

СОДЕРЖАНИЕ МАРГАНЦА В НЕКОТОРЫХ ОРГАНАХ И ТКАНЯХ СВИНЕЙ ПОРОДЫ ЛАНДРАС

О.А. Зайко, кандидат биологических наук

Е.И. Тарасенко, аспирант

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Ключевые слова: марганец, печень, почки, мышцы, щетина, свиньи, ландрас.

Реферат. Представлены результаты оценки уровня марганца в скелетной мускулатуре, печени, почках и щетине свиней ландрасской породы. Исследования были выполнены на клинически здоровых шестимесячных животных из крупного свиноводческого хозяйства Алтайского края. Условия содержания животных соответствовали стандартным, кормление – типовое для мясного откорма. Элементный анализ проб паренхиматозных органов и мышечной ткани выполнялся с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной и электротермической атомизацией, щетины – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Обработку данных проводили с использованием Microsoft Office Excel и языка программирования R в среде анализа данных RStudio версии 1.3.1093 (2009–2020 RStudio, PBC). Установлено, что распределение во всех случаях являлось нормальным, дисперсии не гомогенны. На основании среднего значения и медианы установлен возрастающий ранжированный ряд содержания марганца в органах и тканях: скелетная мускулатура < почки < печень < щетина, в числовом выражении: 1 : 12,5 : 15,7 : 207. Показатели марганца в скелетной мускулатуре, почках, печени и щетине составили 0,13; 1,62; 2,04 и 26,91 мг/кг соответственно. Большая однородность характерна для аккумуляции микроэлемента в мышцах и почках. На основании критерия Краскала-Уоллиса установлено, что аккумуляция марганца различается в рассмотренных органах и тканях свиней ($H = 88,4$, $df = 3$, $p < 0,0001$). Парное сравнение показало значимые отличия для всех пар, кроме пары «печень – почки». Наиболее близкие результаты на основании кластерного анализа характерны для печени и почек, щетина представляет собой отдельный противоположный кластер, отличающийся значительным уровнем аккумуляции марганца. Полученные результаты могут предварительно служить соответствующей физиологической нормой концентрации марганца в отдельных органах, тканях и производных кожи свиней ландрасской породы в условиях Западной Сибири.

MANGANESE CONTENT IN SOME ORGANS AND TISSUES OF LANDRACE PIGS

O.A. Zaiko, Ph.D. in Biological Sciences

E.I. Tarasenko, Postgraduate Student

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Keywords: manganese, liver, kidneys, muscles, bristles, pigs, landrace.

Abstract. In the article, the authors presented the results of assessing the level of manganese in the skeletal muscles, liver, kidneys, and bristles of Landrace pigs. The studies were performed on clinically healthy six-month-old animals from a large pig farm in the Altai Territory. The conditions of keeping the animals corresponded to the standard ones, the feeding was typical for meat fattening. Elemental analysis of samples of parenchymal organs and muscle tissue was performed using atomic absorption spectrometry with flame and electrothermal atomization, bristles - by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma. Data processing was performed using Microsoft Office Excel and the R programming language in the data analysis environment RStudio version 1.3.1093 (2009–2020 RStudio, PBC). The authors found that the distribution in all cases was normal, and the dispersions are not homogeneous. Based on the average value and median, an increasing ranked series of manganese content in organs and tissues were established: skeletal muscles < kidneys < liver < bristles, in numerical terms: 1: 12.5: 15.7: 207. Manganese levels in skeletal muscles, kidneys, liver, and bristles were 0.13; 1.62; 2.04, and 26.91 mg/kg, respectively. Greater homogeneity is characteristic of the accumulation of microelements in the muscles and kidneys. Based on the Kruskal-Wallis test, it was established that the accumulation of manganese differs in the examined organs and tissues of pigs ($H = 88.4$, $df = 3$, $p < 0.0001$). Pairwise comparison showed significant differences for all pairs, except for the liver-kidney pair. Based on the cluster analysis, the closest results are

typical for the liver and kidneys; the bristle is a separate opposite cluster, characterized by a significant level of manganese accumulation. The results obtained can serve as a preliminary corresponding physiological norm for the concentration of manganese in individual organs, tissues, and skin derivatives of Landrace pigs under the conditions of Western Siberia.

Продуктивность сельскохозяйственных животных обусловлена генетическими и негенетическими составляющими [1–3]. Влияние химических элементов на рост, развитие, воспроизводство, здоровье человека и животных является общепризнанным и обсуждается в научном сообществе в течение длительного времени [4–6]. Несмотря на масштабность данной проблематики, некоторые авторы придерживаются такой позиции, что урон общественному здоровью, который может быть вызван ненормальным влиянием химических элементов или нарушением их баланса в организме, во много раз занижен [7]. Актуальны тематики, посвященные персональному минеральному статусу и здоровью животных, влиянию на человека, использующего продукты животного происхождения, так как в нашей стране регламентируется только уровень отдельных химических элементов в сырье и продуктах питания. В последнее время вопросы экологичности и обеспеченности полезной и безопасной пищей выходят на первый план [8–10].

Марганец является кофактором отдельных митохондриальных ферментов и ферментов аппарата Гольджи: марганецзависимой супероксиддисмутазы, пируваткарбоксилазы, аргиназы, глутаминсинтетазы, гликозилтрансферазы и некоторых других. Микроэлемент является составляющей иммунной и антиоксидантной защиты организма, участвует в глюконеогенезе, цикле мочевины, синтезе протеогликанов [11, 12]. Печень, почки, поджелудочная железа, головной мозг и костная ткань как органы и ткани, богатые митохондриями, имеют относительно высокие уровни марганца у человека и животных [13, 14].

Главным источником марганца для человека являются продукты питания. Это один из наиболее безопасных химических элементов для млекопитающих, что обусловлено особенностями всасывания в кишечнике и выведения с желчью [11, 15]. Что касается кормления сельскохозяйственных животных, то считается, что большинство рационов свиней полностью обеспечивают оценочные требо-

вания в марганце за счет основных компонентов [16].

Комплексное исследование интерьера сельскохозяйственных животных необходимо проводить с целью экологического мониторинга и оценки здоровья животных, что сказывается на качестве сельхозпродукции [17–19]. Но из-за отсутствия референсных интервалов, касающихся гематологических, иммуно-биохимических параметров крови, концентрации химических элементов в органах и тканях и характеризующих отдельные породы животных в определенных зонах разведения, интерпретация результатов затруднена [20–23].

Целью исследования было установление уровней аккумуляции марганца в скелетной мускулатуре, печени, почках и волосяном покрове свиней породы ландрас.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование выполнено на группе клинически здоровых, вакцинированных в соответствии с ветеринарной документацией свиней ландрасской породы, выращенных в Алтайском крае. Животные содержались в типовых условиях, соответствующих виду и мясному типу откорма, в соответствии с ГОСТ 28839-2017, были обеспечены наблюдением ветеринарных специалистов. Кормление осуществлялось типовым полнорационным комбикормом с учетом живой массы животных. Балансирование рациона было выполнено с учетом питательной, минеральной и витаминной составляющей. Количество марганца на разных этапах откорма составляло от 74 до 148 мг на одну голову в сутки. Выполнялся контроль качества комбикормов в соответствии с номенклатурой гарантированных и дополнительных показателей по ГОСТ Р 51550-2000 и ГОСТ Р 51850-2001. Поение животных проводилось водой второго класса, полученной из локального хозяйственно-питьевого источника водоснабжения.

В районе разведения свиней выполнялся многоступенчатый мониторинг воды, почвы и корма на предмет элементного состава, ко-

торый находился в рамках допустимых норм [24, 25].

Убой свиней проводился согласно действующей технологической инструкции, требования к процессу соответствовали Техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» ТР ТС 034/2013. Предметом исследования были такие паренхиматозные органы, как печень и почки, также уровень марганца определялся в скелетной мускулатуре и щетине свиней. Общее число проб – 103.

Химический состав паренхиматозных органов и мышечной ткани выполнялся с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной и электротермической атомизацией на аппарате Shimadzu AA-7000. Элементный анализ производного кожи свиней выполнен посредством атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре iCAP-6500. Пробоподготовка велась по соответствующим ГОСТам.

С полученными данными работали при помощи программы Microsoft Office Excel и языка программирования R в среде анализа данных RStudio версии 1.3.1093 (2009–2020 RStudio, PBC). Были установлены такие показатели, как среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, медиана, среднеквадратическое отклонение, первый и третий квартили, интерквартильный размах, максимальное и минимальное значение содержания марганца, отношение крайних вариантов как частное от деления максимального значения на минимальное. Характер распределения определяли на основании ряда критериев, в том числе Шапиро-Уилка и Андерсона-Дарлинга. Гомогенность дисперсий оценивали при помощи критерия Бартлетта.

Для оценки отличий между органами по концентрации марганца применялся непараметрический критерий Краскела-Уоллиса. С целью выявления различий между отдельными группами органов и тканей попарно использовали апостериорный тест Данна с поправкой Холма. Различия принимались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Кластерный анализ для объединения органов и тканей со сходными характеристиками аккумуляции выполнялся методом Варда, метрикой расстояний было манхэттенское

расстояние, в результате формировалась дендрограмма.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки нормальности распределения изучаемого признака был выполнен ряд тестов. Во всех четырех случаях, характеризующих содержание марганца в печени, почках, скелетной мускулатуре и щетине свиней ландрасской породы, была подтверждена гипотеза о том, что распределение являлось нормальным. Так, в тесте Шапиро-Уилка определено, что W-критерий равен 0,98 ($p > 0,05$) для уровня марганца в рассматриваемых паренхиматозных органах и мышцах и 0,91 ($p > 0,05$) – для щетины. Критерий Андерсона-Дарлинга в случае с определением концентрации микроэлемента в печени и скелетной мускулатуре, где n удовлетворяло условию больше или равно 25, подтвердил нормальность распределения. Проверка гомоскедастичности дисперсий показала их негомогенность ($p < 0,05$).

Исследование элементного статуса различных видов и пород сельскохозяйственных животных выполняется постоянно и важно, в том числе, в рамках мониторинга продукции сельскохозяйственного производства [26–28]. Отсутствуют упорядоченные знания этого плана, касающиеся таких индивидуальных характеристик, как пол, порода, возраст, физиологический статус, биогеохимическая провинция [29–31].

Данные по концентрации марганца в органах и тканях свиней ландрасской породы представлены в табл. 1. Максимальный уровень микроэлемента зафиксирован в щетине животных, здесь его концентрация существенно выше, чем в оставшихся исследуемых структурах. Между паренхиматозными органами в наибольшем количестве металл депонируется в печени, а наименьший уровень марганца характерен для мышечной ткани. Можно сформировать ранжированный ряд, расположив изученные органы и ткани начиная с мышц, приняв концентрацию металла в них за единицу: 1 : 12,5 : 15,7 : 207, что соответствует следующему: скелетная мускулатура < почки < печень < щетина. Ранжированный ряд по медиане выглядит аналогичным образом, так как оба показателя в случае нормального распределения близки по значению друг к другу.

Таблица 1

Содержание марганца в органах и тканях свиней породы ландрас, мг/кг
Manganese content in organs and tissues of Landrace pigs, mg/kg

Органы и ткани	n	$\bar{x} \pm Sx$	Me	lim	Отношение крайних вариант
Печень	28	$2,04 \pm 0,09$	2,00	0,98–3,10	1 : 3,2
Почки	24	$1,62 \pm 0,06$	1,65	1,03–2,14	1 : 2,1
Скелетная мускулатура	30	$0,13 \pm 0,005$	0,13	0,07–0,18	1 : 2,6
Щетина	21	$26,91 \pm 3,90$	26,00	3,60–55,00	1 : 15,3

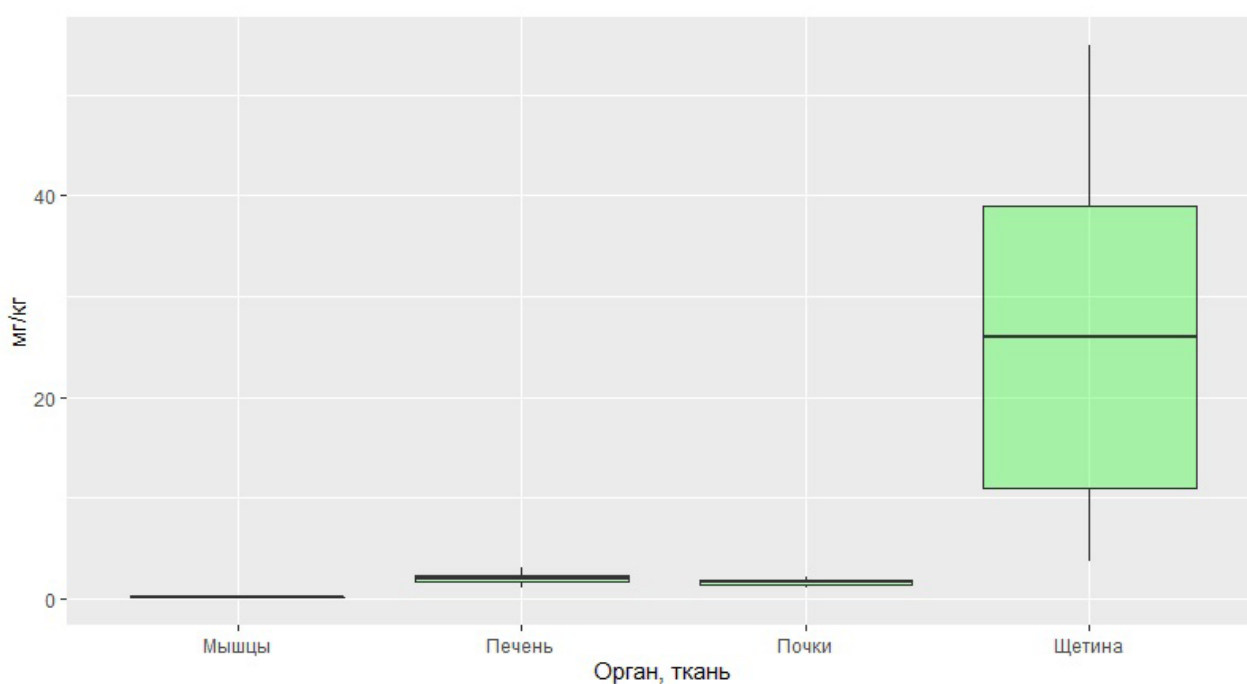


Рис. 1. Размах уровня марганца в органах и тканях свиней породы ландрас
Fig. 1. The range of manganese levels in the organs and tissues of Landrace pigs

Некоторые показатели изменчивости, характеризующие накопление марганца в выбранных органах и тканях, приведены в табл. 2. Наименьший интерквартильный размах ха-

рактерен для скелетной мускулатуры и почек, что подтверждает однородность аккумуляции микроэлемента в этих структурах.

Таблица 2

Показатели изменчивости марганца в органах и тканях свиней породы ландрас
Indicators of manganese variability in organs and tissues of Landrace pigs

Органы и ткани	n	σ	Q1	Q3	IQR
Печень	28	0,50	1,70	2,40	0,70
Почки	24	0,29	1,42	1,79	0,37
Скелетная мускулатура	30	0,03	0,11	0,14	0,03
Щетина	21	17,86	11,00	39,00	28,00

Таблица 3

Попарное сравнение уровня марганца в органах и тканях свиней породы ландрас
Pairwise comparison of manganese levels in organs and tissues of Landrace pigs

Органы; ткань	Мышцы	Печень	Почки
Печень	-6,05 <0,0001*	-	-
Почки	-4,09 0,0001*	1,69 0,0455	-
Щетина	-9,12 <0,0001*	-3,48 0,0005*	-4,94 <0,0001*

* Р в значимом парном сравнении.

Непараметрический критерий Краскела-Уоллиса показал, что аккумуляция марганца значимо различается в рассмотренных органах и тканях свиней ландрасской породы ($N = 88,4$, $df = 3$, $p < 0,0001$). Результаты попарного сравнения представлены в табл. 3. Значимые отличия характерны для всех пар, кроме пары «печень–почки».

Сходство органов и тканей свиней по возможности аккумуляции марганца представлено на дендрограмме (рис. 2). Выделяются два

ведущих кластера. Первый кластер представлен только щетиной и значительно отличается от второго по уровню марганца. В последний объединены соответственно мышцы, почки и печень, здесь микроэлемент накапливается менее интенсивно. Второй кластер может быть разбит на два, так как более похожими особенностями отличается накопление марганца в печени и почках, что было подтверждено ранее.

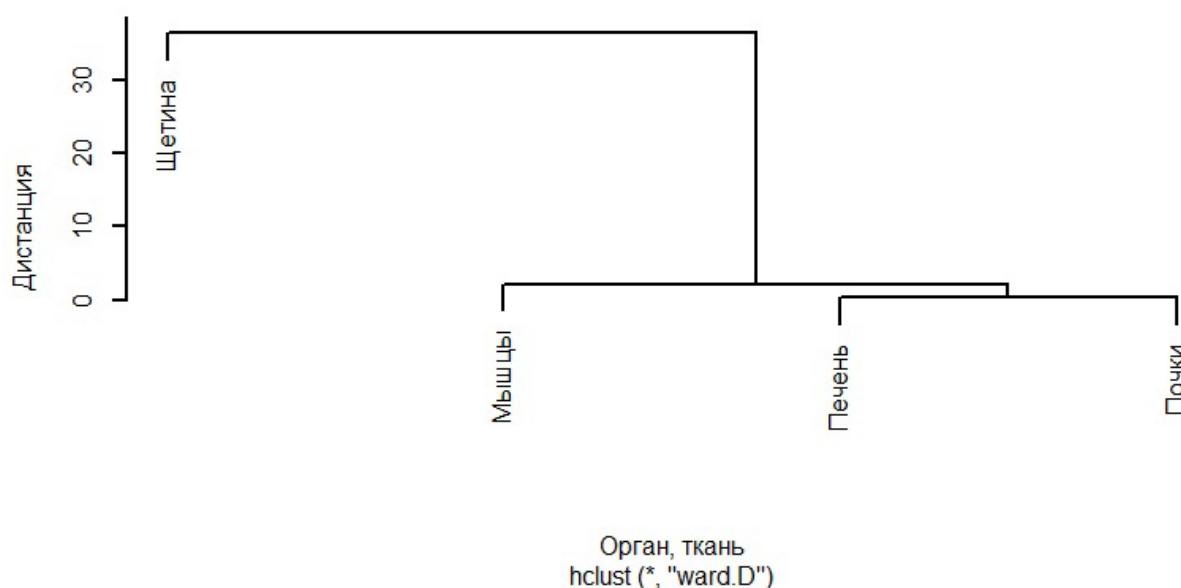


Рис. 2. Кластеризация органов и тканей в соответствии с содержанием марганца
Fig. 2. Clustering of organs and tissues according to the manganese content

Нормы содержания тех или иных химических элементов в организме животных фактически не установлены, особенно с учетом таких понятий, как возраст, порода, район разведения и других индивидуальных характеристик, в литературе представлена разрозненная информация.

Есть данные о содержании марганца в организме свиней: в печени – 2,30–4,00 мг/кг, в почках – 1,30–2,00, в щетине – 0,7–1,6 мг/кг [32]. В случае с паренхиматозными органами значения согласуются с полученными нами, в варианте со щетиной медиана, определенная в нашей работе, выше в 16,3 раза, чем представленная верхняя граница. В скелетной му-

скулатуре гибридов крупная белая (Польша) х ландрас (Польша) концентрация марганца составила 2,8 мг/кг, в печени – 24,5, в почках – 15,2 мг/кг, при этом отличия между органами и тканями также значимы ($P < 0,05$) [33]. Уровень интересующего микроэлемента в другом исследовании в мясе свиней ландрасской породы составил 0,24 мг/кг, а в печени – 3,9 мг/кг [34].

Таким образом, есть необходимость в алгоритмизации данных относительно химического статуса, в том числе сельскохозяйственных животных, установлении нормативных показателей с учетом индивидуальных характеристик, указанных ранее.

ВЫВОДЫ

1. Исследован фенотип клинически здоровых свиней ландрасской породы по содержанию марганца в некоторых органах и тканях, медианы составили в печени 2,00 мг/кг, в

почках – 1,65, скелетной мускулатуре – 0,13, в щетине – 26,00 мг/кг. Эти значения можно предварительно использовать как физиологическую норму для оценки интерьера животных на различных территориях Западной Сибири в ветеринарных и экологических работах.

2. Установлены различия в аккумуляции марганца между органами и тканями ($H = 88,4$, $df = 3$, $p < 0,0001$) и между парами: «печень – скелетная мускулатура» ($p < 0,0001$), «почки – скелетная мускулатура» ($p = 0,0001$), «щетина – скелетная мускулатура» ($p < 0,0001$), «щетина – печень» ($p = 0,0005$), «щетина – почки» ($p < 0,0001$), что подтверждает выборочную аккумуляцию химического элемента в различных структурах организма.

3. Выделены два ведущих кластера сходства органов и тканей свиней по возможности аккумуляции марганца: щетина и мышцы, почки, печень, для последнего характерно менее интенсивное накопление микроэлемента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Проблемы селекции сельскохозяйственных животных* / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1997. – 283 с.
2. *Полиморфизм белков сыворотки крови свиней сибирской северной породы* / Е.В. Камалдинов, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов [и др.] // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 4. – С. 49–51.
3. *Зайко О.А., Коновалова Т.В.* Характеристика генофонда линий породы свиней СМ-1 по аккумуляции свинца в органах и тканях // Свиноводство. – 2013. – № 8. – С. 11–12.
4. *Correlation of the iron level in the bristles of Kemerovo pigs with macro- and essential microelements* / A.V. Nazarenko, O.A. Zaiko, O.S. Korotkevich [et al.] // FSRAABA 2021: Fundamental scientific research and their applied aspects in biotechnology and agriculture, International Scientific and Practical Conference, France. – Tyumen, 2021. – 06032.
5. *Correlation of phosphorus level with macro and microelements in the bristles of Landrace pigs* / O.A. Zaiko, A.V. Nazarenko, M.V. Strizhkova [et al.] // FSRAABA 2021: Fundamental scientific research and their applied aspects in biotechnology and agriculture, International Scientific and Practical Conference, France. – Tyumen, 2021. – 06031.
6. *Biofortification of feedstuffs with microelements in animal nutrition* / J. Novoselec, Z. Klir, M. Domacinovic [et al.] // Poljoprivreda. – 2018. – Vol. 24, N 1. – P. 25–34.
7. *Relevance of essential trace elements in nutrition and drinking water for human health and autoimmune disease risk* / D. Cannas, E. Loi, M. Serra [et al.] // Nutrients. – 2020. – Vol. 12, N 7. – 2074.
8. *Зайко О.А.* Изменчивость и корреляция химических элементов в органах и тканях свиней скороспелой мясной породы СМ-1: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2014. – 183 с.
9. *Стрижкова М.В.* Содержание, изменчивость и корреляция макроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота черно-пестрой породы: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2018. – 126 с.
10. *Нарожных К.Н.* Изменчивость, корреляции и уровень тяжелых металлов в органах и тканях герефордского скота в условиях Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2019. – 163 с.

11. *Spears J.W.* Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production // *Biological Trace Element Research*. – 2019. – Vol. 188, N. 1. – P. 35–44.
12. *Manganese* homeostasis at the host-pathogen interface and in the host immune system / Q. Wu, Q.D. Mu, Z.D. Xia [et al.] // *Seminars in Cell & Developmental Biology*. – 2021. – Vol. 115, N SI. – P. 45–53.
13. *The application* of PBPK models in estimating human brain tissue manganese concentrations / S.P. Ramoju, D.R. Mattison, B. Milton [et al.] // *Neurotoxicology*. – 2017. – Vol. 58. – P. 226–237.
14. *Essentiality* of manganese for bone health: an overview and update / M. Rondanelli, M.A. Faliva, G. Peroni [et al.] // *Natural Product Communications*. – 2021. – Vol. 16, N 5. – P. 1–8.
15. *The impact* of manganese on neurotransmitter systems / A.T.G. Soares, A.C. Silva, A.A. Tinkov [et al.] // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. – 2020. – Vol. 61. – P. 126554.
16. *Determining* the effects of manganese source and level on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs / H.R. Kerkaert, J.C. Woodworth, J.M. DeRouchey [et al.] // *Translational Animal Science*. – 2021. – Vol. 5, N 2. – P. 1–9.
17. *Biochemical*, hematological and mineral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia / O.I. Sebezhko, O.S. Korotkevich, T.V. Konovalova [et al.] // *3rd International Symposium for Agriculture and Food*. – Ohrid, 2017. – P. 100.
18. *Гормональный* и метаболический статус бычков голштинской породы в эколого-климатических условиях Кемеровской области / Л.В. Осадчук, О.И. Себежко, Н.Г. Шишин [и др.] // *Вестник НГАУ*. – 2017. – № 2. – С. 52–61.
19. *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. Sebezhko, V.L. Petukhov, N.I. Shishin [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, N 9. – P. 1530–1535.
20. *Нарожных К.Н., Стрижкова М.В., Коновалова Т.В.* Межпородные различия по уровню макро- и микроэлементов в мышечной ткани крупного рогатого скота Западной Сибири // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2–10. – С. 2158–2163.
21. *Межвидовые* различия по концентрации тяжелых металлов в производных кожи животных / К.Н. Нарожных, Т.В. Коновалова, И.С. Миллер [и др.] // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2–26. – С. 5815–5819.
22. *Heavy metals* in pig muscles / O.A. Zaiko, V.L. Petukhov, T.V. Konovalova [et al.] // *17th International Conference of Heavy Metals in the Environment*. – China, 2014. – P. 76.
23. *Зайко О.А., Короткевич О.С., Петухов В.Л.* Особенности аккумуляции макро- и микроэлементов в миокарде свиней скороспелой мясной породы // *Главный зоотехник*. – 2013. – № 6. – С. 35–40.
24. *Сысо А.И.* Тяжёлые металлы в окружающей среде как угроза растениям, животным и человеку // *Агрохимия в XXI веке: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти академика РАН В.Г. Минеева*. – М., 2018. – С. 30–33.
25. *Direct* determination of cooper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes / T.V. Skiba, A.R. Tsygankova, N.S. Borisova [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, N 6. – P. 958–964.
26. *The impact* of the stud rams of Romanov breed genotype on the accumulation of cadmium in the myocardium of their offspring / T.V. Konovalova, V.A. Andreeva, R.T. Saurbaeva [et al.] // *Trace Elements and Electrolytes*. – 2021. – Vol. 38, N 3. – P. 145.
27. *Manganese* content in muscles of sons of different Holstein bulls reared in Western Siberia / K.N. Narozhnykh, O.I. Sebezhko, T.V. Konovalova [et al.] // *Trace Elements and Electrolytes*. – 2021. – Vol. 38, N 3. – P. 149.
28. *Lead* content in bristle in aboriginal pigs of Siberia / A.V. Nazarenko, O.A. Zaiko, T.V. Konovalova [et al.] // *Trace Elements and Electrolytes*. – 2021. – Vol. 38, N 3. – P. 150.
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. *Dynamics of the mineral composition and deposition rates in the empty body of entire males, castrates and female pigs* / I. Ruiz-Ascacibar, P. Stoll, G. Bee [et al.] // *Animal*. – 2019. – Vol. 13, N 5. – P. 950–958.
31. *The content of selected minerals determined in the liver, kidney and meat of pigs* / K. Stasiak, A. Roslewska, M. Stanek [et al.] // *Journal of Elementology*. – 2017. – Vol. 22, N 4. – P. 1475–1483.
32. *Puls R. Mineral levels in animal health: diagnostic data*. – Canada: Sherpa International, 1988. – 240 p.
33. *Babicz M., Kasprzyk A., Kropiwniec-Domanska 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*. – 2019. – Vol. 99, N 2. – P. 343–348.
34. *Determination of mineral contents of semimembranosus muscle and liver from pure and cross-bred pigs in Vojvodina (northern Serbia)* / V.M. Tomovic, L.S. Petrovic, M.S. Tomovic [et al.] // *Food Chemistry*. – 2011. – Vol. 124, N 1. – P. 342–348.

REFERENCES

1. Panov B.L., Petukhov V.L., Ernst L.K. [i dr.], *Problemy seleksii sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Problems of breeding farm animals), Novosibirsk: Nauka, 1997, 283 p.
2. Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Zheltikov A.I., Fridcher A.A., *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*, 2010, No. 4, pp. 49–51. (In Russ.)
3. Zaiko O.A., Konovalova T.V., *Svinovodstvo*, 2013, No. 8, pp. 11–12. (In Russ.)
4. Nazarenko A.V., Zaiko O.A., Korotkevich O.S. [et al.], Correlation of the iron level in the bristles of Kemerovo pigs with macro- and essential microelements, *FSRAABA 2021: Fundamental scientific research and their applied aspects in biotechnology and agriculture, International Scientific and Practical Conference*, France, Tyumen, 2021, 06032.
5. Zaiko O.A., Nazarenko A.V., Strizhkova M.V. [et al.], Correlation of phosphorus level with macro and microelements in the bristles of Landrace pigs, *FSRAABA 2021: Fundamental scientific research and their applied aspects in biotechnology and agriculture, International Scientific and Practical Conference*, France, Tyumen, 2021, 06031.
6. Novoselec J., Klir Z., Domacinovic M. [et al.], Biofortification of feedstuffs with microelements in animal nutrition, *Poljoprivreda*, 2018, Vol. 24, No. 1, pp. 25–34.
7. Cannas D., Loi E., Serra M. [et al.], Relevance of essential trace elements in nutrition and drinking water for human health and autoimmune disease risk, *Nutrients*, 2020, Vol. 12, No. 7, 2074.
8. Zajko O.A., *Izmenchivost' i korrelyacii ximicheskix e'lementov v organax i tkanyax svinej skorospel'noj myasnoj 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, 2014, 183 p.
9. Strizhkova M.V., *Soderzhanie, izmenchivost' i korrelyatsiya makroelementov v organakh i tkanyakh krupnogo rogatogo skota cherno-pestroi porody* (Content, variability and correlation of macronutrients in organs and tissues of Black-and-white cattle), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2018, 126 p.
10. Narozhny`x K.N., *Izmenchivost', korrelyatsiya i uroven` tyazhely`x metallov v organax i tkanyax gereforskogo skota v usloviyax Zapadnoj Sibiri* (Variability, correlation and level of heavy metals in organs and tissues of Hereford cattle in the conditions of Western Siberia), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2019, 163 p.
11. Spears J.W., Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production, *Biological Trace Element Research*, 2019, Vol. 188, No. 1, pp. 35–44.
12. Wu Q., Mu Q.D., Xia Z.D. [et al.], Manganese homeostasis at the host-pathogen interface and in the host immune system, *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 2021, Vol. 115, No. SI, pp. 45–53.
13. Ramoju S.P., Mattison D.R., Milton B. [et al.], The application of PBPK models in estimating human brain tissue manganese concentrations, *Neurotoxicology*, 2017, Vol. 58, pp. 226–237.
14. Rondanelli M., Faliva M.A., Peroni G. [et al.], Essentiality of manganese for bone health: an overview and update, *Natural Product Communications*, 2021, Vol. 16, No. 5, pp. 1–8.

15. Soares A.T.G., Silva A.C., Tinkov A.A. [et al.], The impact of manganese on neurotransmitter systems, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2020, Vol. 61, 126554.
16. Kerkaert H.R., Woodworth J.C., DeRouchey J.M. [et al.], Determining the effects of manganese source and level on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs, *Translational Animal Science*, 2021, Vol. 5, No. 2, pp. 1–9.
17. Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V. [et al.], Biochemical, hematological and mineral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia, *3rd International Symposium for Agriculture and Food*, Ohrid, 2017, pp. 100.
18. Osadchuk L.V., Sebezhko O.I., Shishin N.G., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Petukhov V.L., Fikhman E.V., *Vestnik NGAU*, 2017, No. 2, pp. 52–61. (In Russ.)
19. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Shishin N.I. [et al.], Influence of anthropogenic pollution on inter- or 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.
20. Narozhnykh K.N., Strizhkova M.V., Konovalova T.V., *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, No. 2–10, pp. 2158–2163. (In Russ.)
21. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Miller I.S., Strizhkova M.V., Zaiko O.A., Nazarenko A.V., *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, No. 2–26, pp. 5815–5819. (In Russ.)
22. Zaiko O.A., Petukhov V.L., Konovalova T.V. [et al.], Heavy metals in pig muscles, *17th International Conference of Heavy Metals in the Environment*, China, 2014, pp. 76.
23. Zaiko O.A., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., *Glavnyi zootekhnik*, 2013, No. 6, pp. 35–40. (In Russ.)
24. Syso A.I., *Agrokimiya v XXI veke* (Agrochemistry in the XXI century), Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with international participation dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences V.G. Mineev, Moscow, 2018, pp. 30–33. (In Russ.)
25. Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S. [et al.], Direct determination of copper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 6, pp. 958–964.
26. Konovalova T.V., Andreeva V.A., Saurbaeva R.T. [et al.], The impact of the stud rams of Romanov breed genotype on the accumulation of cadmium in the myocardium of their offspring, *Trace Elements and Electrolytes*, 2021, Vol. 38, No. 3, pp. 145.
27. Narozhnykh K.N., Sebezhko O.I., Konovalova T.V. [et al.], Manganese content in muscles of sons of different Holstein bulls reared in Western Siberia, *Trace Elements and Electrolytes*, 2021, Vol. 38, No. 3, pp. 149.
28. Nazarenko A.V., Zaiko O.A., Konovalova T.V. [et al.], Lead content in bristle in aboriginal pigs of Siberia, *Trace Elements and Electrolytes*, 2021, Vol. 38, No. 3, pp. 150.
29. Zaiko O.A., Nazarenko A.V., Koroleva I.A., Romanenko M.A., Mager S.N., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2021, T. 51, No. 1, pp. 90–98. (In Russ.)
30. Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Bee G. [et al.], Dynamics of the mineral composition and deposition rates in the empty body of entire males, castrates and female pigs, *Animal*, 2019, Vol. 13, No. 5, pp. 950–958.
31. Stasiak K., Roslewska 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, No. 4, pp. 1475–1483.
32. Puls R., Mineral levels in animal health: diagnostic data, Canada, Sherpa International, 1988, 240 p.
33. Babicz M., Kasprzyk A., Kropiwić-Domanska 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 fatter pigs, *Canadian Journal of Animal Science*, 2019, Vol. 99, No. 2, pp. 343–348.
34. Tomovic V.M., Petrovic L.S., Tomovic M.S. [et al.], Determination of mineral contents of semi-membranosus muscle and liver from pure and crossbred pigs in Vojvodina (northern Serbia), *Food Chemistry*, 2011, Vol. 124, No. 1, pp. 342–348.