа	II группа
Валовая энергия		
133,23 ± 2,09	137,10 ± 0,79	142,81 ± 0,87**
Переваримая энергия		
83 ± 1,96	86,46 ± 0,92	92,95 ± 0,63**
Обменная энергия		
68,4 ± 0,48	71,37 ± 0,59*	76,83 ± 0,52**
Обменная энергия на поддержание жизни		
35,49 ± 2,19	35,58 ± 0,25	36,40 ± 0,31
Обменная энергия на синтез продукции		
32,91 ± 0,71	35,79 ± 0,54*	40,43 ± 0,04**
Энергия прироста		
11,37 ± 0,25	12,34 ± 0,23	13,89 ± 0,14**
Коэффициент продуктивного использования обменной энергии на прирост от валовой энергии		
8,53 ± 0,44	9,0 ± 0,12	9,72 ± 0,67
Коэффициент продуктивного использования обменной энергии на прирост от обменной энергии		
16,6 ± 0,52	17,29 ± 0,44	18,08 ± 0,56

Примечание. * P ≤ 0,05; ** P ≤ 0,01 при сравнении с контролем.

Table 1

Energy balance in laboratory animals, MJ

Control	I group	II group
Gross energy		
133.23 ± 2.09	137.10 ± 0.79	142.81 ± 0.87**
Digestible energy		
83 ± 1.96	86.46 ± 0.92	92.95 ± 0.63**
Exchange energy		
68.4 ± 0.48	71.37 ± 0.59*	76.83 ± 0.52**
Exchange energy for the maintenance of life		
35.49 ± 2.19	35.58 ± 0.25	36.40 ± 0.31
Exchange energy for the synthesis of products		
32.91 ± 0.71	35.79 ± 0.54*	40.43 ± 0.04**
Growth energy		
11.37 ± 0.25	12.34 ± 0.23	13.89 ± 0.14**
The coefficient of productive use of exchange energy for the increase in gross energy		
8.53 ± 0.44	9.0 ± 0.12	9.72 ± 0.67
The coefficient of productive use of exchange energy for the increase in exchange energy		
16.6 ± 0.52	17.29 ± 0.44	18.08 ± 0.56

Note. * P ≤ 0.05; ** P ≤ 0.01, when compared with the control.

Cr (II) в клетках, которые затем могут образовывать свободный гидроксильный радикал в реакции Фентона [17]. Кроме того, добавки пиколината хрома – это наиболее изученный комплекс, способный улучшать метаболизм глюкозы, чувствительность к инсулину и липидный профиль [18]. Однако эффективность пиколината хрома в литературе вызывает споры из-за большого разнообразия фактов, большинство из которых вызвано неоднородностью исследований. Поэтому мы провели дополнительные исследования этого препарата, чтобы определить, какое влияние оказывает пиколинат хрома в раз-

личных дозировках на процессы метаболизма и продуктивность бычков казахской белоголовой породы.

Цель исследования – изучить действие хрома на обменные процессы и производительность бычков, использование организмом энергии, кальция и фосфора.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектом исследования являлись бычки казахской белоголовой породы в возрасте 10 месяцев со средней живой массой 267 кг. Обслуживание животных и экспериментальные исследования были вы-

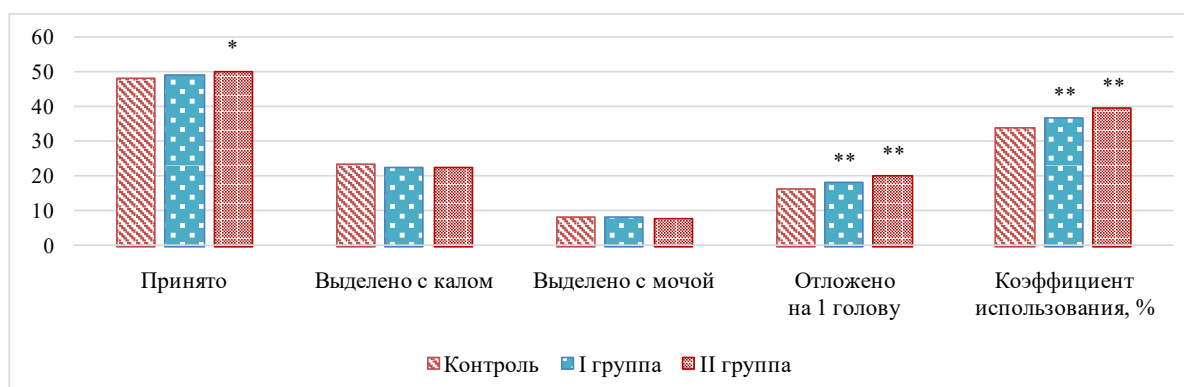


Рис. 1. Среднесуточный баланс кальция, г
Примечание. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ при сравнении с контролем

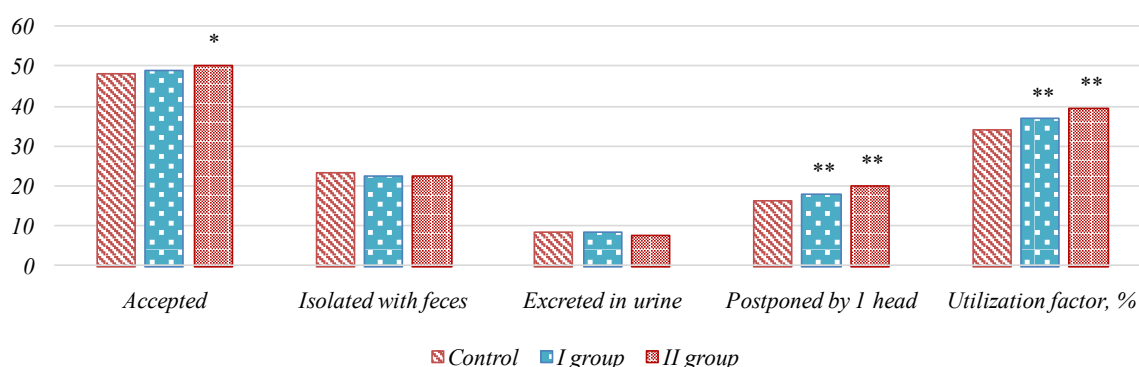


Fig. 1. Average daily calcium balance, g
Note. * $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$, when compared with the control

полнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и Guide for the Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press, Washington, D. C., 1996).

Научно-хозяйственные и физиологические исследования были проведены на производственном участке КФХ Пфейфер А. Г. с. Федоровка Акбулакского района Оренбургской области. Рационы для животных были сформированы по рекомендациям А. П. Калашниковой и др. [1].

Научно-хозяйственные опыты выполнены на 30 особях казахского белоголового скота, разделенных на три группы ($n = 10$) с использованием системы парных аналогов. Физиологические опыты проводились на 9 ($n = 3$) бычках аналогичной породы. Скот подбирался по весу, общему состоянию, породе и возрасту с использованием метода парных аналогов.

Животные контрольной группы получали стандартный рацион (СР), который включал сено злаковое (1 кг), сено бобовое (2 кг), силос кукурузный (11 кг), дробленую зерносмесь (2 кг), жмых подсол-

нечный (0,2 кг), патоку кормовую (0,6 кг), соль поваренную (40 г), монокальцийфосфат (60,4 г), премикс (20 г).

В рацион опытных групп дополнительно к СР включали пиколинат хрома (Nature's Bounty, Inc., США): I – в дозе 1,721 мг/кг сухого вещества рациона, II – в дозе 1,739 мг/кг сухого вещества рациона.

Дозировки пиколината хрома определены исходя из содержания хрома в кормах и были увеличены на 10 и 15 % на основании лабораторного исследования в искусственном рубце *in vitro* [6], анализа литературных данных [4].

Балансовый эксперимент состоял из 7-дневного подготовительного периода и 10-дневного учетного периода, в течение которого проводился балансовый подсчет количества съеденного корма и его остатков, а также собирались средние образцы кала (10 %) и мочи (3 %) от общего количества в сутки и анализировались в соответствии с методикой зоотехнического анализа Н. А. Лукашик и В. А. Тащилин [5].

Использование энергии, баланс кальция и фосфора в организме бычков рассчитывали на основании химического состава кормов по методикам Н. Г. Григорьева и др. 1989 [1].

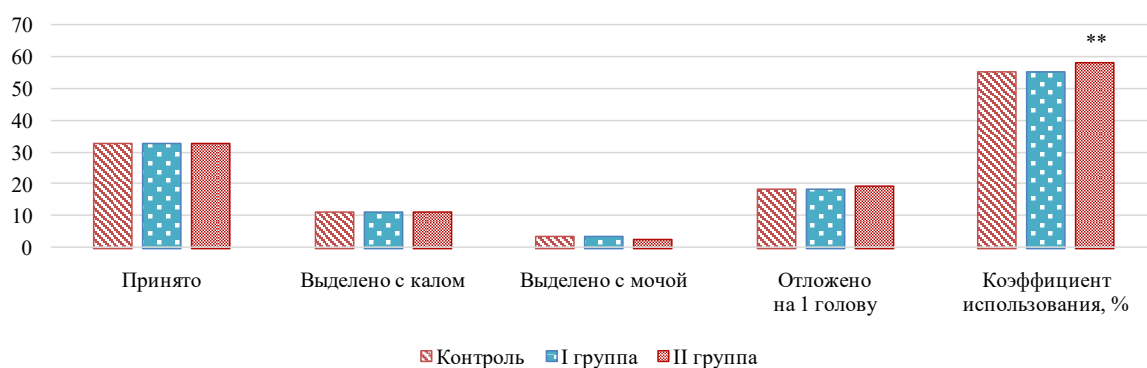


Рис. 2. Среднесуточный баланс фосфора, г
Примечание. * P ≤ 0,05; ** P ≤ 0,01 при сравнении с контролем

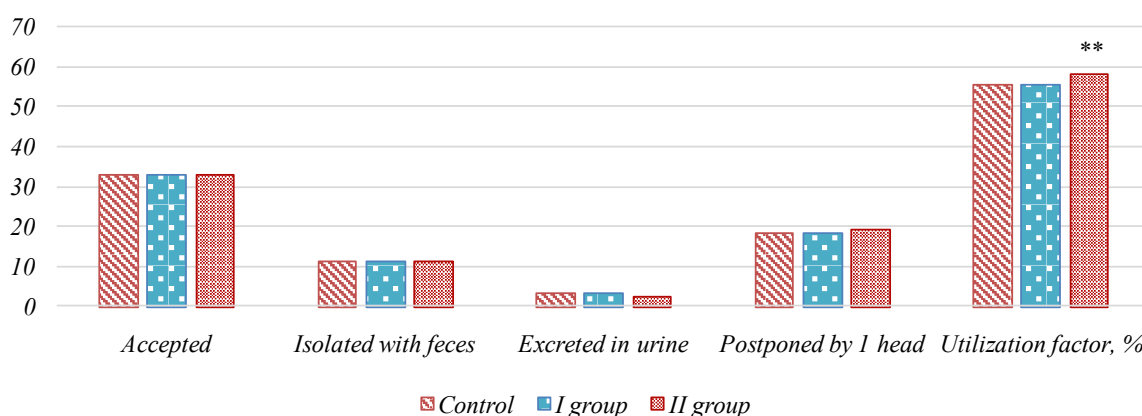


Fig. 2. Average daily phosphorus balance, g
Note. * P ≤ 0.05; ** P ≤ 0.01, when compared with the control

Таблица 2
Динамика живой массы, абсолютного и среднесуточного прироста подопытных бычков

Показатель	Возраст, месяцев					
	10			15		
	К	І	ІІ	К	І	ІІ
Живая масса, кг	247,0 ± 1,25	248,5 ± 2,38	247,5 ± 1,54	366,9 ± 2,69	376,2 ± 1,62*	380,6 ± 1,49**
Показатель	10-15					
	К		І		ІІ	
Абсолютный прирост, кг	119,9 ± 0,47		127,7 ± 0,54**		133,1 ± 0,78**	
Среднесуточный прирост, г	799,0 ± 2,27		850,8 ± 2,09**		887,0 ± 2,15	

Примечание. * P ≤ 0,05; ** P ≤ 0,01 при сравнении с контролем.

Table 2
Dynamics of live weight, absolute and average daily growth of experimental bulls

Indicator	Age, months					
	10			15		
	C	I	II	C	I	II
Live weight, kg	247.0 ± 1.25	248.5 ± 2.38	247.5 ± 1.54	366.9 ± 2.69	376.2 ± 1.62*	380.6 ± 1.49**
Indicator	10-15					
	C		I		II	
Absolute gain, kg	119.9 ± 0.47		127.7 ± 0.54**		133.1 ± 0.78**	
Average daily increase, g	799.0 ± 2.27		850.8 ± 2.09**		887.0 ± 2.15	

Note. * P ≤ 0.05; ** P ≤ 0.01, when compared with the control.

Биохимические показатели крови при введении пиколината хрома в рацион бычков

Группа	Показатель				
	Общий белок, г/л	АЛТ, Ед/л	АСТ, Ед/л	Мочевина, ммоль/л	Креатинин, мкмоль/л
Контрольная	90,33 ± 0,24	21,2 ± 0,17	76,07 ± 0,75	0,67 ± 0,08	116,9 ± 0,08
I	85,3 ± 0,24	27,7 ± 0,26**	67,9 ± 0,27**	2,13 ± 0,07**	129,2 ± 1,12**
II	90,7 ± 0,21**	27,9 ± 0,12**	56,2 ± 0,15**	1,06 ± 0,03**	126 ± 0,4**

Примечание. * $P \leq 0,05$, ** $P \leq 0,01$ при сравнении с контрольной группой.

Table 3

Biochemical blood parameters during the introduction of chromium picolinate into the diet of bulls

Group	Indicator				
	Total protein, g/l	ALT, Units/l	AST, Units/l	Urea, mmol/l	Creatinine, mmol/l
Control	90.33 ± 0.24	21.2 ± 0.17	76.07 ± 0.75	0.67 ± 0.08	116.9 ± 0.08
I	85.3 ± 0.24	27.7 ± 0.26**	67.9 ± 0.27**	2.13 ± 0.07**	129.2 ± 1.12**
II	90.7 ± 0.21**	27.9 ± 0.12**	56.2 ± 0.15**	1.06 ± 0.03**	126 ± 0.4**

Note. * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$ when compared with the control group.

Научно-хозяйственный опыт включал следующие периоды: подготовительный (30 дней) и учебный (150 дней). Динамику изменений живой массы бычков фиксировали ежемесячно в одну и ту же дату путем взвешивания животных. Основываясь на полученных значениях, рассчитывали абсолютный и среднесуточный прирост, а кроме того, относительную скорость роста экспериментальных бычков.

Статистический анализ выполняли с использованием методик ANOVA (программный пакет Statistica 10.0 (Stat Soft Inc., США) и Microsoft Excel (Microsoft, США). Статистическая обработка включала расчет среднего значения (M) и стандартные ошибки среднего (\pm SEM). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по *t*-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на $P \leq 0,05$.

Результаты (Results)

В результате физиологического исследования установили, что пиколинат хрома в составе рациона благоприятно повлиял на продуктивность животных. Из показателей таблицы 1 следует, что I и II группы с кормами получали валовой энергии больше контрольной на 2,9 и 7,19 % ($P \leq 0,01$) из-за интенсивного поступления основных питательных веществ; переваримой энергии – на 4,2 и 11,9 % ($P \leq 0,01$), обменной энергии – на 4,34 и 12,3 % ($P \leq 0,01$), так как поступившие с кормами питательные вещества переваривались лучше. Расход энергии на синтез продукции у бычков I группы на 2,88 % ($P \leq 0,05$) лучше контрольных, а во II группе на 7,52 % ($P \leq 0,01$). Пиколинат хрома при дозировке 1,721 мг/кг сухого вещества рациона повышал энергию прироста на 8,53 % ($P \leq 0,05$), а при дозировке 1,739 мг/кг сухого вещества рациона – на 22,1 % ($P \leq 0,01$) (таблица 1).

Кальций – главный макроэлемент для построения скелета, участвует в сгущении крови, активизирует ферменты, развивает стойкость к инфекционным заболеваниям и отвечает за поддержание кислотно-щелочного равновесия. Из всех минералов, присутствующих в организме, на кальций отводится 90 %. В литературе практически отсутствуют данные о влиянии хрома на метаболизм кальция и фосфора. Хром в сочетании с кальцием способен улучшать обменные процессы организма животных, нормализуя углеводный обмен. Всасывание, распространение фосфора и его удаление из организма главным образом зависят от обмена кальция. Фосфаты способствуют лучшему всасыванию аминокислот в кишечнике. Рационализация хрома способствует отложению фосфора внутри организма [10].

С целью выявления действия пиколината хрома на обмен основных макроэлементов – кальция и фосфора – в организме бычков мясного направления продуктивности изучили их баланс. Рис. 1 показывает, что кальциевый баланс положительный во всех экспериментальных группах, поэтому нарушений в минеральном обмене у этих животных не отмечено. В частности, в группах I и II показано увеличение потребления кальция на 1,72 и 4,35 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с контролем. Экскреция кальция с калом в экспериментальных группах была на 3,29 % и 3,21 % ниже, чем в контроле. Выделение кальция с мочой также снизилось на 1,06 % и 8,23 % в I и II группах по сравнению с контрольной.

Отложение кальция на одно животное в обеих группах было значительно выше, чем в контрольной: на 10,3 % ($P \leq 0,01$) и 21,6 % ($P \leq 0,01$). Использование кальция увеличилось в I группе на 8,4 % ($P \leq 0,01$), а во II группе – на 16,05 % ($P \leq 0,01$) в сопоставлении с контрольной (рис. 1).

Фосфор поступал с кормами практически на одном уровне с контрольными показателями (рис. 2). Выделение фосфора через желудочно-кишечный тракт у бычков I группы на 1,07 % больше, чем в контрольной группе, а во II группе были идентичны контрольным. Экскреция фосфора у бычков I и II группы была на 3,5 и 24,5 % меньше в сравнении с контрольной группой. На одно животное в I группе откладывалось на 0,1 %, а во II группе – на 4,9 % больше фосфора, чем в контрольной. Коэффициент использования фосфора в I группе на 0,1 %, а во II группе – на 4,7 % ($P \leq 0,01$) был лучше показателей контроля (рис. 2).

Одним из основных показателей развития животного является интенсивность его роста, которая выражается в изменении динамики живой массы. В научно-хозяйственном исследовании установлено, что динамика живой массы между группами в 10 месяцев изменялась незначительно, а в 15 месяцев I и II группы превышали контрольную на 9,3 кг (2,5 %) ($P \leq 0,05$) и 13,7 кг (3,7 %) ($P \leq 0,01$) соответственно.

Абсолютный прирост, представленный в таблице № 2, показывает, что за весь период опыта данный показатель в I и II группах повышался относительно контрольных показателей на 7,8 кг (6,5 %) ($P \leq 0,01$) и 13,2 кг (11 %) ($P \leq 0,01$). Среднесуточный прирост также был выше результатов контрольной группы в возрасте 10–15 месяцев на 51,8 г (6,5 %) ($P \leq 0,01$) и 88 г (11,01 %) (таблица 2).

При характеристике биохимических показателей крови бычков установили, что общий белок в I группе снижался на 5,6 %, а во II повышался на 0,4 % ($P \leq 0,05$). Уровень аланинаминотрансферазы (АЛТ) во всех группах был выше контрольных значений: в I группе – на 23,5 %, во II – на 24,2 % ($P \leq 0,05$). Уровень аспаратаминотрансферазы (АСТ) во всех группах снижался: в I группе – на 10,7 %, во II – 26,1 % относительно контроля соответственно ($P \leq 0,05$).

Введение в рацион пиколината хрома повышало интенсивность белкового обмена, так как концентрация мочевины в сыворотке крови повышалась во всех опытных группах. Продукт распада белков и мочевой кислоты креатинин повышался также во всех трех группах. Уровень мочевины повышался в I группе на 68,5 %, во II – на 36,8 % относительно контроля ($P \leq 0,05$). Креатинин в I опытной группе повышался на 9,5 %, во II – на 7,2 % относительно контрольных значений ($P \leq 0,05$). Напротив, мочевая кислота снижалась в I группе на 69,4 %, во II – на 58,5 % ($P \leq 0,05$) (таблица 3).

Полученные в проведенном эксперименте результаты совпадают с исследованием по действию хрома на метаболизм и продуктивность коров, авторы обнаружили положительный баланс между кальцием и фосфором в виду различных вариаций

доз хрома. В теле этих коров было отложено 13,94–15,84 г кальция и 7,87–8,74 г фосфора, что констатирует факт о нормально протекающем метаболизме хрома в организме крупного рогатого скота [9].

Переваримость, а кроме того, использование организмом питательных веществ из кормов зависят в основном от минерального набора рациона. Недостаточное или избыточное количество тех или иных элементов в рационе приводит к ухудшению переваримости и усвоению питательных веществ. Приемлемая концентрация хрома в кормах может повысить коэффициент переваримости питательных веществ, увеличить количество азота в организме, повысить энергию роста [3].

В исследовании Т. Н. Alex et al. потребление корма было выше у овец, получавших рацион с пиколинатом хрома во время теплового стресса. Объяснение заключается в том, что пиколинат хрома может улучшить использование энергии [8].

В исследованиях В. А. Кокорева и др. бычки получали хлористый хром в различных уровнях: I группа – оптимальный, II группа – пониженный, III группа – повышенный. Бычки из первой группы росли на 3,66 кг (3,40%) и 0,81 кг (0,72 %) эффективнее, чем молодняк из второй и третьей групп. Среднесуточный прирост повышался в I группе на 1,77 и 4,93 % по сравнению со II и III группами. Абсолютный прирост составил в I группе – 128 кг, во II группе – 122 кг, в III группе – 126 кг [4].

Влияние хрома на продуктивные качества растущих жвачных животных остается спорным. Так, авторы исследовали влияние добавки хрома на продуктивность бычков и определили протекторное действие на среднесуточный прирост на фоне неизменного соотношения затрат корма к привесу [11]. Напротив, А. Hung et al., сообщили, что добавки с хромом не оказали влияния на показатели роста бычков на откорме [13]. В. С. Bernhard et al. обнаружили, что добавки с хромом линейно увеличивали среднесуточный прирост крупного рогатого скота на откормочных площадках [8]. Однако несколько исследований продемонстрировали, что добавки хрома не воздействовали на показатели роста у телят и бычков [14].

А. И. Козинец и др., в своих трудах по введению наночастиц хрома в рацион телят в количестве 0,050 и 0,075 мг на 1 кг сухого вещества рациона отметили, что среднесуточные приросты возрастали на 3,3 и 6,6 %, напротив себестоимость продукции понижалась на 1,4 и 4,9 %, в результате чего дополнительная прибыль от реализации продукции составила 4,9–18,0 руб. из расчета на одну голову [3].

Наноплант Хром (К) при дозе 0,2 мг хрома на 1 кг сухого вещества корма может увеличить среднесуточный прирост живой массы на 3,6 % и понизить себестоимость продукции на 2,8 % [20].

Хелатные соединения, добавляемые в рацион полигастрических животных, влияют на определенные параметры белкового обмена и антиоксидантной защиты. В исследовании К. Yuan применение добавок хрома привело к некоторому повышению общего белка в сыворотке крови, что связано со снижением концентрации кортизола в крови или повышением чувствительности тканей к инсулину [21]. Под влиянием хелатного комплекса хрома синтез мочевины усиливается за счет дезактивации аммиака, который образуется в результате катаболизма аминокислот в ткани. Результаты исследований показали, что концентрация аммиака в крови телят, которым вводили метионин хрома, на 26,8 и 21,2 % снижались относительно контрольных значений. Уровень мочевины в сыворотке крови под действием метионина хрома на всех этапах исследования был выше, чем в контрольном опыте [22].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Применение пиколината хрома в рационах бычков мясного направления продуктивности оказы-

вает положительное влияние на весовой рост за счет стимуляции обменных процессов в организме. В результате исследований доказана эффективность применения пиколината хрома в дозах 1,72–1,739 мг/кг сухого вещества рациона для повышения энергии прироста на 8,53 ($P \leq 0,05$) и 22,1 % ($P \leq 0,01$), а также потреблению кальция на 1,72 и 4,35 % ($P \leq 0,05$). Динамика живой массы между группами на конец периода (15 месяцев) в опытных группах превосходила таковую в контрольной на 9,3 кг (2,5 %) ($P \leq 0,05$) и 13,7 кг (3,7 %) ($P \leq 0,01$). Интенсивность белкового обмена усиливалась, о чем свидетельствуют повышения уровня мочевины на 68,5 и 36,8 % ($P \leq 0,05$), а также креатинина на 9,5 и 7,2 % ($P \leq 0,05$).

Благодарности (Acknowledgements)

Исследование выполнено в рамках тематического плана НИР ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН» No. 0761-2019-0005.

Библиографический список

1. Григорьев Н. Г., Волков Н. П., Воробьев Е. С. Биологическая полноценность кормов. Москва: Агропромиздат, 1989. 287 с.
2. Калашникова А. П., Фисинина В. И., Щеглова В. В., Клейменова Н. И. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Россельхозакадемия, 2003. 456 с.
3. Козинец А. И., Козинец Т. Г., Голушко О. Г., Надаринская М. А., Гринь М. С., Гонакова С. А., Соловьев А. В. Использование наночастиц хрома в рационах молодняка крупного рогатого скота // Зоотехническая наука Беларуси. 2020. Т. 55. № 1. С. 360–368.
4. Кокорев В. А., Гурьянов А. М., Гибалкина Н. И., Федаев А. Н. Влияние разных уровней хрома на обменные процессы в организме молодняка крупного рогатого скота // Селекционно-генетические аспекты развития молочного скотоводства: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения видного государственного и политического деятеля Ш. И. Шихсаидова. Махачкала, 2019. С. 257–276.
5. Лукашик Н. А., Тащилин В. А. Зоотехнический анализ кормов: практикум. Москва: Колос, 1965. 225 с.
6. Шошина О. В., Лебедев С. В., Шейда Е. В., Корнейченко В. И. Сравнительный анализ влияния различных форм хрома на пищеварительные процессы в рубце телят // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 1. С. 31–38.
7. Aathira C. M., Arivarasu L., Rajeshkumar S. Antioxidant and AntiInflammatory Potential of Chromium Picolinate Mediated Zinc Oxide Nanoparticle // Journal of Pharmaceutical Research International. 2020. No. 19. Pp. 118–121. DOI: 10.9734/jpri/2020/v32i1930717.
8. Hung A. T., Leury B. J., Sabin M. A., Fahri F., DiGiacomo K., Lien T.-F., Dunshea F. R. Dietary nano chromium picolinate can ameliorate some of the impacts of heat stress in cross-bred sheep // Animal Nutrition Journal. 2021. Vol. 7. No. 1. Pp. 198–205. DOI: 10.1016/j.aninu.2020.07.004.
9. Ambarwati Y., Martoprawiro M. A., Mulyani I., Ismunandar, Onggo D. Docking Interaction of Chromium (III) Phenylalanine with Protein Tyrosine Phosphatase // Journal of Physics Conference Series. 2021. Vol. 1751. No. 1. Article number 012102. DOI: 10.1088/1742-6596/1751/1/012102.
10. Baggerman J., Smith Z., Thompson A., Kim J., Hergenreder J., Rounds W., Johnson B. Chromium propionate supplementation alters animal growth performance, carcass characteristics, and skeletal muscle properties in feedlot steers // Translational Animal Science. 2020. Vol. 4. No. 3. Article number txaal46. DOI: 10.1093/tas/txaal46.
11. Budde A., Sellins K., Lloyd K., Wagner J., Heldt J., Spears J., Engle T. Effect of zinc source, concentration, and chromium supplementation on performance and carcass characteristics in feedlot steers // Journal of Animal Science. 2019. Vol. 97. No. 3. Pp. 1286–1295. DOI: 10.1093/jas/skz016.

12. Herkelman K., Hall R., Walker P., Veracini J. Effect of Supplemental Chromium on the Growth Performance and Health of Stocker/Grower Cattle // *Journal of Animal Science*. 2018. No. 96 (suppl_2). Pp. 223–223. DOI: 10.1093/jas/sky073.412.
13. Hung A., Leury B., Sabin M., Fahri F., Digiaco K., Lien T.-F., Dunshea F. Nano-chromium picolinate and heat stress enhance insulin sensitivity in cross-bred sheep // *Animal Nutrition*. 2023. DOI: 10.1016/j.aninu.2023.01.003
14. Jin Y., Zhou Y. Effects of concentrate level and chromium-methionine supplementation on the performance, nutrient digestibility, rumen fermentation, blood metabolites, and meat quality of Tan lambs // *Animal Bioscience*. 2022. Vol. 35. No. 5. Pp. 677–689. DOI: 10.5713/ab.20.0802.
15. 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. No. 13 (6). Pp. 1173–1179. DOI: 10.1017/S1751731118002793.
16. Lashkari S. A., Habibian M., Jensen S. K. Review on the Role of Chromium Supplementation in Ruminant Nutrition – Effects on Productive Performance, Blood Metabolites, Antioxidant Status, and Immunocompetence // *Biological Trace Element Research*. 2018. Vol. 186. No. 2. Pp. 305–321. DOI: 10.1007/s12011-018-1310-5.
17. Uddin K. M., Alrawashdeh A., Debnath T., Aziz M., Poirier R. Synthesis, spectroscopic characterization, and theoretical studies on the substitution reaction of chromium(III) picolinate // *Journal of Molecular Structure*. 2019. Vol. 1189. No. 9. DOI: 10.1016/j.molstruc.2019.04.015.
18. Mousavi F., Karimi-Dehkordi S., Kargar S., Ghaffari M. H. Effect of chromium supplementation on growth performance, meal pattern, metabolic and antioxidant status and insulin sensitivity of summer-exposed weaned dairy calves // *Animal*. 2019. No. 13 (5). Pp. 968–974. DOI: 10.1017/S1751731118002318.
19. Shree M. K., Lakshminarayanan A., Shanmugam R. Cytotoxicity and Antimicrobial Activity of Chromium Picolinate Mediated Zinc Oxide Nanoparticle // *Journal of Pharmaceutical Research International*. 2020. DOI: 10.9734/jpri/2020/v32i2030726.
20. Spears J. W. Boron, Chromium, Manganese, and Nickel in Agricultural Animal Production // *Biological Trace Element Research*. 2019. Vol. 188. No. 1. Pp. 35–44. DOI: 10.1007/s12011-018-1529-1.
21. Stępniewska 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. Vol. 15. No.11. Article number e0242820. DOI: 10.1371/journal.pone.0242820.
22. Vincent J. B. Effects of chromium supplementation on body composition, human and animal health, and insulin and glucose metabolism // *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. 2019. Vol. 22. No. 6. Pp. 483–489. DOI: 10.1097/MCO.0000000000000604.

Об авторах:

Святослав Валерьевич Лебедев¹, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0001-9485-7010, AuthorID 223254; +7 912 345-87-38, lsv74@list.ru

Оксана Вячеславовна Шошина¹, аспирант 3-го года обучения, младший научный сотрудник, ORCID 0000-0003-4104-3333, AuthorID 82101967; +7 987 891-96-55, oksana.shoshina.98@mail.ru

Баер Серекпаевич Нуржанов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0003-3240-6112, AuthorID 605587; +7 986 795-05-46, baer.nurzhanov@mail.ru

Надежда Михайловна Ширнина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0002-3908-3865, AuthorID 569306; +7 919 854-84-69, shirnina.2021@mail.ru

Елена Владимировна Шейда¹, кандидат биологических наук, научный сотрудник, ORCID 0000-0002-2586-613X, AuthorID 569299; +7 922 862-64-02, elena-shejjda@mail.ru

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

References

1. Grigor'ev N. G., Volkov N. P., Vorob'ev E. S. *Biologicheskaya polnotsennost' kormov* [Biological value of feed]. Moscow: Agropromizdat, 1989. 287 p. (In Russian.)
2. Kalashnikova A. P., Fisina V. I., Shcheglova V. V., Kleymenova N. I. *Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* [Norms and rations of feeding farm animals. Reference manual]. 3rd edition, revised and expanded. Moscow: Rossel'khozakademiya, 2003. 456 p. (In Russian.)
3. Kozinets A. I., Kozinets T. G., Galushko O. G., Nadarinskaya M. A., Grin M. S., Kondakova S. A., Solov'ev A. V. *Ispol'zovanie nanochastits khroma v ratsionakh molodnyaka krupnogo rogatogo skota* [The use of chromium

nanoparticles in the diets of young cattle] // Zootechnical Science of Belarus. 2020. Vol. 55. No. 1. Pp. 360–368. (In Russian.)

4. Kokorev V. A., Gur'yanov A. M., Gibalkina N. I., Fedaev A. N. Vliyaniye raznykh urovney khroma na obmennyye protsessy v organizme molodnyaka krupnogo rogatogo skota [Influence of different chromium levels on metabolic processes in the body of young cattle] // Breeding and genetic aspects of the development of dairy cattle breeding: sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchenoy 90-letiyu so dnya rozhdeniya vidnogo gosudarstvennogo i politicheskogo deyatelya Sh. I. Shikhsaidova. Makhachkala, 2019. Pp. 257–276. (In Russian.)

5. Lukashik N. A., Tashilin V. A. Zootekhnicheskii analiz kormov: praktikum [Zootechnical analysis of feed: practicum]. Moscow: Kolos, 1965. 225 p. (In Russian.)

6. Shoshina O. V., Lebedev S. V., Sheyda E. V., Korneychenko V. I. Sravnitel'nyy analiz vliyaniya razlichnykh form khroma na pishchevaritel'nyye protsessy v rubtse telyat [Comparative analysis of the effect of various forms of chromium on digestive processes in the rumen of calves] // Animal husbandry and feed production. 2022. Vol. 105. No. 1. Pp. 31–38. (In Russian.)

7. Aathira C. M., Arivarasu L., Rajeshkumar S. Antioxidant and AntiInflammatory Potential of Chromium Picolinate Mediated Zinc Oxide Nanoparticle // Journal of Pharmaceutical Research International. 2020. No. 19. Pp. 118–121. DOI: 10.9734/jpri/2020/v32i1930717.

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

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

10. Baggerman J., Smith Z., Thompson A., Kim J., Hergenreder J., Rounds W., Johnson B. Chromium propionate supplementation alters animal growth performance, carcass characteristics, and skeletal muscle properties in feedlot steers // Translational Animal Science. 2020. Vol. 4. No. 3. Article number txaa146. DOI: 10.1093/tas/txaa146.

11. Budde A., Sellins K., Lloyd K., Wagner J., Heldt J., Spears J., Engle T. Effect of zinc source, concentration, and chromium supplementation on performance and carcass characteristics in feedlot steers // Journal of Animal Science. 2019. Vol. 97. No. 3. Pp. 1286–1295. DOI: 10.1093/jas/skz016.

12. Herkelman K., Hall R., Walker P., Veracini J. Effect of Supplemental Chromium on the Growth Performance and Health of Stocker/Grower Cattle // Journal of Animal Science. 2018. No. 96 (suppl_2). Pp. 223–223. DOI: 10.1093/jas/sky073.412.

13. Hung A., Leury B., Sabin M., Fahri F., DiGiacomo K., Lien T-F., Dunshea F. Nano-chromium picolinate and heat stress enhance insulin sensitivity in cross-bred sheep // Animal Nutrition. 2023. DOI: 10.1016/j.aninu.2023.01.003

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

15. 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. No. 13 (6). Pp. 1173–1179. DOI: 10.1017/S1751731118002793.

16. Lashkari S. A., Habibi M., Jensen S. K. Review on the Role of Chromium Supplementation in Ruminant Nutrition – Effects on Productive Performance, Blood Metabolites, Antioxidant Status, and Immunocompetence // Biological Trace Element Research. 2018. Vol. 186. No. 2. Pp. 305–321. DOI: 10.1007/s12011-018-1310-5.

17. Uddin K. M., Alrawashdeh A., Debnath T., Aziz M., Poirier R. Synthesis, spectroscopic characterization, and theoretical studies on the substitution reaction of chromium(III) picolinate // Journal of Molecular Structure. 2019. Vol. 1189. No. 9. DOI: 10.1016/j.molstruc.2019.04.015.

18. Mousavi F., Karimi-Dehkordi S., Kargar S., Ghaffari M. H. Effect of chromium supplementation on growth performance, meal pattern, metabolic and antioxidant status and insulin sensitivity of summer-exposed weaned dairy calves // Animal. 2019. No. 13 (5). Pp. 968–974. DOI: 10.1017/S1751731118002318.

19. Shree M. K., Lakshminarayanan A., Shanmugam R. Cytotoxicity and Antimicrobial Activity of Chromium Picolinate Mediated Zinc Oxide Nanoparticle // Journal of Pharmaceutical Research International. 2020. DOI: 10.9734/jpri/2020/v32i2030726.

20. Spears J. W. Boron, Chromium, Manganese, and Nickel in Agricultural Animal Production // Biological Trace Element Research. 2019. Vol. 188. No. 1. Pp. 35–44. DOI: 10.1007/s12011-018-1529-1.

21. 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. Vol. 15. No.11. Article number e0242820. DOI: 10.1371/journal.pone.0242820.

22. Vincent J. B. Effects of chromium supplementation on body composition, human and animal health, and insulin and glucose metabolism // Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care. 2019. Vol. 22. No. 6. Pp. 483–489. DOI: 10.1097/MCO.0000000000000604.

Authors' information:

Svyatoslav V. Lebedev¹, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, doctor of biological sciences, leading researcher, ORCID 0000-0001-9485-7010, AuthorID 223254; +7 912 345-87-38, lsv74@list.ru

Oksana V. Shoshina¹, PhD student of the 3rd year of study, junior researcher, ORCID 0000-0003-4104-3333, AuthorID 82101967; +7 987 891-96-55, oksana.shoshina.98@mail.ru

Baer S. Nurzhanov¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher, ORCID 0000-0003-3240-6112, AuthorID 605587; +7 986 795-05-46, baer.nurzhanov@mail.ru

Nadezhda M. Shirnina¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher, ORCID 0000-0002-3908-3865, AuthorID 569306; +7 919 854-84-69, shirnina.2021@mail.ru

Elena V. Sheyda¹, candidate of biological sciences, researcher, ORCID 0000-0002-2586-613X, AuthorID 569299; +7 922 862-64-02, elena-shejjda@mail.ru

¹ Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia