

МЕЖВИДОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ МЕДИ В СКЕЛЕТНОЙ МУСКУЛАТУРЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

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

Е.Е. Глущенко, кандидат ветеринарных наук

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Ключевые слова: медь, крупный рогатый скот, овцы, свиньи, яки, мышцы, межвидовые различия.

Реферат. Приведены результаты исследования уровня меди в скелетной мускулатуре крупного рогатого скота, овец, свиней и яков, которое проведено на клинически здоровых животных, выращенных в сибирском регионе. Условия содержания животных соответствовали типовым в зависимости от вида. Элементный анализ проб мышечной ткани выполнялся с помощью атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой. Обработку данных проводили с использованием Microsoft Office Excel и языка программирования R в среде анализа данных RStudio версии 2023.03.1 (RStudio, PBC). Распределение в большинстве случаев не соответствовало нормальному, дисперсии не гомогенны. На основании среднего значения и медианы установлен убывающий ранжированный ряд содержания меди в ткани: крупный рогатый скот < яки < овцы < свиньи, в числовом выражении по медиане: 1,57 : 1,29 : 1,02 : 1,0. Медианы для меди у крупного рогатого скота, яков, овец и свиней составили 1,40; 1,15; 0,024; 0,91; 0,89 мг/кг соответственно, референсные интервалы – 0,40–2,13; 0,30–2,16; 0,39–1,43 и 0,28–1,47 мг/кг. Самый значительный размах изменчивости, на основании среднеквадратического отклонения и соотношения крайних вариантов, характерен для крупного рогатого скота. На основании критерия Краскела-Уоллиса установлено, что аккумуляция меди в мышцах значимо различается между видами ($H = 18,277$, $df = 3$, $p < 0,001$). Парное сравнение показало значимые отличия в парах «крупный рогатый скот – свиньи», «крупный рогатый скот – овцы» и «свиньи – яки». Выделены два кластера по схожести накопления меди: крупный рогатый скот – яки и овцы – свиньи. Полученные результаты могут служить примерной физиологической нормой концентрации меди в скелетной мускулатуре животных разных видов и подтверждают влияние генотипа на кумулятивные способности организма.

INTERSPECIFIC FEATURES OF COPPER ACCUMULATION AND VARIABILITY IN THE SKELETAL MUSCLE OF FARM ANIMALS

O.A. Zayko, PhD 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 in Biological Sciences, Associate Professor

E.E. Glushchenko, PhD in Veterinary Sciences

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Keywords: copper, cattle, sheep, pigs, yaks, muscles, interspecies differences.

Abstract. The results of a study of copper levels in the skeletal muscles of cattle, sheep, pigs and yaks, carried out on clinically healthy animals raised in the Siberian region, are presented. The living conditions of the animals corresponded to the standard ones depending on the species. Elemental analysis of muscle tissue samples was performed using inductively coupled plasma atomic emission spectral analysis. Data processing was done using Microsoft Office Excel and the R programming language in the data analysis environment RStudio version

2023.03.1 (RStudio, PBC). In most cases, the distribution did not correspond to normal, and the variances were not homogeneous. Based on the average value and median, a descending ranked series of copper content in tissue was established: cattle < yaks < sheep < pigs, in numerical terms based on the median: 1.57: 1.29: 1.02: 1.0. The medians for copper in cattle, yaks, sheep and pigs were 1.40; 1.15; 0.024; 0.91; 0.89 mg/kg, respectively, reference intervals are 0.40–2.13, 0.30–2.16, 0.39–1.43 and 0.28–1.47 mg/kg. The most significant range of variability, based on the standard deviation and the ratio of extreme variants, is characteristic of cattle. Based on the Kruskal-Wallis test, muscle copper accumulation differed significantly between species ($H = 18.277$, $df = 3$, $p < 0.001$). Pairwise comparison showed significant differences in the pairs “cattle – pigs”, “cattle – sheep” and “pigs – yaks”. Two clusters were identified based on the similarity of copper accumulation: cattle - yaks and sheep - pigs. The results can serve as an approximate physiological norm for the concentration of copper in the skeletal muscles of animals of different species and confirm the genotype's influence on the organism's cumulative abilities.

В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности РФ каждый гражданин Российской Федерации должен иметь доступ к безопасным продуктам питания с высоким качеством для обеспечения жизни и здоровья. В документе декларируется необходимость проведения фундаментальных и прикладных научных исследований, в том числе в медико-биологической сфере, в отношении безопасности продовольствия, увеличения производства обогащенных, специальных, диетических пищевых продуктов, осуществления постоянного мониторинга, прогнозирования и контроля в области продовольственной безопасности [1].

Продукты животного происхождения представляют собой значимый источник широкого спектра микроэлементов в рационе человека [2]. Особенно ценными считаются железо, медь, цинк, марганец, селен, кобальт и хром [3]. При этом концентрации минеральных веществ в организме сельскохозяйственных животных должны обеспечивать их здоровье и быть адекватными в получаемых продуктах, что затруднительно по причине непостоянных потребностей и изменений в зависимости от множества физиологических составляющих, начиная от вида, возраста и других факторов [4]. Это является обоснованной причиной непрерывного мониторинга химического состава сельскохозяйственного сырья, который может отразиться функционально на организме животных и человека с последующими нарушениями, вплоть до возникновения разнообразных заболеваний [5, 6].

Медь является важнейшим для организма химическим элементом, обладающим окислительно-восстановительным потенциалом, что необходимо многим ферментам, связывающим этот микроэлемент с митохондриальным ды-

ханием, антиоксидантной защитой и образованием нейромедиаторов [7–9].

Научно-исследовательские программы в макрорегионах должны предусматривать углубленное изучение объектов живой и неживой природы для оценки изменения тенденций, диагностики угроз, влияния на здоровье людей, своевременного принятия решений, выработки регулирующих действий [10]. В некоторых регионах Западной Сибири выполняется комплексный экологический мониторинг [11, 12] и изучение генофонда и фенотипа пород и видов сельскохозяйственных животных [13–15]. В том числе оценивается интерьер сельскохозяйственных животных в отношении химического статуса и других групп показателей [16–19].

Цель исследования состояла в оценке влияния генофонда разных видов на содержание меди в скелетной мускулатуре сельскохозяйственных животных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования использовались четыре видовые группы из отряда парнокопытные: свиньи, крупный рогатый скот, овцы и яки. Все животные выращены на территории Сибирского федерального округа, отбирались случайным образом, на основании принципа аналогов, учитывая их происхождение, пол, возраст и живую массу.

Свиньи происходили из крупных свиноводческих хозяйств, их откорм выполнялся до 100 кг, возраст перед убоем составлял ориентировочно 150–160 дней. Содержание было типовым для мясного откорма, соответствовало ГОСТ 28839-2017. Кормление осуществлялось стандартными, сбалансированными по питатель-

ной, минеральной и витаминной составляющей полнорационными комбикормами, соответствовало этапу откорма. Контроль их качества в отношении гарантированных и дополнительных показателей выполнялся в соответствии с ГОСТ Р 51550-2000 и ГОСТ Р 51850-2001. Количество меди, учитывая увеличение живой массы свиней, составляло 19–38 мг в сутки на одно животное.

Бычки до 6 месяцев содержались в соответствии с технологией молочного скотоводства, в дальнейшем дорастивались и откармливались групповым способом на глубокой несменяемой соломенной подстилке в условиях молочного комплекса до возраста 13–15 месяцев, руководствуясь зоогигиеническими и ветеринарно-санитарными требованиями для крупного рогатого скота из ветеринарных правил по содержанию данного вида животных. Кормление было полноценным, нормированным, фронт кормления и поения, показатели микроклимата – типовыми в видовом и возрастном отношении. Рационы зависели от возраста и живой массы бычков. Количество меди в рационе было в пределах 35–70 мг в сутки на голову в зависимости от живой массы животных.

Овцы были выращены с использованием пастбищно-стойловой системы при соблюдении ветеринарных правил содержания овец. Уровень меди в рационе животных составлял от 7 до 10 мг/кг, учитывалось также содержание молибдена и соотношение этих микроэлементов.

Полновозрастные яки выращены в яководческом хозяйстве, содержались в гуртах, круглогодично были на подножном корме в высокогорных условиях условно экологически безопасной зоны.

Поение животных выполнялось водой второго класса, полученной из хозяйственно-питьевого источника. Овец на пастбище и яков поили из естественных быстротекущих водоемов.

Все животные были клинически здоровыми, в анамнезе отсутствовали перенесенные заболевания любого генеза. Убой животных выполнялся на основании ГОСТ 31476-2012, ГОСТ 34120-2017, ГОСТ 31777-2012, ГОСТ 16020-70, действующих технологических инструкций к ним, соответствующих технических регламентов (ТР ТС 034/2013, ТР ТС 021/2011), приказа Минсельхоза России от 12.03.2014 № 72.

Все животные были обеспечены необходимыми санитарно-гигиеническими и зооветеринарными мероприятиями с целью профилактики заболеваний на основании соответствующих планов в зависимости от вида.

На территориях, где выращивались животные, выполнялся комплексный экомониторинг, подразумевающий, в том числе, оценку содержания тяжелых металлов в образцах воды, почвы и других составляющих пищевых цепочек исследуемых видов. Отклонения не были выявлены [20–27].

Предметом исследования служила скелетная мускулатура. Общее количество проб ткани составило 130. В каждом случае отбирали освобожденные от видимых жировых и соединительнотканых структур образцы массой около 100 г каждый. Индивидуально упакованные пробы хранились в zip-лок пакетах в морозильной камере при температуре -24°C до выполнения анализа. Непосредственно микроэлементное исследование проводилось последовательно после размораживания и гомогенизации. Использовался атомно-эмиссионный спектральный анализ с индуктивно-связанной плазмой на приборе iCAP-PRO (Thermo Fisher Scientific) с индексом способа обзора плазмы Duo в аналитическом центре коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. Пробоподготовка состояла из автоклавирования навески 2 г с 2 мл концентрированной азотной кислоты квалификации «особо чистый», температурный режим $80\text{--}100^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч; внесения 5 мл перекиси водорода квалификации не ниже «химически чистый» и автоклавирования при температуре 200°C еще в течение 1 ч. Полностью остывшее содержимое переносили в пластиковую пробирку объемом 50 мл и разбавляли до метки 20 мл дистиллированной водой, перемешивали. Для аппаратного анализа использовалась аликвота. Внутренним стандартом выступал скандий.

Данные обрабатывали с использованием ПО Microsoft Office Excel, языка программирования R и среды анализа данных RStudio версии 2023.03.1 (RStudio, PBC). Вычисляли среднее арифметическое, ошибку среднего арифметического, медиану, среднеквадратическое отклонение, первый и третий квартили, интерквартильный размах, максимальное и минимальное значение содержания меди в

скелетной мускулатуре, отношение крайних вариант как результат деления максимального значения на минимальное. Для оценки характера распределения оценивали несколько критериев (сопоставление средней арифметической и медианы, коэффициент асимметрии и его ошибку, коэффициент эксцесса и его ошибку, критерий Шапиро-Уилка, нормальные вероятностные графики, ящичковые диаграммы). Гомогенность дисперсий проверяли критерием Флигнера-Килина.

Дисперсионный анализ для определения различий между видами животных осуществлялся с помощью непараметрического критерия Краскела-Уоллиса, попарное сравнение – апостериорным тестом Данна с поправкой Холма. Эти тесты принимались статистически значимыми при $p < 0,05$. Для выявления видов с близким уровнем аккумуляции меди в скелетной мускулатуре использовался кластерный анализ методом Варда, метрикой расстояний было манхэттенское расстояние, строилась дендрограмма.

Референсные интервалы (РИ) рассчитывали, пользуясь рекомендациями Института клинических и лабораторных стандартов, Руководства по определению референсных интервалов в ветеринарии и ГОСТ Р 53022.3-2008, методом bootstrap [28, 29] с помощью пакета referenceIntervals. Диапазоны РИ представляли с 90%-ми доверительными интервалами (ДИ).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее действующие санитарные правила и нормы СанПиН 2.3.2.560-96 о гигиенических требованиях к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов,

руководствующиеся законом РСФСР «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», регламентировали уровень меди в мясе всех видов убойных, промысловых и диких животных на уровне не более 5 мг/кг. На данный момент этот нормативный правовой акт не действует, а актуальный Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» в мясе и мясопродуктах ограничивает только количество свинца, мышьяка, кадмия, ртути, олова и хрома.

Законодательно в Европейском союзе до сих пор не установлены максимальные значения для железа, меди и цинка ни в одном виде пищевых продуктов [30], предположительно, по этой причине из российских нормативных правовых актов исчезли некоторые ранее обозначенные значения, что предполагает продолжение исследований в этом направлении.

Концентрацию меди в скелетной мускулатуре различных видов животных оценивали на нормальность распределения рядом тестов. Ни в одном из случаев гипотеза о нормальности не была подтверждена всеми методами, но в соответствии с тестом Шапиро-Уилка для свиней и овец W-критерий равнялся 0,95 ($p > 0,05$) и 0,93 ($p > 0,05$) соответственно. Дисперсии были оценены как негомоскедастичные ($p < 0,05$). В соответствии с этим общепринятые показатели описательной статистики были дополнены робастными.

Исследования о содержании меди в скелетной мускулатуре сельскохозяйственных животных, выращиваемых в сибирском регионе, как источнике полноценного белка, ограничены. Основные характеристики этого интерьерного показателя в зависимости от вида животных представлены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание меди в скелетной мускулатуре различных видов животных, мг/кг
Copper content in skeletal musculature of different animal species, mg/kg

Виды животных	n	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	Me
Свиньи	45	0,93 ± 0,05	0,89
Крупный рогатый скот	45	1,30 ± 0,07	1,40
Овцы	20	0,99 ± 0,07	0,91
Яки	20	1,24 ± 0,09	1,15

Максимальный уровень рассматриваемого металла зарегистрирован в мышечной ткани крупного рогатого скота. Несколько меньшее значение средней и медианы характерно для яков. В целом ранжированный видовой ряд выглядит следующим образом: крупный рогатый скот < яки < овцы < свиньи. У свиней, учитывая медиану, уровень меди был в 1,6 раза ниже, чем у крупного рогатого скота, и в 1,3 – чем в скелетных мышцах яков. Полный ранжированный ряд, где медиана концентрации меди в мышцах свиней принята за единицу, выглядит так: 1,57 : 1,29 : 1,02 : 1,0.

Верхний предел допустимого диапазона перорального приема меди для взрослых людей является неопределенным, но, скорее всего, составляет около 2–3 мг в сутки [31]. Установлены потребности в микроэлементе для человека от

900 до 1700 мкг в сутки в зависимости от пола. В Российской Федерации стандарты питания отсутствуют, так как считается, что развивающиеся страны в большей степени обеспокоены решением более крупных проблем биодоступности, переизбытка и недостаточного питания [32]. Установленные нами значения для мышечной ткани как будущего сырья или непосредственного продукта питания соотносятся с представленными интервалами, не вызывая опасности избытка данного микроэлемента, указывая на необходимость его получения из других компонентов рациона.

Важной характеристикой служат показатели изменчивости признака. Отдельные из них для содержания меди в мышечной ткани животных представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели изменчивости меди в мышечной ткани различных видов животных
Indicators of copper variability in muscle tissue of different animal species

Виды животных	n	σ	Q1	Q3	IQR	lim	Отношение крайних вариантов
Свиньи	45	0,33	0,72	1,10	0,38	0,40–1,70	1 : 4,3
Крупный рогатый скот	45	0,48	0,89	1,60	0,71	0,55–2,90	1 : 5,3
Овцы	20	0,30	0,84	1,20	0,37	0,43–1,60	1 : 3,7
Яки	20	0,42	0,85	1,65	0,80	0,70–1,90	1 : 2,7

Изменчивость уровня меди была относительно однородной. Самый значительный интерквартильный размах характерен для яков, а наименьший – для овец. Для крупного рогатого скота отмечено самое высокое соотношение крайних вариантов, что характеризует выраженное различие содержания рассматриваемого элемента в скелетной мускулатуре данного вида сельскохозяйственных животных. Необходимо также отметить отсутствие резкой разницы между минимальными и максимальными значениями во всех группах, задействованных в исследовании.

Размах изменчивости концентрации меди в рассматриваемой ткани представлен на рис. 1. Похожими диапазонами варьирования отли-

чаются такие пары, как крупный рогатый скот и яки, свиньи и овцы. Большая консолидация свойственна второй паре. В случае овец и яков на размах изменчивости влияет преобладание в данных выборках более высоких концентраций меди.

Отсутствие гомогенности дисперсий и соответствия распределения в группах гауссовскому явились основанием для использования критерия Краскела-Уоллиса для оценки влияния видовой принадлежности на содержание меди в мышечной ткани животных. Установлено, что межвидовые различия по уровню меди существуют ($H = 18,277$, $df = 3$, $p < 0,001$). Апостериорное сравнение показало наличие значимых различий в некоторых парах (табл. 3).

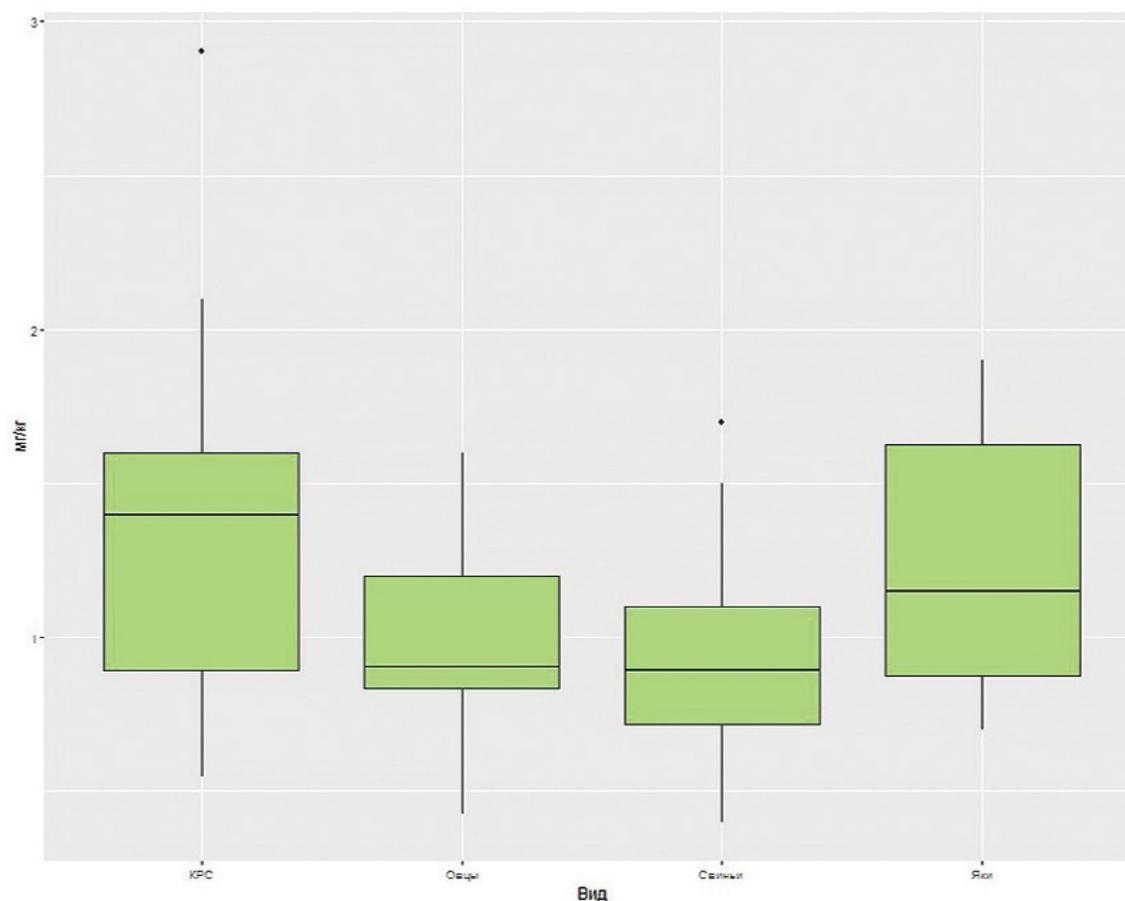


Рис. 1. Размах уровня меди в скелетной мускулатуре различных видов животных
The range of copper levels in skeletal musculature of different animal species

Таблица 3

Результаты апостериорного анализа уровня меди в скелетной мускулатуре различных видов животных
Results of a posteriori analysis of copper levels in the skeletal muscles of different animal species

Виды животных	Z-критерий	p
Крупный рогатый скот – свиньи	3,936	0,0002*
Крупный рогатый скот – овцы	2,451	0,0285*
Крупный рогатый скот – яки	0,491	0,3118
Свиньи – яки	-2,597	0,0235*
Свиньи – овцы	-0,637	0,5241
Овцы – яки	-1,666	0,1437

Группы «крупный рогатый скот – свиньи», «крупный рогатый скот – овцы» и «свиньи – яки» значительно отличались по содержанию меди в скелетной мускулатуре в парах. Аккумуляция микроэлемента в мускулатуре крупного рогатого скота потенциально выше примерно в 1,5 раза, чем в этой же ткани свиней и овец.

Кластерный анализ показал более высокое фенотипическое сходство по накоплению меди в мышечной ткани в парах «крупный рогатый скот – яки» и «овцы – свиньи» (рис. 2). Каждая пара объединена в один для нее кластер. Для крупного рогатого скота и яков характерна более высокая фенотипическая дистанция, что свидетельствует об их отличии от двух остальных

ных видов. Полученные результаты логичны, так как крупный рогатый скот и яки относятся

к одному роду и имеют большую схожесть в генетическом и физиологическом плане.

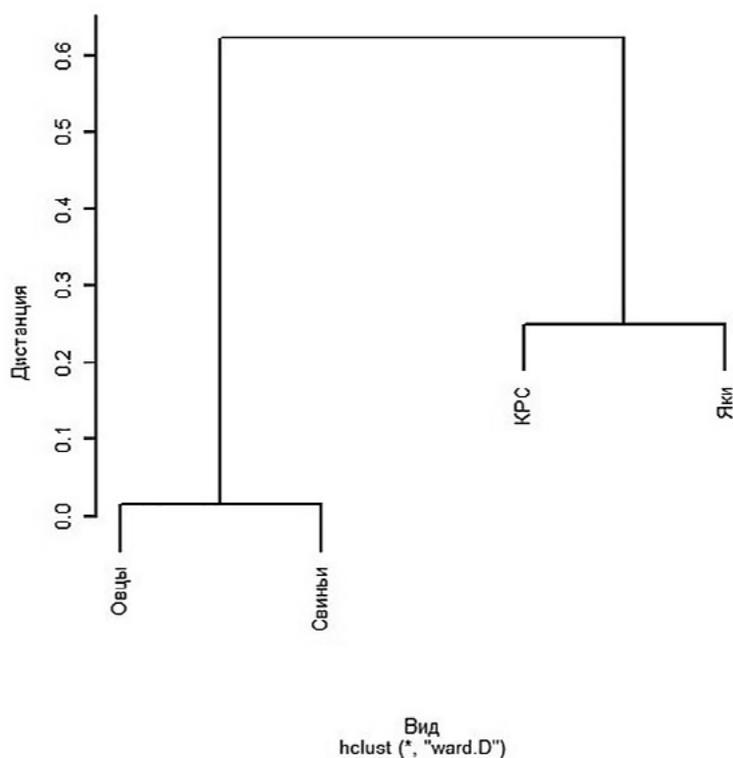


Рис. 2. Кластеризация некоторых видов животных в соответствии с содержанием меди в мышечной ткани
Clustering of some animal species according to the copper content in muscle tissue

На основании исследований необходимо разрабатывать физиологически допустимые нормы содержания экологически значимых тяжелых металлов в органах и тканях животных как потенциальной животноводческой продукции и соотносить их с возможными объемами поступления в организм человека [33–35]. В

данном исследовании после обнаружения статистически значимых межвидовых различий в аккумуляции меди в скелетной мускулатуре рассчитаны предварительные референсные интервалы для выбранных видов животных (табл. 4, рис. 3).

Таблица 4

Референсные интервалы концентрации меди в мышечной ткани животных с 90%-м ДИ, мг/кг
Reference intervals of copper concentration in animal muscle tissue with 90% confidence intervals, mg/kg

Виды животных	Референсный интервал	Нижний предел 90%-го ДИ	Верхний предел 90%-го ДИ
Свиньи	0,28 – 1,47	0,17 – 0,39	1,32 – 1,61
Крупный рогатый скот	0,40 – 2,13	0,16 – 0,58	1,97 – 2,32
Овцы	0,39 – 1,43	0,26 – 0,60	1,21 – 1,67
Яки	0,30 – 2,16	0 – 0,53	1,77 – 2,41

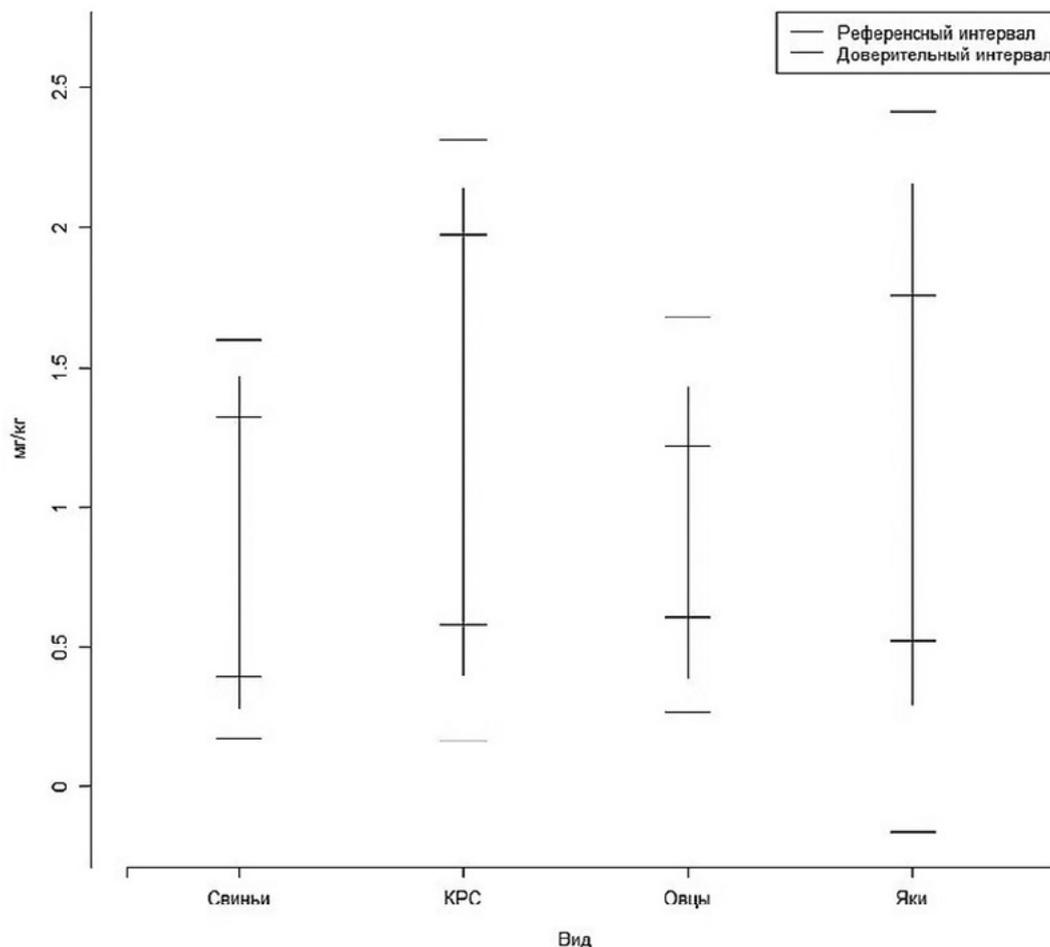


Рис. 3. Референсные интервалы содержания меди в мышечной ткани животных
Reference intervals of copper concentration in animal muscle tissue, mg/kg

В связи с более высокой изменчивостью уровня меди в мышечной ткани крупного рогатого скота и яков РИ для этих групп значительно шире, чем для оставшихся видов. Для яков характерны значительные доверительные границы верхних и нижних референсных интервалов, что связано с количеством наблюдений. Необходимо продолжить исследования с целью увеличения точности референсных границ, увеличив выборки.

Наравне с экологическими проблемами благополучие животных и безопасность пищевых продуктов становятся все более важными вопросами для человечества [36, 37]. Мясо является значимым источником микроэлементов для человека в связи с более высокой их концентрацией в сравнении с другими продуктами питания. Кроме того, оно отличается лучшей биодоступностью некоторых химических элементов, включая медь [38–40], однако счита-

ся, что на протяжении значимого промежутка времени наблюдается существенное снижение концентрации меди в мясе (–55%) [41].

М. Juárez с соавторами [42] приводят диапазоны содержания меди в мясе крупного рогатого скота, овец и свиней, которые равны соответственно 0,4–14,0; 0,3–5,9 и 0,3–1,3 мг/кг. Необходимо отметить, что все нижние границы близко соотносятся с полученными нами референсными интервалами, а верхние значительно больше для первых двух видов и фактически идентичны с нашими данными для овец. Подобная информация по якам ограничена. Е.Е. Кузьминой с соавторами [43] установлено среднее содержание меди в мышцах яков из Республики Тыва, которое составило 2,98 мг/кг. Б.О. Инербаевым [44] определено, что для яков алтайской популяции эта характеристика равнялась 1,5 мг/кг.

Обмен меди в организме животных по-разному регулируется печенью, и на фоне несколько разного количества микроэлемента в корме концентрация её в мышечной ткани может не зависеть от последнего фактора [45–47]. Наши данные подтверждают, что существует вариативность в полноценности состава красного мяса из-за видовых различий. В целом важно сложное взаимодействие генетических, физиологических особенностей животных и производственной среды [42].

ВЫВОДЫ

1. Выполнена оценка фенотипа клинически здорового крупного рогатого скота, яков, овец и свиней по концентрации и изменчивости меди в скелетной мускулатуре, медианы равнялись соответственно 1,40; 1,15; 0,91 и 0,89 мг/кг в соотношении 1,57 : 1,29 : 1,02 :

1,0. Изменчивость уровня меди среди разных видов животных была достаточно однородной.

2. Определены референсные интервалы для крупного рогатого скота (0,40–2,13 мг/кг), яков (0,30–2,16 мг/кг), овец (0,39–1,43 мг/кг) и свиней (0,28–1,47 мг/кг), что актуально для оценки интерьера животных в условиях сибирского региона.

3. Установлено влияние генофонда видов сельскохозяйственных животных на аккумуляцию меди ($N = 18,277$, $df = 3$, $p < 0,001$) в парах «крупный рогатый скот – свиньи» (Z statistic = 3,936, $p = 0,0002$), «крупный рогатый скот – овцы» (Z statistic = 2,451, $p = 0,0285$), «свиньи – яки» (Z statistic = -2,597, $p = 0,0235$).

4. Выделено два кластера сходства видов по особенностям содержания меди в скелетной мускулатуре: крупный рогатый скот – яки и овцы – свиньи. Первый кластер отличается более высоким накоплением микроэлемента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации: утв. Указом Президента Российской Федерации от 21.01.2020 № 20. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 25 с.
2. Trace element concentrations in beef cattle related to the breed aptitude / V. Pereira, P. Carbajales, M. López-Alonso, M. Miranda // Biological Trace Element Research. – 2018. – Vol. 186(1). – P. 135–142.
3. Korish M.A., Attia Y.A. Evaluation of heavy metal content in feed, litter, meat, meat products, liver, and table eggs of chickens // Animals. – 2020. – Vol. 10 (4). – P. 727.
4. Spears J.W. Overview of mineral nutrition in cattle: the dairy and beef NRC // 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. – 2002. – P. 113–126.
5. Bhattacharya P.T., Misra S.R., Hussain M. Nutritional aspects of essential trace elements in oral health and disease: an extensive review // Scientifica (Cairo). – 2016. – Vol. 2016. – P. 5464373.
6. Zofkova I., Davis M., Blahos J. Trace elements have beneficial, as well as detrimental effects on bone homeostasis // Physiological Research. – 2017. – Vol. 66 (3). – P. 391–402.
7. Copper deficiency: causes, manifestations, and treatment / M. Altarelli, N. Ben-Hamouda, A. Schneider, M.M. Berger // Nutrition in Clinical Practice. – 2019. – Vol. 34 (4). – P. 504–513.
8. Arredondo M., González M., Latorre M. Copper // Trace Elements and Minerals in Health and Longevity. – 2018. – Vol. 8. – P. 35–62.
9. Tsuji P.A., Canter J.A., Rosso L.E. Trace minerals and trace elements // Encyclopedia of Food and Health: Academic Press. – Waltham, 2016. – P. 331–338.
10. Revich B.A. Population health risks in the chemical pollution hotspots of the arctic macroregion // Studies on Russian Economic Development. – 2020. – Vol. 31. – P. 238–244.
11. 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. – Guiyang, China: University of Guiyang, 2014. – P. 76.
12. 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(3). – P. 150.
13. Генофонд и фенотип сибирской северной породы и черно-пестрой породной группы свиней / В.Л. Петухов, В.Н. Тихонов, А.И. Желтиков [и др.]. – Новосибирск: Прометей, 2012. – 579 с.
14. Генофонд скороспелой мясной породы свиней / В.Л. Петухов, В.Н. Тихонов, А.И. Желтиков [и др.]. – Новосибирск: Юпитер, 2005. – 631 с.

15. *Черно-пестрый* скот Сибири / А.И. Желтиков, В.Л. Петухов, О.С. Короткевич [и др.]; Новосиб. гос. аграр. ун-т, НИИ вет. генетики и селекции. – Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т, 2012. – 500 с.
16. *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.
17. *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.
18. *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.
19. *Manganese content in muscles of sons of different Holstein bulls reared in Western Siberia* / K.N. Narozhnykh, O.I. Sebezko, T.V. Konvalova [et al.] // *Trace Elements and Electrolytes*. – 2021. – Vol. 38(3). – P. 149.
20. *Макро- и микроэлементы в почвах и кормовых травах прифермерских полей Барнаульского Приобья* / А.И. Сысо, М.А. Лебедева, С.А. Худяев [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2017. – № 3 (44). – С. 54–61.
21. *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 акад. РАН В.Г. Минеева*. – М., 2018. – С. 30–33.
22. *Элементный статус крови крупного рогатого скота голштинской породы в биогеохимических условиях Кемеровской области* / Н.И. Шишин, О.И. Себежко, Ю.И. Федяев [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2017. – № 3 (44). – С. 70–79.
23. *Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of western Siberia* / O.I. Sebezko, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2017. – Vol. 44(3). – P. 662–666.
24. *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.
25. *Ecological and biochemical evaluation of elements contents in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia* / A.I. Syso, V.A. Sokolov, V.L. Petukhov [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9 (4). – P. 368–374.
26. *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. Sebezko, V.L. Petukhov, R.B. Chysyma [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9(9). – P. 1530.
27. *Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia)* / K.N. Narozhnykh, T.V. Konvalova, J.I. Fedyayev [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2018. – Vol. 45(4). – P. 866–871.
28. *Gary L.* Defining, establishing, and verifying reference intervals in the clinical laboratory, 3th ed. – Wayne, USA: CLSI, 2010. – 59 p.
29. *Guidelines for the determination of reference intervals (RI) in veterinary species* // ASVCP: [сайт]. – URL: https://www.asvcp.org/resource/resmgr/QALS/Other_Publications/RI_Guidelines_For_ASVCP_webs.pdf (дата обращения: 11.09.2023).
30. *Determination of sensory properties and levels of trace elements during storage of canned meat products* / B. Stojanović, D. Vasilev, Z. Stojanović [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*. – 2021. – Vol. 45(3). – P. e15278.
31. *World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: incorporating the first and second addenda*. – World Health Organization, 2022.
32. *Global diversity of dietary intakes and standards for zinc, iron, and copper* / J.H. Freeland-Graves, P.K. Sachdev, A.Z. Binderberger, M.E. Sosanya // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. – 2020. – Vol. 61. – P. 126515.
33. *Нарожных К.Н.* Влияние эколого-географического фактора на содержание тяжелых металлов в легких герефордского скота // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2021. – Т. 51, № 5. – С. 83–90.

34. *Закономерности* аккумуляции кадмия в органах и щетине свиней кемеровской породы / А.В. Назаренко, О.А. Зайко, Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1(66). – С. 140–149.
35. *Нарожных К.Н.* Референсные интервалы концентрации микроэлементов в семенниках крупного рогатого скота с учетом паратипических факторов // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 6 (195). – С. 138–144.
36. *Alonso M.E., González-Montaña J.R., Lomillos J.M.* Consumers' concerns and perceptions of farm animal welfare // *Animals*. – 2020. – Vol. 10 (3). – P. 385.
37. *Consumer* interest in environmental impact, safety, health and animal welfare aspects of modern pig production: Results of a cross-national choice experiment / K.G. Grunert, W.I. Sonntag, V. Glanz-Chanos, S. Forum // *Meat science*. – 2018. – Vol. 137. – P. 123–129.
38. *Bioaccessibility* of Ca, Cu, Fe, Mg, Zn, and crude protein in beef, pork and chicken after thermal processing / E.A. Menezes, A.F. Oliveira, C.J. França [et al.] // *Food chemistry*. – 2018. – Vol. 240. – P. 75–83.
39. *Pereira P.M.C.C., Vicente A.F.R.B.* Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet // *Meat science*. – 2013. – Vol. 93 (3). – P. 586–592.
40. *Bohrer B.M.* Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein // *Trends in Food Science & Technology*. – 2017. – Vol. 65. – P. 103–112.
41. *Thomas D.* The mineral depletion of foods available to us as a nation (1940–2002)—a review of the 6th Edition of McCance and Widdowson // *Nutrition and Health*. – 2007. – Vol. 19 (1-2). – P. 21–55.
42. *Enhancing* the nutritional value of red meat through genetic and feeding strategies / M. Juárez, S. Lam, B.M. Bohrer [et al.] // *Foods*. – 2021. – Vol. 10(4). – P. 872.
43. *Кузьмина Е.Е., Чысыма Р.Б., Короткевич О.С.* Содержание тяжелых металлов в органах и тканях яков в хозяйствах Республики Тыва // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 2 (182). – С. 72–77.
44. *Инербаев Б.О., Храпцова И.А., Инербаева А.Т.* Характеристика мяса яков и разработанных варено-копченых изделий // Инновации и продовольственная безопасность. – 2022. – № 4(38). – С. 15–22.
45. *Wilkinson J.M., Hill J., Livesey C.T.* Accumulation of potentially toxic elements in the body tissues of sheep grazed on grassland given repeated applications of sewage sludge // *Animal Science*. – 2001. – Vol. 72 (1). – P. 179–190.
46. *Effects* of dietary copper source and level on performance, carcass characteristics and lipid metabolism in lambs / J. Cheng, C. Fan, W. Zhang [et al.] // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. – 2008. – Vol. 21(5). – P. 685–691.
47. *Evaluation* of dietary synbiotic supplementation on growth performance, muscle antioxidant ability and mineral accumulations, and meat quality in late-finishing pigs / Y.F. Cheng, Y.P. Chen, M.F. Du [et al.] // *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. – 2018. – Vol. 24(5). – P. 673–679.

REFERENCES

1. *Doktrina prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii* (The Doctrine of Food Security of the Russian Federation) (utv. Ukazom Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 21.01.2020 g. № 20), Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2020, 25 p. (In Russ.)
2. *Pereira V., Carbajales P., López-Alonso M., Miranda M.*, Trace element concentrations in beef cattle related to the breed aptitude, *Biological Trace Element Research*, 2018, Vol. 186 (1), pp. 135–142.
3. *Korish M.A., Attia Y.A.*, Evaluation of heavy metal content in feed, litter, meat, meat products, liver, and table eggs of chickens, *Animals*, 2020, Vol. 10 (4), pp. 727.
4. *Spears J.W.*, Overview of mineral nutrition in cattle: the dairy and beef NRC, *13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*, 2002, pp. 113–126.
5. *Bhattacharya P.T., Misra S.R., Hussain M.*, Nutritional aspects of essential trace elements in oral health and disease: an extensive review, *Scientifica (Cairo)*, 2016, Vol. 2016, pp. 5464373.
6. *Zofkova I., Davis M., Blahos J.*, Trace elements have beneficial, as well as detrimental effects on bone homeostasis, *Physiological Research*, 2017, Vol. 66 (3), pp. 391–402.
7. *Altarelli M., Ben-Hamouda N., Schneider A., Berger M.M.*, Copper deficiency: causes, manifestations, and treatment, *Nutrition in Clinical Practice*, 2019, Vol. 34 (4), pp. 504–513.
8. *Arredondo M., González M., Latorre M.*, Copper, *Trace Elements and Minerals in Health and Longevity*, 2018, Vol. 8, pp. 35–62.

9. Tsuji P.A., Canter J.A., Rosso L.E., Trace minerals and trace elements, *Encyclopedia of Food and Health*: Academic Press, *Waltham*, 2016, pp. 331–338.
10. Revich B.A., Population health risks in the chemical pollution hotspots of the arctic macroregion, *Studies on Russian Economic Development*, 2020, Vol. 31, pp. 238–244.
11. 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*, Guiyang, China: University of Guiyang, 2014, pp. 76.
12. 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 (3), p. 150.
13. Petukhov V.L., Tikhonov V.N., Zheltikov A.I., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Fridcher A.A., *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: Prometei, 2012, 579 p.
14. Petukhov V.L., Tikhonov V.N., Zheltikov A.I., Fridcher A.A., Gart V.V., Kamaldinov E.V., Kochneva M.L., Sebezshko O.I., Korotkevich O.S., Zheltikova O.A., *Genofond skorospeloi myasnoi porody svinei* (Gene pool of precocious meat breed of pigs), Novosibirsk: Yupiter, 2005, 631 p.
15. Zheltikov A.I., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Kostomakhin N.M., Soloshenko V.A., Klimenok I.I., Ufimtseva N.S., Adushinov D.S., Golubkov A.I., Kuznetsov A.I., Kamaldinov E.V., *Cherno-pestryi skot Sibiri* (Black-and-white cattle of Siberia), Novosibirsk: Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2012, 500 p.
16. Zaiko O.A., *Izmenchivost' i korrelyacii khimicheskikh elementov v organax i tkanyax 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, 2014, 183 p. (In Russ.)
17. 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.)
18. Narozhnykh K.N., *Izmenchivost', korrelyatsiya i uroven' tyazhelykh metallov v organax i tkanyax gereforskogo skota v usloviyakh 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. (In Russ.)
19. Narozhnykh K.N., Sebezshko 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(3), p. 149.
20. Syso A.I., Lebedeva M.A., Khudyaev S.A., Cherevko A.S., Shishin A.I., Sebezshko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Kamaldinov E.V., Slobozhanin D.M., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2017, No. 3 (44), pp. 54–61. (In Russ.)
21. 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.)
22. Shishin N.I., Sebezshko O.I., Fedyaev Yu.I., Skiba T.V., Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2017, No. 3 (44), pp. 70–79. (In Russ.)
23. Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Korotkevich O.S. [et al.], Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of western Siberia, *Indian Journal of Ecology*, 2017, Vol. 44 (3), pp. 662–666.
24. 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.
25. Syso A.I., Sokolov V.A., Petukhov V.L. [et al.], Ecological and biochemical evaluation of elements contents in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9 (4), pp. 368–374.
26. Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Chysyma R.B. [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 (9), p. 1530.
27. 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.

28. Gary L., *Defining, establishing, and verifying reference intervals in the clinical laboratory*, 3th ed, Wayne, USA: CLSI, 2010, 59 p.
29. *Guidelines for the determination of reference intervals (RI) in veterinary species*, ASVCP: https://www.asvcp.org/resource/resmgr/QALS/Other_Publications/RI_Guidelines_For_ASVCP_webs.pdf (date of application: 11.09.2023).
30. Stojanović B., Vasilev D., Stojanović Z. [et al.], Determination of sensory properties and levels of trace elements during storage of canned meat products, *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, Vol. 45 (3), pp. e15278.
31. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: incorporating the first and second addenda, World Health Organization, 2022.
32. Freeland-Graves J.H., Sachdev P.K., Binderberger A.Z., Sosanya M.E., Global diversity of dietary intakes and standards for zinc, iron, and copper, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2020, Vol. 61, pp. 126515.
33. Narozhnykh K.N., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2021, Vol. 51, No. 5, pp. 83–90. (In Russ.)
34. Nazarenko A.V., Zaiko O.A., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Sebezhko O.I., Petukhov V.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 1 (66), pp. 140–149. (In Russ.)
35. Narozhnykh K.N., *Vestnik KrasGAU*, 2023, No. 6 (195), pp. 138–144. (In Russ.)
36. Alonso M.E., González-Montaña J.R., Lomillos J.M., Consumers' concerns and perceptions of farm animal welfare, *Animals*, 2020, Vol. 10 (3), pp. 385.
37. Grunert K.G., Sonntag W.I., Glanz-Chanos V., Forum S., Consumer interest in environmental impact, safety, health and animal welfare aspects of modern pig production: Results of a cross-national choice experiment, *Meat science*, 2018, Vol. 137, pp. 123–129.
38. Menezes E.A., Oliveira A.F., França C.J. [et al.], Bioaccessibility of Ca, Cu, Fe, Mg, Zn, and crude protein in beef, pork and chicken after thermal processing, *Food chemistry*, 2018, Vol. 240, pp. 75–83.
39. Pereira P.M.C.C., Vicente A.F.R.B., Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet, *Meat science*, 2013, Vol. 93 (3), pp. 586–592.
40. Bohrer B.M., Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein, *Trends in Food Science & Technology*, 2017, Vol. 65, pp. 103–112.
41. Thomas D., The mineral depletion of foods available to us as a nation (1940–2002)—a review of the 6th Edition of McCance and Widdowson, *Nutrition and Health*, 2007, Vol. 19 (1-2), pp. 21–55.
42. Juárez M., Lam S., Bohrer B.M. [et al.], Enhancing the nutritional value of red meat through genetic and feeding strategies, *Foods*, 2021, Vol. 10 (4), pp. 872.
43. Kuz'mina E.E., Chysyma R.B., Korotkevich O.S., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2008, No. 2 (182), pp. 72–77. (In Russ.)
44. Inerbaev B.O., Khramtsova I.A., Inerbaeva A.T., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2022, No. 4 (38), pp. 15–22. (In Russ.)
45. Wilkinson J.M., Hill J., Livesey C.T., Accumulation of potentially toxic elements in the body tissues of sheep grazed on grassland given repeated applications of sewage sludge, *Animal Science*, 2001, Vol. 72 (1), pp. 179–190.
46. Cheng J., Fan C., Zhang W. [et al.], Effects of dietary copper source and level on performance, carcass characteristics and lipid metabolism in lambs, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2008, Vol. 21 (5), pp. 685–691.
47. Cheng Y.F., Chen Y.P., Du M.F. [et al.], Evaluation of dietary synbiotic supplementation on growth performance, muscle antioxidant ability and mineral accumulations, and meat quality in late-finishing pigs, *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 2018, Vol. 24 (5), pp. 673–679.