

УДК 636.5:636.085.57

DOI: 10.33284/2658-3135-103-4-26

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^{1,2}, С.В. Лебедев², С.А. Мирошников², В.В. Гречкина^{2,3}, В.А. Рязанов², О.В. Шошина²

¹Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)

²Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

³Оренбургский государственный аграрный университет (г. Оренбург)

Аннотация. В силу целого ряда преимуществ препараты ультрадисперсных частиц (УДЧ) как источники микроэлементов для животных в последние годы получают всё более широкое применение в практическом животноводстве. К числу таких препаратов относятся и УДЧ хрома, используемые для снижения отложения жира и оптимизации обмена веществ в промышленном птицеводстве и свиноводстве. Целью представляемого исследования является изучение влияния УДЧ Cr_2O_3 на активность пищеварительных ферментов панкреатического сока на фоне скармливания рационов с различным содержанием белка. Исследования проводили на телятах казахской белоголовой породы 8-9-месячного возраста с живой массой 200-220 кг. Животным опытных групп дополнительно в рацион вводили белковые добавки – подсолнечный жмых и соевый шрот. В эксперименте использовали УДЧ Cr_2O_3 : телятам II и IV групп включали УДЧ в дозе 200 мг/гол./сут. На основании полученных данных установлено, что включение белковых компонентов в рационы молодняка, наряду с положительным влиянием, оказывает негативный эффект на экзокринную функцию поджелудочной железы, снижая активность панкреатической секреции и пищеварительных ферментов. Включение в белковые рационы УДЧ Cr_2O_3 оказывало стимулирующее влияние на выработку сока поджелудочной железой и способствовало увеличению активности пищеварительных ферментов: амилазы, липазы и кишечных протеаз, что позволяет рассчитывать на увеличение продуктивных качеств крупного рогатого скота.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, кормление, ультрадисперсные частицы, хром, поджелудочная железа, ферменты, панкреатический сок, химус.

UDC 636.5:636.085.57

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

Elena V Sheyda^{1,2}, Svyatoslav V Lebedev², Sergey A Miroshnikov², Victoria V Grechkina^{2,3}, Vitaly A Ryazanov², Oksana V Shoshina²

¹Orenburg State University (Orenburg, Russia)

²Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

³Orenburg State Agrarian University (Orenburg, Russia)

Summary. Due to a number of advantages, preparations of ultrafine particles (UFP) as sources of trace elements have been increasingly used for animals in recent years in practical animal husbandry. These drugs include chromium UFPs and used to reduce fat deposition and optimize metabolism in industrial poultry and pig farming. The aim of the present study is to study the effect of Cr_2O_3 UFPs on the activity of digestive enzymes in pancreatic juice against the background of feeding with diets with different protein content. The research was carried out on 8-9-month Kazakh white-headed calves with a live weight of 200-220 kg. The animals of the experimental groups were additionally injected with protein supplements - sunflower cake and soybean meal. Cr_2O_3 UFPs were used in the experiment: calves from groups II and IV

were included UFPs at a dose of 200 mg/bird/day. Based on the data obtained, it was found that the inclusion of protein components in the diets of young animals, along with a positive effect, has a negative effect on the exocrine function of the pancreas, reducing the activity of pancreatic secretion and digestive enzymes. The inclusion of Cr₂O₃ UFPs in protein diets had a stimulating effect on the production of juice by the pancreas and increased the activity of digestive enzymes: amylase, lipase and intestinal proteases, which makes it possible to count on an increase in the productive qualities of cattle.

Key words: cattle, feeding, ultrafine particles, chromium, pancreas, enzymes, pancreatic juice, chyme.

Введение.

Нанотехнологии находятся в постоянном развитии и имеют высокий потенциал для использования в животноводстве. Однако наука пока не располагает необходимыми знаниями, обеспечивающими эффективное использование наноматериалов в этой отрасли (Балабанов В.И., 2009). Крайне мало данных о влиянии ультрадисперсных веществ на минеральный обмен в организме животных (Третьяков Ю.Д., 2008).

Между тем применение препаратов ультрадисперсных частиц приобретает особую актуальность при использовании ультраэлементов – химических элементов с крайне малым пулом присутствия в организме животных. К числу последних относится хром. Этот элемент принимает участие в метаболизме протеинов, углеводов и липидов у млекопитающих, играет важную роль в активации мембранной фосфотирозинфосфатазы (Davis CM et al., 1996). Основная роль хрома в метаболизме связана с увеличением поглощения глюкозы клетками (Davis CM and Vincent JB, 1997). Хром активирует отдельные ферменты (Anderson RA, 1994). Добавка хрома снижает негативные последствия экологического стресса (Mowat DN, 1994; Lien TF et al., 1999; Sahin K et al., 2001).

Поджелудочная железа в рамках реализации энтерального гомеостаза изменяет уровень своей секреции, адаптируется к изменяющемуся составу кормов. Введение дополнительных ингредиентов и других компонентов в виде биологически активных препаратов и минералов в рационы животных способствует изменению процессов пищеварения в желудочно-кишечном тракте, что может проявляться изменением активности пищеварительных ферментов поджелудочного сока. Одним из перспективных способов стимуляции активности пищеварительных ферментов является использование ультрадисперсных частиц хрома (Лебедев С.В. и др., 2018).

Цель исследования.

Изучить изменения активности пищеварительных ферментов панкреатического сока молодняка крупного рогатого скота при дополнительном введении УДЧ Cr₂O₃ в рационы с различным содержанием белка.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Телята казахской белоголовой породы со средней массой 200-220 кг, в возрасте 8-9 месяцев.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями Russian Regulations, 1987 (Order No. 755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) и «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996)». При выполнении исследований были предприняты меры, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Телят содержали в индивидуальных клетках размером 2,0×2,0 м в помещении с оптимальными параметрами температуры (+23...+25 °С) и влажности для данного вида животных, со свободным доступом к воде. Рацион включал: сено разнотравное (6,5 кг), смесь концентратов (2,3 кг), дикальций фосфат (35 г), соль поваренная (35 г), дополнительно вводили белковый компонент (подсолнечный и соевый шрот) 3 % от сухого вещества рациона.

Телята контрольной группы получали стандартный рацион (СР), животным I и II групп дополнительно включали в рацион подсолнечный жмых, а III и IV групп – соевый шрот. Телятам II и

IV групп на фоне скармливания белковых рационов вводили УДЧ Cr_2O_3 в дозировке 200 мг/гол./сут плюс 10 % с учётом потерь в течение 3 суток (Лебедев С.В. и др., 2020).

Для изучения использовали УДЧ Cr_2O_3 (гидродинамический диаметр – более 100 нм, удельная поверхность – 9 м²/г, Z-потенциал – $93 \pm 0,53$ мВ, содержание 99,8 % Cr получены методом плазмохимического синтеза (ООО «Платина», г. Москва, Россия). Перед включением в рацион УДЧ диспергировали в физиологическом растворе с помощью ультразвукового диспергатора УЗДН-2 (35 кГц, 300 Вт, 10 мкА, 30 мин).

Рационы для животных были сформированы по потребности в питательных веществах и энергии, но отличались по качеству протеина (Калашников А.П. и др., 2003).

Для изучения уровня панкреатической секреции и активности пищеварительных ферментов на проток поджелудочной железы была наложена фистула по А.Д. Синещекову (1955).

Исследования проводили после 16-часовой выдержки натошак. Отбор проб панкреатического сока осуществляли каждые 60 минут, продолжительность исследования составила 8 часов. Первую порцию сока отбирали натошак, затем животному задавали экспериментальный корм в количестве 50 % от суточной нормы. По каждому виду корма исследования проводили в течение 3 суток.

Измерение активности пищеварительных ферментов определяли «in situ»: активность ферментов амилазы, кишечных протеаз и липазы. Активность трипсина определяли в плазме крови кинетическим методом, в качестве субстрата использовали нитроанилид-бензоил DL-аргинин (BAPNA) (Mikhailova AG et al., 2014).

Кроме регистрации количества и состава панкреатической секреции проводилось исследование состава химуса (количество пищеварительных ферментов).

Оборудование и технические средства. Лабораторные исследования проводили в центре «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» и Испытательном центре ЦКП ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21ПФ59 от 02.12.15).

Измерение активности амилазы проводилось по Смит-Рою в модификации для определения высокой активности фермента по Аносону, протеаз – по гидролизу казеина, очищенного по Гаммерстену при калориметрическом контроле (длина волны – 450 нм), липазы – на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческих биохимических наборов для ветеринарии ДиаВетТест (Россия); активность трипсина определяли полуавтоматическом проточном биохимическом анализаторе SINNOWA BS-3000P (КНР). Лабораторные весы MS105DU, заводской номер В 346986489 («Mettler Toledo», Швейцария), проверенные в соответствии с методикой проверки весов лабораторных MS.ML (Свидетельство о проверке № МТ-1014); автоматический анализатор CS-T240 («DIRUI Industrial Co., Ltd», Китай); микропланшетный анализатор Infinite PRO F200 (TECAN, Австрия); диспергатора УЗДН-2 («НПП Академприбор», Россия).

Статистическая обработка. Статистический анализ 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. Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Дополнительное включение белковых компонентов в рационы опытных телят сопровождалось снижением функциональной активности поджелудочной железы, что выражается в угнетении панкреатической секреции (рис. 1). Так, в опытных группах отмечено снижение количества продуцируемого поджелудочного сока: в I группе – на 1 %, а в III – на 22 % ($P \leq 0,05$). В то время как включение в рацион УДЧ Cr_2O_3 стимулировало секрецию сока поджелудочной железы в III группе на 12,3 %, в IV – на 26,3 % ($P \leq 0,05$).

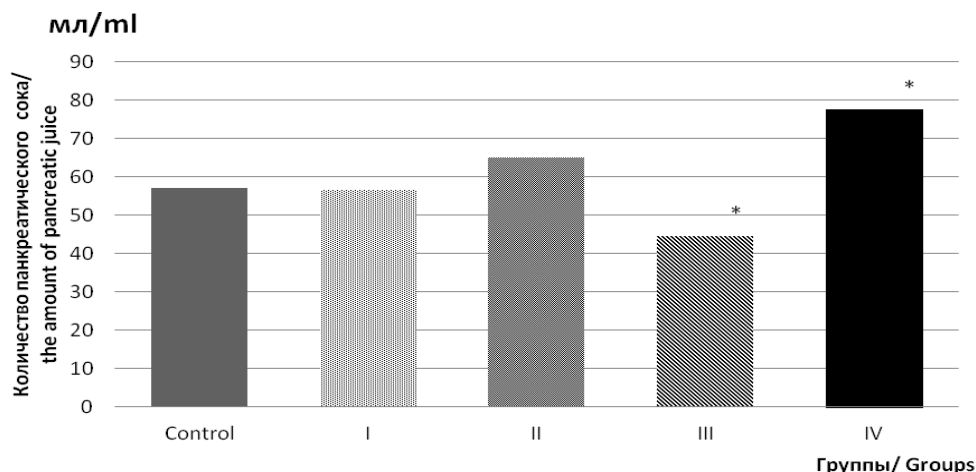


Рис. 1 – Количество панкреатического сока, мл

Figure 1 – Amount of pancreatic juice, ml

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

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

Введение в рацион телятам подсолнечного жмыха и соевого шрота способствовало снижению активности амилазы. Так, у животных I группы активность амилазы достоверно снизилась относительно показателя контрольной группы на 44,5 %, в III группе – на 25 % ($P \leq 0,05$) (табл. 1).

При включении в рационы УДЧ Cr_2O_3 зафиксирована стимуляция амилалитической активности поджелудочного сока: во II группе – на 4,4 %, в IV группе – на 12,4 % относительно контроля.

При введении белковых компонентов в рацион как самостоятельно, так и в комплексе с УДЧ хрома, отмечено повышение активности фермента липазы, причём в большей степени во II и IV группах. Относительно контроля активность липазы достоверно была выше в I группе на 74,3 %, во II – на 88,8 %, в III – на 62,3 % и в IV – на 88,7 % ($P \leq 0,05$).

Таблица 1. Уровень активности пищеварительных ферментов панкреатического сока у телят при введении УДЧ хрома на фоне протеинового кормления ($n=15$, $M \pm m$)
Table 1. The level of activity of digestive enzymes of pancreatic juice in calves with the introduction of chromium UFPs against the background of protein feeding ($n=15$, $M \pm m$)

Ферменты/Enzymes	Группы/Groups				
	контроль/ control	I	II	III	IV
Амилаза, мг/мл/мин / Amylase, mg/ml/min	5137±450	2852±295*	5375±346	3852±412*	5864±583
Протеазы, мг/мл/мин / Proteases, mg/ml/min	133,5±24,3	104,3±16,1*	177,99±37,63*	101,8±12,8*	155,65±12,6
Липаза, Ед/л / Lipase, U/l	90,9±18,2	353,4±19,4*	812,2±27,9*	241,1±36,8*	810,5±33,2*

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

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

Активность кишечных протеаз достоверно снижалась в I группе на 21,8 %, в III – на 23,7 % ($P \leq 0,05$). Дополнительное включение ультрадисперсных частиц хрома повышало активность протеолитических ферментов, они оказались выше во II группе на 25 % ($P \leq 0,05$) и на 14,2 % – в IV группе.

Уровень трипсина во всех опытных группах был достоверно выше контроля: в I группе – на 50,5 %, во II – на 83,6 %, в III – на 52,8 %, в IV – на 82,9 % ($P \leq 0,05$) (рис. 2).

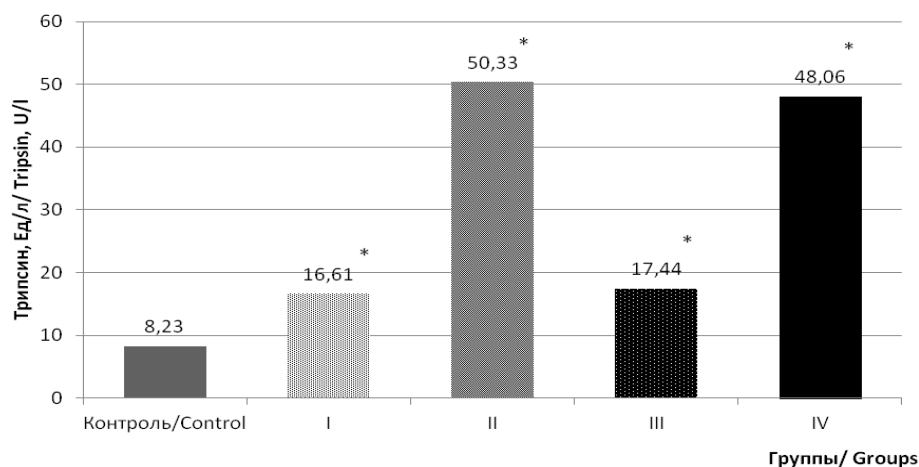


Рис. 2 – Уровень активности фермента трипсина при включении в рацион УДЧ Cr_2O_3 при введении в рацион подсолнечного жмыха и соевого шрота, Ед/л

Figure 2 – The level of activity of the enzyme trypsin when included in the diet of UDC Cr_2O_3 when introduced into the diet of sunflower meal and soybean meal, U/l

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

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

В ходе изучения уровня активности пищеварительных ферментов панкреатического сока в составе дуоденального химуса зафиксировано снижение данного показателя во всех опытных группах (рис. 3). Включение в рацион телят белковых добавок достоверно снижает активность фермента амилазы: в I группе – на 40,2 % ($P \leq 0,05$), в III – на 10,5 % относительно контрольной группы. Дополнительное введение в протеиновые рационы УДЧ хрома имело разнонаправленное влияние на амилазную активность опытных групп. Так, активность амилазы во II группе относительно того же рациона без включения УДЧ повышалась на 2,8 %, а относительно контроля 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 %.

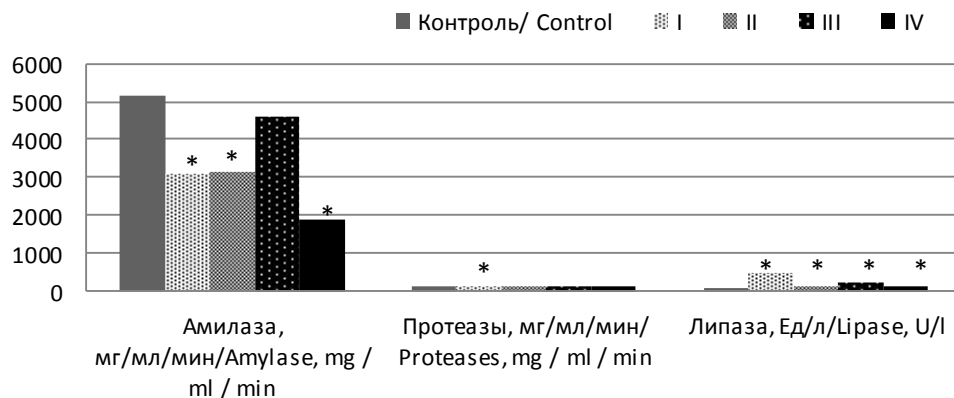


Рис. 3 – Уровень активности пищеварительных ферментов панкреатического сока в составе дуоденального химуса у телят при введении УДЧ хрома на фоне протеинового кормления (n=15, $M \pm m$)

Figure 3 – The level of activity of digestive enzymes of pancreatic juice in the composition of the duodenal chyme in calves with the introduction of chromium UDC against the background of protein feeding (n=15, $M \pm m$)

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

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

Активность кишечных протеаз в I группе достоверно была ниже, чем в контроле на 21,9 % ($P \leq 0,05$), во II – на 6,9 %, в IV – на 15,3 %. В группе, получавшей соевый шрот, протеолитическая активность относительно контрольного показателя оказалась выше на 4,5 %, однако данные оказались недостоверными.

Ультрадисперсные частицы Cr_2O_3 способствовали снижению активности фермента липазы во II группе в 4 раза относительно данного показателя в I группе, в IV – в 1,9 раз относительно III группы. Однако следует отметить, что активность липазы относительно контрольной группы во всех опытных группах был достоверно выше: в I группе – на 81,6 %, во II – на 26 %, в III – на 62,5 %, в IV – на 28,1 % ($P \leq 0,05$).

Обсуждение полученных результатов.

Ультрадисперсные частицы, благодаря уникальным биологическим свойствам, широко применяются во многих областях человеческой деятельности (Albanese A et al., 2012; Travan A et al., 2009; Choi SJ et al., 2010; Shim M et al., 2002; Ichikawa S et al., 2005; Taylor TM and Davidson PM, 2005). УДЧ активно используются в животноводстве для производства мясной продукции, с их помощью осуществляют насыщение рационов питательными веществами, улучшают биодоступность кормов, корректируют негативное влияние токсических веществ, течение процессов метаболизма и состояние организма в целом (Valdes MG et al., 2009; Silbergeld EK et al., 2008; Gonzales-Eguia A et al., 2009). Одним из перспективных для применения в медицине и животноводстве является препарат УДЧ хрома. Этот микроэлемент играет важную роль в регуляции обменных процессов в организме, содержится во многих органах и тканях, участвует в обмене белков, жиров и углеводов, стимулирует синтез белков тела (Кокорев В.А. и др., 2008а; 2008б; Кокорев В.А., 2007). Применение хрома в качестве добавки в рационах молодняка крупного рогатого скота способствует улучшению функциональной активности поджелудочной железы через повышение активности пищеварительных ферментов (Лебедев С.В. и др., 2018).

Введение хрома в кормлении лактирующих коров сопровождается улучшением пищеварительных процессов и повышением переваримости органических веществ, клетчатки и БЭВ (Кокорев В.А. и др., 2017).

При выращивании телят введение в рационы препарата УДЧ хрома в количестве 0,05-0,075 мг/кг сухого вещества способствует увеличению среднесуточных приростов на 6,6-3,3 % (Козинец А.И. и др., 2020).

Включение УДЧ Cr_2O_3 в рационы молодняка крупного рогатого скота на фоне увеличения массы белковых добавок в дозе 200 мг/гол./сут способствует повышению уровня панкреатической секреции на 12,3-26,3 % и активности пищеварительных ферментов: амилазы на 4,4-12,4 %, липазы – на 88,7-88,8 % и кишечных протеаз – на 14,2-25 % относительно контрольных значений. Повышение активности ферментов поджелудочной железы отмечалось у телят при введении в их рацион подкормки в виде ультрадисперсных частиц оксида хрома в дозе 1,4 мг/гол., что повысило уровень активности ферментов телят: амилазы – на 33,2 %, протеазы – на 25,4 %. Необходимо отметить, что ранее аналогичные результаты по влиянию УДЧ хрома на углеводный обмен установлены в исследованиях Wang MQ с коллегами (2012). При этом очевидно, что использование препарата УДЧ сопровождалось изменением обмена химических элементов, что связано с изменением содержания металлотионеина. В частности, ранее у Solis-Heredia MJ с соавторами (2000) показан пятикратный рост концентрации металлотионеина в поджелудочной железе на фоне дополнительного введения хрома в рацион. При этом наблюдаются дозозависимые изменения концентрации в поджелудочной железе ряда жизненно необходимых химических элементов. В частности, цинка, что закономерно отражается на секреторной функции поджелудочной железы.

Выводы.

Включение белковых добавок в рационы молодняка крупного рогатого скота сопровождается снижением экзокринной функции поджелудочной железы и активности панкреатической сек-

реции и пищеварительных ферментов. Это снижение возможно компенсировать дополнительным введением в рацион УДЧ Cr_2O_3 . При этом происходит активизация секреторной функции поджелудочной железы, увеличение активности пищеварительных ферментов: амилазы, липазы и кишечных протеаз.

Исследования выполнены при поддержке РНФ. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 20-16-00088)

Литература

1. Балабанов В.И. Нанотехнологии. Наука будущего. М.: Эксмо, 2009. 247 с. [Balabanov VI. Nanotekhnologii. Nauka budushchego. Moscow: Eksmo; 2009:247 p. (*In Russ*)].
2. Биологическое обоснование потребности молодняка крупного рогатого скота в хrome и его практическая значимость при травяном типе кормления / Федаев А.Н. и др. // Проблемы сохранения биоразнообразия Северо-Западного Прикаспия: материалы междунар. науч.-практ. конф., (г. Элиста, 20-21 окт. 2006 г.). Элиста: КГУ им. Б.Б. Городовикова, 2007. С. 169-177. [Fedayev AN et al. Biologicheskoe obosnovanie potrebnosti molodnyaka krupnogo rogatogo skota v khrome i ego prakticheskaya znachimost' pri travyanom tipe kormleniya (Conference proceedings) Problemy sokhraneniya bioraznoobraziya Severo-Zapadnogo Prikaspiya: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Elista, 20-21 okt. 2006 g.). Elista: KGU im. Gorodovikova BB; 2007:169-177. (*In Russ*)].
3. Влияние наночастиц хрома на активность пищеварительных ферментов и морфологические и биохимические параметры крови теленка / С.В. Лебедев, О.В. Кван, И.З. Губайдуллина, И.А. Гавриш, В.В. Гречкина, Б. Момчилович, Н.И. Рябов // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Том 101. № 4. С. 136-142. [Lebedev SV, Kvan OV, Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Grechkina VV, Momchilovich 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. Влияние хрома на молочную продуктивность коров / В.А. Кокорев и др. // Зоотехния. 2008а. № 9. С. 11-13. [Kokorev VA. Influence of chromium on milk production of cows. Zootechniya. 2008a; 9:11-13. (*In Russ*)].
5. Кокорев В.А., Федаев А.Н., Гибалкина Н.И. Обоснование использования хрома в кормлении крупного рогатого скота // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию кафедры разведения и генетики с.-х. животных УО «БГСХА». Горки: Белорус. гос. с.-х. академия, 2008б. С. 92-98. [Kokorev VA, Fedayev AN, Gibalkina NI. Obosnovanie ispol'zovaniya khroma v kormlenii krupnogo rogatogo skota (Conference proceedings) Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva: materialy XI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 75-letiyu kafedry razvedeniya i geneti-ki s.-kh. zhivotnykh UO «BGSKhA». Gorki: Belorus. gos. s.-kh. Akademiya; 2008b:92-98. (*In Russ*)].
6. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие / А.П. Калашников и др. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 2003. 456 с. [Kalashnikov AP et al. Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh: sprav. posobie. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow: Agropromizdat; 2003:456 p. (*In Russ*)].
7. Применение наночастиц хрома в рационах молодняка крупного рогатого скота / А.И. Козинец, Т.Г. Козинец, О.Г. Голушко, М.А. Надаринская, М.С. Гринь, А.В. Соловьев // Научное обеспечение животноводства Сибири: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Красноярск, 14-15 мая 2020 г.) / сост. Л.В. Ефимова, Ю.Г. Любимова; КрасНИИЖ ФИЦ КНЦ СО РАН. Красноярск, 2020. С. 257-260. [Kozinets AI, Kozinets TG, Golushko OG, Nadarinskaya MA, Grin'MS, Solov'ev AV. Primenenie nanochastits khroma v ratsionakh molodnyaka krupnogo rogatogo skota. (Conference proceedings) Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva Sibiri: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Krasnoyarsk, 14-15 maya 2020 g.) sost. Efimova LV, Lyubimova YuG; KrasNIIZh FITs KNTs SO RAN. Krasnoyarsk; 2020: 257-260. (*In Russ*)].

8. Синещеков А.Д. Процессы питания и нервная регуляция их у сельскохозяйственных животных // Тезисы докладов VIII Всесоюзного съезда физиологов, биохимиков, фармакологов. 1955. 736 с. [Sineshchekov AD. Protsessy pitaniya i nervnaya regulyatsiya ikh u sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh. Tezisy dokladov VIII Vsesoyuznogo s"ezda fiziologov, biokhimikov, farmakologov. 1955: 736 p. (*In Russ*)].
9. Способ приготовления кормовой добавки для молодняка крупного рогатого скота: пат. 2711259 Рос. Федерация / С.В. Лебедев, Е.В. Шейда, И.З. Губайдуллина, И.А. Гавриш, О.В. Кван, И.С. Мирошников, В.А. Рязанов, А.В. Быков, Б.Г. Рогачёв. Заявл. 29.03.19; опубл. 15.01.2020, Бюл. № 2. [Lebedev SV, Sheida EV, Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Kvan OV, Miroshnikov IS, Ryazanov VA, Bykov AV, Rogachev BG. Sposob prigotovleniya kormovoi dobavki dlya molodnyaka krupnogo rogatogo skota: pat. 2711259 Ros. Federatsiya. Zayavl. 29.03.19; opubl. 15.01.2020, Byul. № 2. (*In Russ*)].
10. Третьяков Ю.Д. Нанотехнологии. Азбука для всех. М: Физматлит, 2008. 368 с. [Tret'yakov YuD. Nanotekhnologii. Azbuka dlya vseh. Moscow: Fizmatlit; 2008:368 p. (*In Russ*)].
11. Albanese A, Tang PS, Chan WCW. The effect of nanoparticle size, shape, and surface chemistry on biological systems. *Annu Rev Biomed Eng.* 2012;14:1-16. doi: 10.1146/annurev-bioeng-071811-150124
12. Anderson RA. Stress effects on chromium nutrition of humans and farm animals. In: *Biotechnology in the feed industry: Proceedings of Alltech's Tenth Annual Symposium*, Lyons TP & Jacques KA, editors. University Press. Nottingham, UK; 1994:267-274.
13. Choi SJ, Oh JM, Choy JH. Biocompatible nanoparticles intercalated with anticancer drug for target delivery: pharmacokinetic and biodistribution study. *J Nanosci Nanotechnol.* 2010;10(4):2913-2916. doi: 10.1166/jnn.2010.1415
14. Davis CM, Vincent JB. Chromium oligopeptide activates insulin receptor tyrosine kinase activity. *Biochemistry.* 1997;36:4382-4385. doi: 10.1021/bi963154t
15. Davis CM, Sumrall KH, Vincent JB. A biologically active form of chromium may activate a membrane phosphotyrosine phosphatase (PTP). *Biochemistry.* 1996;35(39):12963-12969. doi: 10.1021/bi960328y
16. Gonzales-Eguia A, Fu C, Lu F, Lien T. Effects of nanocopper on copper availability and nutrients digestibility, growth performance and serum traits of piglets. *Livest Sci.* 2009;126(1-3):122-129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.06.009>
17. Ichikawa S, Iwamoto S, Watanabe J. Formation of biocompatible nanoparticles by self-assembly of enzymatic hydrolysates of chitosan and carboxymethyl cellulose. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2005;69(9):1637-1642.
18. Lien TF, Horng YM, Yang KH. Performance, serum characteristics, carcass traits and lipid metabolism of broilers as affected by supplement of chromium picolinate. *Br. Poult. Sci.* 1999;40(3):357-363. doi: <https://doi.org/10.1080/00071669987458>
19. Mikhailova AG, Khairullin RF, Demidyuk IV, Kostrov SV, Grinberg NV, Burova TV, Grinberg VY, Rumsh LD. Cloning, sequencing, expression, and characterization of thermostability of oligopeptidase B from *Serratia proteamaculans*, a novel psychrophilic protease. *Protein Express. Purificat.* 2014;93:63-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pep.2013.10.011>
20. Mowat DN. Organic chromium. A new nutrient for stressed animals. In: *Biotechnology in the feed industry: Proceedings of Alltech's Tenth Annual Symposium*, Lyons TP & Jacques KA, editors, University Press. Nottingham, UK; 1994:275-282.
21. Sahin K, Kucuk O, Sahin N. Effects of dietary chromium picolinate supplementation on performance, and plasma concentrations of insulin and corticosterone in laying hens under low ambient temperature. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2001;85(5-6):142-147. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0396.2001.00314.x>
22. Shim M, Kam NWS, Chen RJ, Li Y, Dai H. Functionalization of carbon nanotubes for biocompatibility and biomolecular recognition. *Nano Lett.* 2002;2(4):285-288. doi: <https://doi.org/10.1021/nl015692j>

23. Silbergeld EK, Graham J, Price LB. Industrial food animal production, antimicrobial resistance, and human health. *Annu Rev Public Health*. 2008;29:151-169. doi: 10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090904
24. Solis-Heredia MJ, Quintanilla-Vega B, Sierra-Santoyo A, Hernández J M, Brambila E, Cebrián ME, Albores A. Chromium increases pancreatic metallothionein in the rat. *Toxicology*. 1999;142(2):111-117. doi: 10.1016/s0300-483x(99)00130-4
25. Taylor TM, Davidson PM. Liposomal nanocapsules in food science and agriculture. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2005;45(7-8):587-605. doi: 10.1080/10408390591001135
26. Travan A, Pelillo C, Donati I, Marsich E, Benincasa M, Scarpa T et al. Non-cytotoxic silver nanoparticle-polysaccharide nanocomposites with antimicrobial activity. *Biomacromolecules*. 2009;10(6):1429-1435. doi: <https://doi.org/10.1021/bm900039x>
27. Valdes MG, Gonzalez ACV, Calzon JAG, Diaz-Garcia ME. Analytical nanotechnology for food analysis. *Microchim Acta*. 2009;166:1-19. doi: <https://doi.org/10.1007/s00604-009-0165-z>
28. Wang MQ, Wang C, Li H, Du YJ, Tao WJ, Ye SS, He YD. Effects of chromium-loaded chitosan nanoparticles on growth, blood metabolites, immune traits and tissue chromium in finishing pigs. *Biol Trace Elem Res*. 2012;149(2):197-203. doi: 10.1007/s12011-012-9428-3

References

1. Balabanov VI. Nanotechnology. Science of the future. Moscow: Eksmo; 2009:247 p.
2. Fedayev AN et al. Biological substantiation of the need for young cattle in chromium and its practical significance in the herbal type of feeding (Conference proceedings) Problems of biodiversity conservation in the North-Western Caspian region: materials of the international scientific-practical Conf., (Elista, October 20-21, 2006). Elista: KSU im. Gorodovikova BB; 2007:169-177.
3. Lebedev SV, Kvan OV, Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Grechkina VV, Momchilovich 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. Kokorev VA. Influence of chromium on milk production of cows. *Zootechniya*. 2008a; 9:11-13.
5. Kokorev VA, Fedayev AN, Gibalkina NI. Rationale for the use of chromium in feeding cattle (Conference proceedings) Actual problems of intensive development of animal husbandry: materials of the XI Intern. scientific and practical conference dedicated. To the 75th anniversary of the Department of Breeding and Genetics of Agricultural Animals of the EE "BGSKhA". Gorki: Belarusian State Agricultural Academy; 2008b:92-98
6. Kalashnikov AP, et al. Standards and diets of farm animals: Ref. book. 3rd ed., rework. and add. Moscow: Agropromizdat; 2003:456 p.
7. Kozinets AI, Kozinets TG, Golushko OG, Nadarinskaya MA, Grin' MS, Soloviev AV. Application of chromium nanoparticles in the diets of young cattle (Conference proceedings) Scientific support of animal husbandry in Siberia: materials of the IV Intern. scientific-practical conf. (Krasnoyarsk, May 14-15, 2020). comp. Efimova LV, Lyubimova YuG; KrasNIIZh FRC KSC SB RAS. Krasnoyarsk; 2020:257-260.
8. Sineschekov AD. Nutritional processes and their nervous regulation in farm animals. Abstracts of the VIII All-Union Congress of Physiologists, Biochemists, Pharmacologists. 1955:736 p.
9. Lebedev SV, Sheida EV, Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Kvan OV, Miroshnikov IS, Ryazanov VA, Bykov AV, Rogachev BG. Method for preparation of fodder additive for young cattle: pat. 2711259 Russian Federation. Applied. 29.03.19; publ. 15.01.2020, Byul. № 2.
10. Tretyakov YuD. Nanotechnology. ABC for everyone. Moscow: Fizmatlit; 2008:368 p.
11. Albanese A, Tang PS, Chan WCW. The effect of nanoparticle size, shape, and surface chemistry on biological systems. *Annu Rev Biomed Eng*. 2012;14:1-16. doi: 10.1146/annurev-bioeng-071811-150124
12. Anderson RA. Stress effects on chromium nutrition of humans and farm animals. In: Biotechnology in the feed industry: Proceedings of Alltech's Tenth Annual Symposium, Lyons TP & Jacques KA, editors. University Press. Nottingham, UK; 1994:267-274.

13. Choi SJ, Oh JM, Choy JH. Biocompatible nanoparticles intercalated with anticancer drug for target delivery: pharmacokinetic and biodistribution study. *J Nanosci Nanotechnol.* 2010;10(4):2913-2916. doi: 10.1166/jnn.2010.1415
14. Davis CM, Vincent JB. Chromium oligopeptide activates insulin receptor tyrosine kinase activity. *Biochemistry.* 1997;36:4382-4385. doi: 10.1021/bi963154t
15. Davis CM, Sumrall KH, Vincent JB. A biologically active form of chromium may activate a membrane phosphotyrosine phosphatase (PTP). *Biochemistry.* 1996;35(39):12963-12969. doi: 10.1021/bi960328y
16. Gonzales-Eguia A, Fu C, Lu F, Lien T. Effects of nanocopper on copper availability and nutrients digestibility, growth performance and serum traits of piglets. *Livest Sci.* 2009;126(1-3):122-129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.06.009>
17. Ichikawa S, Iwamoto S, Watanabe J. Formation of biocompatible nanoparticles by self-assembly of enzymatic hydrolysates of chitosan and carboxymethyl cellulose. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2005;69(9):1637-1642.
18. Lien TF, Horng YM, Yang KH. Performance, serum characteristics, carcass traits and lipid metabolism of broilers as affected by supplement of chromium picolinate. *Br. Poult. Sci.* 1999;40(3):357-363. doi: <https://doi.org/10.1080/00071669987458>
19. Mikhailova AG, Khairullin RF, Demidyuk IV, Kostrov SV, Grinberg NV, Burova TV, Grinberg VY, Rumsh LD. Cloning, sequencing, expression, and characterization of thermostability of oligopeptidase B from *Serratia proteamaculans*, a novel psychrophilic protease. *Protein Express. Purificat.* 2014;93:63-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pep.2013.10.011>
20. Mowat DN. Organic chromium. A new nutrient for stressed animals. In: *Biotechnology in the feed industry: Proceedings of Alltech's Tenth Annual Symposium*, Lyons TP & Jacques KA, editors, University Press. Nottingham, UK; 1994:275-282.
21. Sahin K, Kucuk O, Sahin N. Effects of dietary chromium picolinate supplementation on performance, and plasma concentrations of insulin and corticosterone in laying hens under low ambient temperature. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2001;85(5-6):142-147. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0396.2001.00314.x>
22. Shim M, Kam NWS, Chen RJ, Li Y, Dai H. Functionalization of carbon nanotubes for biocompatibility and biomolecular recognition. *Nano Lett.* 2002;2(4):285-288. doi: <https://doi.org/10.1021/nl015692j>
23. Silbergeld EK, Graham J, Price LB. Industrial food animal production, antimicrobial resistance, and human health. *Annu Rev Public Health.* 2008;29:151-169. doi: 10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090904
24. Solis-Heredia MJ, Quintanilla-Vega B, Sierra-Santoyo A, Hernández J M, Brambila E, Cebrián ME, Albores A. Chromium increases pancreatic metallothionein in the rat. *Toxicology.* 1999;142(2):111-117. doi: 10.1016/s0300-483x(99)00130-4
25. Taylor TM, Davidson PM. Liposomal nanocapsules in food science and agriculture. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2005;45(7-8):587-605. doi: 10.1080/10408390591001135
26. Travan A, Pelillo C, Donati I, Marsich E, Benincasa M, Scarpa T et al. Non-cytotoxic silver nanoparticle-polysaccharide nanocomposites with antimicrobial activity. *Biomacromolecules.* 2009;10(6):1429-1435. doi: <https://doi.org/10.1021/bm900039x>
27. Valdes MG, Gonzalez ACV, Calzon JAG, Diaz-Garcia ME. Analytical nanotechnology for food analysis. *Microchim Acta.* 2009;166:1-19. doi: <https://doi.org/10.1007/s00604-009-0165-z>
28. Wang MQ, Wang C, Li H, Du YJ, Tao WJ, Ye SS, He YD. Effects of chromium-loaded chitosan nanoparticles on growth, blood metabolites, immune traits and tissue chromium in finishing pigs. *Biol Trace Elem Res.* 2012;149(2):197-203. doi: 10.1007/s12011-012-9428-3

Шейда Елена Владимировна, 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; Оренбургский

государственный университет, старший научный сотрудник, экспериментально-биологическая клиника, 460018, г. Оренбург, пр-т Победы 13, тел.: 8-9228-62-64-02, e-mail: elena-snejjda@mail.ru

Мирошников Сергей Александрович, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-70, e-mail: fncbst@mail.ru

Лебедев Святослав Валерьевич, 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, e-mail: lsv74@list.ru

Гречкина Виктория Владимировна, 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; Оренбургский государственный аграрный университет, доцент кафедры незаразных болезней животных, 460000, г. Оренбург, ул. Челюскинцев 18, тел. 8-922-877-14-97, e-mail: Viktoria1985too@mail.ru

Рязанов Виталий Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, 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(3532)30-81-79, e-mail: vita7456@yandex.ru

Шошина Оксана Вячеславовна, младший 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. 8-987-891-96-55, e-mail: oksana.shoshina.98@mail.ru

Поступила в редакцию 10 ноября 2020 г.; принята после решения редколлегии 14 декабря 2020 г.; опубликована 31 декабря 2020 г. / Received: 10 November 2020; Accepted: 14 December 2020; Published: 31 December 2020