

ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ І ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА
ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINEУДК 636.4.053.087.72
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-1-74-84>Поступила в редакцию 28.08.2018
Received 28.08.2018**В. М. Голушко, А. В. Кравченко, С. А. Линкевич***Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству,
Жодино, Беларусь***ПРИМЕНЕНИЕ В РАЦИОНАХ КОРМЛЕНИЯ МОЛОДНЯКА СВИНЕЙ
РАЗЛИЧНЫХ ДОЗИРОВОК И ФОРМ ХРОМА**

Аннотация: Уровень биогенной значимости хрома в организме животных обуславливается большим количеством жизненно важных процессов, в которых он участвует. Биологическое значение имеет трехвалентная форма хрома (III). Нормы содержания хрома в рационах сельскохозяйственных животных в настоящее время варьируют от 0,2 до 4,2 мг на 1 кг сухого вещества, он представлен в основном соединениями в виде солей и хелатов. Отличительной особенностью наночастиц микроэлементов является способность активизировать физиологические и биохимические процессы при использовании их в очень малых дозах. Материалы статьи посвящены изучению применения в рационах кормления молодняка свиней разных дозировок и форм хрома: в виде сернокислой соли (4,16 мг/кг сухого вещества комбикорма) и в форме наночастиц (0,5, 0,083, 0,05, 0,02 мг/кг сухого вещества комбикорма). Исследования показали, что обогащение рационов хромом в форме наночастиц в количестве 0,05 мг в расчете на 1 кг сухого вещества было наиболее эффективным. Установлено, что использование наночастиц хрома в кормлении свиней путем добавления их в воду, на которой замешивался комбикорм до рыхлой каши, было более эффективным, чем путем напыления их на пшеничные отруби. Выявлено положительное влияние скармливания наночастиц хрома на среднесуточный прирост живой массы животных и на мясные качества туш. Установлена высокая оценка биологической безопасности продуктов убоя подопытных свиней на тест-организмах *Tetrahymena piriformis* и лабораторных мышах. Полученные данные в ходе исследований позволяют рекомендовать применение наночастиц хрома в количестве 0,05 мг на 1 кг сухого вещества комбикорма для молодняка свиней периода дорастивания и откорма с целью увеличения среднесуточного прироста их живой массы, сокращения затрат кормов на ее получение, повышения качества мясной продукции животных и экономической эффективности ее производства.

Ключевые слова: кормление свиней, молодняк свиней, кормовая добавка, хром, сернокислый хром, наночастицы хрома, микроэлементы, живая масса, состав крови, морфология, биохимия, качество мяса, токсикология

Для цитирования: Голушко, В. М. Применение в рационах кормления молодняка свиней различных дозировок и форм хрома / В. М. Голушко, А. В. Кравченко, С. А. Линкевич // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2019. – Т. 57, № 1. – С. 74–84. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-1-74-84>

V. M. Golushko, A. V. Kravchenko, S. A. Linkevich*The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry,
Zhodino, Belarus***DIFFERENT DOSES AND FORMS OF CHROMIUM IN DIETS FOR YOUNG PIGS**

Abstract: The level of biogenic significance of chromium in animals is determined by a generous amount of vital processes it participates in. The trivalent form of chromium (III) has biological significance. Standard chromium level in diets for farm animals currently vary from 0.2 to 4.2 mg per 1 kg of dry matter, and chromium is represented mainly by compounds in the form of salts and chelates. A distinctive feature of microelement nanoparticles is the ability to activate physiological and biochemical processes when used in very small doses. The paper dwells on study of different doses and forms of chromium in diets for young pigs: in the form of sulphate (4.16 mg/kg of dry matter of feed) and in the form of nanoparticles (0.5, 0.083, 0.05, 0.02 mg/kg of dry matter of feed). Research showed that enrichment of diets with chromium in the form of nanoparticles

in the amount of 0.05 mg per 1 kg of dry matter was most effective. It was determined that use of chromium nanoparticles for feeding pigs by adding them to water, the feed was kneaded up to obtain loose porridge, was more efficient than spraying on wheat bran. The positive effect of feeding animals with chromium nanoparticles on meat traits of carcass was revealed. A high assessment of biological safety of slaughter products of experimental pigs using test organisms of *Tetrahymena piriformis* and laboratory mice was determined. The data obtained in the course of research allow to recommend using chromium nanoparticles in the amount of 0.05 mg per 1 kg of dry matter of feed for young pigs during rearing and fattening periods in order to increase the average daily weight gain, reduce feed cost for its production, improve meat products quality and production economic efficiency.

Keywords: pigs feeding, young pigs, feed additive, chromium, chromium sulphate, chromium nanoparticles, trace elements, body weight, blood composition, morphology, biochemistry, meat quality, toxicology

For citation: Golushko V. M., Kravchenko A. V., Linkevich S. A. Different doses and forms of chromium in diets for young pigs // *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2019, vol. 57, no 1, pp. 74-84 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-1-74-84>

Введение. В развитии промышленного свиноводства значительное место занимает разработка и внедрение современных, адаптированных к местным кормовым условиям и породному составу свиней систем полноценного кормления с целью проявления их высокой генетически обусловленной продуктивности. В этой системе важное место занимает обеспечение потребности животных во всех минеральных элементах, выполняющих разнообразные физиологические, биохимические, пластические функции. Практически все биологические реакции обмена веществ, экспрессия генов обеспечивается теми или иными минеральными элементами [1, 2].

В настоящее время известно около 80 минеральных элементов, которые постоянно находятся в организме животных. В ходе последних исследований из числа считавшихся случайными выявлен ряд элементов, необходимых для жизнедеятельности организма животных: селен, хром, молибден, литий, кремний, никель, ванадий, свинец, олово и др. Среди них особое место занимает хром, при участии которого активизируется гормон инсулин и обеспечивается нормальный обмен углеводов, аминокислот, липидов. Уровень биогенной значимости хрома в организме животного обуславливается количеством жизненно важных процессов, в которых он участвует, и химической формой. Биологическое значение имеет только трехвалентная форма хрома (III), которая обладает низкой токсичностью и способна образовывать в организме биологически активные комплексы.

Одним из первых исследователей в области биохимического значения хрома были К. Swartz и W. Mertz [3]. На крысах и свиньях ими установлено, что трехвалентный хром участвует в механизме регуляции обмена глюкозы, позднее это явление было названо «глюкозо-толерантным фактором» (GTF). Также было доказано, что хром оказывает влияние на использование глюкозы для биосинтеза липидов и образования CO_2 . При дефиците хрома в организме создаются условия, при которых глюкоза остается в крови, вследствие чего продукты гликозилирования накапливаются в тканях, что выражается в снижении функциональной активности многих органов и систем.

Оптимизацией хромового питания крупного рогатого скота занимался ряд российских ученых [4–9]. Результаты их исследований показывают, что введение трехвалентного хрома в рационы крупного рогатого скота способствовало более интенсивному росту и развитию молодняка, лучшей переваримости питательных веществ кормов, оказывало положительное действие на молочную продуктивность коров, химический состав и качество молока.

Исследованиями на свиноматках белорусской черно-пестрой породы было установлено, что дополнительное включение сернистого хрома (III) в состав рациона в количестве 20 мг (4,16 мг Cr) способствовало увеличению оплодотворяемости и плодовитости подопытных свиноматок, увеличению живой массы поросят при рождении и на 21–21 день подсосного периода, а также их сохранности. Отмечается положительное действие хрома на гормональный статус (концентрация в крови эстрадиола, прогестерона, ЛГ и ФСГ, кортизола) и биохимический состав крови свиноматок [10].

В практике кормления сельскохозяйственных животных все неорганические и органические соединения микроэлементов вносятся в рационы и комбикорма в составе премиксов. В послед-

нее время интенсивно изучается применение в растениеводстве и животноводстве нанопорошков металлов микроэлементов. Данные биопрепараты нового поколения могут быть представлены в виде ультрадисперсных порошков металлов или их эмульсий. Их биодоступность значительно повышена за счет увеличения площади поверхности образующихся наночастиц металлов микроэлементов [11, 12]. Размер частиц нанометаллов может составлять 5–30 нм, а минимальный размер пор растительных и животных клеток – около 40 нм. Благодаря такому небольшому размеру частиц попадание микроэлементов внутрь клетки проходит быстро и эффективно [13].

Отличительной особенностью наночастиц микроэлементов является способность активизировать физиологические и биохимические процессы при использовании их в очень малых дозах. Это позволяет значительно снизить дозировки используемых микроэлементов в составе рационов кормления животных.

Имеются данные исследований ряда авторов [14–19], свидетельствующие, что применение нанопорошков биогенных микроэлементов в рационах сельскохозяйственных животных способствует достоверному увеличению их продуктивности, активации пищеварительных ферментов, улучшающих пищеварение и усвоение питательных веществ рационов. Они положительно влияют на отложение витамина А в печени и мышцах, стимуляцию секреции соматропина в гипофизе, содержание ферментных элементов в крови, общего белка и глюкозы, а также в целом на интенсивность обменных процессов и иммунную систему организма животных. Особо следует подчеркнуть положительное влияние хрома в зависимости от размерности частиц на среднесуточную скорость прироста живой массы свиней и морфологический состав туш [18, 19].

На основании проанализированных источников литературы можно сделать вывод, что хром является важным биогенным элементом для организма сельскохозяйственных животных, в частности для свиней. Он увеличивает активность рецепторов клеточной мембраны на действие инсулина и уровень глюкозы в крови, ускоряет процесс окисления глюкозы в жировой ткани в присутствии инсулина, участвует в процессе регулирования синтеза гликогена в печени и мышцах.

Рекомендуемые нормы ввода хрома в рационы животных в расчете на килограмм сухого вещества варьируют от 0,2 до 5 мг, они представлены в основном ионными соединениями трехвалентного хрома в виде солей и хелатных соединений. Изучение использования наночастиц хрома в кормлении находится в начале пути. В Институте физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси разработана технология получения наночастиц металлов, в том числе и хрома.

Представляет большой научно-практический интерес изучение применения в кормлении молодняка свиней наночастиц хрома (*n*-хрома) и их влияние на физиологическое состояние и продуктивность животных.

Материалы и методы исследований. Работа была выполнена в лаборатории кормления свиней Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по животноводству в 2018 г. Научно-хозяйственные опыты проводились в условиях свиноводческой фермы СПК «Первомайский», производственные испытания – в условия свиноводческой школы-фермы ГП «ЖодиноАгроПлемЭлита» Смолевичского района Минской области.

При постановке опытов использовался хром сернокислый (III) 6-водный и ультрадисперсная суспензия с содержанием 1 г наночастиц хрома (III) в 1 л («Наноплант Хром (К)») с размером наночастиц хрома 5–30 нм, окруженных полимерной оболочкой. Наличие медленно рассасывающейся в содержимом желудочно-кишечного тракта животных оболочки из биогенного полимера обеспечивает эффект пролонгированного действия препарата.

Введение хрома в состав рациона кормления молодняка свиней осуществлялось:

– путем добавления в полнорационный комбикорм 0,5%-ной смеси пшеничных отрубей и сернокислого хрома;

– путем добавления в полнорационный комбикорм 0,5%-ной смеси пшеничных отрубей с напылёнными на них наночастицами хрома;

– путем добавления наночастиц в воду, на основе которой замешивался полнорационный комбикорм до рыхлой каши (со средней влажностью 57 %).

Количество ввода сернокислого хрома было взято в соответствии с опытной нормой, установленной для свиноматок [10].

Напыление на пшеничные отруби наночастиц хрома в виде ультрадисперсной суспензии «Наноплант Хром (К)» было выполнено в Институте физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси в барабанном смесителе LP-125.

Внесение обогащенных хромом пшеничных отрубей в состав опытных комбикормов осуществлялось в шнековом смесителе вертикального типа, предназначенном для смешивания сыпучих кормов Oldmill Grinder&Mixer.

В опытах использовались помесные свиньи мясного направления продуктивности БКБ × БМ, в производственных испытаниях – БМ. Животные подбирались методом пар-аналогов в группы из числа аналогичных животных по происхождению, полу и живой массе. Исследования проводились согласно схеме, представленной в табл. 1.

Таблица 1. Схема исследований кормления молодняка свиней

Table 1. Layout for studying the feeding of young pigs

Группа	Количество животных, гол.	Особенности кормления
<i>Первый опыт (поросята на доращивании)</i>		
I контрольная	14	ОР (СК-21 с премиксом КС 3-3, влажность 14 %)
II опытная	14	ОР + 4,16 мг Сг на 1 кг сухого вещества комбикорма, (сернистый хром (III) 6-водный), в составе пшеничных отрубей
III опытная	14	ОР + 0,083 мг nСг на 1 кг сухого вещества комбикорма, в составе пшеничных отрубей
IV опытная	14	ОР + 0,083 мг nСг на 1 кг сухого вещества комбикорма, с водой
V опытная	14	ОР + 0,042 мг nСг на 1 кг сухого вещества комбикорма, с водой
<i>Второй опыт (поросята на откорме)</i>		
I контрольная	16	ОР (СК-26 с премиксом КС-4-1, влажность 14 %)
II опытная	16	ОР + 4,16 мг Сг на 1 кг сухого вещества комбикорма, (сернистый хром (III) 6-водный)
III опытная	16	ОР + 0,5 мг nСг на 1 кг сухого вещества комбикорма, с водой
IV опытная	16	ОР + 0,05 мг nСг на 1 кг сухого вещества комбикорма, с водой
V опытная	16	ОР + 0,02 мг nСг на 1 кг сухого вещества комбикорма, с водой

В опыте с поросятами на доращивании было сформировано 5 групп в возрасте 80–83 дней со средней живой массой при постановке 28,4 кг. Животных подбирали и распределяли по группам методом пар-аналогов, по 14 гол. в группе из числа аналогичных животных по происхождению, полу и живой массе. Полнорационный комбикорм скармливался в виде влажной смеси (57%-ной влажности, соотношение комбикорма СК-21 и воды как 1:1). Первая группа поросят являлась контрольной. В их рацион хром не вводился. Поросятам II опытной группы скармливали рацион на основе полнорационного комбикорма СК-21 и добавлением 4,16 мг хрома на 1 кг сухого вещества в форме сернистого хрома с 0,5 % пшеничных отрубей. В состав рациона на основе полнорационного комбикорма СК-21 для поросят III опытной группы хром вводился в составе 0,5 % пшеничных отрубей с нанесенным препаратом n-хрома в количестве 0,083 мг в расчете на 1 кг сухого вещества. Поросятам IV и V опытных групп скармливали тот же рацион на основе комбикорма СК-21, в который хром в виде наночастиц вносили с водой, на основе которой готовили влажную комовую смесь. Количество n-хрома, которое вносили с водой в комбикорм для IV подопытной группы было таким, как и для III группы – 0,083 мг/кг сухого вещества, вносимое с пшеничными отрубями. Для поросят V опытной группы количество n-хрома было сокращено в 2 раза по сравнению с IV группой и составило 0,042 мг/кг сухого вещества комбикорма.

Целью второго научно-хозяйственного опыта было определение эффективности различных дозровок ввода n-хрома с водой в комбикорма для откармливаемого молодняка свиней. Было сформировано 5 групп поросят периода откорма в возрасте 120–122 дня со средней живой массой при постановке 53,0–53,1 кг. Свиней подбирали и распределяли по группам методом пар-аналогов, по 16 гол. в группе из числа аналогичных животных по происхождению, полу и живой массе. Полнорационный комбикорм скармливался всем группам в виде влажной смеси (57%-ной влажности, соотношение комбикорма и воды как 1:1).

Первая группа поросят являлась контрольной. Им скармливался основной рацион, представленный комбикормом СК-26 со стандартным премиксом КС-4-1 без ввода хрома. Поросятам II опытной группы скармливали тот же комбикорм, что и для первой, но с добавлением 0,5 % смеси пшеничных отрубей с 20 мг сернокислого хрома, обеспечивающей содержание 4,16 мг хрома на 1 кг сухого вещества комбикорма. Поросятам III, IV и V опытных групп скармливали основной рацион с введением *n*-хрома с водой, на основе которой готовили влажную смесь из расчета 0,5, 0,05 и 0,02 мг на 1 кг сухого вещества комбикорма соответственно.

В ходе исследований в начале и в конце откорма были определены некоторые гематологические показатели пяти животных от каждой группы при помощи автоматического анализатора Medonic CF-620, а в сыворотке крови определяли биохимические следующие показатели: общий белок, мочевины, глюкозу, холестерин, кальций, фосфор на анализаторе Cormay Liasys.

С целью оценки качества получаемой свинины, мясных качеств туш, качества и толщины хребтового шпика по завершению откорма был проведен контрольный убой 5 средних животных из каждой группы.

Для производственной проверки наиболее эффективной дозировки *n*-хрома с водой в составе рациона были сформированы две группы животных из числа молодняка свиней на откорме, по 60 гол. в каждой. Животные контрольной группы получали стандартный полнорационный комбикорм СК-26, а опытной группы аналогичный комбикорм и наночастицы хрома. Комбикорм скармливался обеим группам в смеси с водой при соотношении комбикорма к воде 1:2. В воду для животных опытной группы вносили 0,05 мг *n*-хрома в расчете на 1 кг сухого вещества рациона. В опыте изучали изменение живой массы подопытных животных, потребление кормов, морфологический состав туш и физико-химические показатели мяса и сала от 5 средних животных из каждой группы после проведения контрольного убоя.

Биометрическая обработка материалов исследований проведена по общепринятым методам вариационной статистики по П. Ф. Рокицкому¹ с использованием электронно-вычислительной техники и пакета программ Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Применение хрома в рационах кормления поросят на дорацивании оказывало положительное влияние на их живую массу и скорость роста (табл. 2).

Таблица 2. Живая масса и среднесуточный прирост поросят на дорацивании

Table 2. Body weight and average daily weight gain of piglets at growing

Показатель	Группа животных				
	I контрольная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
<i>Средняя живая масса одного поросенка, кг</i>					
В начале опыта	28,4±1,51	28,4±1,55	28,4±1,51	28,4±1,56	28,4±1,58
В конце опыта	50,2±1,64	50,4±1,83	50,9±1,82	51,7±1,77	52,2±1,61
Абсолютный прирост живой массы	21,8±0,71	22,0±1,27	22,5±1,60	23,3±0,85	23,8±0,56*
<i>Среднесуточный прирост живой массы, г</i>					
За весь период опыта	519,0±16,96	523,8±30,31	535,7±38,08	554,8±20,19	566,7±13,25*
В % к контролю	100	100,9	103,2	106,9	109,2

* $P \leq 0,05$.

Результаты опыта свидетельствуют о лучшей эффективности применения хрома в виде наночастиц с водой по сравнению с использованием сернокислого хрома и *n*-хрома в смеси с пшеничными отрубями (II и III опытные группы). Нарастивание живой массы за весь период опыта у подопытных животных, получавших наночастицы хрома с водой в дозе 0,083 и 0,042 мг на 1 кг сухого вещества комбикорма, было самым высоким. Среднесуточный прирост поросят в IV группе, получавших 0,083 мг *n*-хрома на 1 кг сухого вещества комбикорма, был больше на 6,9 %, а в V подопытной группе с внесением 0,042 мг/кг сухого вещества комбикорма – на 9,2 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с контрольной группой. Минимальная дозировка *n*-хрома 0,042 мг/кг сухого веще-

¹ Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. – 3-е изд., испр. – Минск: Выш. шк., 1973. – 320 с.

ства комбикорма оказалась достаточной для обеспечения потребности поросят в этом биогенном элементе.

Введение *n*-хрома в концентрации 0,083 мг на 1 кг сухого вещества комбикорма с водой было эффективней по сравнению с напылением на пшеничные отруби. Установлено, что более эффективно питательные вещества рациона использовали животные IV группы, у которых среднесуточный прирост живой массы был выше на 3,6 % по сравнению с III группой. Можно заключить, что препарат хрома при введении через воду лучше распределяется в комбикорме и поступает в организм животного в нормируемом количестве. Следует отметить, что оптимальная дозировка *n*-хрома 0,042 мг, используемого с водой для приготовления влажной смеси, была почти в 100 раз меньше, чем дозировка хрома в составе сернокислой соли.

Результаты исследований по введению хрома в рационы молодняка свиней на откорме представлены в табл. 3.

Таблица 3. Изменение живой массы молодняка свиней на откорме

Table 3. Body weight change of young pigs at fattening

Показатель	Группа животных				
	I контрольная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
<i>Средняя живая масса одного поросенка, кг</i>					
В начале опыта	53,0±1,74	53,1±2,00	53,0±1,72	53,1±1,84	53,0±1,85
В конце опыта	105,1±2,76	107,1±3,43	107,6±1,80	109,2±2,05	107,8±3,20
Абсолютный прирост живой массы	52,1±1,58	54,0±2,35	54,6±1,11	56,1±0,93*	54,8±1,71
<i>Среднесуточный прирост живой массы, г</i>					
За весь период опыта	585,4±17,72	606,7±26,43	613,5±12,53	630,3±10,50*	615,7±19,24
В % к контролю	100	103,6	104,8	107,7	105,2

* $P \leq 0,05$.

Из данных табл. 3 следует, что использование хрома в рационах откармливаемого молодняка свиней способствует его более интенсивному росту.

Введение сернокислого хрома в смеси с пшеничными отрубями в рацион свиней II подопытной группы из расчета 4,16 мг хрома на 1 кг сухого вещества комбикорма вызвало тенденцию к увеличению среднесуточного прироста живой массы на 3,6 % по сравнению с контрольной группой.

Обогащение рационов хромом в форме наночастиц с водой в количестве 0,05 мг на 1 кг сухого вещества корма было наиболее эффективным для наращивания живой массы молодняка свиней. Средняя живая масса в конце опыта составила 109,2 кг у животных этой группы.

Абсолютный и среднесуточный прирост живой массы животных этой группы был достоверно выше на 7,7 % по сравнению с контрольной. Как более высокая дозировка *n*-хрома (0,5 мг/кг), так и сниженная в 2,5 раза (0,02 мг/кг) были менее эффективными по наращиванию живой массы откормочников по сравнению с дозировкой 0,05 мг на 1 кг сухого вещества рациона.

Изучаемые дозировки ввода хрома как в ионной форме в составе сернокислого хрома, так и в наноформе чистого элемента не выходили за пределы диапазона его биологической активности и токсичности. Это заключение также подтверждается результатами изучения морфологического состава крови и некоторых биохимических метаболитов в ее сыворотке (табл. 4).

Анализ морфо-биохимических показателей крови показал, что все они находились в пределах физиологической нормы как в начале опыта, так и в конце выращивания животных, и существенных различий между группами не отмечается. Можно отметить тенденцию в более низких показателях содержания белка, в сыворотке крови животных, получавших *n*-хром, что свидетельствует о более интенсивном его использовании на пластические функции для синтеза белков других органов и тканей. Такое явление наблюдалось у интенсивно растущих животных другими исследователями [20]. В сыворотке крови животных, получивших хром как в составе сернокислой соли, так и *n*-хром, отмечается снижение содержания холестерина. О влиянии хрома на содержание холестерина в сыворотке крови крыс сообщалось еще в 1972 г. [21]. Следует указать на более низкое содержание кальция и фосфора в крови поросят, получавших *n*-хром.

Таблица 4. Гематологические показатели подопытных свиней

Table 4. Hematological indices of experimental pigs

Показатель	Группа животных				
	I контрольная	II опытная	III опытная	IV опытная	V опытная
<i>В начале исследований</i>					
Гемоглобин, г/л	115,5±3,23	113,0±4,62	106,5±1,66	108,5±1,71	115,0±2,35
Эритроциты, 10 ¹² /л	6,29±0,25	6,03±0,20	5,76±0,07	5,91±0,12	6,02±0,33
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	13,68±1,73	14,75±1,76	13,98±1,42	14,08±2,36	15,68±1,56
Общий белок, г/л	73,95±4,96	66,13±2,41	72,88±1,31	64,68±4,99	59,6±6,36
Мочевина, ммоль/л	4,56±0,75	3,80±0,30	3,99±0,14	4,04±0,16	4,29±0,33
Глюкоза, ммоль/л	3,83±0,77	3,68±0,34	3,85±0,39	4,28±0,15	3,63±0,52
Холестерин, ммоль/л	2,44±0,14	2,23±0,17	2,28±0,14	2,19±0,23	2,26±0,14
Кальций, ммоль/л	3,19±0,07	3,09±0,10	3,11±0,05	2,81±0,07	2,80±0,08
Фосфор, ммоль/л	3,13±0,23	2,86±0,13	2,97±0,08	2,75±0,06	2,95±0,19
<i>В конце исследований</i>					
Гемоглобин, г/л	126,0±8,07	109,2±10,46	125,0±1,78	124,0±6,75	124,5±5,69
Эритроциты, 10 ¹² /л	6,54±0,56	5,59±0,83	6,13±0,12	5,96±0,34	6,21±0,13
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	13,73±1,21	13,18±3,33	13,88±1,28	13,33±0,88	15,03±0,74
Общий белок, г/л	79,43±4,36	78,05±5,11	67,65±1,99*	70,63±3,13	67,88±1,99
Мочевина, ммоль/л	3,49±0,34	3,43±0,30	3,86±0,19	3,36±0,12	3,38±0,44
Глюкоза, ммоль/л	3,30±0,58	3,33±0,21	3,25±0,21	3,48±0,33	2,95±0,33
Холестерин, ммоль/л	2,88±0,34	2,38±0,10	2,56±0,03	2,36±0,10	2,37±0,31
Кальций, ммоль/л	3,03±0,15	2,99±0,15	2,59±0,12	2,77±0,17	2,34±0,14*
Фосфор, ммоль/л	3,42±0,34	3,15±0,19	2,96±0,15	2,91±0,18	2,98±0,27

* $P \leq 0,05$.

В результате контрольного убоя пяти средних животных из каждой группы было установлено, что самые высокие показатели мясной продуктивности были у животных IV опытной группы, получавших 0,05 мг *n*-хрома на 1 кг сухого вещества комбикорма. Выход мякотной части туши в расчете на 1 кг костей в этой группе составил 7,14 кг, что больше на 7,2 % по сравнению с контролем. Толщина шпика над 6–7-м грудным позвонками у подопытных свиней находилась в пределах 29,9–27,5 мм. Площадь поперечного сечения длиннейшей мышцы спины в контрольной и II опытной группе была примерно одинаковой и составила 40,9 и 41,8 см² соответственно. Площадь «мышечного глазка» у свиней III, IV и V групп, в комбикорм которых вводился *n*-хром, существенно отличался большей величиной и составлял 47,1, 48,6 и 49,7 см² соответственно. Разница с контролем достоверна при $P \leq 0,05$.

В результате токсикологической и биологической оценки образцов мяса и печени от животных, потреблявших хром в различных дозировках и формах, установлено, что у тест-организмов *Tetrahytmena piriformis* через 2 ч, 4, 6, 24 и 96 ч изменений их форм и характера движений не отмечалось.

В опыте на белых мышах, получавших и не получавших хром, отклонений в состоянии здоровья не обнаружено, шерстный покров был гладким, блестящим. Случаев падежа и заболеваний животных не было. Прирост живой массы мышей, получавших образцы мяса и печени от животных, получавших хром, был больше, чем у не получавших хром. При патологоанатомическом вскрытии изменений во внутренних органах лабораторных животных не выявлено.

На этом основании можно сделать заключение, что образцы мяса и печени молодняка свиней, которым скармливался хром в виде соли и наночастиц, положительно повлияли на прирост живой массы мышей и являются биологически безвредными и не токсичными.

Результаты производственных испытаний наиболее эффективной дозировки 0,05 мг/кг сухого вещества комбикорма наночастиц хрома с водой для молодняка свиней на откорме представлены в табл. 5.

Полученные опытные данные свидетельствуют о том, что ввод наночастиц хрома к полнорационному комбикорму, который скармливали на протяжении 100 кормо-дней животным опытной группы, достоверно приводил к их более интенсивному росту. Свиньи опытной группы

в конце периода в среднем весили больше на 6,3 кг, или на 6,3 % ($P \leq 0,005$). У них отмечен достоверно более высокий среднесуточный прирост живой массы, который был больше на 61 г, или на 9,8 % ($P \leq 0,005$). Было установлено, что животные опытной группы потребляли комбикормов меньше на 1,5 %, а в расчете на 1 кг прироста живой массы – на 10,4 %. На конец откорма сохранность в контрольной группе составила 96,5 %, что ниже на 3,5 % по сравнению с опытной группой, где данный показатель составил 100 %. Животные выбыли по причине травмы конечностей. В конце откорма был проведен убой животных, по 5 гол. из контрольной и опытной группы, с анатомической разделкой туши и отбором средних проб мяса длиннейшей мышцы спины и хребтового подкожного сала на предмет определения физико-химических и морфологических показателей (табл. 6).

Таблица 5. Показатели роста подопытного молодняка свиней и расхода кормов

Table 5. Growth rate indicators of experimental pigs and feed consumption

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
Количество животных, гол.:		
в начале опыта	60	60
в конце опыта	58	60
Средняя живая масса одной головы, кг:		
в начале опыта	38,3±0,54	38,4±0,82
в конце опыта (через 100 кормо-дней)	100,3±0,85	106,6±1,29**
Абсолютный прирост живой массы, кг	62,0	68,2
Среднесуточный прирост живой массы подопытных поросят за опыт, г	620,0±3,09	681,2±4,70**
Потребление корма в сутки, кг	2,03	2,00
Расход корма в расчете на 1 кг прироста живой массы, кг	3,27	2,93
Сохранность, %	96,5	100,0

** $P \leq 0,005$.

Таблица 6. Морфологический состав туши и физико-химические показатели мяса, сала молодняка свиней

Table 6. Morphological composition of carcass and physical and chemical indicators of meat and fat of young pigs

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа	В % к контрольной группе
<i>Состав туш</i>			
½ тазобедренной части, кг	13,26±0,69	13,71±0,51	103,4
Сало, кг	2,61±0,29	2,40±0,40	91,9
Кости, кг	2,36±0,12	2,43±0,09	103,0
Мясо, кг	8,29±0,66	8,88±0,50	107,1
<i>Физико-химические показатели мяса</i>			
Реакция среды, pH	5,38±0,12	5,18±0,04	96,3
Цвет, ед. экстинкции	66,50±2,38	79,00±1,83**	118,8
Увариваемость, %	33,20±2,39	34,95±4,28	105,3
Влагоудерживающая способность, %	27,94±3,61	33,50±4,93	119,9
Влага, %	75,34±1,62	73,25±0,61	97,2
Жир, %	6,46±1,21	5,91±0,85	91,5
Зола, %	0,72±0,10	0,68±0,13	94,4
Протеин, %	17,48±2,69	20,16±0,69	115,3
<i>Физико-химические показатели сала</i>			
Влага, %	10,51±3,72	6,55±0,67	62,3
Жир, %	87,34±3,52	91,09±0,40	104,3
Зола, %	0,08±0,01	0,07±0,01	87,5
Протеин, %	2,08±0,69	2,29±0,80	110,1

** $P \leq 0,005$.

Анализ химического состава мяса выявил, что содержание влаги, жира и золы было ниже в образцах, отобранных от животных, получавших *n*-хром, а содержание протеина – больше на 15,3 %. Аналогичная тенденция выявлена в химическом составе сала, количество протеина в сала в образцах от опытных животных было выше по сравнению с контрольными на 10,1 %. Выявлена тенденция более высокого содержания мяса и пониженного сала в тушах животных, получавших *n*-хром, по сравнению с контрольными животными.

Расчет показателей экономической эффективности использования кормовой добавки «Нано-плант Хром (К)» в рационах молодняка свиней на откорме показал, что ее введение с водой в дозировке 0,05 мг на 1 кг сухого вещества комбикорма ведет к увеличению среднесуточного и валового прироста живой массы, снижению на 10,4 % затрат кормов на 1 кг прироста, себестоимости получаемой продукции на 10,2 % и получению дополнительной условной прибыли в расчете на 1 кг прироста живой массы в размере 0,21 руб., или 0,12 у.е.

Заключение. Полученные в ходе исследований данные позволяют рекомендовать применение наночастиц хрома в количестве 0,05 мг на 1 кг сухого вещества комбикорма для молодняка свиней периода доращивания и откорма с целью увеличения среднесуточного прироста их живой массы, сокращения затрат кормов на ее получение, повышения качества мясной продукции животных и обеспечения экономической эффективности производства свинины.

Кормовая добавка «Наноплант Хром (К)» с содержанием 1 г наночастиц хрома в 1 литре может вноситься в состав рациона как через выпаиваемую животным воду при сухом типе кормления, так и с водой, используемой для приготовления влажных кормовых смесей.

В расчете на 1 л выпаиваемой воды необходимо добавлять 0,025 мл добавки «Наноплант Хром (К)» и также – 0,025 мл на 1 л воды, вносимой в кормовую смесь. Соотношение комбикорма и воды в этом случае должно составлять 1:2. Внесение жидкой кормовой добавки «Наноплант Хром (К)» с водой позволяет обеспечить потребление животными необходимого количества наночастиц хрома в количестве 0,05 мг в расчете на 1 кг сухого вещества комбикорма.

Результаты, полученные в ходе исследований, могут быть использованы в научно-практической деятельности в области кормления сельскохозяйственных животных и комбикормовой промышленности.

Список использованных источников

1. Панин, А. Н. Нутригеномика в животноводстве: основные положения и практическое применение новой технологии / А. Н. Панин // 2-й Симпозиум по свиноводству, Казань, 29–30 марта 2012 г. / Компания Vethellas. – [Б. м.], 2012. – С. 5–6.
2. Фисинин, В. И. Революционная наука – нутригеномика / В. И. Фисинин, П. Ф. Сурай, Т. Т. Папазян // Животноводство России. – 2006. – N 11. – С. 21–23.
3. Schwarz, K. Chromium (III) and the glucose tolerance factor / K. Schwarz, W. Mertz // Arch. of Biochemistry a. Biophysics. – 1959. – Vol. 85, № 1. – P. 292–295.
4. Влияние хрома на переваримость и использование питательных веществ рационов в организме бычков при откорме / Н. И. Гибалкина [и др.] // Вестник сельскохозяйственной науки Мордовии : сб. науч. тр. / Рос. акад. с.-х. наук, Сев.-Вост. науч.-метод. центр, Мордов. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва ; редкол.: В. А. Скопцов (гл. ред.) [и др.]. – Саранск, 2000. – С. 61–67.
5. Выращивание бычков при сенажном типе кормления с разным уровнем хрома в рационах / Н. И. Гибалкина [и др.] // Естественно-научные исследования: теория, методы, практика : межвуз. сб. науч. тр. / Мордов. гос. ун-т. – Саранск, 2003. – С. 78–79.
6. Содержание хрома в органах и тканях бычков / Н. И. Гибалкина [и др.] // Вестник сельскохозяйственной науки Мордовии : сб. науч. тр. / Рос. акад. с.-х. наук, Сев.-Вост. науч.-метод. центр, Мордов. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва ; редкол.: В. А. Скопцов (гл. ред.) [и др.]. – Саранск, 2000. – С. 67–74.
7. Федаев, А. Н. Влияние уровня хрома на продуктивность бычков / А. Н. Федаев, В. А. Кокорев, Н. И. Гибалкина // Проблемы физиологии, биохимии и питания животных : сб. науч. тр. / Мордов. гос. ун-т, Аграр. ин-т ; гл. ред. В. А. Кокорев. – Саранск, 1998. – С. 115–118.
8. Федаев, А. Н. Теоретическое и практическое обоснование использования хрома в кормлении молодняка крупного рогатого скота / А. Н. Федаев, В. А. Кокорев, Н. И. Гибалкина ; под ред. В. А. Кокорева. – Саранск : Мордов. кн. изд-во, 2003. – 224 с.
9. Обмен веществ и продуктивность нетелей и коров при разных уровнях хрома в рационах / В. А. Кокорев [и др.] // Животноводство и ветеринар. медицина. – 2014. – № 3. – С. 7–13.
10. Юдина, Т. А. Результаты использования различных дозировок хрома на воспроизводительные способности и некоторые гематологические показатели свиноматок / Т. А. Юдина, И. С. Серяков // Животноводство и ветеринар. медицина. – 2013. – № 1. – С. 9–14.

11. Наноматериалы и нанотехнологии / В. М. Анищик [и др.] ; под ред. В. Е. Борисенко, Н. К. Толочко. – Минск : Изд. центр БГУ, 2008. – 372 с.
12. Effect of nano-chromium on growth performance carcass characteristics and glucose metabolism of finishing pigs [Electronic resource] : report / T.-Y. Hung [et al.] // Australasian Pork Research Institute Ltd. – Mode of access: http://apri.com.au/2F-108_Final_Report_110928.pdf. – Date of access: 18.10.2018.
13. Юрин, В. М. Наноматериалы и растения: взгляд на проблему / В. М. Юрин, О. В. Молчан // Тр. Белорус. гос. ун-та. Физиол., биохим. и молекуляр. основы функционирования биосистем. – 2015. – Т. 10, ч. 1. – С. 9–21.
14. Плутахин, Г. А. Интенсификация культивирования хлореллы с использованием наночастиц железа [Электронный ресурс] / Г. А. Плутахин, Н. Л. Мачнева, Н. Н. Трохимчук // Науч. журн. КубГАУ. – 2017. – № 126 (02). – Режим доступа: <http://www.ej.kubagro.ru/2017/02/pdf/54.pdf>. – Дата доступа: 18.10.2018.
15. Распопов, Р. В. Современные методы определения наночастиц и наноматериалов в природных объектах / Р. В. Распопов // Вопр. дет. диетологии. – 2009. – Т. 7, № 4. – С. 69.
16. Назарова, А. А. Научное и практическое обоснование применения нанопорошков металлов в кормлении сельскохозяйственных животных / А. А. Назарова, Г. И. Чурилов. – Рязань : Изд-во РГАУ, 2010. – 144 с.
17. Чурилов, Г. И. Биологическое действие наноразмерных металлов на различные группы растений / Г. И. Чурилов, Л. Е. Амплеев. – Рязань : Изд-во РГАУ, 2010. – 150 с.
18. Каширина, Л. Г. Физиологическое обоснование применения наноразмерного порошка железа для повышения производства свинины / Л. Г. Каширина, В. В. Кулаков, Э. О. Сайтханов. – Рязань : Изд-во РГАУ, 2013. – 189 с.
19. Ильичев, Е. А. Влияние нанопорошка железа на мясную продуктивность молодняка крупного рогатого скота / Е. А. Ильичев, С. Д. Полищук // Молоч. и мяс. скотоводство. – 2011. – № 1. – С. 24–26.
20. Подольников, В. Е. Влияние цеолито-сывороточной добавки на продуктивность и обмен энергии : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.02.02 / В. Е. Подольников ; Брян. гос. с.-х. акад. – Брянск, 1999. – 16 с.
21. Хеннинг, А. Минеральные вещества, витамины, биостимуляторы в кормлении сельскохозяйственных животных / А. Хеннинг ; пер. с нем. Н. С. Гельман ; под ред. А. Л. Падучевой, Ю. И. Раецкой. – М. : Колос, 1976. – 559 с.

References

1. Panin A. N. Nutrigenomics in animal husbandry: the main provisions and practical application of the new technology. *2 simpozium po svinovodstvu, Kazan', 29–30 marta 2012 g.* [2 Symposium on Pig Breeding, Kazan, March 29–30, 2012]. S. I., 2012, pp. 5–6 (in Russian).
2. Fisinin V. I., Surai P. F., Papazyan T. T. Revolutionary science – nutrigenomics. *Zhivotnovodstvo Rossii* [Russian animal husbandry], 2006, no. 11, pp. 21–23 (in Russian).
3. Schwarz K., Mertz W. Chromium (III) and the glucose tolerance factor. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1959, vol. 85, no. 1, pp. 292–295. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(59\)90479-5](https://doi.org/10.1016/0003-9861(59)90479-5)
4. Gibalkina N. I., Fedaev A. N., Skoptsov V. A., Kokorev V. A. The effect of chromium on digestibility and nutrient utilization of diets in the body of bulls during fattening. *Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki Mordovii: sbornik nauchnykh trudov* [Journal of Agricultural Science of Mordovia: a collection of scientific papers]. Saransk, 2000, pp. 61–67 (in Russian).
5. Gibalkina N. I., Fedaev A. N., Kokorev V. A., Syropyatova T. E. Growing bulls with hay feeding type with different levels of chromium in the rations. *Estestvenno-nauchnye issledovaniya: teoriya, metody, praktika: mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov* [Natural scientific research: theory, methods, practice: intercollegiate collection of scientific papers]. Saransk, 2003, pp. 78–79 (in Russian).
6. Gibalkina N. I., Fedaev A. N., Skoptsov V. A., Kokorev V. A. The content of chromium in the organs and tissues of bulls. *Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki Mordovii: sbornik nauchnykh trudov* [Journal of Agricultural Science of Mordovia: a collection of scientific papers]. Saransk, 2000, pp. 67–74 (in Russian).
7. Fedaev A. N., Kokorev V. A., Gibalkina N. I. The effect of chromium levels on the productivity of bulls. *Problemy fiziologii, biokhimii i pitaniya zhivotnykh: sbornik nauchnykh trudov* [Problems of physiology, biochemistry and nutrition of animals: collection of scientific papers]. Saransk, 1998, pp. 115–118 (in Russian).
8. Fedaev A. N., Kokorev V. A., Gibalkina N. I. *Theoretical and practical rationale for the use of chromium in the feeding of young cattle*. Saransk, Mordovian Book Publishing House, 2003. 224 p. (in Russian).
9. Kokorev V. A., Gur'yanov A. M., Gibalkina N. I., Musul'kin D. R., Fedaev A. N. Metabolism and productivity of heifers and cows with different levels of chromium in the diets. *Zhivotnovodstvo i veterinarnaya meditsina* [Animal Husbandry and Veterinary Medicine], 2014, no. 3, pp. 7–13 (in Russian).
10. Yudina T. A., Seryakov I. S. The results of the use of different dosages of chromium on the reproductive ability and some hematological indicators of sows. *Zhivotnovodstvo i veterinarnaya meditsina* [Animal Husbandry and Veterinary Medicine], 2013, no. 1, pp. 9–14 (in Russian).
11. Anishchik V. M., Borisenko V. E., Zhdanok S. A., Tolochko N. K., Fedosyuk V. M. *Nanomaterials and nanotechnologies*. Minsk, Publishing Center of the Belarusian State University, 2008. 372 p. (in Russian).
12. Hung T.-Y., Leury B. J., Sabin M. A., Dunshea F. R. Effect of nano-chromium on growth performance carcass characteristics and glucose metabolism of finishing pigs. *Australasian Pork Research Institute Ltd.* Available at: http://apri.com.au/2F-108_Final_Report_110928.pdf (accessed 19.12.2018).
13. Yurin V. M., Molchan O. V. Nanomaterials and plants: look at the problem. *Trudy Belorusskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Fiziologicheskie, biokhimicheskie i molekulyarnye osnovy funkcionirovaniya biosistem = Proceedings of the Belarusian State University. Physiological, Biochemical, and Molecular Biology Sciences*, 2015, vol. 10, pt. 1, pp. 9–21 (in Russian).

14. Plutakhin G. A., Machneva N. L., Trokhimchuk N. N. Intensification of cultivation of chlorella with the use of iron nanoparticles. *Nauchnyi zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*, 2017, no. 126 (02). Available at: <http://www.ej.kubagro.ru/2017/02/pdf/54.pdf> (accessed 12.12.2018) (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-126-054>
15. Raspopov R. V. Modern methods for the determination of nanoparticles and nanomaterials in natural objects. *Voprosy detskoj dietologii = Pediatric Nutrition*, 2009, vol. 7, no. 4, pp. 69 (in Russian).
16. Nazarova A. A., Churilov G. I. *Scientific and practical rationale for the use of metal nanopowders in the feeding of farm animals*. Ryazan, Publishing house Ryazan State Agrotechnological University, 2010. 144 p. (in Russian).
17. Churilov G. I., Ampleev L. E. *Biological effect of nanoscale metals on various groups of plants*. Ryazan, Publishing house Ryazan State Agrotechnological University, 2010. 150 p. (in Russian).
18. Kashirina L. G., Kulakov V. V., Saitkhanov E. O. *Physiological rationale for the use of nanoscale iron powder to increase the production of pork*. Ryazan, Publishing house Ryazan State Agrotechnological University, 2013. 189 p. (in Russian).
19. Il'ichev E. A., Polishchuk S. D. Effect of nanopowder iron on meat productivity indicators calves black-white breed. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo = Dairy and Beef Cattle Farming*, 2011, no. 1, pp. 24–26 (in Russian).
20. Podol'nikov V. E. *Influence of zeolite-whey additive on productivity and energy metabolism*. Autor. diss. Cand. S.-H. Sciences. Bryansk, 1999. 16 p. (in Russian).
21. Hennig A. *Mineralstoffe, Vitamine, Ergotropika*. Berlin, Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1972. 636 S. (Russ. ed.: Khenning A. *Mineral'nye veshchestva, vitaminy, biostimulyatory v kormlenii sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh*. Moscow, Kolos Publ., 1976. 559 p.)

Информация об авторе

Голушко Василий Михайлович – член-корреспондент, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории кормления свиней, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Фрунзе, 11, 222160, Жодино, Минская обл., Республика Беларусь). E-mail: Sasha_gav@mail.ru

Кравченко Александр Валентинович – научный сотрудник лаборатории кормления свиней, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Фрунзе, 11, 222160, Жодино, Минская обл., Республика Беларусь). E-mail: Avkravchenko@inbox.ru

Линкевич Сергей Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией кормления свиней, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Фрунзе, 11, 222160, Жодино, Минская обл., Республика Беларусь). E-mail: LinkbySA@rambler.ru

Information about author

Golushko Vasily M. – Corresponding Member, D. Sc. (Agriculture), Professor. The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry (11 Frunze Str., Zhodino 222160, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: Sasha_gav@mail.ru

Kravchenko Alexander V. – Postgraduate student. The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry (11 Frunze Str., Zhodino 222160, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: Avkravchenko@inbox.ru

Linkevich Sergey A. – Ph. D. (Agriculture), Associate Professor. The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry (11 Frunze Str., Zhodino 222160, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: LinkbySA@rambler.ru