

Научная статья
УДК 636.084.1:577.17:636.085.25
doi:10.33284/2658-3135-105-1-31

Сравнительный анализ влияния различных форм хрома на пищеварительные процессы в рубце телят

Оксана Вячеславовна Шошина¹, Святослав Валерьевич Лебедев², Елена Владимировна Шейда³,
Вера Ивановна Корнейченко⁴

^{1,2,3}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

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

²lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

³elena-snejjda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2586-613X>

⁴icvniims.or@mail.ru

Аннотация. Хром входит в группу эссенциальных микроэлементов и участвует в окислительном стрессе и обмене веществ. Из известных форм хром в ультрадисперсном состоянии стимулирует активность пищеварительных ферментов, является более доступным и активным. В данном исследовании был проведён сравнительный анализ влияния ультрадисперсных частиц (УДЧ) Cr₂O₃ и пиколината хрома (PicCr) на переваримость питательных веществ и активность пищеварительных ферментов в искусственном рубце методом *in vitro*. Объект исследования – рубцовая жидкость, взятая от телят казахской белоголовой породы в возрасте 9 месяцев через хроническую fistулу рубца. Для исследования были использованы ультрадисперсные частицы Cr₂O₃ и органическая форма *Chromium Picolinate*. Дополнительное введение УДЧ Cr₂O₃ в рацион достоверно увеличивало переваримость сухого вещества относительно контроля на 6,9 %, а PicCr – на 12,7 % (P<0,05). В рубцовой жидкости при введении опытных образцов повышалась активность пищеварительных ферментов – амилазы и протеазы. Так, относительно контроля в I образце отмечалось увеличение активности амилазы на 69,4 %, а протеаз – на 31,4 %, во II образце – соответственно на 42,6 % и на 63,6 %. Биохимический анализ рубцовой жидкости показал, что включение хрома, не зависимо от формы, способствовало снижению уровня кальция и общего белка в I и II экспериментальных группах относительно контрольных значений. Уровень фосфора, наоборот, увеличивался в двух группах. Таким образом, УДЧ Cr₂O₃ и PicCr в биотических дозах улучшают переваримость сухого вещества корма, что выражается повышенной активностью ферментативных процессов в рубцовой жидкости.

Ключевые слова: телята, казахская белоголовая порода, кормление, хром, ультрадисперсные частицы, рубцовая жидкость, пищеварительные ферменты, переваримость

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2021-2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005).

Для цитирования: Сравнительный анализ влияния различных форм хрома на пищеварительные процессы в рубце телят / О.В. Шошина, С.В. Лебедев, Е.В. Шейда, В.И. Корнейченко // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 1. С. 31-38. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-31>

Original article

Comparative analysis of the effect of different chromium forms on digestive processes in the rumen of calves

Oksana V Shoshina¹, Svyatoslav V Lebedev², Elena V Sheyda³, Vera I Korneychenko⁴

^{1,2,3}Federal 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>

²lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

³elena-snejjda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2586-613X>

⁴icvniims.or@mail.ru

Abstract. Chromium is included in the group of essential trace elements and is involved in oxidative stress and metabolism. Of the known forms, chromium in the ultradispersed form stimulates the activity of digestive enzymes, it is more accessible and active. In this study, a comparative analysis of the effect of ultrafine particles of Cr₂O₃ and chromium picolinate (PicCr) on the digestibility of nutrients and the activity of digestive enzymes in an artificial rumen was carried out using the *in vitro* method. Ruminal fluid taken from 9-month calves of the Kazakh white-headed breed taken through a chronic ruminal fistula

is the object of the study. Ultrafine Cr₂O₃ particles and the organic form of Chromium Picolinate were used for the study. Additional introduction of Cr₂O₃ UFPs into the diet significantly increased the digestibility of dry matter relative to the control by 6.9%, and PicCr - by 12.7% (P≤0.05). The introduction of experimental samples increased the activity of digestive enzymes - amylase and protease in the ruminal fluid. So, relative to the control in the sample I, an increase in amylase activity by 69.4%, and proteases - by 31.4%, in sample II - by 42.6% and 63.6%, respectively, was registered. Biochemical analysis of ruminal fluid showed that the inclusion of chromium, regardless of its form, contributed to a decrease in the level of calcium and total protein in the experimental groups I and II relative to control values. Phosphorus levels, on the other hand, increased in two groups. Thus, Cr₂O₃ and PicCr UFPs in biotic doses improve the digestibility of dry matter of the feed, it is expressed by an increased activity of enzymatic processes in the ruminal fluid.

Keywords: calves, Kazakh white-headed breed, feeding, chromium, ultrafine particles, ruminal fluid, digestive enzymes, digestibility

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2021-2023 FSBRI FRC BST RAS (No. 0761-2019-0005).

For citation: Shoshina OV, Lebedev SV, Sheyda EV, Korneychenko VI. Comparative analysis of the effect of different chromium forms on digestive processes in the rumen of calves. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;105(1):31-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-31>

Введение.

Микроэлементы необходимы полигастричным животным, поскольку они служат важнейшими кофакторами и компонентами ферментов для различных биологических процессов (Pajarillo EAB et al., 2021). В результате высвобождения из пищи и ассимиляции в желудочно-кишечном тракте они способствуют повышению переваримости питательных веществ и стабильности микрофлоры желудочно-кишечного тракта (Swecker WS, 2014).

Отечественными и зарубежными исследователями установлено, что одним из незаменимых микроэлементов для организма животных является хром. Он содержится во всех органах и тканях, стимулирует рост и развитие животных, участвует в остеогенезе, обмене белков, углеводов, жиров, процессах кроветворения, взаимодействует с ферментами, гормонами, нуклеиновыми кислотами и витаминами (Болотин Е.В. 2012; Кокорев А.А. и др., 2004).

Хром относится к переходным металлам, который играет решающую роль в окислительном стрессе и обмене веществ (Che D et al., 2019). Метаболизм хрома жизненно важен для удовлетворения потребности животных в поддержании нормальных биологических и метаболических функций, и несоблюдение или превышение потребности в этом микроэлементе может привести к дефициту или токсичности соответственно (Anderson GJ et al., 2017; Wodzanowski KA et al., 2020). Именно поэтому рационы жвачных животных обеспечивают минеральными добавками в виде ультрадисперсных частиц (Шейда Е.В. и др., 2020а).

Хром в ультрадисперсной форме стимулирует активность пищеварительных ферментов, что вызывает изменение пищеварительных процессов (Шейда Е.В. и др., 2020б). В рубце при этом изменяется концентрация летучих жирных кислот, аммиака, смещается кислотно-щелочное равновесие, что в дальнейшем приводит к изменениям в системе «бактерии-простейшие» (Мирошников И.С., 2017; Cobellis G et al., 2016).

Цель исследования.

Провести сравнительный анализ влияния ультрадисперсных частиц Cr₂O₃ и PicCr на переваримость питательных веществ и активность пищеварительных ферментов в рубце методом «*in vitro*».

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Рубцовая жидкость от телят казахской белоголовой породы средней массой 220-225 кг, возрастом 9 месяцев с хронической фистулой рубца.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР No 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). При проведении исследований были предприняты меры, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества исследованных опытных образцов.

Схема эксперимента. Научные исследования выполнены на базе Центра коллективного пользования и лаборатории «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук.

Для анализа были сформированы 3 образца: в качестве контроля использовали пшеничные отруби, I образец – пшеничные отруби+УДЧ Cr₂O₃ (0,2 мг/кг корма), II образец – пшеничные отруби+CrPic (265,1 мг/кг корма).

Для исследования были использованы ультрадисперсные частицы Cr₂O₃, полученные методом плазмохимического синтеза (ООО «Платина», г. Москва, Россия); органическая форма *Chromium Picolinate* ("Nature's Bounty, Inc.", США). Перед включением в рацион изучаемые вещества диспергировали в физиологическом растворе с помощью УЗДН-2Т (35 кГц, 300 Вт, 10 мкА, 30 мин).

Исследования переваримости сухого вещества (СВ) и микробиома рубца производили методом *in vitro* по специализированной методике: модель «искусственного рубца» с использованием установки-инкубатора «ANKOM Daisy II». В качестве дисперсионной среды была выбрана дистиллированная вода.

У фистульных животных через 3 часа после кормления брали пробы рубцового содержимого, которые фильтровали через 4 слоя марли и инкубировали в искусственном рубце при постоянной температуре +39 °С в течение 48 часов. По окончании инкубации образцы промывались и высушивались при температуре +60 °С до константного веса.

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

$$K=(A-B)/C \times 100 \%,$$

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.

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

Концентрацию макроэлементов Са, Р в рубцовой жидкости проводили на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 с помощью коммерческих наборов для ветеринарии «ДиаВетТест».

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены в ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>. Установка-инкубатор «ANKOM Daisy II» (модификации D200 и D200I). Термостат ТС-1/80 СПУ (ООО «Амедис Инжиниринг», г. Нижний Новгород, Россия), КФК-3 (длина волны 670 нм, Россия), автоматический биохимический анализатор CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай), коммерческие биохимические наборы для ветеринарии «ДиаВетТест» (ЗАО «ДИАКОН-ДС», Россия).

Статистическая обработка. Расчёты выполняли с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США) с использованием методик ANOVA. Статистиче-

ская обработка включала расчёт среднего значения (М) 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.

Переваримость сухого вещества контрольного рациона (пшеничные отруби) составила 65,9 %. Дополнительное введение УДЧ Cr_2O_3 в рацион достоверно увеличивало переваримость сухого вещества относительно контроля на 6,9 %, а пиколината хрома – на 12,7 % ($P \leq 0,05$) (рис. 1).

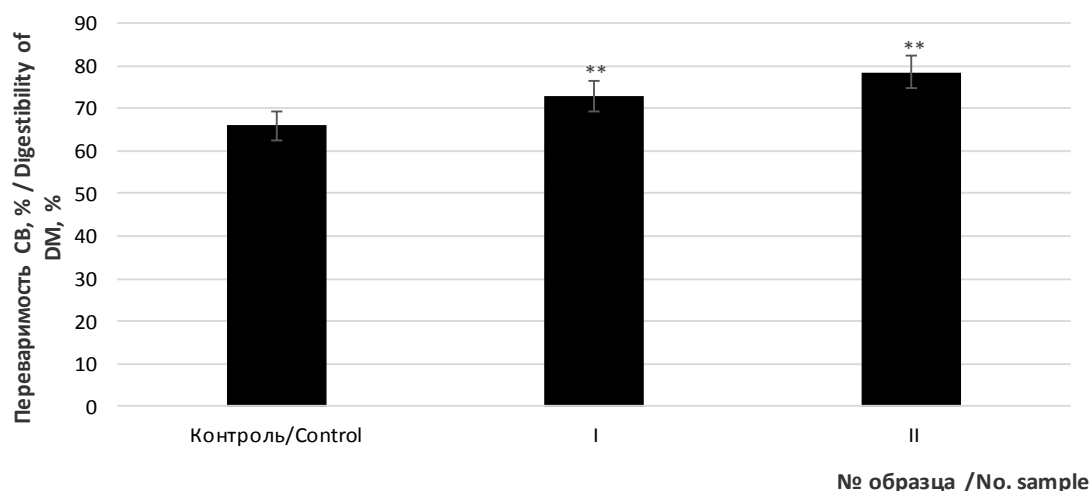


Рис. 1 – Переваримость сухого вещества образца корма при дополнительном включении различных форм хрома, %

Figure 1 – Digestibility of dry matter of the feed sample with an additional inclusion of various forms of chromium, %

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

Note: ** – $P \leq 0.05$ when compared with the control

Высокая переваримость сухого вещества рациона в опытных группах обусловлена повышением ферментативных процессов в рубце. Так, в рубцовой жидкости при введении опытных образцов зафиксировано повышение активности пищеварительных ферментов – амилазы и протеаз. Относительно контроля в I образце отмечено увеличение активности амилазы на 67,7 %, а протеаз – на 31,4 %, во II образце – соответственно на 42,6 % и на 63,6 % (табл. 1).

Таблица 1. Активность пищеварительных ферментов в рубцовой жидкости: амилазы и протеазы, мг/мл/мин

Table 1. Activity of digestive enzymes in the ruminal fluid: amylases and proteases, mg/ml/min

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	контроль/ Control	I	II
Амилаза, мг/мл/мин / Amylase, mg/ml/min	2813,3 \pm 127,2	8716,7 \pm 44,1***	9800 \pm 115,5***
Протеазы, мг/мл/мин / Proteases, mg/ml/min	800 \pm 115,5	1166,7 \pm 33,3**	2200 \pm 115,5***

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

Note: ** – $P \leq 0.05$; *** – $P \leq 0.001$ when compared with the control

Биохимический анализ рубцовой жидкости показал, что включение хрома, не зависимо от формы, способствовало снижению уровня Са относительно контроля при наличии УДЧ Cr_2O_3 на 2,8 %, а при PicCr – на 4,9 %. Такая же тенденция была отмечена и в отношении уровня общего

белка, в I и II образцах данный показатель незначительно снижался относительно контрольного значения (рис. 2). Уровень P в опытных образцах отличался на 24,7-32,6 % относительно контроля в сторону увеличения.

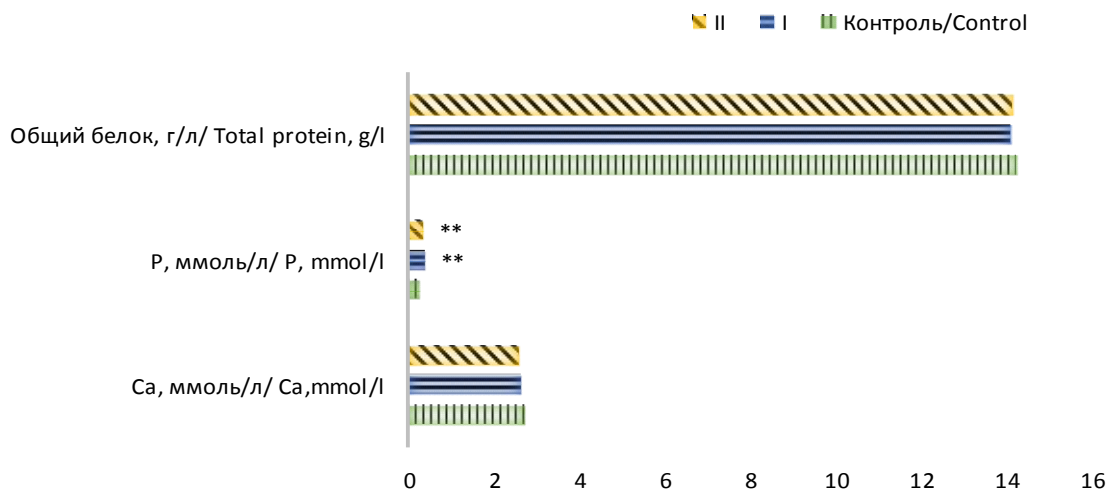


Рис. 2 – Изменение концентрации кальция, фосфора (ммоль/л) и общего белка (г/л) в рубцовой жидкости при включении разных форм хрома

Figure 2 – Changes in the concentration of calcium, phosphorus (mmol/l) and total protein (g/l) in the ruminal fluid when different forms of chromium are included

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

Note: ** – $P \leq 0.05$ when compared with the control

Обсуждение полученных результатов.

Важным показателем метаболических процессов в организме является переваримость питательных компонентов корма, соответственно, чем выше переваримость, тем выше их усвояемость и больше выход продукции. Для увеличения переваримости питательных веществ в желудочно-кишечном тракте жвачных животных необходимы разработка рационов и подготовка кормов к скармливанию, а также наличие в них определённого количества всех питательных веществ, в том числе и минеральных (Болотин Е.В. 2012; Кокорев В.А. и др., 2004).

Основным органическим источником хрома является пиколинат хрома, органический источник хрома, более чем в десять раз биологически доступный по сравнению с неорганическими источниками (Lyons SM, 1994). В данном исследовании показана большая биодоступность пиколината хрома при сравнении с ультрадисперсной формой данного элемента, отмечено повышение переваримости СВ рациона на 7,4 %.

Ультрадисперсные частицы хрома, а также пиколинат хрома активизируют энтеропанкреатическую циркуляцию пищеварительных ферментов, воздействуя одинаково на контакт с активным центром фермента (Лебедев С.В. и др., 2018). Малые дозы этих микроэлементов повышают метаболизм железа, а большие, наоборот, понижают (Ani M et al., 1992).

Добавление в образцы мешочков с отрубями ультрадисперсных частиц Cr_2O_3 в дозе 0,2 мг/кг корма и $CrPic$ в дозе 265,1 мг/кг корма значительно повышало переваримость сухого вещества относительно контроля на 6,9 %, а пиколината хрома – на 12,7 %. Высокие показатели переваримости сухого вещества способствовали увеличению активности пищеварительных ферментов рубцовой жидкости: в I образце повышалась амилаза на 69,4 %, а протеаза – на 31,4 %, во II образце – на 42,6 % и на 63,6 % относительно контроля.

В исследовании Шейды Е.В. с коллегами (2020б) дополнительное введение в рационы УДЧ хрома имело разнонаправленное влияние на амилолитическую активность опытных групп. Активность амилазы во II группе относительно основного рациона повышалась на 2,8 %, а по сравнению с контролем была достоверно ниже на 38,5 % ($P \leq 0,05$). Уровень активности данного фермента в IV группе относительно контрольного показателя был достоверно ниже на 63,3 % ($P \leq 0,05$), а относительно III группы – на 59 %.

Заключение.

Введение в рационы УДЧ Cr_2O_3 , а также пиколината хрома в биотической дозе позволяет повысить переваримость сухого вещества корма, стимулирует ферментативные процессы в рубце, увеличивая активность пищеварительных ферментов в рубцовой жидкости.

Список источников

1. Батоев Ц.Ж. Физиология пищеварения птиц. Улан-Удэ: Изд-во Бурят. гос. ун-та, 2001. 214 с. [Batoev CZh. Fiziologija pishhevarenija ptic. Ulan-Udje: Izd-vo Burjat. gos.un-ta; 2001:214 p. (*In Russ*)].
2. Болотин Е.В. Продуктивность полновозрастных коров при разных уровнях хрома в их рационах: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саранск, 2012. 23 с. [Bolotin EV. Produktivnost' polnovozrastnyh korov pri raznyh urovnjah hroma v ih racionah: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk. Saransk; 2012:23 p. (*In Russ*)].
3. Влияние наночастиц хрома на активность пищеварительных ферментов и морфологические и биохимические 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, Momcilovic 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;101(4):136-142. (*In Russ*)].
4. Воздействие ультрадисперсных частиц Fe на биохимический статус организма и экзокринную деятельность поджелудочной железы на фоне скармливания белковых рационов при выращивании крупного рогатого скота / Е.В. Шейда, С.В. Лебедев, С.А. Мирошников, В.В. Гречкина, Г.И. Левахин // Животноводство и кормопроизводство. 2020а. Т. 103. № 3. С. 190-203. [Sheyda EV, Lebedev SV, Miroshnikov SA, Grechkina VV, Levahin GI. Influence of ultrafine fe on biochemical status of organism and exocrine activity of pancreas against the background of feeding with protein diets in raising cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020a;103(3):190-203. (*In Russ*). doi: 10.33284/2658-3135-103-3-190
5. Изменение активности пищеварительных ферментов панкреатического сока под влиянием ультрадисперсных частиц Cr_2O_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. 2020б. Т. 103. № 4. С. 26-36. [Sheyda EV, Lebedev SV, Miroshnikov SA, Grechkina VV, Rjanzanov VA, Shoshina OV. Changes in the activity of digestive enzymes of pancreatic juice under the influence of ultrafine particles of Cr_2O_3 against the background of feeding with protein diets raising cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020b;103(4):26-36. (*In Russ*). doi: 10.33284/2658-3135-103-4-26
6. Мирошников И.С. Влияние препаратов наночастиц металлов-микроэлементов на рубцовое пищеварение и метаболизм химических элементов в системе «бактерии-простейшие» рубца // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 1(97). С. 68-77. [Miroshnikov IS. Influence of metal nanoparticles on ruminal digestion and metabolism of chemical elements in system "bacteria-protozoa" of rumen. *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2017;1(97):68-77. (*In Russ*)].
7. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных животных / В.А. Кокорев и др. // Зоотехния. 2004. № 7. С. 12-16. [Kokorev VA, et al. Optimization of mineral feeding for farm animals. *Zootekhnija*. 2004;7:12-16. (*In Russ*)].

8. Anderson GJ, Frazer DM. Current understanding of iron homeostasis. *Am J Clin Nutr.* 2017;106(Suppl 6):1559S-1566S. doi: 10.3945/ajcn.117.155804
9. Ani M, William S, Swecke J, Moshtaghi AA. The effect of chromium on parameters related to iron metabolism. *Biological Trace Element Research.* 1992;32(1-3):57-64. doi: 10.1007/BF02784588
10. Che D, Adams S, Wei C, Gui-Xin Q, Atiba EM, Hailong J. Effects of Astragalus membranaceus fiber on growth performance, nutrient digestibility, microbial composition, VFA production, gut pH, and immunity of weaned pigs. *Microbiologyopen.* 2019;8(5):e00712. doi: 10.1002/mbo3.712
11. Cobellis G, Trabalza-Marinucci M, Marcotullio MC, Yu Z. Evaluation of different essential oils in modulating methane and ammonia production, rumen fermentation, and rumen bacteria *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology.* 2016;215:25-36. doi: 10.1016/j.anifeeds.2016.02.008
12. Lyons SM. The medical fast-track. *Anaesthesia.* 1994;49(10):841-2. doi: 10.1111/j.1365-2044.1994.tb04253.x
13. Pajarillo EAB, Lee E, Kang DK. Trace metals and animal health: Interplay of the gut microbiota with iron, manganese, zinc, and copper. *Anim Nutr.* 2021;7(3):750-761. doi: 10.1016/j.aninu.2021.03.005
14. Silva B, Faustino P. An overview of molecular basis of iron metabolism regulation and the associated pathologies. *Biochim Biophys Acta.* 2015;1852(7):1347-1359. doi: 10.1016/j.bbadis.2015.03.011
15. Swecker WS. Trace mineral feeding and assessment. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 2014;30(3):671-688. doi: 10.1016/j.cvfa.2014.07.008
16. Wodzanowski KA, Cassel SE, Grimes CL, Kloxin AM. Tools for probing host-bacteria interactions in the gut microenvironment: From molecular to cellular levels. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters.* 2020;30(10):127116. doi: 10.1016/j.bmcl.2020.127116

References

1. Batoev CZh. Physiology of bird digestion. Ulan-Ude: Publishing House of Buryat State University; 2001:214 p.
2. Bolotin EV. The productivity of full-grown cows at different levels of chromium in their diets: author. dis. Cand. Agr. Sciences. Saransk; 2012:23 p.
3. Lebedev SV, Kvan OV, Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Grechkina VV, Momcilovic 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;101(4):136-142.
4. Sheyda EV, Lebedev SV, Miroshnikov SA, Grechkina VV, Levahin GI. Influence of ultrafine Fe on biochemical status of organism and exocrine activity of pancreas against the background of feeding with protein diets in raising cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2020a;103(3):190-203. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-190
5. Sheyda EV, Lebedev SV, Miroshnikov SA, Grechkina VV, Rjazanov VA, Shoshina OV. Changes in the activity of digestive enzymes of pancreatic juice under the influence of ultrafine particles of Cr₂O₃ against the background of feeding with protein diets raising cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2020b;103(4):26-36. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-26
6. Miroshnikov IS. Influence of metal nanoparticles on ruminal digestion and metabolism of chemical elements in system "bacteria-protozoa" of rumen. *Herald of Beef Cattle Breeding.* 2017;1(97):68-77.
7. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных животных / В.А. Кокорев и др. // Зоотехния. 2004. № 7. С. 12-16. [Kokorev VA, et al. Optimization of mineral feeding for farm animals. *Zootekhnika.* 2004;7:12-16. (In Russ)].
8. Anderson GJ, Frazer DM. Current understanding of iron homeostasis. *Am J Clin Nutr.* 2017;106(Suppl 6):1559S-1566S. doi: 10.3945/ajcn.117.155804
9. Ani M, William S, Swecke J, Moshtaghi AA. The effect of chromium on parameters related to iron metabolism. *Biological Trace Element Research.* 1992;32(1-3):57-64. doi: 10.1007/BF02784588
10. Che D, Adams S, Wei C, Gui-Xin Q, Atiba EM, Hailong J. Effects of Astragalus membranaceus fiber on growth performance, nutrient digestibility, microbial composition, VFA production, gut pH, and immunity of weaned pigs. *Microbiologyopen.* 2019;8(5):e00712. doi: 10.1002/mbo3.712

11. Cobellis G, Trabalza-Marinucci M, Marcotullio MC, Yu Z. Evaluation of different essential oils in modulating methane and ammonia production, rumen fermentation, and rumen bacteria *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology*. 2016;215:25-36. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.02.008
12. Lyons SM. The medical fast-track. *Anaesthesia*. 1994;49(10):841-2. doi: 10.1111/j.1365-2044.1994.tb04253.x
13. Pajarillo EAB, Lee E, Kang DK. Trace metals and animal health: Interplay of the gut microbiota with iron, manganese, zinc, and copper. *Anim Nutr*. 2021;7(3):750-761. doi: 10.1016/j.aninu.2021.03.005
14. Silva B, Faustino P. An overview of molecular basis of iron metabolism regulation and the associated pathologies. *Biochim Biophys Acta*. 2015;1852(7):1347-1359. doi: 10.1016/j.bbadis.2015.03.011
15. Swecker WS. Trace mineral feeding and assessment. *Vet Clin North Am Food Anim Pract*. 2014;30(3):671-688. doi: 10.1016/j.cvfa.2014.07.008
16. Wodzanowski KA, Cassel SE, Grimes CL, Kloxin AM. Tools for probing host-bacteria interactions in the gut microenvironment: From molecular to cellular levels. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2020;30(10):127116. doi: 10.1016/j.bmcl.2020.127116

Информация об авторах:

Оксана Вячеславовна Шошина, аспирант 2-го года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-987-891-96-55.

Святослав Валерьевич Лебедев, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-345-87-38.

Елена Владимировна Шейда, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-9228-62-64-02.

Вера Ивановна Корнейченко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Испытательного центра, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 30-81-77

Information about the authors:

Oksana V Shoshina, 2st year postgraduate student, 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.

Svyatoslav V Lebedev, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-912-345-87-38.

Elena V Sheyda, Cand. Sci (Biology), Researcher, Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-922-862-64-02.

Vera I Korneychenko, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Test Centre CUC, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, Russia, 29, 9 Yanvarya St., 8(3532)30-81-77

Статья поступила в редакцию 11.01.2022; одобрена после рецензирования 29.01.2022; принята к публикации 21.03.2022.

The article was submitted 11.01.2022; approved after reviewing 29.01.2022; accepted for publication 21.03.2022.