

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ НАКОПЛЕНИЯ ЦИНКА В ОРГАНИЗМЕ СВИНЕЙ ПОРОДЫ ЛАНДРАС

О.А. Зайко, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, О.И. Себежко

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Для цитирования: Дифференциация накопления цинка в организме свиней породы ландрас / О.А. Зайко, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, О.И. Себежко // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 1(74). – С. 151–162. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-74-1-151-162.

Ключевые слова: цинк, печень, почки, селезенка, легкие, миокард, свиньи, ландрас.

Реферат. Представлены данные по оценке уровня цинка в печени, почках, легких, селезенке и миокарде свиней породы ландрас. Работа выполнена на клинически здоровых животных, откормленных в крупном свиноводческом комплексе Алтайского края. Технология содержания свиней была трехфазной, условия – типовыми, соответствовали ГОСТ 28839–90. Откорм свиней выполнялся до 160 дней комбикормами серийного выпуска с сертификатами соответствия и добавлением витаминно-минеральных премиксов, соответствующими детализированным нормам кормления. Оценка уровня цинка осуществлялась с помощью атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой. Для обработки первичного материала использовали ПО Microsoft Office Excel, язык программирования R (версия 4.4.1), среду анализа данных RStudio версии 2024.09.0 (2009–2024 Posit Software, PBC). Установлено, что распределение в отношении накопления цинка в печени и почках отличалось от распределения Гаусса, в ряде случаев присутствовали выбросы, дисперсии были не гомогенны. С использованием медианы сформирован возрастающий ранжированный ряд содержания цинка в органах: миокард < легкие < почки < селезенка < печень, в численном выражении: 1 : 1,2 : 1,4 : 2,4 мг/кг. В плане изменчивости наименьшая однородность по рассматриваемому признаку характерна для печени. На основании теста Краскела–Уоллиса установлены значимые различия в концентрации цинка ($H = 88,485$, $df = 4$, $p < 0,0001$). Парное сравнение продемонстрировало достоверные отличия уровня химического элемента в печени от всех остальных внутренних органов и миокарда и дополнительно в парах: «почки–легкие», «селезенка–легкие», «почки–миокард», «селезенка–миокард». Методом агломеративного кластерного анализа выделен такой орган, как печень, имеющий максимальный уровень аккумуляции минерала, все остальные структуры каскадно объединены вплоть до группы с минимальным количеством: «легкие–сердце». Приведены фенотипические дистанции между кластерами. Результаты подходят для определения нормативных значений содержания цинка в печени, почках, легких, селезенке и сердечной мышце свиней породы ландрас, выращенных в Западной Сибири.

DIFFERENTIATION OF ZINC ACCUMULATION IN THE BODY OF THE LANDRAS PIGS

O.A. Zaiko, T.V. Konovalova, O.S. Korotkevich, V.L. Petukhov, O.I. Sebezkhko

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Keywords: copper, liver, kidneys, spleen, lungs, myocardium, pigs, landrace.

Abstract. The presented data pertains to the assessment of zinc levels in the liver, kidneys, lungs, spleen, and myocardium of pigs of the Landras breed. The work was performed on clinically healthy animals, fed in a large pig-breeding complex of the Altai Territory. The technology employed by pigs was three-phase, and the typical conditions were in accordance with GOST 28839–90. The pigs were fed for a duration of 160 days using compound feeds of serial output, accompanied by certificates of conformity, and supplemented with vitamin-mineral premixes that corresponded to precise feeding standards. A zinc level assessment was performed using an atomic emission spectral analysis with inductive-tied plasma. For the processing of primary material, Microsoft Office Excel was utilized, along with the programming language R (version 4.4.1), and RStudio version analysis version 2024.09.0 (2009–2024 Posit Software, PBC). It was established that the distribution of zinc in the liver

and kidneys differed from the distribution of the Gauss. In some cases there were emissions, and dispersions that were not homogeneous. Using a median, an increasing ranking range of zinc content in the organs was formed: myocardium < lungs < kidney < spleen < liver, in numerical terms: 1 : 1 : 1 : 1.2 : 1.4 : 2.4 mg/kg. In terms of variability, the smallest uniformity according to the point under consideration is characteristic of the liver. On the basis of the twill painting test, significant differences in the concentration of zinc are established ($h = 88,485$, $df = 4$, $p < 0,0001$). The pawn comparison demonstrated reliable differences in the level of the chemical element in the liver from all other internal organs and myocardial and additionally in pairs: "kidneys-light", "spleen-lungs", "kidney-myocardium", "spleen-myocardium". The method of agglomeration cluster analysis is allocated such an organ as a liver that has a maximum level of accumulation of the mineral, all other structures are cascaded up to the group with the minimum amount- "light-heart". Phenotypes of distances between clusters are given. The results are suitable for determining the normative values of zinc content in the liver, kidneys, lungs, spleen and heart muscle of the lands of the Landras grown in Western Siberia.

Химические элементы являются частью сложного протеома клеток, который характеризует большую долю функциональной информации о генах, обладает широким динамическим диапазоном, меняясь в зависимости от типа клеток и в ответ на внешние раздражители. Он отражает биологические функции и характеризует живые системы на молекулярном уровне [1, 2]. Около 10 % протеома млекопитающего на примере человека представлено цинкосодержащими белками [3]. Метаболомикой выделяется элементный метаболит [4], характеризующий различные группы живых организмов и связанный с молекулярным разнообразием, как одной из частей биологического разнообразия живых организмов [5]. Информация о минеральном составе организма сельскохозяйственных животных, использующихся в пищевом производстве, важна для сохранения биоразнообразия и оценки биологической ценности мясного производства. В перспективе генетические характеристики с поиском генов-кандидатов, ответственных за данные фенотипические особенности, могут послужить шагом для разработки необходимых программ в сельском хозяйстве, так как мясо и субпродукты являются высокоценными источниками белка, витаминов и минералов [6–8]. При этом существует устойчивость макроорганизма к воздействию основных эссенциальных минералов, поступающих из корма, так как гомеостатические механизмы предотвращают их накопление в организме животных [9]. Предполагается сложная система обратной связи и поддержания уровня минеральных веществ в узком диапазоне [10]. Каждый химический элемент имеет свой оптимальный уровень содержания в зависимости от вида, породы животного и некоторых других биологических особенностей [11].

Цинк считается самым распространенным переходным металлом в живых организмах, если не учитывать железо, связанное с гемоглобином [12].

Особенно значима его концентрация в клетках, где он вряд ли может считаться микроэлементом в классическом понимании [13]. Цинк имеет три основные биологические роли: каталитическую, структурную и регуляторную. Он ассоциируется с полноценным ростом и здоровьем, необходим для обеспечения структуры и функционирования различных белков и клеточных компонентов, играет важную роль в физиологии млекопитающих [14]. Основная роль цинка заключается в стабилизации структуры около 2 800 макромолекул и более 300 ферментов, включая сигнальные ферменты на всех уровнях [15, 16], является кофактором во всех шести классах ферментов [17]. Данный минерал лучше усваивается из продуктов животного происхождения, которые содержат его большее количество [18]. Но в настоящее время регистрируется значительное снижение содержания цинка в пищевых продуктах как растительного, так и животного происхождения [19].

Мониторинг остается актуальным направлением. Создание референтной популяции с определением исходных характеристик и регулярный контроль на предмет изменчивости имеют основополагающее значение для разработки стратегий и программ в животноводстве [20–22]. В западно-сибирских регионах продолжают оцениваться хозяйственно полезные показатели [23, 24], также развивается комплексная оценка интерьера, фенотипа и генофонда различных видов и пород сельскохозяйственных животных, в том числе исчезающих [25–29]. Химический статус является важным аспектом в этом отношении, комплексом свойств организма, связанных с его экстерьером, конституцией и продуктивностью.

Целью данного исследования являлось установление концентрации цинка в таких внутренних органах свиней ландрасской породы, как печень, почки, легкие, селезенка и сердце (миокард).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использовалась группа свиней ландрасской породы, выращенных в крупном свиноводческом комплексе Алтайского края. Животноводческое предприятие закрытого типа имеет уровень компартментализации IV, является благополучным по особо опасным инфекционным, инвазионным и массовым внутренним незаразным болезням указанного вида животных. Для формирования группы свиньи во время откорма отбирались случайным образом, учитывался их пол, возраст, происхождение. На протяжении всего технологического периода хрячки являлись клинически здоровыми, обеспечивались в полном объеме комплексом ветеринарных мероприятий в соответствии с планом, к концу опытного периода в анамнезе отсутствовали какие-либо нарушения со стороны здоровья.

Содержание свиней было трехфазным. Во время откорма животные находились в типовых условиях в соответствии с ГОСТ 28839–90 «Свиньи. Зоотехнические требования к содержанию на откорме». Регулирование микроклимата осуществлялось соответствующим технологическим оборудованием компании «Hermitage» (Ирландия).

Проводился откорм свиней до 160 дней, с планом получения 900–950 г среднесуточного прироста за период откорма. Начиная с подсосного периода для кормления пользовались комбикормами серийного выпуска, типа СК-3, СК-4, СК-5, СК-6, СК-7, имеющими сертификаты соответствия, обогащенные витаминно-минеральными премиксами в количестве 1 % к сухому веществу основного корма. Рационы соответствовали детализированным нормам кормления [30]. Их основой были зерновые и зернобобовые культуры, введены препараты синтетических аминокислот. Оценка соответствия номенклатуре гарантированных и дополнительных показателей проводилась на основании ГОСТ Р 51550–2000 «Комбикорма-концентраты для свиней. Общие технические условия», инструкции о радиологическом контроле качества кормов № 13-7-2/2016 от 01.12.94, временного максимально допустимого уровня (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках от 7 августа 1987 г. Количество цинка на различных этапах откорма составляло 99–172 мг на одно животное в сутки с кормом. Поение свиней производилось водой второго класса из локального хозяйственно-питьевого источника водоснабжения с нормализацией до

требований СанПиН 2.1.4.1074–01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

В сопряженном исследовании анализ воды, почвы и корма на территории локализации свиноводческого предприятия не показал отклонений от допустимых норм по химическим элементам [31].

Убой животных выполнялся в соответствии с требованиями ГОСТ 31476–2012 «Свиньи для убоя. Свинина в тушах и полутушах. Технические условия», действующих технологических инструкций, технических регламентов (ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции»), приказа Минсельхоза России от 12.03.2014 № 72 «Об утверждении Правил в области ветеринарии при убое животных и первичной переработке мяса и иных продуктов убоя непромышленного изготовления на убойных пунктах средней и малой мощности».

Исследовались на концентрацию цинка такие внутренние органы, как печень, почки, легкие, селезенка и сердце. Были отобраны образцы массой около 100 г от каждого объекта, целиком – левая почка и селезенка. Общее число проб – 136. Хранение производилось непосредственно до анализа изолированно в полиэтиленовых пакетах с zip-лок застежкой в морозильной камере, температурный режим составил –24 °С. Анализ уровня цинка в выбранных структурах организма свиней осуществлялся при помощи атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой на оборудовании iCAP-PRO (Thermo Fisher Scientific) с индексом способа обзора плазмы Duo в условиях Аналитического центра коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН.

Данные обрабатывали с помощью ПО Microsoft Office Excel, среды анализа данных RStudio версии 2024.09.0 (2009–2024 Posit Software, PBC), на основании языка программирования R (версия 4.4.1). Характер распределения тестировали, используя критерий Шапиро–Уилка, Андерсона–Дарлинга и общепринятые графические инструменты. Критерий Флигнера–Килина использовали для характеристики дисперсий. Вычислялись такие показатели, как среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, медиана, среднееквадратическое отклонение, первый и третий квартили, интерквартильный размах, лимиты содержания цинка, отношение между крайними вариантами, как результат деления максимального значения на минимальное. При ненормальном распределении для оценки выборочной

средней и стандартного отклонения использовали метод Бокса–Кокса с моделированием Монте-Карло [32]. Для сравнения полученных значений с литературными использовался одновыборочный критерий Уилкоксона. Различия в аккумуляции цинка оценивали, пользуясь непараметрическим критерием Краскела–Уоллиса, апостериорным тестом Данна с поправкой Холма. Кластерный анализ выполнялся методом Варда, метрикой расстояний было манхэттенское расстояние.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мониторинг в сельском хозяйстве имеет многогранный характер. В отношении химических элементов это актуально в поиске новых направлений минимизации их воздействия на человека и животных [33–36]. Развивается направление неинвазивных методик [37, 38]. Также на первый план выходит сохранение здоровья продуктивных животных, важным аспектом в этом является

отслеживание функциональной адаптации, связанной с содержанием различных минералов в макроорганизме [39]. Оценка фенотипических и молекулярных характеристик имеет особую ценность в обосновании стратегического планирования, эффективном и устойчивом использовании, сохранении видов и пород животных [20]. При этом основную роль в систематизации и регламентировании данных необходимо отдать давно формирующемуся направлению – ветеринарной элементологии [40].

С использованием комплекса тестов была выполнена оценка характера распределения уровня цинка в рассматриваемых паренхиматозных органах свиней и миокарде. Содержание металла в селезенке, легких и сердечной мышце характеризовалось нормальным распределением, что не было свойственно описываемому параметру в печени и почках животных. Результаты теста Шапиро–Уилка и Андерсона–Дарлинга совпадали (табл. 1).

Таблица 1

Оценка распределения содержания цинка в органах и миокарде свиней породы ландрас
Assessment of the content of zinc in the organs and myocardium of Landrace breed

Орган, ткань	n	SW	SW.p	AD	AD.p
Печень	27	0,91	0,018	0,98	0,012
Почки	25	0,89	0,009	1,24	0,002
Селезенка	26	0,96	0,356	0,44	0,273
Легкие	30	0,98	0,740	0,28	0,625
Миокард	28	0,97	0,615	0,38	0,383

Примечание. Здесь SW – критерий Шапиро–Уилка; SW.p – уровень значимости критерия Шапиро–Уилка; AD – критерий Андерсона–Дарлинга; AD.p – уровень значимости критерия Андерсона–Дарлинга.

Также использовались графические методы. Было выявлено, что дисперсии отличались негомогенностью ($p < 0,05$). На основании этих оценок установлена необходимость в использовании, в том числе методов непараметрической статистики.

В табл. 2 показаны основные данные, характеризующие содержание цинка в организме свиней

ландрасской породы. Печень является органом, наиболее обогащенным микроэлементом в сравнении с другими исследованными структурами. Здесь зафиксировано максимальное количество цинка, значительно выше, чем в группах «почки – селезенка» и «легкие – миокард».

Таблица 2

Содержание цинка в органах и миокарде свиней породы ландрас, мг/кг
Zinc content in organs and myocardium of Landrace pigs, mg/kg

Орган, ткань	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Me	lim	Отношение крайних вариантов
Печень	27	53,4±6,3	46,0	20,0–140,0	1 : 7
Почки	25	22,4±0,5	22,0	19,0–28,0	1 : 1,5
Селезенка	26	26,8±0,9	27,0	15,0–37,0	1 : 2,5
Легкие	30	19,9±0,4	19,7	15,4–26,1	1 : 1,7
Миокард	28	18,8±0,5	19,0	12,0–24,0	1 : 2

Примечание. $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ – средняя арифметическая и ошибка средних; Me – медиана; lim – максимальное и минимальное значение.

По отдельным данным диапазоны содержания цинка в органах и тканях млекопитающих равны следующим: печень – 40–80, почки – 13–18, селезенка – 10–20 мг/кг, сердце – 14–18 [41]. Во всех трех случаях в соответствии с критерием Уилкоксона полученные нами значения сопоставимы с вышепредставленными.

Аккумуляцию цинка в органах и тканях свиней можно выразить в виде возрастающего ранжированного ряда на основании медианы следующим образом: миокард < легкие < почки < селезенка < печень, изобразив его в соотно-

шении 1 : 1 : 1,2 : 1,4 : 2,4. Во втором случае за единицу принята наименьшая концентрация цинка в миокарде.

Наибольший размах варьирования характерен для содержания цинка в печени. Остальные структуры достаточно близки и однородны по этой характеристике. На рис. 1 наглядно продемонстрирован размах изменчивости уровня цинка во внутренних органах и миокарде. Отмечается наличие по одному выбросу в случае аккумуляции микроэлемента в легких и миокарде.

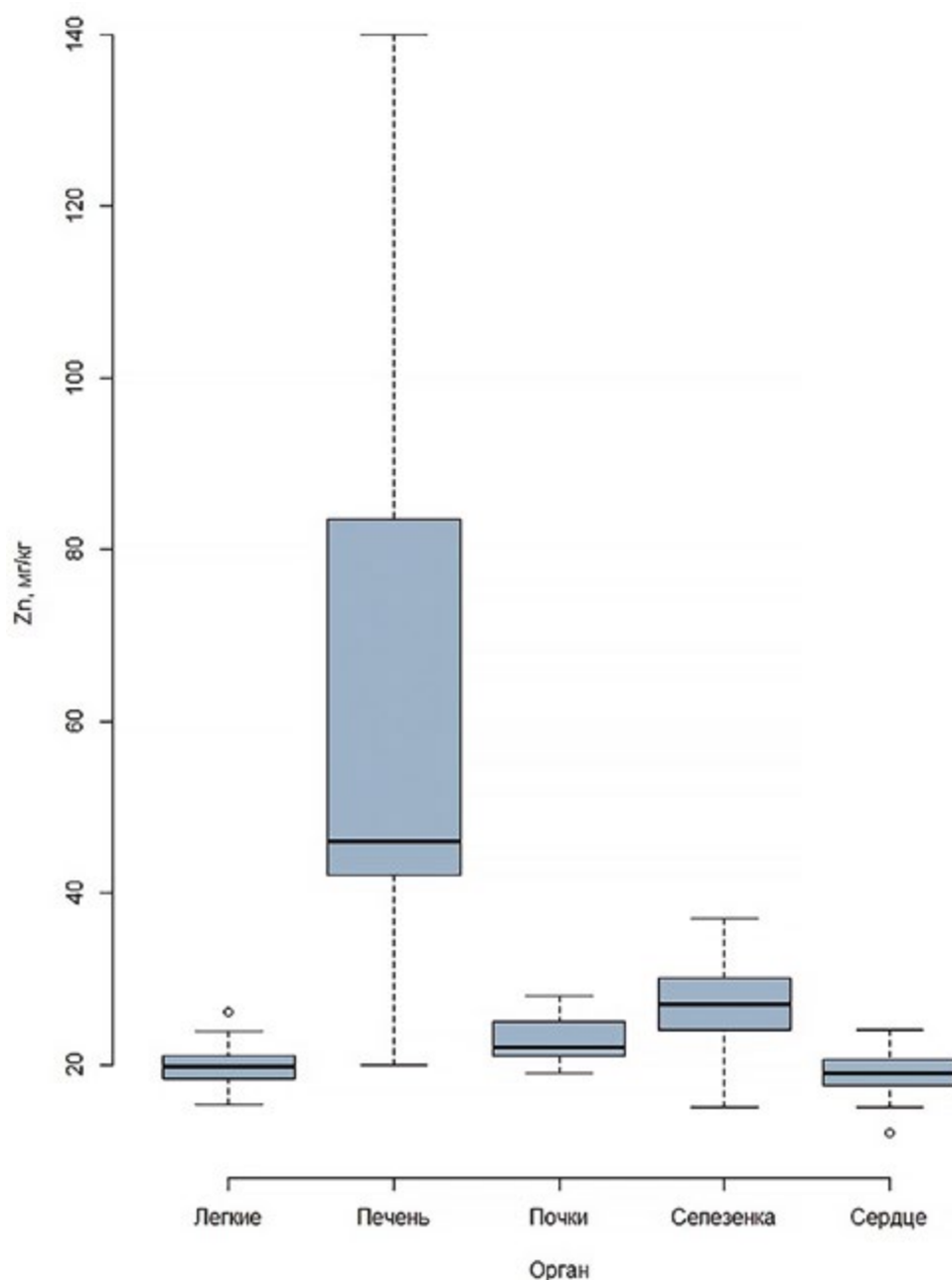


Рис. 1. Размах уровня цинка в органах и миокарде свиней породы ландрас

The range of zinc levels in the organs and myocardium of Landrace pigs

В табл. 3 представлены дополнительно некоторые показатели изменчивости уровня цинка. Относительно небольшие уровни интерквартирного

размаха характерны для всех структур, исключая печень, что подтверждает однородность аккумуляции.

Таблица 3

Показатели изменчивости цинка в органах и миокарде свиней породы ландрас
Indicators of zinc variability in the organs and myocardium of Landrace breed

Орган, ткань	n	σ	Q1	Q3	IQR
Печень	27	27,9	42,0	83,5	41,5
Почки	25	2,3	21,0	25,0	4,0
Селезенка	26	4,7	24,2	30,0	5,8
Легкие	30	2,4	18,4	21,0	2,6
Миокард	28	9,7	17,8	20,3	2,5

Примечание. Q1 – значение первого квартиля; Q3 – значение второго квартиля; IQR – интерквартильный размах.

Для печени характерна высокая фенотипическая изменчивость, в остальных случаях она была относительно низкой ($C_v = 10,3-17,5$).

Посредством теста Краскела–Уоллиса установили наличие значимых отличий в концентрации

цинка между рассматриваемыми структурами ($H = 88,485$, $df = 4$, $p < 0,0001$). Результаты попарного сравнения представлены в табл. 4.

Таблица 4

Попарное сравнение уровня цинка в органах и миокарде свиней породы ландрас
Pairwise comparison of zinc levels in organs and myocardium of Landrace pigs

Орган, ткань	Легкие	Печень	Почки	Селезенка
Печень	-7,33 <0,0001*	–	–	–
Почки	-2,76 <0,05*	4,32 <0,0001*	–	–
Селезенка	-4,72 <0,0001*	2,48 <0,05*	-1,85 >0,05	–
Миокард	0,84 >0,05	8,03 <0,0001*	3,51 <0,01*	5,45 <0,0001*

Примечание. * – P в значимом парном сравнении.

Установлены значимые отличия уровня цинка в печени в сравнении со всеми остальными исследованными структурами. С учетом медианы здесь выше аккумуляция в 1,7 раза, чем в селезенке, в 2,1 раза, чем в почках, в 2,3 и 2,4 раза, чем в легких и миокарде соответственно. Характерны достоверные различия в группах: «почки – легкие», «селезенка – легкие» и «почки – миокард», «селезенка – миокард».

С помощью одного из методов агломеративного кластерного анализа все оцениваемые органы свиней ландрасской породы были разделены на группы по подобию содержания цинка в них (рис. 2).

Для дендрограммы характерен каскадный характер и выделено четыре шага объединения. Фигурирует кластер с минимальным уровнем микроэлемента, куда относятся легкие и миокард сердца, и кластер с максимальным, к которому принадлежит только печень свиней, выделяясь достаточно обособлено. Размер фенотипического сходства структур организма свиней представлен в табл. 5. Ожидаемо наибольшие расстояния отмечаются между печенью с одной стороны и легкими и миокардом – с другой. Максимальная же тождественность по уровню аккумуляции цинка наблюдается между последними двумя структурами.

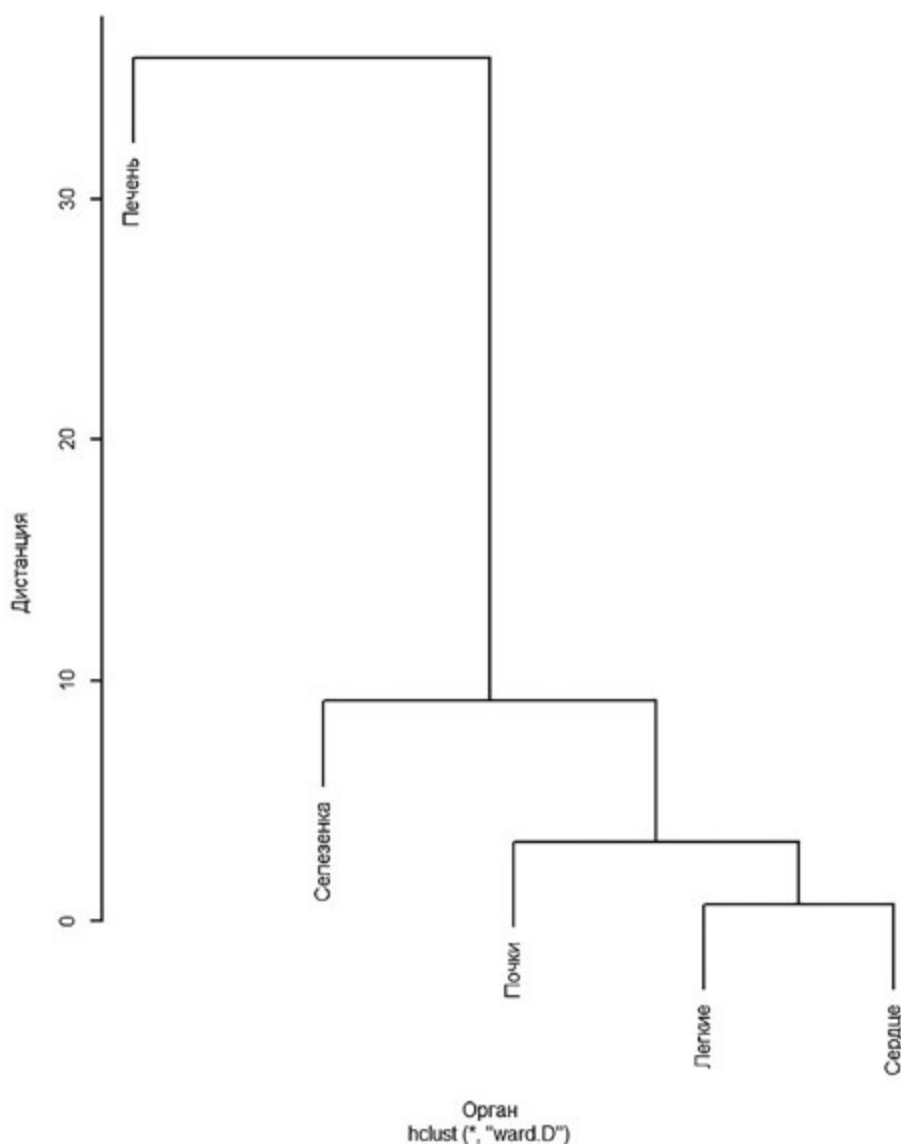


Рис. 2. Кластеризация органов в соответствии с содержанием цинка
Clustering of organs according to the zinc content

Таблица 5

Фенотипические дистанции между органами свиней породы ландрас
по концентрации цинка
Phenotypic distances between the organs of Landrace pigs in terms of zinc concentration

Органы, ткани	Легкие	Печень	Почки	Селезенка
Печень	26,3	–	–	–
Почки	2,3	24,0	–	–
Селезенка	7,3	19,0	5,0	-
Миокард	0,7	27,0	3,0	8,0

Считается, что мясные продукты содержат большое количество цинка, которое может составлять от 4,0 до 67,7 мг/кг [42]. По литературным данным в организме свиней цинк может значительно накапливаться на высоких уровнях в некоторых

органах (печень, селезенка и поджелудочная железа) [43]. Это подтверждается полученными нами данными.

Свиная печень является хорошим источником цинка. Мы установили, что медиана содержания

микроэлемента составляет 46,0 мг/кг. В европейском исследовании объединенной группы животных данного вида, забитых в возрасте 5,5–6 и 6,5–7 мес. с массой тела 100–108 кг, содержание цинка в печени составляло 64,1 мг/кг, что в тесте Уилкоксона значимо не отличалось от полученного нами показателя ($p > 0,05$). Также практически идентичными были значения, характеризующие аккумуляцию в почках [44]. М. López-Alonso с соавторами у помесных свиней обнаружили здесь 28,9 и 27,1 мг/кг цинка [45], что также соотносится с нашими данными.

Известно, что по концентрации цинка в печени можно судить о токсичности, она ассоциирована с уровнем более 500 мг/кг, пограничные высокие значения составляют >200 мг/кг. Оптимальным считается диапазон 40–90 мг/кг [46, 47].

Практически половина населения планеты подвержена риску недостаточного потребления цинка. По этой причине микроэлемент активно исследуется в самых разных областях, разрабатываются программы общественного здравоохранения для борьбы с его дефицитом [48, 49]. Вопрос обеспеченности рациона человека цинком считается актуальной проблемой по причине широкого спектра биологических процессов, обеспечивающихся цинком, в этом контексте мы можем утверждать, что печень свиней ландрасской породы является потенциально ценным продуктом, так как рекомендованные пищевые нормы в сутки для женщин и мужчин старше 19 лет составляют 8 и 11 мг [50, 51]. В остальных предполагаемых субпродуктах значимо меньше цинка. Существует перспектива использования генетических методов селекции на способность депонировать эссенциальные химические эле-

менты в органах и тканях животных с целью последующего обогащения ими рациона человека [52, 53].

Нужно отметить, что на данный момент в научном сообществе имеется значительная разрозненность данных, касающихся элементологии, требующая систематизации и регламентирования с целью увеличения пользы мониторинга для последующей разработки программ по различным направлениям деятельности.

ВЫВОДЫ

1. Дана оценка фенофона здоровых свиней породы ландрас по накоплению цинка в печени, почках, легких, селезенке и сердечной мышце. Соответствующие медианы составили: 46,0; 22,0; 19,7, 27,0 и 19,0 мг/кг. Они могут использоваться для характеристики интерьера свиней как вида и получения референтных интервалов для животных, выращиваемых на территории Западной Сибири.

2. Обнаружены различия в концентрации цинка между органами ($H = 88,485$, $df = 4$, $p < 0,0001$), между печенью и всеми остальными исследованными структурами и следующими парами: «почки – легкие», «селезенка – легкие» и «почки – миокард», «селезенка – миокард», что указывает на выборочную аккумуляцию минерала.

3. Агломеративная кластеризация выделила обособленно печень как структуру с максимальным содержанием цинка. Остальные органы объединены в кластеры каскадно. Минимальная фенотипическая дистанция характерна для группы «миокард – легкие».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cox J., Mann M. Is proteomics the new genomics? // Cell. – 2007. – Vol. 130(3). – P. 395–398.
2. Proteomics: technologies and their applications / B. Aslam, M. Basit, M.A. Nisar [et al.] // Journal of Chromatographic Science. – 2017. – Vol. 55(2). – P. 182–196.
3. Chellan P., Sadler P.J. The elements of life and medicines // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 373(2037). – P. 20140182.
4. Епишов Ю.А. Основы молекулярной диагностики. Метабомика. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 271 с.
5. Campbell A.K. Save those molecules! Molecular biodiversity and life // Journal of Applied Ecology. – 2003. – Vol. 40(2). – P. 193–203.
6. Troy D.J., Kerry J.P. Consumer perception and the role of science in the meat industry // Meat science. – 2010. – Vol. 86(1). – P. 214–226.
7. Ahmad R.S., Imran A., Hussain M.B. Nutritional composition of meat // Meat Science and Nutrition. – 2018. – Vol. 61(10.5772). – P. 61–75.
8. Babicz M., Kasprzyk A., Kropiwniec-Domańska K. Influence of the sex and type of tissue on the basic chemical composition and the content of minerals in the sirloin and offal of fattener pigs // Canadian Journal of Animal Science. – 2018. – Vol. 99(2). – P. 343–348.

9. Rooke J.A., Flockhart J.F., Sparks N.H. The potential for increasing the concentrations of micro-nutrients relevant to human nutrition in meat, milk and eggs // *The Journal of Agricultural Science*. – 2010. – Vol. 148(5). – P. 603–614.
10. Diniz W.J.S., Banerjee P., Regitano L.C.A. Cross talk between mineral metabolism and meat quality: A systems biology overview // *Physiological Genomics*. – 2019. – Vol. 51(11). – P. 529–538.
11. Stepanova M.V., Sotnikova L.F., Zaitsev S.Y. Relationships between the content of micro-and macroelements in animal samples and diseases of different etiologies // *Animals*. – 2023. – Vol. 13(5). – P. 852.
12. Vasak M., Hasler D.W. Metallothioneins: new functional and structural insights // *Current Opinion in Chemical Biology*. – 2000. – Vol. 4(2). – P. 177–183.
13. Maret W. Zinc biochemistry: from a single zinc enzyme to a key element of life // *Advances in Nutrition*. – 2013. – Vol. 4(1). – P. 82–91.
14. Zinc and human health: an update / C.T. Chasapis, A.C. Loutsidou, C.A. Spiliopoulou, M.E. Stefanidou // *Archives of Toxicology*. – 2012. – Vol. 86. – P. 521–534.
15. Counting the zinc-proteins encoded in the human genome / C. Andreini, L. Banci, I. Bertini, A. Rosato // *Journal of Proteome Research*. – 2006. – Vol. 5(1). – P. 196–201.
16. Zinc proteome interaction network as a model to identify nutrient-affected pathways in human pathologies / G. Leoni, A. Rosato, G. Perozzi, C. Murgia // *Genes & Nutrition*. – 2014. – Vol. 9(6). – P. 1–9.
17. Vallee B.L., Falchuk K.H. The biochemical basis of zinc physiology // *Physiological reviews*. – 1993. – Vol. 73(1). – P. 79–118.
18. Tsuji P.A., Canter J.A., Rosso L.E. Trace minerals and trace elements // *Encyclopedia of food and health*, 1st edn. Caballero B, Finglas PM, Toldrá F (eds) / Oxford: Elsevier, 2016. – P. 331–338.
19. Фролова О.А., Тафеева Е.А., Бочаров Е.П. Региональные особенности содержания цинка в почве, продуктах растительного и животного происхождения // *Гигиена и санитария*. – 2017. – Т. 96(3). – С. 226–229.
20. Global plan of action for animal genetic resources and the interlaken declaration. Rome: FAO, 2007. – 37 p.
21. SNP- and haplotype-based genome-wide association studies for growth, carcass, and meat quality traits in a Duroc multigenerational population / S. Sato, Y. Uemoto, T. Kikuchi [et al.] // *BMC Genetics*. – 2016. – Vol. 17(60). – P. 1–17.
22. Зиновьева Н., Сермягин А., Костюнина О. Новая стратегия генетического совершенствования свиней // *Животноводство России*. – 2019. – № S2. – С. 15–17.
23. Черно-пестрый скот Сибири / А.И. Желтиков, В.Л. Петухов, О.С. Короткевич [и др.]. – Новосибирск, 2012. – 500 с.
24. Молочная продуктивность коров-первотелок голштинской и симментальской пород в условиях Новосибирской области / А.И. Желтиков, Н.М. Костомахин, О.М. Венедиктова [и др.] // *Главный зоотехник*. – 2017. – № 2. – С. 23–30.
25. Генетические основы селекции животных / В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст, И.И. Гудилин [и др.]. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 448 с.
26. Генофонд скороспелой мясной породы свиней / В.Л. Петухов, В.Н. Тихонов, А.И. Желтиков [и др.]. – Новосибирск, 2005. – 631 с.
27. Генофонд и фенофонд сибирской северной породы и черно-пестрой породной группы свиней / В.Л. Петухов, В.Н. Тихонов, А.И. Желтиков [и др.]. – Новосибирск, 2012. – 579 с.
28. Зайко О.А. Изменчивость и корреляция химических элементов в органах и тканях свиней скороспелой мясной породы СМ-1: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2015. – 183 с.
29. Особенности аккумуляции меди в щетине свиней различных пород / О.А. Зайко, А.В. Назаренко, И.А. Королева [и др.]. // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2021. – Т. 51(1). – С. 90–98.
30. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах / Р.В. Некрасова, А.В. Головина, Е.А. Махаева [и др.]. – М.: Российская академия наук, 2018. – 290 с.
31. Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia / A.I. Syso, M.A. Lebedeva, A.S. Cherevko [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9(4). – P. 368–374.
32. Estimating the sample mean and standard deviation from commonly reported quantiles in meta-analysis / S. McGrath, X. Zhao, R. Steele [et al.] // *Statistical methods in medical research*. – 2020. – Vol. 29(9). – P. 2520–2537.
33. Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia) / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, J.I. Fedyaev [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2018. – Vol. 45(4). – P. 866–871.
34. Characterization of the toxicological impact of heavy metals on human health in conjunction with modern analytical methods / D.C. Filipoiu, S.G. Bungau, L. Endres [et al.] // *Toxics*. – 2022. – Vol. 10(12). – P. 716.
35. Способ определения содержания марганца в печени свиней: пат. RU 2791231 C1 Рос. Федерация. № 2022109749 / Зайко О.А., Назаренко А.В., Коновалова Т.В. [и др.]; заявл. 11.04.2022; опубл. 06.03.2023, Бюл. № 7. – 8 с.
36. Способ определения уровня цинка в почках свиней: пат. RU 2761031 C1 Рос. Федерация. № 2021101423 / Зайко О.А., Назаренко А.В., Себежко О.И. [и др.]; заявл. 22.01.2021, опубл. 02.12.2021, Бюл. № 34. – 6 с.

37. Способ определения содержания кадмия в печени крупного рогатого скота: пат. RU25911825 C1 Рос. Федерация. № 2015116391/15 / Короткевич О.С., Нарожных К.Н., Коновалова Т.В. [и др.]; заявл. 29.04.2015, опубл. 20.07.2016, Бюл. № 20. – 5 с.
38. Способ определения концентрации свинца в легких крупного рогатого скота: пат. RU 2602915 C1 Рос. Федерация. № 2015130994/15 / Коновалова Т.В., Короткевич О.С., Нарожных К.Н. [и др.]; заявл. 24.07.2015; опубл. 20.11.2016, Бюл. № 32. – 6 с.
39. Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the Republic of Tyva / O.I. Sebezsko, V.L. Petukhov, N.I. Shishin [et al.] // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9, № 9. – P. 1530–1535.
40. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементология – новый термин или новое научное направление? // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2005. – № S2–2. – С. 4–8.
41. Георгиевский В.И., Анненков Б.Н., Самохин В.Т. Минеральное питание животных. – М.: Колос, 1979. – 471 с.
42. Brown K.H., Wuehler S.E., Pearson J.M. The importance of zinc in human nutrition and estimation of the global prevalence of zinc deficiency // Food and Nutrition Bulletin. – 2001. – Vol. 22(2). – P. 113–125.
43. Effect of weaning and in-feed high doses of zinc oxide on zinc levels in different body compartments of piglets / R. Davin, E.G. Manzanilla, K.C. Klasing, J.F. Pérez // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. – 2013. – Vol. 97. – P. 6–12.
44. The content of selected minerals determined in the liver, kidney and meat of pigs / K. Stasiak, A. Roślewska, M. Stanek [et al.] // Journal of Elementology. – 2017. – Vol. 22(4). – P. 1475–1483.
45. Trace mineral status and toxic metal accumulation in extensive and intensive pigs in NW Spain / M. López-Alonso, M. García-Vaquero, J.L. Benedito [et al.] // Livestock Science. – 2012. – Vol. 146(1). – P. 47–53.
46. Puls R. Mineral levels in animal health: diagnostic data. – 1994. – Clearbrook, 356 p.
47. Burrough E.R., De Mille C., Gabler N.K. Zinc overload in weaned pigs: Tissue accumulation, pathology, and growth impacts // Journal of Veterinary Diagnostic Investigation. – 2019. – Vol. 31(4). – P. 537–545.
48. Black R.E. Zinc deficiency, infectious disease and mortality in the developing world // The Journal of Nutrition. – 2003. – Vol. 133(5). – P. 1485S–1489S.
49. Zinc: the metal of life / K. Kaur, R. Gupta, S.A. Saraf, S.K. Saraf // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2014. – Vol. 13(4). – P. 358–376.
50. Erdman Jr.J.W., Macdonald I.A., Zeisel S.H. (ed.) Present knowledge in nutrition. – Ames: Wiley-Blackwell, 2012. – 1328 p.
51. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. – Washington: National Academies Press, 2001. – 800 p.
52. Влияние генофонда породы на содержание и изменчивость меди в печени свиней / А.В. Назаренко, О.А. Зайко, Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 3(68). – С. 262–271.
53. Особенности аккумуляции и изменчивости меди в скелетной мускулатуре свиней различных пород / О.А. Зайко, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич [и др.] // Свиноводство. – 2023. – № 7. – С. 39–41.

REFERENCES

1. Cox J., Mann M., Is proteomics the new genomics? *Cell*, 2007, Vol. 130(3), pp. 395–398.
2. Aslam B., Basit M., Nisar M.A. [et al.], Proteomics: technologies and their applications, *Journal of chromatographic science*, 2017, Vol. 55(2), pp. 182–196.
3. Chellan P., Sadler P.J., The elements of life and medicines, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2015, Vol. 373(2037), pp. 20140182.
4. Ershov Yu.A., *Osnovy molekulyarnoi diagnostiki. Metabolomika* (Fundamentals of molecular diagnostics. Metabolomics), Moscow: GEOTAR-Media, 2016, 271 p. (In Russ.)
5. Campbell A.K., Save those molecules! Molecular biodiversity and life, *Journal of Applied Ecology*, 2003, Vol. 40(2), pp. 193–203.
6. Troy D.J., Kerry J.P., Consumer perception and the role of science in the meat industry, *Meat Science*, 2010, Vol. 86(1), pp. 214–226.
7. Ahmad R.S., Imran A., Hussain M.B., Nutritional composition of meat, *Meat Science and Nutrition*, 2018, Vol. 61(10.5772), P. 61–75.
8. Babicz M., Kasprzyk A., Kropiwek-Domańska K., Influence of the sex and type of tissue on the basic chemical composition and the content of minerals in the sirloin and offal of fatterer pigs, *Canadian Journal of Animal Science*, 2018, Vol. 99(2), pp. 343–348.
9. Rooke J.A., Flockhart J.F., Sparks N.H., The potential for increasing the concentrations of micro-nutrients relevant to human nutrition in meat, milk and eggs, *The Journal of Agricultural Science*, 2010, Vol. 148(5), pp. 603–614.

10. Diniz W.J.S., Banerjee P., Regitano L.C.A., Cross talk between mineral metabolism and meat quality: A systems biology overview, *Physiological Genomics*, 2019, Vol. 51(11), pp. 529–538.
11. Stepanova M.V., Sotnikova L.F., Zaitsev S.Y., Relationships between the content of micro-and macroelements in animal samples and diseases of different etiologies, *Animals*, 2023, Vol. 13(5), pp. 852.
12. Vasak M., Hasler D.W., Metallothioneins: new functional and structural insights, *Current Opinion in Chemical Biology*, 2000, Vol. 4(2), pp. 177–183.
13. Maret W., Zinc biochemistry: from a single zinc enzyme to a key element of life, *Advances in Nutrition*, 2013, Vol. 4(1), pp. 82–91.
14. Chasapis C.T., Loutsidou A.C., Spiliopoulou C.A., Stefanidou M.E., Zinc and human health: an update, *Archives of Toxicology*, 2012, Vol. 86, pp. 521–534.
15. Andreini C., Banci L., Bertini I., Rosato A., Counting the zinc-proteins encoded in the human genome, *Journal of Proteome Research*, 2006, Vol. 5(1), pp. 196–201.
16. Leoni G., Rosato A., Perozzi G., Murgia C., Zinc proteome interaction network as a model to identify nutrient-affected pathways in human pathologies, *Genes & Nutrition*, 2014, Vol. 9(6), pp. 1–9.
17. Vallee B.L., Falchuk K.H., The biochemical basis of zinc physiology, *Physiological reviews*, 1993, Vol. 73(1), pp. 79–118.
18. Tsuji P.A., Canter J.A., Rosso L.E., Trace minerals and trace elements, *Encyclopedia of food and health*, 1st edn. Caballero B., Finglas PM, Toldrá F (eds), Oxford, Elsevier, 2016, pp. 331–338.
19. Frolova O.A., Tafeeva E.A., Bocharov E.P., *Gigiena i sanitariya*, 2017, Vol. 96(3), pp. 226–229. (In Russ.)
20. Global plan of action for animal genetic resources and the interlaken declaration, Rome, FAO, 2007, 37 p.
21. Sato S., Uemoto Y., Kikuchi T. [et al.], SNP- and haplotype-based genome-wide association studies for growth, carcass, and meat quality traits in a Duroc multigenerational population, *BMC Genetics*, 2016, Vol. 17(60), pp. 1–17.
22. Zinov'eva N., *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2019, No. S2, pp. 15–17. (In Russ.)
23. Zheltikov A.I., Petukhov V.L., Korotkevich O.S. [i dr.], *Cherno-pestryi skot Sibiri* (Black-and-white cattle of Siberia), Novosibirsk, 2012, 500 p. (In Russ.)
24. Zheltikov A.I., Kostomakhin N.M., Venediktova O.M. [i dr.], *Glavnyi zootekhnika*, 2017, No. 2, pp. 23–30. (In Russ.)
25. Petukhov V.L., Ernst L.K., Gudilin I.I. [i dr.], *Geneticheskie osnovy seleksii zhivotnykh* (The genetic basis of animal breeding), Moscow: Rosagropromizdat, 1989, 448 p. (In Russ.)
26. Petukhov V.L., Tikhonov V.N., Zheltikov A.I. [i dr.], *Genofond skorospeloi myasnoi porody svinei* (Gene pool of precocious meat breed of pigs), Novosibirsk, 2005, 631 p. (In Russ.)
27. Petukhov V.L., Tikhonov V.N., Zheltikov A.I. [i dr.], *Genofond i fenofond sibirskoi severnoi porody i cherno-pestroi porodnoi gruppy svinei* (Gene pool and phenofund of Siberian Northern breed and black-and-white breed group of pigs), Novosibirsk, 2012, 579 p. (In Russ.)
28. Zajko O.A., *Izmenchivost' i korrelyatsii khimicheskikh elementov v organakh i tkanyakh svinej skorospeloi myasnoi porody SM-1* (Variability and correlations of chemical elements in organs and tissues of pigs of early maturing meat breed SM-1), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2015, 183 p. (In Russ.)
29. Zaiko O.A., Nazarenko A.V., Koroleva I.A. [i dr.], *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2021, No. 51(1), pp. 90–98. (In Russ.)
30. Nekrasova R.V., Golovina A.V., Makhaeva E.A. [i dr.], *Normy potrebnosti molochnogo skota i svinei v pitatel'nykh veshchestvakh* (Standards requirements of dairy cattle and pigs in nutrients), Moscow: Rossiiskaya akademiya nauk, 2018, 290 p. (In Russ.)
31. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S. [et al.], Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9(4), pp. 368–374.
32. McGrath S., Zhao X., Steele R. [et al.], Estimating the sample mean and standard deviation from commonly reported quantiles in meta-analysis, *Statistical Methods in Medical Research*, 2020, Vol. 29(9), pp. 2520–2537.
33. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev J.I. [et al.], Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia), *Indian Journal of Ecology*, 2018, Vol. 45(4), pp. 866–871.
34. Filipoiu D.C., Bungau S.G., Endres L. [et al.], Characterization of the toxicological impact of heavy metals on human health in conjunction with modern analytical methods, *Toxics*, 2022, Vol. 10(12), pp. 716.
35. *Sposob opredeleniya soderzhaniya margantsa v pecheni sviney*: pat. RU 2791231 S1 Ros. Federatsiya. № 2022109749, Zayko O.A., Nazarenko A.V., Konovalova T.V. [i dr.]; zayavl. 11.04.2022; opubl. 06.03.2023, Byul. No. 7, 8 p. (In Russ.)
36. *Sposob opredeleniya urovnya tsinka v pochkakh sviney*: pat. RU 2761031 S1 Ros. Federatsiya. № 2021101423, Zayko O.A., Nazarenko A.V., Sebezhko O.I. [i dr.]; zayavl. 22.01.2021, opubl. 02.12.2021, Byul. No. 34, 6 p. (In Russ.)

37. *Sposob opredeleniya sodержaniya kadmiya v pecheni krupnogo rogatogo skota*: pat. RU25911825 S1 Ros. Federatsiya. № 2015116391/15, Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V. [i dr.]; zayavl. 29.04.2015, opubl. 20.07.2016, Byul. No. 20, 5 p. (In Russ.)
38. *Sposob opredeleniya kontsentratsii svintsya v legkikh krupnogo rogatogo skota*: pat. RU 2602915 S1 Ros. Federatsiya. № 2015130994/15, Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N. [i dr.]; zayavl. 24.07.2015; opubl. 20.11.2016, Byul. No. 32, 6 p. (In Russ.)
39. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Shishin N.I. [et al.], Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the Republic of Tyva, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 9, pp. 1530–1535.
40. Skal'nyi A.V., Rudakov I.A., *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2005, No. S2-2, pp. 4–8. (In Russ.)
41. Georgievskii V.I., Annenkov B.N., Samokhin V.T., *Mineral'noe pitanie zhivotnykh* (Mineral nutrition of animals), Moscow: Kolos, 1979, 471 p. (In Russ.)
42. Brown K.H., Wuehler S.E., Peerson J.M., The importance of zinc in human nutrition and estimation of the global prevalence of zinc deficiency, *Food and Nutrition Bulletin*, 2001, Vol. 22(2), pp. 113–125.
43. Davin R., Manzanilla E.G., Klasing, K.C., Pérez J.F., Effect of weaning and in feed high doses of zinc oxide on zinc levels in different body compartments of piglets, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2013, Vol. 97, pp. 6–12.
44. Stasiak K., Roślewska A., Stanek M. [et al.], The content of selected minerals determined in the liver, kidney and meat of pigs, *Journal of Elementology*, 2017, Vol. 22(4), pp. 1475–1483.
45. López-Alonso M., García-Vaquero M., Benedito J.L. [et al.], Trace mineral status and toxic metal accumulation in extensive and intensive pigs in NW Spain, *Livestock Science*, 2012, Vol. 146(1), pp. 47–53.
46. Puls R., Mineral levels in animal health: diagnostic data, 1994, Clearbrook, 356 p.
47. Burrough E.R., De Mille C., Gabler N.K., Zinc overload in weaned pigs: Tissue accumulation, pathology, and growth impacts, *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 2019, Vol. 31(4), pp. 537–545.
48. Black R.E., Zinc deficiency, infectious disease and mortality in the developing world, *The Journal of Nutrition*, 2003, Vol. 133(5), pp. 1485S–1489S.
49. Kaur K., Gupta R., Saraf S.A., Saraf S.K., Zinc: the metal of life, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2014, Vol. 13(4), pp. 358–376.
50. Erdman Jr.J.W., Macdonald I.A., Zeisel S.H. (ed.), *Present knowledge in nutrition*, Ames: Wiley-Blackwell, 2012, 1328 p.
51. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc, Washington: National Academies Press, 2001, 800 p.
52. Nazarenko A.V., Zaiko O.A., Konovalova T.V. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 3(68), pp. 262–271. (In Russ.)
53. Zaiko O.A., Konovalova T.V., Korotkevich O.S. [i dr.], *Svinovodstvo*, 2023, No. 7, pp. 39–41. (In Russ.)

Информация об авторах:

О.А. Зайко, кандидат биологических наук
 Т.В. Коновалова, старший преподаватель
 О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор
 В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор
 О.И. Себежко, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

O.A. Zaiko, Ph.D. in Biological Sciences
 T.V. Konovalova, Senior Lecturer
 O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor
 V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor
 O.I. Sebezhko, PhD of Biological Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.