

УДК 636.085:577.17

DOI: 10.33284/2658-3135-102-3-33

Референтные интервалы концентраций химических элементов в шерсти молочных коров

С.А. Мирошников^{1,2}, О.А. Завьялов¹, А.Н. Фролов¹, М.Я. Курилкина¹, Е.А. Тяпугин¹, Х.Х. Тагиров^{1,3}

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

² Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)

³ Башкирский государственный аграрный университет (г. Уфа)

Аннотация. Настоящее исследование является попыткой оценить границы референтных интервалов содержания химических элементов в шерсти высокопродуктивных молочных коров (на примере голштинской породы), разводимых в условиях Восточно-Европейской (Русской) равнины. Образцы шерсти отбирались от клинически здоровых коров голштинской породы первой (n=50; возраст – 2,3±0,4 года; скорректированный 1 % удой – 137,9±3,8 кг/сут), второй (n=98; возраст – 3,2±0,5 года; скорректированный 1 % удой – 189,0±15,0 кг/сут) и третьей (n=50; возраст – 4,3±0,4 года; скорректированный 1 % удой – 221,0±8,8 кг/сут) лактаций. Стадия лактации – 30-60 суток после отёла. Образцы шерсти были подвергнуты многоэлементному анализу (Co, Cr, Cu, Fe, I, Li, Mn, Ni, Se, Si, V, Zn, B, V, Al, As, Cd, Hg, Pb, Sn, Sr) методами атомно-эмиссионной и масс-спектропии с индуктивно-связанной аргонной плазмой. Сравнительный анализ химического состава шерсти не выявил существенных различий между животными первой, второй и третьей лактаций по основным эссенциальным элементам. Коровы первой лактации отличались достоверно низкой (P≤0,05) концентрацией Pb в шерсти по отношению к коровам третьей лактации и более высоким уровнем (P≤0,05) Hg в сравнении с коровами второй лактации. В связи с тем, что средние значения концентраций основных эссенциальных и токсичных элементов в шерсти коров различных лактаций достоверно не отличались, а выявленная разница по содержанию свинца и ртути не имела устойчивой тенденции в зависимости от изучаемого показателя во всех трёх группах, референтные интервалы рассчитывались для всех животных без учёта разделения по лактациям. Сделано заключение, что полученные данные могут быть использованы в качестве эталонных интервалов для оценки элементного статуса высокопродуктивных молочных коров.

Ключевые слова: коровы, голштинская порода, элементный статус, шерсть (волос), справочные (референтные) интервалы.

UDC 636.085:577.17

Reference ranges of concentrations of chemical elements in the wool of dairy cows

SA Miroshnikov^{1,2}, OA Zavyalov¹, AN Frolov¹, MYa Kurilkina¹, EA Tyapugin¹, KhKh Tagirov^{1,3}

¹ Federal Research Center for Biological System and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

² Orenburg State University (Orenburg, Russia)

³ Bashkir State Agrarian University (Ufa, Republic of Bashkortostan)

Summary. This study is an attempt to assess the boundaries of reference intervals of chemical elements in wool of highly productive dairy cows (for example, the Holstein breed) bred in the East European (Russian) plain. Wool samples were taken from clinically healthy Holstein cows after the first (n=50; age – 2.3±0.4 years; adjusted 1% milk yield 137.9±3.8 kg/day), second (n=98; age – 3.2±0.5 years; adjusted 1% milk yield – 189.0±15.0 kg/day) and third (n=50; age – 4.3±0.4 years; adjusted 1% milk yield – 221,0±8.8 kg/day) lactations. Stage of lactation is 30-60 days after calving. Wool samples were subjected to multielement analysis (Co, Cr, Cu, Fe, I, Li, Mn, Ni, Se, Si, V, Zn, B, V, Al, As, Cd, Hg, Pb, Sn, Sr) by methods atomic emission and mass spectroscopy with inductively coupled argon plasma. A comparative analysis of the chemical composition of wool did not reveal significant differences between the animals of the first, second and third lactations in main essential elements. The cows of the first lactation were characterized by a reliably low (P≤0.05) concentration of Pb in wool in relation to the cows of the third lactation and a higher level (P≤0.05) of Hg in comparison with the cows of the second lactation. Due to the fact that average values of concentrations of main essential and toxic elements in wool of cows of various lactations did not significantly differ, and the revealed difference in the content of lead and mercury did not have a stable trend depending on the studied parameter in all three groups, reference intervals were calculated for all animals disregarding separation by lactations. It is concluded that the data obtained can be used as reference intervals assessing the elemental status of highly productive dairy cows.

Key words: cows, Holstein breed, elemental status, wool (hair), reference intervals.

Введение.

Современное производство молока невозможно без непрерывного контроля состояния здоровья молочных коров (Kossaibati MA and Esslemont RJ, 1997; Donat K et al., 2016), в том числе минерального обмена. Важность оценки минерального обмена определяется ролью химических элементов в работе ферментов (Vallee BL and Auld DS, 1993; Guyot H and Rollin F, 2007), гормонов (Zimmermann MB et al., 2008; Hansen SL et al., 2010), в качестве комплексообразователей или активаторов обмена веществ (Peters JC, 2006; Hansen SL et al., 2009), функционировании иммунной системы (Spears JW, 2000; Mittag J et al., 2010), реализации механизмов антиоксидантного статуса организма (Abuelo A et al., 2016).

В связи с этим оценка элементного статуса молочных коров по перечню элементов даёт исчерпывающую оценку состояния обмена веществ. Это становится возможным через исследования минерального состава биосубстратов, в числе которых всё более широко рассматривается шерсть. Это определяется как тесной связью между концентрацией микроэлементов в шерсти и крови дойных коров (Pieper L et al., 2017; Patra RC et al., 2006; Pavlata L et al., 2011), так и информативностью шерсти коров в качестве долгосрочного параметра для оценки состояния минерального обмена (Combs DK, 1987; Zhao XJ et al., 2015; Pieper L et al., 2016).

Минеральный анализ волос (шерсти) рассматривается в качестве подходящего инструмента для оценки минерального статуса и состояния здоровья других видов животных: лошадей (Asano R et al., 2002; Asano K et al., 2005a,b; Ghorbani A et al., 2015); кошек (Rzymiski P et al., 2015); собак (So KM et al., 2016), диких животных (Kośla T et al., 2011; Roug A et al., 2015).

Но, пожалуй, наиболее широко анализ волос используется для диагностики и коррекции человеческих элементозов, о чём свидетельствует количество посещений медицинских центров, где применяются новые подходы к лечению элементозов.

Анализ элементарного состава волос человека может быть использован при диагностике рассеянного склероза (Tamburo E et al., 2015); онкологических заболеваний (Maziar A et al., 2015; Wozniak A et al., 2016), в выявлении патологий, вызванных тяжёлыми металлами (Grabeklis AR et al., 2011), метаболических синдромов (Park SB et al., 2009) и т. д.

Причём использование элементного анализа волос для интерпретации полученных данных во многом возможно только после сравнения их с референтными значениями содержания химических элементов в волосах человека (Druyan ME et al., 1998; Skalny AV et al., 2015). Практика использования метода в молочном скотоводстве пока не получила широкого распространения. Это не позволяет в полном объёме использовать генетический потенциал высокопродуктивных коров с высокой интенсивностью минерального обмена.

Цель исследования.

Изучение содержания химических элементов и расчёт референтных интервалов концентрации химических элементов в шерсти высокопродуктивного молочного скота для перспективной разработки эталонных параметров состава шерсти для контроля состояния здоровья молочных коров.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Клинически здоровые коровы голштинской породы первой (возраст – 2,3±0,4 года; скорректированный 1 % удой – 137,9±3,8 кг/сут), второй (возраст – 3,2±0,5 года; скорректированный 1 % удой – 189,0±15,0 кг/сут) и третьей (возраст – 4,3±0,4 года; скорректированный 1 % удой – 221,0±8,8 кг/сут) лактаций.

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

Схема эксперимента. Экспериментальная часть работы выполнялись в 2017 г. в условиях ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области (Россия). Образцы шерсти отбирались у коров

голштинской породы (n=148) первой (n=50; I группа), второй (n=98; II группа) и третьей (n=50; III группа) лактаций, разводимых в условиях биогеохимической провинции Восточно-Европейской (Русской) равнины. Стадия лактации – 30-60 суток после отёла. Все животные кормились аналогичной диетой в течение всех периодов. Содержание макро- и микроэлементов в рационе в целом соответствовало требованиям Национального научно-исследовательского совета США (National Research Council, 2005).

Отбор образцов шерсти.

Образцы шерсти массой не менее 0,4 г отбирались с верхней части холки животных согласно ранее разработанной методики (Miroshnikov S et al., 2015).

Оценка элементного состава шерсти.

Образцы шерсти были подвергнуты многоэлементному (Co, Cr, Cu, Fe, I, Li, Mn, Ni, Se, Si, V, Zn, B, V, Al, As, Cd, Hg, Pb, Sn, Sr) анализу методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой.

Оборудование и технические средства. Анализ шерсти проводился в аккредитованной Испытательной лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (ИСО 9001:2008 сертификат 54Q10077 от 21.05.2010 г.) (г. Москва, Россия).

Оценку содержания микроэлементов в образцах производили с использованием спектрометра NexION 300D+NWR213 («Perkin Elmer», США). Градуировка инструмента проводилась с использованием моноэлементных эталонных растворов Perkin-Elmer. Аналитическое качество подтверждено CRM GBW09101 (Шанхайский институт ядерных исследований, Китай).

Статистическая обработка. Для проверки гипотезы о нормальности распределения других количественных признаков применяли критерий Шапиро-Уилка. Достоверность различий проверяли при помощи U-критерия Манна-Уитни. Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали уровень значимости (P), при этом критический уровень значимости принимался меньшим или равным 0,05. Для обработки данных использовали пакет прикладных программ «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). После исключения выбросов робастный метод был применён для оценки референтных интервалов и 90 % доверительных интервалов для нижнего и верхнего пределов (Friedrichs KR et al., 2012; Geffré A et al., 2011).

Результаты исследований.

Сравнительный анализ химического состава шерсти не выявил существенных различий между животными первой, второй и третьей лактаций по основным эссенциальным элементам (табл. 1).

Таблица 1. Концентрация основных эссенциальных и токсических элементов (µg/g) в шерсти коров различных лактаций

Table 1. The concentration of main essential and toxic elements (µg/g) in wool of cows of various lactations

Элемент/ Element	Порядковый номер лактации/Lactation number		
	I	II	III
1	2	3	4
Эссенциальные микроэлементы/Essential trace elements			
Co	0,040±0,006	0,042±0,006	0,041±0,006
Cr	0,098±0,009	0,105±0,016	0,106±0,011
Cu	8,81±0,345	8,7±0,564	8,93±0,199
Fe	132,4±19,64	148,8±29,2	152,6±22,49
I	23,12±8,96	14,34±2,21	10,97±2,46
Li	0,059±0,006	0,057±0,003	0,053±0,007
Mn	5,95±1,86	5,14±0,75	5,22±0,896
Ni	0,199±0,012	0,175±0,01	0,191±0,021
Se	0,946±0,062	0,806±0,051	0,961±0,085

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Si	8,18±1,06	9,61±1,462	10,49±1,21
V	0,027±0,005	0,02±0,003	0,019±0,003
Zn	129,5±5,17	128,3±6,48	144,0±7,24
B	7,59±1,11	6,91±1,77	7,72±1,37
V	0,027±0,005	0,02±0,003	0,019±0,003
Токсичные микроэлементы/Toxic trace elements			
Al	6,04±1,56	2,87±0,623	3,36±0,492
As	0,034±0,002	0,041±0,005	0,041±0,004
Cd	0,004±0,001	0,003±0,001	0,005±0,001
Hg	0,003±0,001	0,008±0,002*	0,005±0,001
Pb	0,112±0,031	0,062±0,017	0,049±0,01*
Sn	0,027±0,007	0,020±0,005	0,029±0,009
Sr	3,25±0,597	2,447±0,227	2,62±0,41

Примечание: Разница считалась значительной при $P \leq 0,05$ в соответствии с тестом Манна-Уитни U* – при $P \leq 0,05$ (по отношению к I лактации)Note: The difference was considered significant at $P \leq 0.05$ in accordance with the Mann-Whitney U test.* – at $P \leq 0.05$ (in relation to I lactation)

Коровы первой лактации отличались достоверно низкой ($P \leq 0,05$) концентрацией свинца в шерсти по отношению к коровам третьей лактации и более высоким уровнем ($P \leq 0,05$) ртути в сравнении с коровами второй лактации.

В связи с тем, что средние значения концентраций основных эссенциальных и токсичных элементов в шерсти коров различных лактаций достоверно не отличались, а выявленная разница по содержанию свинца и ртути не имела устойчивой тенденции в зависимости от изучаемого показателя во всех трёх группах, референтные интервалы рассчитывались для всех животных без учёта разделения по лактациям.

Референтные интервалы содержания основных эссенциальных и токсичных элементов в шерсти коров представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2. Концентрация и референтные интервалы эссенциальных и токсичных элементов в шерсти лактирующих коров, $\mu\text{g/g}$ Table 2. Concentration and reference intervals of essential and toxic trace elements in wool of lactating cows, $\mu\text{g/g}$

Элемент/ Element	Медиана/ Median	Референтный интервал/ Reference interval	Среднее±SD/ Mean±SD	Мин/ Min	Макс/ Max
1	2	3	4	5	6
Эссенциальные элементы/Essential elements					
Co	0,039	0,032-0,054	0,044±0,016	0,018	0,097
Cr	0,109	0,087-0,143	0,125±0,063	0,059	0,409
Cu	8,69	8,04-9,47	8,71±0,979	6,66	11,16
Fe	150	100-217	199,6±211,2	47,36	1368
I	13,71	10,12-19,56	15,65±9,84	4,99	65,93
Li	0,056	0,048-0,070	0,058±0,013	0,029	0,082
Mn	4,5	3,51-6,49	5,18±2,4	1,97	14,94
Se	0,902	0,754-1,13	0,949±0,247	0,556	1,55
Si	8,44	6,28-11,47	8,82±3,46	1,46	15,66
V	0,019	0,015-0,026	0,021±0,008	0,008	0,039

Продолжение 2 таблицы

1	2	3	4	5	6
Токсичные элементы/Toxic elements					
As	0,034	0,028-0,04	0,035±0,009	0,022	0,061
B	8,61	3,4-10,89	7,6±4,38	0,962	17,75
Cd	0,004	0,003-0,005	0,004±0,002	0,001	0,009
Hg	0,004	0,002-0,006	0,004±0,003	0,002	0,012
Ni	0,179	0,157-0,221	0,211±0,120	0,101	0,601
Pb	0,069	0,045-0,141	0,094±0,063	0,025	0,247
Sn	0,019	0,014-0,04	0,042±0,07	0,007	0,345
Sr	2,84	1,82-3,68	2,91±1,37	0,716	7,23

Данные представлены в границах 25 и 75 перцентилей репрезентативной выборки, а также средние значения и соответствующие стандартные отклонения (SD). Минимальные и максимальные значения.

Таблица 3. Ориентировочные значения содержания эссенциальных и токсичных микроэлементов в шерсти ($\mu\text{g/g}$) лактирующих коров
Table 3. Approximate values of the content of essential and toxic trace elements in wool ($\mu\text{g/g}$) of lactating cows

Элемент/ Element	Референтный интервал*/ Reference interval*	Нижняя граница 90 % CI/The lower limit of 90 % CI	Верхняя граница 90 % CI/ The upper limit of 90% CI
Эссенциальные элементы/Essential elements			
Co	0,018-0,097	0,0182-0,0626	0,031-0,097
Cr	0,059-0,409	0,0585-0,113	0,103-0,409
Cu	6,66-11,16	6,66-9,65	8,1-11,16
Fe	47,36-1368	47,36-180	122-1368
I	4,99-65,93	4,99-65,93	10,88-65,93
Li	0,029-0,082	0,0292-0,0729	0,0709-0,0823
Mn	1,97-14,94	1,97-14,94	2,55-14,94
Zn	95,02-167	95,02-140	116-167
Se	0,556-1,55	0,556-0,865	1,55-1,55
Si	1,46-15,66	1,46-7,96	7,03-15,66
V	0,008-0,039	0,0082-0,038	0,0112-0,0392
Токсичные элементы/Toxic elements			
As	0,022-0,06	0,0218-0,0299	0,03-0,0605
B	0,962-17,75	0,962-8,61	11,06-17,75
Cd	0,001-0,009	0,001-0,0039	0,0033-0,0092
Hg	0,002-0,012	0,0018-0,0018	0,0018-0,0123
Pb	0,025-0,247	0,0245-0,247	0,0379-0,247
Sn	0,007-0,345	0,0074-0,011	0,0795-0,345
Sr	0,716-7,23	0,716-5,96	2,96-7,23

Примечание: * Данные представлены в границах 2,5 и 97,5 перцентилей выборки, после исключения выбросов, а также доверительный 90 % интервал верхней и нижней границ. Референтный интервал рассчитан в соответствии с рекомендациями American Society for Veterinary Clinical Pathology Quality Assurance and Laboratory Standard Guidelines (Friedrichs KR et al., 2012)

Note: * Data are presented within the limits of 2.5 and 97.5 percentiles of the sample, after excluding emissions, as well as a 90 % confidence interval of the upper and lower limits. The reference interval is calculated in accordance with the recommendations of the American Society for Veterinary Clinical Pathology Quality Assurance and Laboratory Standard Guidelines (Friedrichs KR et al., 2012)

Обсуждение полученных результатов.

Референтные интервалы (Gräsbeck R and Saris NE, 1969; Siest G et al., 2013) являются одним из основных инструментов для интерпретации результатов лабораторных исследований, продолжают оставаться активной областью исследований (Henny J et al., 2000; Horn PS and Pesce AJ, 2005) и лежат в основе практической работы в клинических лабораториях (Horowitz GL, 2012; Engelhard C, 2011).

Настоящее исследование является попыткой оценить границы референтных интервалов содержания химических элементов шерсти высокопродуктивных коров голштинской породы, разводимых в условиях Восточно-Европейской (Русской) равнины, в соответствии с рекомендациями American Society for Veterinary Clinical Pathology Quality Assurance and Laboratory Standard Guidelines (Friedrichs KR et al., 2012) с применением анализаторов последнего поколения (Rodushkin I et al., 2013; Скальная М.Г. и др., 2003).

В качестве метода расчёта интервалов охвата был использован метод, принятый Международным союзом теоретической и прикладной химии. Хотя нет прямых рекомендаций по использованию этих эталонных интервалов в качестве физиологически нормальных диапазонов.

При анализе данных для человека принято, что физиологически обусловленный диапазон может быть также рассчитан как интервал между 25-м и 75-м перцентилями уровнями химических элементов, полученных из репрезентативной выборки. Применимость этого подхода подтверждена амбулаторной практикой АНО «Центр биотической медицины» (г. Москва, Россия). В соответствии с этой практикой концентрации химических элементов в человеческих волосах в пределах от 10-го до 25-го перцентиля и от 75-го до 90-го перцентиля считаются отклонениями, которые соответствуют состоянию до заболевания. Концентрации в пределах от нулевой линии до 10-го перцентиля и от 90-го до 100-го перцентиля максимально представляют собой болезненное состояние и связаны с ясным клиническим проявлением синдромов и симптомов, характерных для элементов (Скальная М.Г. и др., 2003).

Исследование показало, что полученные контрольные значения Fe, Cu, Se и I были существенно выше в сравнении с ранее опубликованными референтными интервалами для коров герфордской породы (Miroshnikov SA et al., 2017). Полученные данные по Zn соответствуют более ранним исследованиям, проведённым на коровах голштинской породы (Gabryszuk M et al., 2010). Наблюдаемая разница между опубликованными и полученными данными могла возникнуть из-за различий в биогеохимических провинциях обитания сравниваемых животных (Wang ZY et al., 1995; Jarvis SC and Austin AR, 1983; Kincaid RL, 2000).

Объяснить этот факт можно также повышенным уровнем кормления высокопродуктивных молочных коров и умеренным уровнем кормления коров мясного направления продуктивности.

Примечательно, что полученные уровни концентраций основных и токсичных микроэлементов в шерсти у коров согласуются с ранее опубликованными исследованиями (Kierdorf H and Kierdorf U, 2002) для крупного рогатого скота из экологически благоприятных районов Индии. При этом коровы голштино-фризской породы, разводимые в Польше, характеризовались более низкими уровнями концентраций в шерсти As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn и превышали результаты, полученные в настоящем исследовании по Co (Gabryszuk M et al., 2010).

Вместе с тем сравнение лабораторных данных, полученных в различных исследованиях, может быть затруднено по причине различий в методах исследований (Engelhard C, 2011; Rodushkin I et al., 2013) и способах отбора проб (Miroshnikov S et al., 2015). Кроме того, поскольку самки крупного рогатого скота обычно беременны один раз в год, то сравнение различий между стадиями беременности (ранняя, средняя, поздняя) или стадиями лактации может привести к изменению результатов. В данной популяции не было достаточного количества животных для оценки этой картины.

Несколько удивительно, что в нашем исследовании не выявлено никаких значимых эффектов влияния лактации коров на статус большинства эссенциальных и токсичных элементов (Demesko J et al., 2018). В соответствии с этими результатами, элементный анализ шерсти возможно производить без учёта этого признака (Sobota S et al., 2011).

Исключение составил свинец, концентрация которого в шерсти более молодых особей первой лактации была достоверно выше, чем у взрослых коров третьей лактации, что принципиально противоречит результатам, ранее опубликованным для жвачных животных (Kierdorf H and Kierdorf U,

2002). Примечательно, что у коров второй лактации было повышено содержание ртути относительно коров первой лактации, в то время как Lopez Alonso и соавторы (2003) пришли к обратному выводу и продемонстрировали, что коровы не накапливали ртуть с возрастом (Alonso ML et al., 2003). Дальнейший сравнительный анализ показал, что выявленная в нашем исследовании закономерность не однозначна и не была выявлена при сравнении концентраций микроэлементов в шерсти животных всех групп по мере увеличения продолжительности продуктивного использования.

Выводы

Полученные данные могут быть использованы в качестве эталонных интервалов для оценки и коррекции микроэлементного статуса высокопродуктивных молочных коров голштинской породы независимо от продолжительности продуктивного использования.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0526-2019-0001)

Литература

1. Скальная М.Г., Демидов В.А., Скальный А.В. О пределах физиологического (нормального) содержания Ca, Mg, P, Fe, Zn и Cu в волосах человека // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4. Вып. 2. С. 5-10. [Skalnaya MG, Demidov VA, Skalny AV. About the limits of physiological (normal) content of Ca, Mg, P, Fe, Zn and Cu in human hair. Trace Elements in Medicine. 2003;4(2):5-10. (In Russ)].
2. Abuelo A, Alves-Nores V, Hernandez J, Muiño R, Benedito JL, Castillo C. Effect of par-enteral antioxidant supplementation during the dry period on postpartum glucose tolerance in dairy cows. J Vet Int Med. 2016;30(3):892-898. doi: 10.1111/jvim.13922
3. Alonso ML, Benedito JL, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Shore RF. Mercury concentrations in cattle from NW Spain. Sci Total Environ. 2003;302(1-3):93-100. doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00345-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00345-5)
4. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Asano R, Sakai T. Twenty-eight element concentrations in mane hair samples of adult riding horses determined by particle induced X-ray emission. Biol Trace Elem Res. 2005a;107(2):135-140. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:107:2:135>
5. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Matsumoto T, Asano R, Sakai T. Correlation between 25 element contents in mane hair in riding horses and atrioventricular block. Biol Trace Elem Res. 2005b;108(1-3):127-136. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:108:1-3:127>
6. Asano R, Suzuki K, Otsuka T, Otsuka M, Sakurai H. Concentrations of toxic metals and essential minerals in the mane hair of healthy racing horses and their relation to age. J Vet Med Sci. 2002;64(7):607-610. doi: <https://doi.org/10.1292/jvms.64.607>
7. Combs DK. Hair analysis as an indicator of mineral status of livestock. J Anim Sci. 1988;65(6):1753-1758. doi: 10.2527/jas1987.6561753x
8. Demesko J, Markowski J, Słaba M, Hejduk J, Minias P. Age-related patterns in trace element content vary between bone and teeth of the European roe deer (*Capreolus capreolus*). Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2018;74(2):330-338. doi: <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0470-1>
9. Donat K, Siebert W, Menzer E, Söllner-Donat S. Long-term trends in the metabolic profile test results in German Holstein dairy herds in Thuringia, Germany. Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere. 2016;44(2):73-82. doi: 10.15653/TPG-150948
10. Druyan ME, Bass D, Puchyr R, Urek K, Quig D, Harmon E, Marquardt W Determination of reference ranges for elements in human scalp hair. Biol Trace Elem Res. 1998;62(3):183-197. doi: 10.1007/BF02783970
11. Engelhard C. Inductively coupled plasma mass spectrometry: recent trends and developments. Anal Bioanal Chem. 2011;399(1):213-219. doi: 10.1007/s00216-010-4299-y

12. Friedrichs KR, Harr KE, Freeman KP, Szladovits B, Walton RM, Barnhart KF, Blanco-Chavez J. ASVCP reference interval guidelines: determination of de novo reference intervals in veterinary species and other related topics. *Vet Clin Pathol.* 2012;41(4):441-453. doi: 10.1111/vcp.12006
13. Gabryszuk M, Sloniewski K, Metera E, Sakowski T. Content of mineral elements in milk and hair of cows from organic farms. *J Elem.* 2010;15(2):259-267. doi: 10.5601/jelem.2010.15.2.259-267
14. Geffré A, Concordet D, Braun JP, Trumel C. Reference value advisor: a new freeware set of microinstructions to calculate reference intervals with Microsoft Excel. *Vet Clin Path.* 2011;40(1):107-112. doi: 10.1111/j.1939-165X.2011.00287.x
15. Ghorbani A, Mohit A, Darmani Kuhi H. Effects of dietary mineral intake on hair and serum mineral contents of horses. *Journal of Equine Veterinary Science.* 2015;35(4):295-300. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.01.018>
16. Grabeklis AR, Skalny AV, Nechiporenko SP, Lakarova EV. Indicator ability of biosubstances in monitoring the moderate occupational exposure to toxic metals. *J Trace Elem Med Biol.* 2011;25(1):41-44. doi: 10.1016/j.jtemb.2010.10.014
17. Gräsbeck R, Saris NE. Establishment and use of normal values. *Scand J Clin Invest.* 1969;26:62-63.
18. Guyot H, Rollin F. The diagnosis of selenium and iodine deficiencies in cattle. *Ann Med Vet.* 2007;151:166-191.
19. Hansen SL, Ashwell MS, Moeser AJ, Fry RS, Knutson MD, Spears JW. High dietary iron reduces transporters involved in iron and manganese metabolism and increases intestinal permeability in calves. *J Dairy Sci.* 2010;93(2):656-665. doi: 10.3168/jds.2009-2341
20. Hansen SL, Trakooljul N, Liu HC, Moeser AJ, Spears JW. Iron transporters are differentially regulated by dietary iron, and modifications are associated with changes in manganese metabolism in young pigs. *J Nutr.* 2009;139(8):1474-1479. doi: 10.3945/jn.109.105866
21. Henny J, Petitclerc C, Fuentes-Arderiu X, Hyltoft Petersen P, Queraltó JM, Schiele F. Need for revisiting the concept of reference values. *Clin Chem Lab Med.* 2000;38(7):589-595. doi: 10.1515/CCLM.2000.085
22. Horn PS, Pesce AJ. Reference intervals: a user's guide. American Association for Clinical Chemistry. Washington, DC: AACC Press; 2005:115 p. doi: 10.1373/clinchem.2005.058131
23. Horowitz GL. Establishment and Use of Reference Values. *Tietz textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics.* 5th edn. Burtis CA, Ashwood ER, Bruns DE, editors. St. Louis: Elsevier Health Sciences; 2012:95-118
24. Jarvis SC, Austin AR. Soil and plant factor limiting the availability of copper to beef suckler herd. *J Agric Sci (Camb).* 1983;101(1):39-46. doi: 10.1017/s0021859600036340
25. Kierdorf H, Kierdorf U. Reconstruction of a decline of ambient lead levels in the Ruhr area (Germany) by studying lead concentrations in antlers of roe deer (*Capreolus capreolus*). *Sci Total Environ.* 2002;296(1-3):153-158. doi: 10.1016/S0048-9697(02)00073-6
26. Kincaid RL. Assessment of trace mineral status of ruminants: a review. *J Anim Sci.* 1999;77(1):1-10. doi: 10.2527/jas2000.77E-Suppl1x
27. Kośła T, Skibniewska EM, Skibniewski M. The state of bioelements in the hair of free-ranging European bison from Białowieża Primeval Forest. *Pol J Vet Sci.* 2011;14(1):81-86. doi: 10.2478/v10181-011-0012-0
28. Kossaibati MA, Esslemont RJ. The costs of production diseases in dairy herds in England. *Vet J.* 1997;154(1):41-51.
29. Maziar A, Shahbazi-Gahrouei D, Tavakoli MB, Changizi V. Non invasive XRF analysis of human hair for health state determination of breast tissue. *Iran J Cancer Prev.* 2015;8(6):e3983. doi: 10.17795/ijcp-3983
30. Miroshnikov S, Kharlamov A, Zavyalov O, Frolov A, Duskaev G, Bolodurina I, Arapova O. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile. *Pakistan Journal of Nutrition.* 2015;14(9):632-636. doi: 10.3923/pjn.2015.632.636

31. Miroshnikov SA, Zavyalov OA, Frolov AN, Bolodurina IP, Skalny AV, Kalashnikov VV, Grabeklis AR, Tinkov AA. The reference intervals of hair trace element content in hereford cows and heifers (*Bos taurus*). *Biol Trace Elem Res*. 2017;180(1):56-62. doi: 10.1007/s12011-017-0991-5
32. Mittag J, Behrends T, Hoefig CS, Vennström B, Schomburg L. Thyroid hormones regulate selenoprotein expression and selenium status in mice. *PLoS ONE*. 2010;5(9):e12931. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012931>
33. National Research council. Mineral tolerance of animals. Second Revised Edition., Washington, DC: National Academy Press; 2005:510 p. doi: <https://doi.org/10.17226/11309>
34. Park SB, Choi SW, Nam AY. Hair tissue mineral analysis and metabolic syndrome. *Biol Trace Elem Res*. 2009;130(3):218-228. doi: 10.1007/s12011-009-8336-7
35. Patra RC, Swarup D, Sharma MC, Naresh R. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units. *J Vet Med A*. 2006;53(10):511-517. doi: 10.1111/j.1439-0442.2006.00868.x
36. Pavlata L, Chomat M, Pechova A, Misurova L, Dvorak R. Impact of long-term supplementation of zinc and selenium on their content in blood and hair in goats. *Veterinari Medicina*. 2011;56(2):63-74. doi: <https://doi.org/10.17221/1581-VETMED>
37. Peters JC. Evaluating the efficacy of dietary organic and inorganic trace minerals in reproducing female pigs on reproductive performance and body mineral composition. PhD dissertation. The Ohio State University. USA, 2006:158.
38. Pieper L, Schmidt F, Müller AE, Staufenbiel R. Zinc concentrations in different sample media from dairy cows and establishment of reference values. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere*. 2017;45(4):213-218. doi: <http://dx.doi.org/10.15653/TPG-160741>.
39. Pieper L, Wall K, Müller AE, Roder A, Staufenbiel R. Evaluation of sulfur status in dairy cows in Germany. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere*. 2016;44(2):92-98. doi: <http://dx.doi.org/10.15653/TPG-150901>.
40. Rodushkin I, Engström E, Baxter DC. Isotopic analyses by ICP-MS in clinical samples. *Anal Bioanal Chem*. 2013;405(9):2785-2797. doi: 10.1007/s00216-012-6457-x
41. Roug A, Swift PK, Gerstenberg G, Woods LW, Kreuder-Johnson C, Torres SG, Puschner B. Comparison of trace mineral concentrations in tail hair, body hair, blood, and liver of mule deer (*Odocoileus hemionus*) in California. *J Vet Diagn Invest*. 2015;27(3):295-305. doi: <https://doi.org/10.1177/1040638715577826>
42. Rzymiski P, Niedzielski P, Dąbrowski P. Assessment of iron in uterine and testicular tissues and hair of free-ranging and household cats. *Pol J Vet Sci*. 2015;18(4):677-682. doi: 10.1515/pjvs-2015-0087
43. Siest G, Henny J, Gräsbeck R, Wilding P, Petittelerc C, Queraltó JM, Petersen PH. The theory of reference values: an unfinished symphony. *Clin Chem Lab Med*. 2013;51(1):47-64. doi: <https://doi.org/10.1515/cclm-2012-0682>
44. Skalny AV, Skalnaya MG, Tinkov AA, Serebryansky EP, Demidov VA, Lobanova YN, Grabeklis AR, Berezkina ES, Gryazeva IV, Skalny AA, Skalnaya OA, Zhivaev NG, Nikonorov AA. Hair concentration of essential trace elements in adult nonexposed Russian population. *Environ Monit Assess*. 2015;187(11):677. doi: 10.1007/s10661-015-4903-x
45. So KM, Lee Y, Bok JD, Kim EB, Chung MI. Analysis of ionic profiles of canine hairs exposed to lipopolysaccharide (LPS)-induced stress. *Biol Trace Elem Res*. 2016;172(2):364-371. doi: 10.1007/s12011-015-0611-1
46. Sobota S, Baranowska-Bosiacka I, Gutowska I, Kupiec M, Dusza K, Machoy Z, Chlubek D. Biomonitoring of lead and fluoride contamination in forests using chemical analysis of hard tissues of roe deer (*Capreolus capreolus L.*). *Pol J Environ Stud*. 2011;20(2):435-443.
47. Spears JW. Micronutrients and immune function in cattle. *Proc Nutr Soc*. 2000;59(4):587-594. doi: <https://doi.org/10.1017/S0029665100000835>

48. Tamburo E, Varrica D, Dongarrà G, Grimaldi LM. Trace elements in scalp hair samples from patients with relapsing-remitting multiple sclerosis. *PLoS One*. 2015;10(4):e0122142. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122142>
49. Vallee BL, Auld DS. Cocatalytic zinc motifs in enzyme catalysis. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1993;90(7):2715-2718. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.90.7.2715>
50. Wang ZY, Cao GX, Hu ZZ, Dinng YW. Mineral element metabolism and animal disease. *Shanghai Sci Technol Pr*. 1995:106-108.
51. Wozniak A, Napierala M, Golasik M, Herman M, Walas S, Piekoszewski W, Szyfter W, Szyfter K, Golusinski W, Baralkiewicz D, Florek E. Metal concentrations in hair of patients with various head and neck cancers as a diagnostic aid. *Biometals*. 2016;29(1):81-93. doi: 10.1007/s10534-015-9899-8
52. Zhao XJ, Wang XY, Wang JH, Wang ZY, Wang L, Wang ZH. Oxidative stress and imbalance of mineral metabolism contribute to lameness in dairy cows. *Biol Trace Elem Res*. 2015;164(1):43-49. doi: 10.1007/s12011-014-0207-1
53. Zimmermann MB, Jooste PL, Pandav CS. Iodine-deficiency disorders. *Lancet*. 2008;372(9645):1251-1262. doi: 10.1016/S0140-6736(08)61005-3

References

1. Skalnaya MG, Demidov VA, Skalny AV. About the limits of physiological (normal) content of Ca, Mg, P, Fe, Zn and Cu in human hair. *Trace Elements in Medicine*. 2003;4(2):5-10.
2. Abuelo A, Alves-Nores V, Hernandez J, Muiño R, Benedito JL, Castillo C. Effect of par-enteral antioxidant supplementation during the dry period on postpartum glucose tolerance in dairy cows. *J Vet Int Med*. 2016;30(3):892-898. doi: 10.1111/jvim.13922.
3. Alonso ML, Benedito JL, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Shore RF. Mercury concentrations in cattle from NW Spain. *Sci Total Environ*. 2003;302(1-3):93-100. doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00345-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00345-5)
4. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Asano R, Sakai T. Twenty-eight element concentrations in mane hair samples of adult riding horses determined by particle induced X-ray emission. *Biol Trace Elem Res*. 2005a;107(2):135-140. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:107:2:135>
5. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Matsumoto T, Asano R, Sakai T. Correlation between 25 element contents in mane hair in riding horses and atrioventricular block. *Biol Trace Elem Res*. 2005b;108(1-3):127-136. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:108:1-3:127>
6. Asano R, Suzuki K, Otsuka T, Otsuka M, Sakurai H. Concentrations of toxic metals and essential minerals in the mane hair of healthy racing horses and their relation to age. *J Vet Med Sci*. 2002;64(7):607-610. doi: <https://doi.org/10.1292/jvms.64.607>
7. Combs DK. Hair analysis as an indicator of mineral status of livestock. *J Anim Sci*. 1988;65(6):1753-1758. doi: 10.2527/jas1987.6561753x
8. Demesko J, Markowski J, Słaba M, Hejduk J, Minias P. Age-related patterns in trace element content vary between bone and teeth of the European roe deer (*Capreolus capreolus*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2018;74(2):330-338. doi: <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0470-1>
9. Donat K, Siebert W, Menzer E, Söllner-Donat S. Long-term trends in the metabolic profile test results in German Holstein dairy herds in Thuringia, Germany. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere*. 2016;44(2):73-82. doi: 10.15653/TPG-150948
10. Druyan ME, Bass D, Puchyr R, Urek K, Quig D, Harmon E, Marquardt W Determination of reference ranges for elements in human scalp hair. *Biol Trace Elem Res*. 1998;62(3):183-197. doi: 10.1007/BF02783970
11. Engelhard C. Inductively coupled plasma mass spectrometry: recent trends and developments. *Anal Bioanal Chem*. 2011;399(1):213-219. doi: 10.1007/s00216-010-4299-y
12. Friedrichs KR, Harr KE, Freeman KP, Szladovits B, Walton RM, Barnhart KF, Blanco-Chavez J. ASVCP reference interval guidelines: determination of de novo reference intervals in veterinary species and other related topics. *Vet Clin Pathol*. 2012;41(4):441-453. doi: 10.1111/vcp.12006

13. Gabryszuk M, Sloniewski K, Metera E, Sakowski T. Content of mineral elements in milk and hair of cows from organic farms. *J Elem.* 2010;15(2):259-267. doi: 10.5601/jelem.2010.15.2.259-267
14. Geffré A, Concordet D, Braun JP, Trumel C. Reference value advisor: a new freeware set of microinstructions to calculate reference intervals with Microsoft Excel. *Vet Clin Path.* 2011;40(1):107-112. doi: 10.1111/j.1939-165X.2011.00287.x
15. Ghorbani A, Mohit A, Darmani Kuhi H. Effects of dietary mineral intake on hair and serum mineral contents of horses. *Journal of Equine Veterinary Science.* 2015;35(4):295-300. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.01.018>
16. Grabeklis AR, Skalny AV, Nechiporenko SP, Lakarova EV. Indicator ability of biosubstances in monitoring the moderate occupational exposure to toxic metals. *J Trace Elem Med Biol.* 2011;25(1):41-44. doi: 10.1016/j.jtemb.2010.10.014
17. Gräsbeck R, Saris NE. Establishment and use of normal values. *Scand J Clin Invest.* 1969;26:62-63.
18. Guyot H, Rollin F The diagnosis of selenium and iodine deficiencies in cattle. *Ann Med Vet.* 2007;151:166-191.
19. Hansen SL, Ashwell MS, Moeser AJ, Fry RS, Knutson MD, Spears JW. High dietary iron reduces transporters involved in iron and manganese metabolism and increases intestinal permeability in calves. *J Dairy Sci.* 2010;93(2):656-665. doi: 10.3168/jds.2009-2341
20. Hansen SL, Trakooljul N, Liu HC, Moeser AJ, Spears JW. Iron transporters are differentially regulated by dietary iron, and modifications are associated with changes in manganese metabolism in young pigs. *J Nutr.* 2009;139(8):1474-1479. doi: 10.3945/jn.109.105866
21. Henny J, Petitclerc C, Fuentes-Arderiu X, Hyltoft Petersen P, Queraltó JM, Schiele F. Need for revisiting the concept of reference values. *Clin Chem Lab Med.* 2000;38(7):589-595. doi: 10.1515/CCLM.2000.085
22. Horn PS, Pesce AJ. Reference intervals: a user's guide. American Association for Clinical Chemistry. Washington, DC: AACC Press;2005:115 p. doi: 10.1373/clinchem.2005.058131.
23. Horowitz GL. Establishment and Use of Reference Values. *Tietz textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics.* 5th edn. Burtis CA, Ashwood ER, Bruns DE, editors. St. Louis: Elsevier Health Sciences; 2012:95-118.
24. Jarvis SC, Austin AR. Soil and plant factor limiting the availability of copper to beef suckler herd. *J Agric Sci (Camb).* 1983;101(1):39-46. doi: 10.1017/s0021859600036340
25. Kierdorf H, Kierdorf U. Reconstruction of a decline of ambient lead levels in the Ruhr area (Germany) by studying lead concentrations in antlers of roe deer (*Capreolus capreolus*). *Sci Total Environ.* 2002;296(1-3):153-158. doi: 10.1016/S0048-9697(02)00073-6
26. Kincaid RL. Assessment of trace mineral status of ruminants: a review. *J Anim Sci.* 1999;77(1):1-10. doi: 10.2527/jas2000.77E-Suppl1x
27. Kośła T, Skibniewska EM, Skibniewski M. The state of bioelements in the hair of free-ranging European bison from Białowieża Primeval Forest. *Pol J Vet Sci.* 2011;14(1):81-86. doi: 10.2478/v10181-011-0012-0
28. Kossaibati MA, Esslemont RJ. The costs of production diseases in dairy herds in England. *Vet J.* 1997;154(1):41-51.
29. Maziar A, Shahbazi-Gahrouei D, Tavakoli MB, Changizi V. Non invasive XRF analysis of human hair for health state determination of breast tissue. *Iran J Cancer Prev.* 2015;8(6):e3983. doi: 10.17795/ijcp-3983
30. Miroshnikov S, Kharlamov A, Zavyalov O, Frolov A, Duskaev G, Bolodurina I, Arapova O. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile. *Pakistan Journal of Nutrition.* 2015;14(9):632-636. doi: 10.3923/pjn.2015.632.636
31. Miroshnikov SA, Zavyalov OA, Frolov AN, Bolodurina IP, Skalny AV, Kalashnikov VV, Grabeklis AR, Tinkov AA. The reference intervals of hair trace element content in hereford cows and heifers (*Bos taurus*). *Biol Trace Elem Res.* 2017;180(1):56-62. doi: 10.1007/s12011-017-0991-5

32. Mittag J, Behrends T, Hoefig CS, Vennström B, Schomburg L. Thyroid hormones regulate selenoprotein expression and selenium status in mice. PLoS ONE. 2010;5(9):e12931. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012931>
33. National Research council. Mineral tolerance of animals. Second Revised Edition., Washington, DC: National Academy Press; 2005: 510 p. doi: <https://doi.org/10.17226/11309>
34. Park SB, Choi SW, Nam AY. Hair tissue mineral analysis and metabolic syndrome. Biol Trace Elem Res. 2009;130(3):218-228. doi: 10.1007/s12011-009-8336-7
35. Patra RC, Swarup D, Sharma MC, Naresh R. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units. J Vet Med A. 2006;53(10):511-517. doi: 10.1111/j.1439-0442.2006.00868.x
36. Pavlata L, Chomat M, Pechova A, Misurova L, Dvorak R. Impact of long-term supplementation of zinc and selenium on their content in blood and hair in goats. Veterinarni Medicina. 2011;56(2):63-74. doi: <https://doi.org/10.17221/1581-VETMED>
37. Peters JC. Evaluating the efficacy of dietary organic and inorganic trace minerals in reproducing female pigs on reproductive performance and body mineral composition. PhD dissertation. The Ohio State University. USA, 2006:158.
38. Pieper L, Schmidt F, Müller AE, Staufenbiel R. Zinc concentrations in different sample media from dairy cows and establishment of reference values. Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere. 2017;45(4):213-218. doi: <http://dx.doi.org/10.15653/TPG-160741>.
39. Pieper L, Wall K, Müller AE, Roder A, Staufenbiel R. Evaluation of sulfur status in dairy cows in Germany. Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere. 2016;44(2):92-98. doi: <http://dx.doi.org/10.15653/TPG-150901>.
40. Rodushkin I, Engström E, Baxter DC. Isotopic analyses by ICP-MS in clinical samples. Anal Bioanal Chem. 2013;405(9):2785-2797. doi: 10.1007/s00216-012-6457-x
41. Roug A, Swift PK, Gerstenberg G, Woods LW, Kreuder-Johnson C, Torres SG, Puschner B. Comparison of trace mineral concentrations in tail hair, body hair, blood, and liver of mule deer (*Odocoileus hemionus*) in California. J Vet Diagn Invest. 2015;27(3):295-305. doi: <https://doi.org/10.1177/1040638715577826>
42. Rzymiski P, Niedzielski P, Dąbrowski P. Assessment of iron in uterine and testicular tissues and hair of free-ranging and household cats. Pol J Vet Sci. 2015;18(4):677-682. doi: 10.1515/pjvs-2015-0087
43. Siest G, Henny J, Gräsbeck R, Wilding P, Petittclerc C, Queraltó JM, Petersen PH. The theory of reference values: an unfinished symphony. Clin Chem Lab Med. 2013;51(1):47-64. doi: <https://doi.org/10.1515/cclm-2012-0682>
44. Skalny AV, Skalnaya MG, Tinkov AA, Serebryansky EP, Demidov VA, Lobanova YN, Grabeklis AR, Berezkina ES, Gryazeva IV, Skalny AA, Skalnaya OA, Zhivaev NG, Nikonorov AA. Hair concentration of essential trace elements in adult nonexposed Russian population. Environ Monit Assess. 2015;187(11):677. doi: 10.1007/s10661-015-4903-x
45. So KM, Lee Y, Bok JD, Kim EB, Chung MI. Analysis of ionic profiles of canine hairs exposed to lipopolysaccharide (LPS)-induced stress. Biol Trace Elem Res. 2016;172(2):364-371. doi: 10.1007/s12011-015-0611-1
46. Sobota S, Baranowska-Bosiacka I, Gutowska I, Kupiec M, Dusza K, Machoy Z, Chlubek D. Biomonitoring of lead and fluoride contamination in forests using chemical analysis of hard tissues of roe deer (*Capreolus capreolus* L.). Pol J Environ Stud. 2011;20(2):435-443.
47. Spears JW. Micronutrients and immune function in cattle. Proc Nutr Soc. 2000;59(4):587-594. doi: <https://doi.org/10.1017/S0029665100000835>
48. Tamburo E, Varrica D, Dongarrà G, Grimaldi LM. Trace elements in scalp hair samples from patients with relapsing-remitting multiple sclerosis. PLoS One. 2015;10(4):e0122142. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122142>
49. Vallee BL, Auld DS. Cocatalytic zinc motifs in enzyme catalysis. Proc Natl Acad Sci USA. 1993;90(7):2715-2718. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.90.7.2715>

50. Wang ZY, Cao GX, Hu ZZ, Dinng YW. Mineral element metabolism and animal disease. Shanghai Sci Technol Pr. 1995:106-108.

51. Wozniak A, Napierala M, Golasik M, Herman M, Walas S, Piekoszewski W, Szyfter W, Szyfter K, Golusinski W, Baralkiewicz D, Florek E. Metal concentrations in hair of patients with various head and neck cancers as a diagnostic aid. Biometals. 2016;29(1):81-93. doi: 10.1007/s10534-015-9899-8

52. Zhao XJ, Wang XY, Wang JH, Wang ZY, Wang L, Wang ZH. Oxidative stress and imbalance of mineral metabolism contribute to lameness in dairy cows. Biol Trace Elem Res. 2015;164(1):43-49. doi: 10.1007/s12011-014-0207-1

53. Zimmermann MB, Jooste PL, Pandav CS. Iodine-deficiency disorders. Lancet. 2008;372(9645):1251-1262. doi: 10.1016/S0140-6736(08)61005-3

Мирошников Сергей Александрович, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532) 43-46-41, e-mail: vniims.or@mail.ru; исполнительный директор, Институт биоэлементологии, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13

Завьялов Олег Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532) 43-46-78, e-mail: oleg-zavyalov83@mail.ru

Фролов Алексей Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532) 43-46-78, e-mail: forleh@mail.ru

Курилкина Марина Яковлевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)77-39-97, e-mail: icvniims.or@mail.ru

Тяпугин Евгений Александрович, доктор биологических наук, академик РАН, главный научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и металомии в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532) 43-46-78, e-mail: vniims.or@mail.ru

Тагиров Хамит Харисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; заведующий кафедрой технологии мясных, молочных продуктов и химии, Башкирский государственный аграрный университет, 450001, г. Уфа, ул. 50 лет Октября, 34, тел.: 8-905-003-99-27, e-mail: tagirov-57@mail.ru

Поступила в редакцию 13 августа 2019 г.; принята после решения редколлегии 16 сентября 2019 г.; опубликована 30 сентября 2019 г. / Received: 13 August 2019; Accepted: 16 September 2019; Published: 30 September 2019