

УДК 636.085:577.17

DOI: 10.33284/2658-3135-103-2-24

Использование новой технологии для коррекции элементного статуса коров с нарушениями воспроизводительной функции

А.Н. Фролов

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

Аннотация. Целью исследований являлось разработка и использование новой технологии коррекции элементного статуса коров для повышения воспроизводительных качеств коров герефордской породы.

Для этого на первом этапе исследований был изучен элементный состав шерсти у 190 голов коров казахской белоголовой, калмыцкой и герефордской пород, без задержек в половой охоте, осеменении, разводимых на территории Оренбургской области. На основании этих исследований были установлены процентильные интервалы распределения концентраций химических элементов в шерсти; определены значения 25 и 75 процентиля, принятые в качестве «физиологической нормы». На втором этапе исследований от 48 коров герефордской породы с нарушениями в воспроизводительной способности (не пришли в охоту более 2 месяцев после отёла), на основании результатов исследований элементного статуса, установленного по элементному составу шерсти, были отобраны 30 голов, в шерсти которых концентрация йода и селена находилась ниже уровня 25 процентиля: меньше 0,28 и 0,58 мг/кг соответственно.

Животных разделили по принципу аналогов на 2 группы – контрольную и опытную. Коровам опытной группы на 1 и 10 сутки эксперимента парентерально вводился микроэлементный препарат, содержащий в 1 мл: йод – 5,5-7,5 мг, селен в органической форме – 0,07-0,09 мг.

Установлено, что у коров опытной группы на 28 сутки повысилась концентрация I и Se, которые вошли в пределы допустимых значений (25-75 процентиля), снизилась концентрация: Ca, K, Mg, Na, Zn, Al, Sr, Pb, Hg, улучшились морфобиохимические показатели крови относительно начала эксперимента.

Оценка репродуктивных качеств коров показала, что в течение двух месяцев после начала эксперимента в контрольной группе пришло в охоту 67 %, в опытной – 93 %. Осеменено коров к контрольной группе 9 голов, в т. ч. от первой случки 6 голов, когда в опытной эти показатели были 14 и 12 голов соответственно. В контрольной группе две коровы абортывались, что снизило число живых телят в контроле до 7 или 47 %. В опытной группе получено 14 телят или 93 %.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, коровы, герефордская порода, казахская белоголовая порода, калмыцкая порода, элементный статус, воспроизводство, шерсть, индивидуальная коррекция, йод, селен.

UDC 636.085:577.17

Using new technology to correct elemental status of cows with impaired reproductive function

Alexey N Frolov

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

Summary. The aim of the research was to develop and use a new technology for the correction of the elemental status of cows to increase the reproductive qualities of Hereford cows.

For this, at the first stage of research, the elemental composition of hair was studied in 190 heads of cows of the Kazakh white-headed, Kalmyk and Hereford breeds that had no delays in estrus, insemination and were bred in Orenburg region. Based on these studies, percentile intervals of distribution of concentrations

of chemical elements in hair were established; the values of 25 and 75 percentile are accepted, adopted as a “physiological standard”.

At the second stage of research, among 48 cows of Hereford breed with impaired reproductive ability (they weren't in estrus in more than 2 months after calving), 30 heads were selected based on the results of studies on the elemental status determined by the elemental composition of hair, the iodine concentration and selenium was below the 25 percentile level: less than 0.28 and 0.58 mg/kg, respectively.

Animals were selected according to the principle of analogues into 2 groups - control and experimental. The cows of the experimental group on the 1st and 10th day of the experiment were parenterally administered a microelement preparation containing 1 ml: iodine - 5.5-7.5 mg, selenium in organic form - 0.07-0.09 mg.

It was established that the concentration of I and Se in body of cows of the experimental group increased by 28 days, it fell within the acceptable values (25-75 percentile), the concentration decreased: Ca, K, Mg, Na, Zn, Al, Sr, Pb, Hg, improved morphobiochemical parameters of blood relative to the beginning of experiment.

Assessment of the reproductive qualities of cows showed that within two months after the start of the experiment, 67% of the control group were in estrus, and 93% of the experimental group. 9 Cows from the control group were inseminated, including 6 animals from the first mating, in the experimental group these indicators were 14 and 12 heads, respectively. In the control group, two cows had an abortion, it reduced the number of live calves in the control group to 7 or 47%. In the experimental group 14 calves or 93% were obtained.

Key words: cattle, cows, Hereford breed, Kazakh white-headed breed, Kalmyk breed, elemental status, reproduction, hair, individual correction, iodine, selenium.

Введение.

Репродуктивная функция является важнейшим хозяйственно-биологическим признаком крупного рогатого скота и зависит от множества факторов – условий содержания и кормления, организации отёлов и др. (Mallard BA et al., 1998; Waller KP, 2000; Thornton PK et al., 2009).

Элементный статус животных является одним из важных факторов, тесно связанных с воспроизводительной функцией животного (González-Maldonado J et al., 2017).

Наукой накоплен значительный материал, объясняющий тесную связь воспроизводства животных с обменом отдельных химических элементов, в том числе с йодом (Kumar S, 2003), медью (Hesari BA et al., 2012), селеном (Campbell JR et al., 1995; Rutigliano HM et al., 2008), марганцем (Hidiroglou M et al., 1978), хромом (Kafilzadeh F et al., 2012), комплексом микроэлементов (Aholá JK et al., 2004; Machado VS et al., 2013; Omur A et al., 2016). Это определяется функциями микроэлементов в регуляции воспроизводства. Так, йод и железо играют важную роль в деятельности яичников (Qian LC et al., 2001; Yasothai R, 2014), медь и цинк необходимы для выработки фолликулярным аппаратом яичников гормона прогестерона (Gottsch ML et al., 2000; Kendall NR et al., 2006), марганец – в синтезе и выработке эстрогена и прогестерона (Karkoodi K et al., 2012).

На практике знания об элементной природе репродуктивных качеств животных реализуются через оптимизацию питания, с контролем прихода в охоту и эффективности случки, что не позволяет быстро и эффективно реагировать на эндогенные и экзогенные факторы. Достижение этой цели становится возможным через индивидуальную оценку элементного статуса животных по мультиэлементному анализу биосубстратов. Метод уже сегодня получил широкое распространение в медицине с использованием состава волос (Скальный А.В., 2003) и подтверждается числом обращений в медицинские центры, использующих новые подходы к диагностике и коррекции элементозов (<http://microelements.ru/>).

Метод оценки элементного статуса по анализу волос является высокоинформативным, неинвазивным, скрининговым методом (Drasch G and Roider G, 2002; Rodrigues JL et al., 2008), позволяет комплексно оценить состояние здоровья животного, исключить причины патологии из-за интоксикации тяжёлыми металлами, диагностировать нарушение в питании и др. (Оберлис Д. и др.,

2008). Всё вышеперечисленное позволило использовать шерсть (волос) в качестве биомаркера элементного статуса организма в нашем исследовании.

Цель исследования.

Изучение влияния парентерального введения препарата микроэлементов на изменения элементного статуса, воспроизводительные качества коров герефордской породы.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Коровы казахской белоголовой, калмыцкой, герефордской пород возрастом 4-6 лет (2-4 отёл).

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. На первом этапе исследований был изучен элементный состав шерсти у 190 голов коров казахской белоголовой (n=87), калмыцкой (n=24) и герефордской (n=79) пород, без задержек в половой охоте, осеменении, разводимых на территории Оренбургской области (Россия). На основании этих исследований были установлены процентильные интервалы распределения концентраций химических элементов в шерсти; определены значения 25 и 75 процентиля, принятые по рекомендации (Skalnaya MG et al., 2003; Miroshnikov SA et al., 2017) в качестве «физиологической нормы».

На втором этапе исследований, в условиях ООО СП «Колос» Оренбургской области от 48 коров герефордской породы с нарушениями воспроизводительной способности (не пришли в охоту более 2 месяцев после отёла), на основании результатов исследований элементного статуса, установленного по элементному составу шерсти, отобрали 30 голов, в шерсти которых содержание йода и селена оказалось ниже ранее установленной нормы (ниже 25 процентиля, I – <0,28 мг/кг, Se – <0,58 мг/кг). Животных разделили по принципу аналогов на 2 группы – контрольную (n=15) и опытную (n=15). Коровам опытной группы на 1 и 10 сутки внутримышечно вводили микроэлементный препарат, содержащий в 1 мл: йод – 5,5-7,5 мг, селен в органической форме – 0,07-0,09 мг (соответствует 0,16-0,20 мг селенита натрия).

Рацион кормления коров при проведении эксперимента: сено естественных угодий – 8 кг, сенаж люцерновый – 6 кг, концентраты: смесь ячменя, пшеницы, овса, – 3,0 кг, в нём содержалось: ОЭ – 106,2 МДж, сухого вещества – 12,1 кг, переводимого протеина – 1092 г, Ca – 123,2г, P – 35,6 г, Mg – 15,6 г, K – 97,4 г, Fe – 3,91 г, Cu – 71,6 мг, Zn – 496,8 мг, Mn – 734,1 мг, I – 3,27 мг, Se – 1,25 мг.

Отбор и исследование образцов шерсти. Образцы волос массой не менее 0,4 г отбирались с верхней части холки животных согласно методики (Miroshnikov S et al., 2015). Для отбора образцов применялись ножницы из нержавеющей стали, предварительно обработанные этиловым спиртом.

Чтобы оценить элементный статус организма, соответствующий двум месяцам после отёла, производили усечение шерсти с использованием проксимальной части длиной от корня 20 мм. Последующие взятия образцов производили с одних и тех же участков на 14 и 28 сутки с отбором всей шерсти, отросшей за этот период.

Оценка элементного статуса. Элементный состав шерсти определяли методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии (АЭС-ИСП и МС-ИСП) в испытательной лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (Registration Certificate of ISO 9001: 2000, Number 4017 – 5.04.06, г. Москва, Россия). Озольнение биосубстратов проводили с использованием микроволновой системы разложения MD-2000. Оценка содержания элементов в полученной золе осуществлялась с использованием масс-спектрометра Elan 9000 и атомно-эмиссионного спектрометра Optima 2000V. Элементный состав биосубстратов исследовали по 25 показателям (Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, Hg, Sr, V, Zn).

Отбор и исследование проб крови. Отбор проб крови производили на 1, 14 и 28 сутки эксперимента, утром до кормления и поения. Кровь брали из хвостовой вены на уровне средней трети тела 2-5 хвостовых позвонков в вакуумные пробирки.

Кровь для биохимических исследований, антиоксидантный статус, малоновый диальдегид отбирали в вакуумные пробирки APEXLAB с активатором свёртывания, иглы для забора крови Bodywin. Биохимический анализ крови осуществлялся с помощью автоматического биохимического анализатора CS-T240, проводился с использованием коммерческих биохимических наборов для ветеринарии ДиаВетТест и коммерческих биохимических наборов Randox в условиях Испытательного центра ЦКП ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21ПФ59 от 02.12.2015 г.).

Гормональный статус определялся на иммуноферментном анализаторе реакций «АИФР-01 УНИПЛАН», подготовку проб проводили на шейкер-термостате медицинском ELMi ST-3M.

Определение стельности. Ультразвуковую диагностику коров на определение стельности и бесплодность проводили при помощи ветеринарного УЗИ сканера IMAGO S с ректальным секторным датчиком DB 355 M.

Оборудование и технические средства. Микроволновая система разложения MD-2000 (США), масс-спектрометр Elan 9000 (Perkin Elmer, США), атомно-эмиссионного спектрометр Optima 2000V (Perkin Elmer, США), вакуумные пробирки APEXLAB с активатором свёртывания («Hebei Xinl Sky & Tech Co., Ltd», Китай), иглы для забора крови Bodywin, автоматический биохимический анализатор CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd.», Китай), коммерческие биохимические наборы для ветеринарии ДиаВетТест (Россия) и Randox (США), иммуноферментный анализатор реакций «АИФР-01 УНИПЛАН» (Россия), шейкер-термостат медицинский ELMi ST-3M, ветеринарный УЗИ сканер IMAGO S (Франция) с ректальным секторным датчиком DB 355.

Статистическая обработка. Для проверки гипотезы о нормальности распределения количественных признаков применяли критерий Шапиро-Уилка. При вычислении средних значений и в качестве меры центральной тенденции использовали медиану (Me). Закон распределения исследуемых числовых показателей отличался от нормального, поэтому достоверность различий проверяли при помощи U-критерия Манна-Уитни. Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости (P), при этом критический уровень значимости в данном исследовании принимался меньшим или равным 0,05. Для обработки данных использовали пакет прикладных программ «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США).

Результаты исследований.

Изучение элементного состава шерсти с холки коров мясного направления продуктивности позволило установить следующие характеристики (табл. 1).

Таблица 1. Концентрация и процентильные значения химических элементов в шерсти коров опытной группы, мг/кг
Table 1. Concentration and percentile values of chemical elements in hair of cows of the experimental group, mg / kg

Элемент / Element	«Физиологическая норма» в процентилях / «Physiological standard» in percentage		Концентрация элементов в эксперименте / Concentration of elements in experiment		
	25	75	сутки /days		
			1	14	28
1	2	3	4	5	6
Макроэлементы / Macroelements					
Ca	1593,0	2910,0	2028,9±86,1	1715,5±125,0	1658,7±89,8**
K	806,5	3523,0	2815,4±233,3	2109,0±234,7	2093,8±153,0*
Mg	425,5	980,5	535,5±26,6	440,2±48,1	427,1±33,0**

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Na	405,5	1501,0	1406,0±119,0	1051,2±157,6	940,7±70,3**
P	168,0	298,5	241,4±9,2	272,2±3,5	257,6±7,4
Эссенциальные микроэлементы / Essential trace elements					
Co	0,05	0,12	0,08±0,01	0,06±0,01	0,06±0,01
Cr	0,13	0,28	0,44±0,06	0,51±0,09	0,36±0,03
Cu	4,87	6,61	11,39±0,54	11,92±1,14	11,37±0,59
Fe	38,25	95,63	396,72±81,10	356,75±33,54	202,67±47,36
I	0,28	0,69	0,27±0,01	0,28±0,02	0,35±0,011***
Mn	11,87	30,64	13,73±1,75	16,19±0,44	16,45±0,30
Se	0,58	1,07	0,56±0,03	0,60±0,01	0,66±0,01**
Zn	107,0	153,0	198,9±19,3	144,0±3,4	131,4±5,9**
Условно-эссенциальные микроэлементы / Conditionally essential trace elements					
B	1,58	3,85	4,35±0,17	2,97±0,22***	2,75±0,22***
Si	10,75	27,38	18,31±1,18	15,50±2,29	13,95±1,26*
Li	0,42	1,9	0,69±0,06	0,47±0,04***	0,42±0,03***
Ni	0,39	0,84	0,62±0,09	0,45±0,05	0,35±0,04**
V	0,13	0,34	0,18±0,02	0,15±0,04	0,07±0,01***
As	0,08	0,17	0,07±0,01	0,07±0,00	0,053±0,00
Токсичные микроэлементы / Toxic trace elements					
Al	26,74	58,42	81,88±12,97	74,83±4,22	35,15±4,45***
Sr	9,28	17,31	10,91±0,70	9,04±1,60	6,90±0,89**
Pb	0,142	0,244	1,20±0,18	0,86±0,20*	0,41±0,03***
Sn	0,009	0,018	0,013±0,001	0,010±0,004	0,020±0,006
Cd	0,014	0,036	0,009±0,001	0,006±0,001**	0,006±0,001**
Hg	0,002	0,009	0,011±0,001	0,003±0,0009**	0,002±0,0002***

Примечание: * – P≤0,05; ** – P≤0,01, *** – P≤0,001 по сравнению с I группой

Note: * – P≤0.05, ** – P≤0.01, *** – P≤0.001 in comparison with I group

На 14 сутки эксперимента у коров опытной группы снизилось содержание токсичных элементов: Pb – на 28,3 % (P≤0,05), Cd – на 36,7 % (P≤0,01), Hg – на 65,6 % (P≤0,01); на 28 сутки повысилась концентрация I на 29,2 % (P≤0,001), Se – на 17,9 % (P≤0,01), при снижении макроэлементов: Ca – на 18,25 % (P≤0,01), K – на 25,63 % (P≤0,05), Mg – на 20,24 % (P≤0,01), Na – на 33,09 % (P≤0,01), эссенциального микроэлемента: Zn – на 33,96 % (P≤0,01), токсичных: Al – на 57,07 % (P≤0,001), Sr – на 36,76 % (P≤0,01), Pb – на 65,83 % (P≤0,001), Hg – на 80,0 % (P≤0,001) относительно начала эксперимента.

При постановке животных на опыт, существенных изменений между сравниваемыми группами не обнаружено, ведение микроэлементного корректирующего препарата позволило повлиять на элементный профиль коров сравниваемых групп (рис. 1, 2).

Сравнительный анализ элементного статуса коров опытной группы относительно контрольной на 28 сутки показал повышение концентрации Si на 42,0 % (P≤0,001), Se – на 31,2 % (P≤0,001), Li – на 30,3 (P≤0,001), Mn – на 30,0 (P≤0,01), Na – 29,7 (P≤0,01), Mg – 18,9 (P≤0,01), Cu – 17,2 (P≤0,05) и I – 11,4 % (P≤0,05), снижение As – на 26,9 % (P≤0,01), Cd – на 28,2 (P≤0,01), Fe – на 30,0 (P≤0,01), Al – на 42,1 (P≤0,001), Pb – на 49,1 (P≤0,001) и Sn – на 50,1 % (P≤0,001).

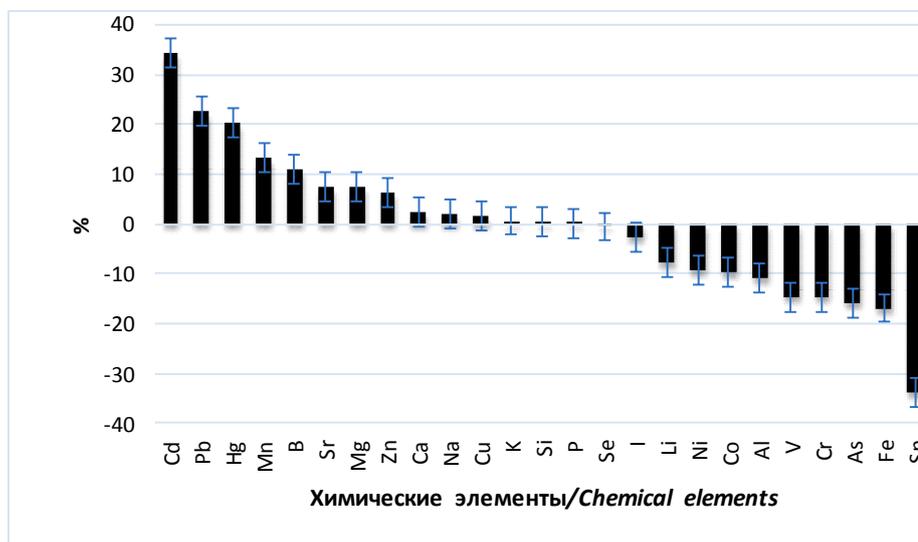


Рис. 1 – Элементный профиль коров опытной группы относительно контрольной на 14 сутки эксперимента, %

Figure 1 – The elemental profile of cows of the experimental group relative to the control on the 14th day of the experiment, %

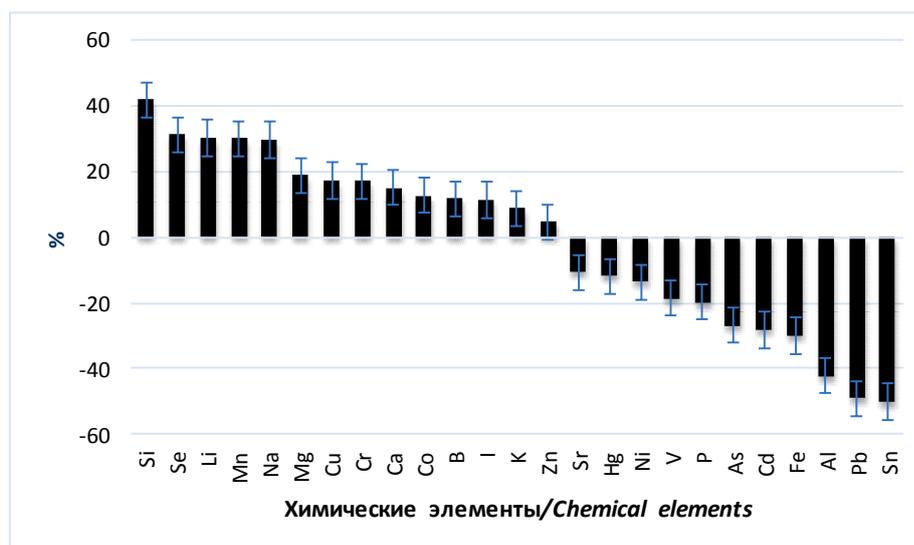


Рис. 2 – Элементный профиль коров опытной группы относительно контрольной на 28 сутки эксперимента, %

Figure 2 – The elemental profile of cows of the experimental group relative to the control on the 28th day of the experiment, %

Индивидуальная оценка элементного статуса коров, пришедших в охоту в течение 60 суток, продемонстрировала важность контроля уровня эссенциальных элементов: йода и селена в шерсти. В качестве примера приводим элементный профиль коровы: индивидуальный номер 3134, возраст – 5 лет, осеменена на 29 сутки эксперимента (рис. 3).

В процессе эксперимента изменился элементный статус коров и в контрольной группе. В шерсти коров контрольной группы на 28 сутки повысилась концентрация I, Sn, Cd, снизилась концентрация по Cu, K, Zn, B, Co, Fe, Cr, Ni, Na, Sr, Al, Si, V, Li.

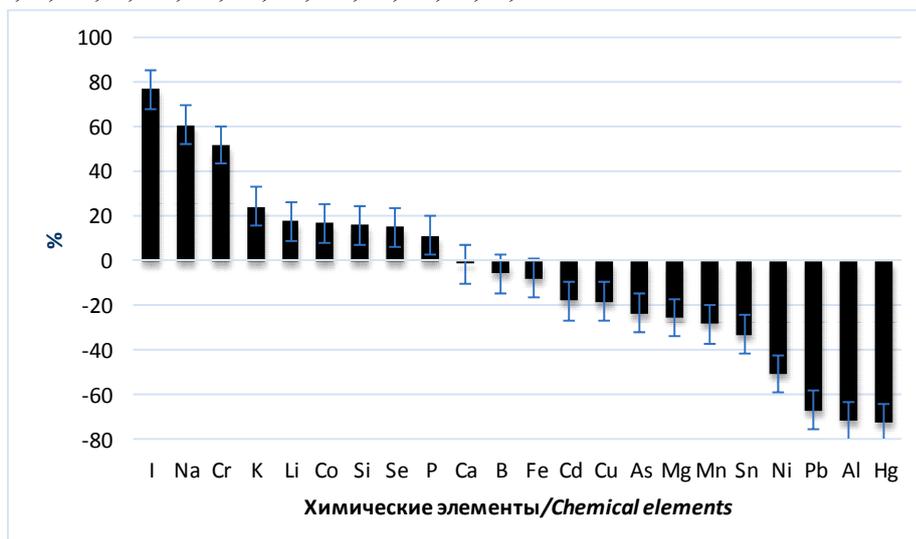


Рис 3 – Изменения элементного состава шерсти у коровы герефордской породы, индивидуальный номер 3134 на 28 сутки относительно начала эксперимента, %
Figure 3 – Changes in the elemental composition of hair of the Hereford cow, individual number 3134 on day 28 relative to the start of the experiment, %

Выявлено снижение минерализации шерсти, оцениваемой по сумме количества веществ в конце эксперимента (табл. 2).

Таблица 2. Количество химических элементов в шерсти коров, ммоль/г, M±m
Table 2. The number of chemical elements in hair of cows, mmol/g, M ± m

Элементы / Element	Сутки / Day		
	1	14	28
	Опытная / Experimental		
Эссенциальные / Essential	10,6±0,54	9,1±0,38	6,6±0,44***
Токсичные / Toxic	3,28±0,32	2,98±0,26	1,43±0,31***
	Контрольная / Control		
Эссенциальные / Essential	11,8±0,46	10,1±0,44	7,5±0,38**
Токсичные / Toxic	4,04±0,28	3,17±0,41***	2,25±0,33***

Примечание: ** – при P≤0,01, *** – при P≤0,001 (по отношению к началу опыта)
 Note: ** – at P≤0.01, *** – at P≤0.001 (towards the start of the experiment)

Совокупное содержание токсичных элементов на 28 сутки в опытной группе было ниже на 36,4 % (P≤0,01) по сравнению с контролем.

Установлено снижение достоверных корреляционных связей между содержанием токсичных и макро-, и эссенциальных элементов в конце эксперимента по сравнению с началом (табл. 3).

В шерсти коров опытной группы относительно контрольной произошло повышение Si на 42,0 % (P≤0,001), Se – на 31,2 (P≤0,001), Li – на 30,3 (P≤0,001), Mn – на 30,0 (P≤0,01), Na – 29,7 % (P≤0,01), Mg – 18,9 (P≤0,01), Cu – 17,2 (P≤0,05) и I – 11,4 % (P≤0,05), снижение As – на 26,9 % (P≤0,01), Cd – на 28,2 (P≤0,01), Fe – на 30,0 (P≤0,01), Al – на 42,1 (P≤0,001), Pb – на 49,1 (P≤0,001) и Sn – на 50,1 % (P≤0,001).

Таблица 3. Корреляция Спирмена химических элементов в шерсти с холки коров герефордской породы
Table 3. Spearman's correlation of chemical elements in hair from withers of the Hereford cows

Химические элементы / <i>Chemical elements</i>	Al	Cd	Hg	Pb	Sn	Sr
Начало эксперимента / <i>Start of the experiment</i>						
Co	0,71*	0,65*	-0,33	0,87*	-0,15	0,30
Cr	0,62*	0,53	-0,32	0,87*	-0,12	0,43
Cu	0,35	0,18	-0,49	0,17	-0,46	0,02
Fe	0,65*	0,44	-0,30	0,81*	-0,25	0,32
I	-0,16	-0,21	0,17	0,15	-0,09	0,42
Mn	0,26	0,90*	-0,63*	0,76*	-0,10	0,30
Se	-0,01	0,42	-0,42	0,19	0,31	0,25
Zn	0,00	0,35	-0,78*	0,25	-0,35	0,05
Ca	0,44	0,08	0,21	0,01	0,37	0,80*
K	-0,20	-0,11	0,37	-0,47	0,45	0,16
Mg	0,40	0,20	0,18	0,11	0,33	0,92*
Na	-0,21	-0,35	0,32	-0,41	0,05	0,35
P	0,84*	0,20	0,09	0,35	0,10	0,74*
Конец эксперимента / <i>The end of the experiment</i>						
Co	0,10	0,52	-0,20	0,38	-0,05	0,09
Cr	-0,14	0,31	-0,20	0,55	0,13	0,52
Cu	0,54	-0,03	-0,50	0,47	0,31	-0,32
Fe	0,35	0,19	0,40	0,44	0,27	0,37
I	0,16	0,39	0,15	0,22	-0,10	0,20
Mn	0,05	-0,22	0,30	-0,25	0,19	0,14
Se	-0,65*	-0,04	0,30	-0,43	-0,51	-0,05
Zn	0,09	0,67*	0,40	0,78*	-0,04	0,20
Ca	0,02	0,19	0,20	0,18	0,59	0,79*
K	-0,09	0,67*	0,30	0,30	0,48	0,56
Mg	0,07	0,38	0,20	0,05	0,44	0,81*
Na	-0,09	0,73*	0,30	0,44	0,20	0,54
P	0,63*	0,50	0,40	0,66*	0,46	0,18

Примечание: * – $P \leq 0,05$

Note: * – $P \leq 0,05$

Биохимические показатели сыворотки крови опытной группы претерпели существенные изменения в процессе эксперимента (табл. 4).

В крови коров опытной группы на 14 сутки эксперимента увеличилось содержание: мочевины – на 33,0 % ($P \leq 0,01$), АСТ – на 5,2 % ($P \leq 0,05$), при меньшем содержании гамма-глутамилтрансферазы на 6,7 % ($P \leq 0,01$), мочевой кислоты – на 8,9 % ($P \leq 0,01$), холестерина – на 68,06 % ($P \leq 0,001$); на 28 сутки увеличилось содержание фосфора на 86,0 % ($P \leq 0,001$), триглицеридов – на 41,0 % ($P \leq 0,001$), мочевины – на 37,6 % ($P \leq 0,001$), АЛТ – на 20,0 % ($P \leq 0,01$), креатинина – на 15,3 % ($P \leq 0,01$), глюкозы – на 11,2 % ($P \leq 0,01$), щелочной фосфатазы – на 10,4 % ($P \leq 0,01$), АСТ – на 10,4 % ($P \leq 0,01$), альбуминов – на 7,1 % ($P \leq 0,05$), общего белка – на 5,9 % ($P \leq 0,05$), кальция – на 5,6 % ($P \leq 0,05$), при снижении холинэстеразы на 9,6 % ($P \leq 0,05$), билирубина прямого – на 16,4 % ($P \leq 0,01$), холестерина – на 39,6 % ($P \leq 0,001$), магния – на 56,2 % ($P \leq 0,01$), гамма-глутамилтрансферазы – на 80,7 % ($P \leq 0,001$) по сравнению с началом эксперимента.

Таблица 4. Биохимические показатели крови коров опытной группы
Table 4. Biochemical blood parameters of cows of the experimental group

Показатель / Indicator	Сутки эксперимента / Days of experiment		
	0	14	28
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	91,28±1,52	94,06±2,47	96,71±2,03*
Альбумин, г/л / Albumin, g/l	33,45±0,69	34,18±0,66	35,81±0,75*
АЛТ, Ед/л / ALT, U/l	32,77±1,30	34,20±1,38	39,31±1,27**
АСТ, Ед/л / AST, U/l	95,78±1,56	100,73±1,73*	105,70±2,92**
Билирубин общ., мкмоль/л / Bilirubin total, $\mu\text{mol/l}$	10,66±0,11	10,99±0,20	10,53±0,08
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, mmol/l	56,91±2,10	59,71±2,13	65,62±2,21**
Хлорид, ммоль/л / Chloride, mmol/l	100,64±2,52	96,51±1,11	95,24±1,17
Щелочная фосфатаза, Ед/л / Alkaline phosphatase, U/l	78,09±2,77	78,64±2,16	86,18±2,15*
Мочевая кислота, мкмоль/л / Uric acid, $\mu\text{mol/l}$	28,73±1,03	26,18±0,62*	29,36±1,17
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	3,32±0,08	3,42±0,06	3,69±0,46**
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	6,72±0,39	2,15±0,598***	4,06±0,66***
Триглицериды (Тг), ммоль/л / Triglycerides (Tg), mmol/l	0,10±0,006	0,10±0,008	0,14±0,09**
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	1,79±0,14	2,38±0,15**	2,46±0,11***
Ca, ммоль/л / Ca, mmol/l	2,57±0,04	2,67±0,05	2,72±0,05*
Mg, ммоль/л / Mg, mmol/l	1,01±0,026	1,01±0,029	0,44±0,013**
P, ммоль/л / P, mmol/l	0,98±0,13	1,01±0,10	1,82±0,17***
Fe, ммоль/л / Fe, mmol/l	36,58±7,29	37,57±3,24	37,74±4,38

Примечание: * – при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$, *** – при $P \leq 0,001$ (по отношению к началу опыта)
Note: * – at $P \leq 0.05$; ** – at $P \leq 0.01$, *** – at $P \leq 0.001$ (in relation to the beginning of the experiment)

Оценка ферментов антиоксидантной защиты СОД и каталазы показала их увеличение в опытной группе на 28 сутки эксперимента на 25,1 ($P \leq 0,05$) и 106,1 % ($P \leq 0,001$) соответственно, в контрольной группе данные показатели не изменились (табл. 5).

Таблица 5. Показатели перекисного окисления липидов и антиоксидантного статуса у осеменённых коров при применении микроэлементного препарата
Table 5. Indicators of lipid peroxidation and antioxidant status in inseminated cows with the use of trace element preparation

Показатель / Indicator	Сутки / Days		
	1	14	28
	Опытная / Experimental		
СОД, % / SOD, %	318±21,3	377±17,2*	398±25,7*
Каталаза, мкМ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{л} \times \text{мин}$ / Catalase, $\mu\text{M H}_2\text{O}_2/\text{l} \times \text{min}$	3358±67,8	4370±83,3***	6922±76,5***
Малоновый диальдегид, нм/мл / Malon dialdehyde, nm/ml	13,6±4,9	23,8±4,0	24,9±4,1
	Контрольная / Control		
СОД, % / SOD, %	356±28,3	375±21,2	340±27,1
Каталаза, мкМ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{л} \times \text{мин}$ / Catalase, $\mu\text{M H}_2\text{O}_2/\text{l} \times \text{min}$	4218±73,6	4494±91,1*	4352±84,5
Малоновый диальдегид, нм/мл / Malon dialdehyde, nm/ml	15,8±5,0	38,1±5,1***	38,8±4,9***

Примечание: * – при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$, *** – при $P \leq 0,001$ (по отношению к началу опыта)
Note: * – at $P \leq 0.05$; ** – at $P \leq 0.01$, *** – at $P \leq 0.001$ (in relation to the beginning of the experiment)

Изучение перекисного окисления липидов по малоновому диальдегиду показало повышение его в контрольной группе на 14 и 28 сутки эксперимента на 141,1 ($P \leq 0,01$) и 145,6 % ($P \leq 0,001$) соответственно.

Оценка репродуктивных качеств коров выявила положительный эффект коррекции йодселенового статуса, оценённого по концентрации их в шерсти с холки. Больше коров из опытной группы пришли в охоту, лучше осеменелись. У данной группы отсутствовали не осеменённые и абортёранные коровы. По выходу телят и лёгкости отёла опытные животные превосходили аналогов из контрольной группы (табл. 6).

Таблица 6. Влияние корректирующей добавки на репродуктивные качества коров
Table 6. The effect of corrective additives on reproductive qualities of cows

Показатель / <i>Indicator</i>	Группа /	
	контрольная / <i>control</i>	опытная/ <i>experimental</i>
Количество коров, гол. / <i>Number of cows, heads</i>	15	15
Пришло в охоту, гол./сут: / <i>Came in season, head/days:</i>		
15	5	4
30	7	9
60	10	14
%	67	93
Не пришло, гол./ <i>Did not come in season, head</i>	5	1
%	33	7
Осеменено коров, гол. / <i>Inseminated cows, head</i>	9	14
в т. ч. от первой случки, гол. / <i>including after first service, head</i>	6	12
Не осеменено, гол. / <i>Not inseminated, head</i>	1	0
Абортёрвало, гол. / <i>Aborted, head</i>	2	0
Получено телят, гол. / <i>Obtained calves, head</i>	7	14
Выход телят, % / <i>Yield in calves, %</i>	47	93

Обсуждение полученных результатов.

Важность химических элементов в репродуктивном здоровье животного и человека не вызывает сомнения. Понимание факторов риска имеет решающее значение как для выявления потенциальных опасностей для здоровья, так и для выявления возможностей вмешательства и предотвращения пагубного действия дефицита либо избытка минеральных веществ (Kontic-Vucinic O et al., 2006; Yasothai R, 2014; Balamurugan B et al., 2017; Pagrut N and Ganguly S, 2018). Это в целом определяет актуальность наших исследований.

Концентрация йода и селена в почвах и растениях широко варьирует по всему миру (Wichtel JJ, 1998; Farkhutdinova LM et al., 2006). Многочисленными исследованиями установлено, что территория Оренбургской области является эндемичной провинцией по селену и йоду (Мирошников С.А. и др., 2008).

Йод и селен функционально связаны между собой и влияют на выработку гормонов щитовидной железы, поскольку последний входит в состав фермента йодтирониндейодиназы, обеспечивающего трансформацию тироксина в трийодтиронин. Гормоны щитовидной железы, тесно взаимодействуя с женскими половыми гормонами (эстрогенами и прогестероном), обеспечивают нормальное функционирование яичников и созревание яйцеклетки. Недостаток в организме этих двух микроэлементов может служить одним из главных факторов риска в провоцировании йодце-

фицитных состояний (Larsen PR and Berry MJ, 1995), вследствие чего снижается уровень обменных процессов в организме (Hosnedlova B et al., 2017).

В связи с тем, что недостаток йода обычно сообщается с дефицитом селена (Guyot H et al., 2011), то и нормализация их дефицита должна проводиться в комплексе (Kargara A and Krassas GE, 2006).

Целью наших исследований являлась оценка влияния коррекции обменного пула йода и селена, оценённого по его концентрации в шерсти с холки, на воспроизводительные качества коров. Основанием к этому стали результаты исследований по использованию элементного состава волос в медицине (Park SJ et al., 2013) и в животноводстве (Christodouloupoulos G et al., 2003; Cygan-Szczegielniak D et al., 2014; Zhao XJ et al., 2015).

Мы в своих исследованиях установили факт нарушений воспроизводительных качеств, а именно не проявление половой охоты у коров со сниженной концентрацией йода и селена в шерсти (ниже 25 процентиля, I – <0,28 мг/кг, Se – <0,58 мг/кг). На основании этого предложен принципиально новый метод контроля йод-селеного дефицита – по анализу концентрации их в шерсти и сопоставлением с «физиологической нормой» (группой животных, обитающих в данной биогеохимической провинции, не имеющей проблем с воспроизводством). Это позволяет производить своевременную коррекцию и избежать болезней щитовидной железы (гипотиреоз, эндемический зоб и др.), которые приводят к нарушениям репродуктивных функций, снижают вероятность беременности (Blackburn HD and Gollin D, 2008; Jeddi-Tehrani M et al., 2010; Milanese A and Brent GA, 2011), повышают риск выкидыша (Rao VR et al., 2008; Gärtner R, 2009), что подтвердилось и нашим исследованием, когда 2 стельные коровы абортировали в первые месяцы беременности.

На 28 сутки эксперимента элементный состав шерсти коров опытной группы существенно изменился, повысились эссенциальные элементы: Mn, Cu, I и Se, повышение последнего способствовало снижению токсичных As, Cd, Fe, Al, Pb, Sn, что указывает на наличие антагонистических связей между Se и токсичными элементами, это подтверждают и работы Kotyzova D et al. (2010), Bjerregaard P et al. (2011), Zhao J et al. (2014), Xu T et al. (2015), Skalnaya MG et al. (2018).

Окислительный стресс приводит к дисбалансу между прооксидантными и антиоксидантными силами в биологических системах, может вызвать окисление липидов и протеинов и нарушать нормальную функцию клеток. Этот дисбаланс считается ответственным за инициирование или развитие патологических процессов, затрагивающих женские репродуктивные процессы (Finkel T, 2003; Serdar Z et al., 2003).

Малондиальдегид (MDA) является основным продуктом распада, отщепленным от пероксидов липидов, и его можно использовать для оценки степени перекисного окисления липидов (Mihailović M et al., 2000).

Проведённые нами исследования показали повышение малонового диальдегида как показателя ПОЛ по сравнению с началом опыта на 75,0 и 83,1 % в опытной и 141,1 и 145,5 % – в контрольной группах соответственно на 14 и 28 сутки. На наш взгляд, это объясняется прежде всего изменением физиологического состояния, образцы брались у пришедших в охоту и осеменённых коров. Данное заключение подтверждается и исследованиями Mihiu D et al. (2012), немаловажную роль сыграл и срок лактации (Tan C et al., 2015).

Интересно, что в опытной группе активность свободнорадикального окисления липидов по сравнению с контролем в аналогичное время эксперимента (на 14 и 28 сутки) была ниже на 33,0-34,9 % ($P \leq 0,05$), что объясняется введением йод-селен корректирующей добавки. Селен, обладая ярко выраженными антиоксидантными свойствами, способствует снижению оксидативного стресса (Lykkesfeldt J et al., 2007; Hu YJ et al., 2015; Chen J et al., 2016).

Изучение ферментативных антиоксидантов показало достоверное повышение супероксиддисмутазы (SOD) на 18,6 ($P \leq 0,05$) и 25,1 % ($P \leq 0,05$) и каталазы (CAT) – на 30,1 ($P \leq 0,001$) и 106,1 % ($P \leq 0,001$) на 14 и 28 сутки у опытных коров. По сравнению с контрольными коровами увеличение концентрации SOD и активности CAT в сыворотке крови показывает эффективность применения

инъекции йод-селенового препарата, который улучшает антиоксидантную функцию и эффективно снимает окислительный стресс, возникающий во время беременности и на ранних сроках лактации. Подтверждающие данные этого эффекта ранее получены на молочных коровах (Gong J and Xiao M, 2018).

Применение корректирующей добавки позволило повысить число пришедших в охоту и плодотворно осеменённых коров. В опытной группе у коров в первые месяцы беременности отсутствовали выкидыши плода, что подтверждает эффективность применения данного микроэлементного средства.

Вывод.

Разработана принципиально новая технология контроля йод-селенового дефицита по анализу концентрации их в шерсти и сопоставлением с «физиологической нормой».

При дефицитном содержании в шерсти йода ниже 0,28 мг/кг, селена – ниже 0,58 мг/кг следует производить их коррекцию двукратным внутримышечным введением по 10 мл коммерческого препарата, содержащего в 1 мл: йод – 5,5-7,5 мг, селен в органической форме – 0,07-0,09 мг. Это позволяет повысить концентрацию в шерсти йода до 0,35, селена – до 0,66 мг/кг, что соответствует «физиологической» норме (25-75 перцентиль), улучшить воспроизводительные качества.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0006)

Литература

1. Гигиеническая оценка селенового статуса Оренбургского региона / С.А. Мирошников, Т.И. Бурцева, Н.А. Голубкина, С.В. Нотова, А.В. Скальный, О.И. Бурлуцкая // Вестник Оренбургского государственного университета. 2008. № 12(94). С. 95-98. [Miroshnikov SA, Burtseva TI, Golubkina NA, Notova SV, Skalniy AV, Burlutskaya OI. Hygienic assessment of selenium status of the Orenburg region. Vestnik of the Orenburg State University. 2008;12 (94):95-98. (In Russ)].
2. Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука, 2008. 544 с. [Oberlis D, Kharland B, Skal'nyi A. Biologicheskaya rol' makro- i mikroelementov u cheloveka i zhivotnykh. SPb.: Nauka; 2008:544 p. (In Russ)].
3. 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. № 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)].
4. Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО Центр биотической медицины) // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4. № 1. С. 55-56. [Skalny AV. Reference values of chemical elements concentration in hair, obtained by means of ICP-AES metod in ANO Centre for Biotic Medicine. Trace Elements in Medicine. 2003;4(1):55-56. (In Russ)].
5. Количество обращений в центр биотической медицины. [Электронный ресурс] url: <https://microelements.ru/> (дата обращения: 21.04.2020). [Kolichestvo obrashchenii v tsentr bioticheskoi meditsiny. [Elektronnyi resurs] url: <https://microelements.ru/> (data obrashcheniya: 21.04.2020). (In Russ)].
6. Фархутдинова Л.М., Сперанский В.В., Гильманов А.Ж. Микроэлементы волос у больных с зобом // Клиническая лабораторная диагностика. 2006. № 8. С. 19-21. [Farkhutdinova LM, Speranskiy VV, Gil'manov AZh. Hair trace elements in patients with goiter. Klin Lab Diagn. 2006;8:19-21. (In Russ)].
7. Ahola JK, Baker DS, Burns PD, Mortimer RG, Enns RM, Whittier JC, Geary TW, Engle TE. Effect of copper, zinc, and manganese supplementation and source on reproduction, mineral status, and performance in grazing beef cattle over a two-year period. J Anim Sci. 2004;82(8):2375-2383. doi: <https://doi.org/10.2527/2004.8282375x>

8. Balamurugan B, Ramamoorthy M, Shankar R, Mandal K, Keerthana J, Gopalakrishnan G, Kavya KM, Kharayat NS, Chaudhary GR, Katiyar R. Mineral an important nutrient for efficient reproductive health in dairy cattle. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2017;6(1):694-701.
9. Bjerregaard P, Fjordside S, Hansen MG, Petrova MB. Dietary selenium reduces retention of methyl mercury in freshwater fish. *Environmental science & technology*. 2011;45(22):9793-9798. doi: <https://doi.org/10.1021/es202565g>
10. Blackburn H, Gollin D. Animal genetic resource trade flows: The utilization of newly imported breeds and gene flow of imported animals in the United States of America. *Livestock Sci*. 2009;120(3):240-247. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.07.006>
11. Campbell JR, Jim GK, Booker CW, Guichon PT. A survey of the selenium status of beef cows in Alberta. *Can Vet J*. 1995;36(11):698-702.
12. Chen J, Han JH, Guan WT, Chen F, Wang CX, Zhang YZ, et al. Selenium and vitamin E in sow diets: I. Effect on antioxidant status and reproductive performance in multiparous sows. *Anim Feed Sci Tech*. 2016;221(A):111-123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.022>
13. Christodouloupoulos G, Roubies N, Karatzias H, Papasteriadis A. Selenium concentration in blood and hair of holstein dairy cows. *Biol Trace Elem Res*. 2003;91(2):145-150. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:91:2:145>
14. Cygan-Szczegielniak D, Stanek M, Giernatowska E, Janicki B. Impact of breeding region and season on the content of some trace elements and heavy metals in the hair of cows. *Folia Biol (Krakow)*. 2014;62(3):163-169.
15. Drasch G, Roeder G. Assessment of hair mineral analysis commercially offered in Germany. *J Trace Elem Med Biol*. 2002;16(1):27-31. doi: [https://doi.org/10.1016/S0946-672X\(02\)80005-0](https://doi.org/10.1016/S0946-672X(02)80005-0)
16. Finkel T. Oxidant signals and oxidative stress. *Curr Opin Cell Biol*. 2003;15(2):247-254. doi: [https://doi.org/10.1016/S0955-0674\(03\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0955-0674(03)00002-4)
17. Gärtner R. Thyroid disorders during pregnancy. *Dtsch Med Wochenschr*. 2009;134(3):83-86. doi: [10.1055/s-0028-1105894](https://doi.org/10.1055/s-0028-1105894)
18. Gong J, Xiao M. Effect of organic selenium supplementation on selenium status, oxidative stress, and antioxidant status in selenium-adequate dairy cows during the periparturient period. *Biol Trace Elem Res*. 2018;186(2):430-440. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1323-0>
19. González-Maldonado J, Rangel-Santos R, Rodríguez-de Lara R, García-Peña O. Effect of injectable trace mineral complex supplementation on development of ovarian structures and serum copper and zinc concentrations in over-conditioned Holstein cows. *Anim Reprod Sci*. 2017;181:57-62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.03.015>
20. Gottsch ML, Van Kirk EA, Murdoch WJ. Tumour necrosis factor alpha up-regulates matrix metalloproteinase-2 activity in preovulatory ovine follicles: metamorphic and endocrine implications. *Reprod Fertil Develop*. 2000;12(2):75-80. doi: <https://doi.org/10.1071/RD00054>
21. Guyot H, de Oliveira LA, Ramery E, Beckers JF, Rollin F. Effect of a combined iodine and selenium supplementation on I and Se status of cows and their calves. *J Trace Elem Med Biol*. 2011;25(2):118-124. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2011.02.003>
22. Hesari BA, Mohri M, Seifi HA. Effect of copper edetate injection in dry pregnant cows on hematology, blood metabolites, weight gain and health of calves. *Trop Anim Health Prod*. 2012;44(5):1041-1047. doi: <https://doi.org/10.1007/s11250-011-0038-4>
23. Hidioglou M, Ho SK, Ivan M, Shearer DA. Manganese status of pasturing ewes, of pregnant ewes and doe rabbits on low manganese diets and of dairy cows with cystic ovaries. *Can J Comp Med*. 1978;42(1):100-107.
24. Hosnedlova B, Kepinska M, Skalickova S, Fernandez C, Ruttkay-Nedecky B, Malevu TD, Sochor J, Baron M, Melcova M, Zidkova J, Kizek R. A summary of new findings on the biological effects of selenium in selected animal species-a critical review. *Int J Mol Sci*. 2017;18(10):2209. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms18102209>

25. Hu YJ, Gao KG, Zheng CT, Wu ZJ, Yang XF, Wang L et al. Effect of dietary supplementation with glycetein during late pregnancy and lactation on antioxidative indices and performance of primiparous sows. *J Anim Sci.* 2015;93(5):2246-2254. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7767>
26. Jeddi-Tehrani M, Torabi R, Mohammadzadeh A, Arefi S, Keramatipour M, Zeraati H, Akhondi MM, Mahmoudian J, Mahmoudi AR, Zarei S. Investigating Association of Three Polymorphisms of Coagulation Factor XIII and Recurrent Pregnancy Loss. *Am J Reprod Immunol.* 2010;64(3):212-217. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.2010.00838.x>
27. Kafilzadeh F, Shabankareh HK, Targhibi MR. Effect of chromium supplementation on productive and reproductive performances and some metabolic parameters in late gestation and early lactation of dairy cows. *Biol Trace Elem Res.* 2012;149(1):42-49. doi: 10.1007/s12011-012-9390-0
28. Kaprara A, Krassas GE. Selenium and thyroidal function; the role of immunoassays. *Hell J Nucl Med.* 2006;9(3):195-203.
29. Karkoodi K, Chamani M, Beheshti M, Mirghaffari SS, Azarfar A. Effect of organic zinc, manganese, copper, and selenium chelates on colostrum production and reproductive and lameness indices in adequately supplemented Holstein cows. *Biol Trace Elem Res.* 2012;146(1):42-46. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9216-5>
30. Kendall NR, Marsters P, Guo L, Scaramuzzi RJ, Campbell BK. Effect of copper and thiomolybdates on bovine theca cell differentiation in vitro. *J. Endocr.* 2006;189(3):455-463.
31. Kontic-Vucinic O, Sulovic N, Radunovic N. Micronutrients in women's reproductive health: II. Minerals and trace elements. *Int J Fertil Womens Med.* 2006;51(3):116-124.
32. Kotyzova D, Cerna P, Leseticky L, Eybl V. Trace elements status in selenium-deficient rats-interaction with cadmium. *Biological trace element research.* 2000;136(3):287-93. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-009-8541-4>
33. Kumar S. Management of infertility due to mineral deficiency in dairy animals. In: *Advance diagnostic techniques and therapeutic approaches to metabolic and deficiency diseases in dairy animals: Proceedings of ICAR summer school, IVRI, Izatnagar, UP 2003, 15th July to 4th Aug.; Izatnagar, 2003:128-137.*
34. Larsen PR, Berry MJ. Nutritional and hormonal regulation of thyroid hormone deiodinases. *Ann Res Nutr.* 1995;15:323-352. doi: 10.1146/annurev.nu.15.070195.001543
35. Lykkesfeldt J, Svendsen O. Oxidants and antioxidants in disease: oxidative stress in farm animals. *Vet J.* 2007;173(3):502-511. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2006.06.005>
36. Machado VS, Bicalho MLS, Pereira RV, Caixeta LS, Knauer WA, Oikonomou G, Gilbert RO, Bicalho RC. Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on the health and production of lactating Holstein cows. *Vet J.* 2013;197(2):451-456. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.02.022>
37. Mallard BA, Dekkers JC, Ireland MJ, Leslie KE, Sharif S, Vankampen CL, Wagter L, Wilkie BN. Alteration in immune responsiveness during the peripartum period and its ramification on dairy cows and calf health. *Journal of Dairy Science.* 1998;81(2):589-595. doi: 10.3168/jds.s0022-0302(98)75612-7
38. Mihailović M, Cvetković M, Ljubić A, Kosanović M, Nedeljković S, Jovanović I, Pesut O. Selenium and malondialdehyde content and glutathione peroxidase activity in maternal and umbilical cord blood and amniotic fluid. *Biol Trace Elem Res.* 2000;73(1):47-54. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:73:1:47>
39. Mihiu D, Sabău L, Costin N, Ciortea R, Măluțan A, Mihiu CM. Implications of maternal systemic oxidative stress in normal pregnancy and in pregnancy complicated by preeclampsia. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2012;25(7):944-951. doi: 10.3109/14767058.2011.600796
40. Milanesi A, Brent G. Management of hypothyroidism in pregnancy. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes.* 2011;18(5):304-309. doi: 10.1097/MED.0b013e32834a91d1
41. 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.

42. Miroschnikov SA, Zavyalov OA, Frolov AN, Bolodurina IP, Kalashnikov VV, Grabeklis AR, Tinkov AA, Skalny AV. 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: <https://doi.org/10.1007/s12011-017-0991-5>
43. Omur A, Kirbas A, Aksu E, Kandemir F, Dorman E, Kaynar O, Ucar O. Effects of antioxidant vitamins (A, D, E) and trace elements (Cu, Mn, Se, Zn) on some metabolic and reproductive profiles in dairy cows during transition period. *Pol J Vet Sci*. 2016;19(4):697-706. doi: 10.1515/pjvs-2016-0088
44. Pagrut N, Ganguly S. Importance of trace elements in animal reproduction: a review. *International Journal of Pharmaceutical Research and Bio-Science*. 2018;7(3):11-17.
45. Park SJ, Lee SH, Cho DY, Kim KM, Lee DJ, Kim BT. Hair calcium concentration is associated with calcium intake and bone mineral density. *Int J Vitam Nutr Res*. 2013;83(3):154-161. doi: <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000160>
46. Qian L, Zou X, Xu Z, Zuo G. Effects of various levels of iron on the reproductive performance and biochemical parameters of gestation sow. *Chinese J. Vet. Sci*. 2001;5:526-528
47. Rao VR, Lakshmi A, Sadhnani MD. Prevalence of hypothyroidism in recurrent pregnancy loss in first trimester. *Indian J Med Sci*. 2008;62(9):357-361.
48. Rodrigues JL, Batista BL, Nunes JA, Passos CJS, Barbosa Jr F. Evaluation of the use of human hair for biomonitoring the deficiency of essential and exposure to toxic elements. *Sci Total Environ*. 2008;405(1-3):370-376. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.06.002
49. Rutigliano HM, Lima FS, Cerri RLA, Greco LF, Vilela JM, Magalhães V, Silvestre FT, Thatcher WW, Santos JEP. Effects of method of presynchronization and source of selenium on uterine health and reproduction in dairy cows. *J Dairy Sci*. 2008;91(9):3323-3636. doi: 10.3168/jds.2008-1005
50. Serdar Z, Gur E, Colakoethullary M, Develioethlu O, Sarandol E. Lipid and Protein oxidation and antioxidant function in women with mild and severe preeclampsia. *Arch Gynecol Obstet*. 2003;268(1):19-25. doi: 10.1007/s00404-002-0302-y
51. Skalnaya MG, Jaiswal SK, Prakash R, Prakash NT, Grabeklis AR, Zhegalova IV, Zhang F, Guo X, Tinkov AA, Skalny AV. The level of toxic elements in edible crops from seleniferous area (Punjab, India). *Biol Trace Elem Res*. 2018;184(2):523-528. doi: 10.1007/s12011-017-1216-7
52. Tan C, Wei H, Sun H, Ao J, Long G, Jiang S, Peng J. Effects of dietary supplementation of oregano essential oil to sows on oxidative stress status, lactation feed intake of sows, and piglet performance. *Biomed Res Int*. 2015;2015(2):525218. doi: <https://doi.org/10.1155/2015/525218>
53. Thornton PK, van de Steeg J, Notenbaert A, Herrero M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: a review of what we know and what we need to know. *Agricult. Syst*. 2009;101(3): 113-127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.002>
54. Waller KP. Mammary gland immunology around parturition. Influence of stress, nutrition and genetics. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2000;480:231-245. doi: https://doi.org/10.1007/0-306-46832-8_29
55. Wichtel JJ. A review of selenium deficiency in grazing ruminants. Part 1: new roles for selenium in ruminant metabolism. *N Z Vet J*. 1998;46(2):47-52. doi: 10.1080/00480169.1998.36055
56. Xu T, Gao X, Liu G. The antagonistic effect of selenium on lead toxicity is related to the ion profile in chicken liver. *Biological trace element research*. 2015;169:365-373. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0422-4>
57. Yasothai R. Importance of minerals on reproduction in dairy cattle. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2014;3(6):2051-2057.
58. Zhao J, Li Y, Li Y, Gao Y, Li B, Hu Y, Zhao Y, Chaia Z. Selenium modulates mercury uptake and distribution in rice (*Oryza sativa* L.), in correlation with mercury species and exposure level. *Metalomics*. 2014;6(10):1951-1957 doi: <https://doi.org/10.1039/C4MT00170B>
59. 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. *Biological Trace Element Research*. 2015;164(1):43-49. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0207-1>

References

1. Miroshnikov SA, Burtseva TI, Golubkina NA, Notova SV, Skalniy AV, Burlutskaya OI. Hygienic assessment of selenium status of the Orenburg region. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2008;12 (94):95-98.
2. Oberlis D, Harland B, Skalny A. The biological role of macro- and microelements in humans and animals. St. Petersburg: Nauka; 2008. 554 p.
3. 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.
4. Skalny AV. Reference values of chemical elements concentration in hair, obtained by means of ICP-AES method in ANO Centre for Biotic Medicine. *Trace Elements in Medicine*. 2003;4(1):55-56.
5. The number of calls to the center of biotic medicine. [Internet] Available from: <https://microelements.ru/> (accessed 21 April, 2020).
6. Farkhutdinova LM, Speranskiĭ VV, Gil'manov AZh. Hair trace elements in patients with goiter. *Klin Lab Diagn*. 2006;8:19-21.
7. Ahola JK, Baker DS, Burns PD, Mortimer RG, Enns RM, Whittier JC, Geary TW, Engle TE. Effect of copper, zinc, and manganese supplementation and source on reproduction, mineral status, and performance in grazing beef cattle over a two-year period. *J Anim Sci*. 2004;82(8):2375-2383. doi: <https://doi.org/10.2527/2004.8282375x>
8. Balamurugan B, Ramamoorthy M, Shankar R, Mandal K, Keerthana J, Gopalakrishnan G, Kavya KM, Kharayat NS, Chaudhary GR, Katiyar R. Mineral an important nutrient for efficient reproductive health in dairy cattle. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2017;6(1):694-701.
9. Bjerregaard P, Fjordside S, Hansen MG, Petrova MB. Dietary selenium reduces retention of methyl mercury in freshwater fish. *Environmental science & technology*. 2011;45(22):9793-9798. doi: <https://doi.org/10.1021/es202565g>
10. Blackburn H, Gollin D. Animal genetic resource trade flows: The utilization of newly imported breeds and gene flow of imported animals in the United States of America. *Livestock Sci*. 2009;120(3):240-247. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.07.006>
11. Campbell JR, Jim GK, Booker CW, Guichon PT. A survey of the selenium status of beef cows in Alberta. *Can Vet J*. 1995;36(11):698-702.
12. Chen J, Han JH, Guan WT, Chen F, Wang CX, Zhang YZ, et al. Selenium and vitamin E in sow diets: I. Effect on antioxidant status and reproductive performance in multiparous sows. *Anim Feed Sci Tech*. 2016;221(A):111-123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.022>
13. Christodoulopoulos G, Roubies N, Karatzias H, Papasteriadiis A. Selenium concentration in blood and hair of holstein dairy cows. *Biol Trace Elem Res*. 2003;91(2):145-150. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:91:2:145>
14. Cygan-Szczegielniak D, Stanek M, Giernatowska E, Janicki B. Impact of breeding region and season on the content of some trace elements and heavy metals in the hair of cows. *Folia Biol (Krakow)*. 2014;62(3):163-169.
15. Drasch G, Roeder G. Assessment of hair mineral analysis commercially offered in Germany. *J Trace Elem Med Biol*. 2002;16(1):27-31. doi: [https://doi.org/10.1016/S0946-672X\(02\)80005-0](https://doi.org/10.1016/S0946-672X(02)80005-0)
16. Finkel T. Oxidant signals and oxidative stress. *Curr Opin Cell Biol*. 2003;15(2):247-254. doi: [https://doi.org/10.1016/S0955-0674\(03\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0955-0674(03)00002-4)
17. Gärtner R. Thyroid disorders during pregnancy. *Dtsch Med Wochenschr*. 2009;134(3):83-86. doi: 10.1055/s-0028-1105894
18. Gong J, Xiao M. Effect of organic selenium supplementation on selenium status, oxidative stress, and antioxidant status in selenium-adequate dairy cows during the periparturient period. *Biol Trace Elem Res*. 2018;186(2):430-440. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1323-0>
19. González-Maldonado J, Rangel-Santos R, Rodríguez-de Lara R, García-Peña O. Effect of injectable trace mineral complex supplementation on development of ovarian structures and serum copper

and zinc concentrations in over-conditioned Holstein cows. *Anim Reprod Sci.* 2017;181:57-62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.03.015>

20. Gottsch ML, Van Kirk EA, Murdoch WJ. Tumour necrosis factor alpha up-regulates matrix metalloproteinase-2 activity in preovulatory ovine follicles: metamorphic and endocrine implications. *Reprod Fertil Develop.* 2000; 12(2):75-80. doi: <https://doi.org/10.1071/RD00054>

21. Guyot H, de Oliveira LA, Ramery E, Beckers JF, Rollin F. Effect of a combined iodine and selenium supplementation on I and Se status of cows and their calves. *J Trace Elem Med Biol.* 2011;25(2):118-124. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2011.02.003>

22. Hesari BA, Mohri M, Seifi HA. Effect of copper edetate injection in dry pregnant cows on hematology, blood metabolites, weight gain and health of calves. *Trop Anim Health Prod.* 2012;44(5):1041-1047. doi: <https://doi.org/10.1007/s11250-011-0038-4>

23. Hidiroglou M, Ho SK, Ivan M, Shearer DA. Manganese status of pasturing ewes, of pregnant ewes and doe rabbits on low manganese diets and of dairy cows with cystic ovaries. *Can J Comp Med.* 1978;42(1):100-107.

24. Hosnedlova B, Kepinska M, Skalickova S, Fernandez C, Ruttkay-Nedecky B, Malevu TD, Sochor J, Baron M, Melcova M, Zidkova J, Kizek R. A summary of new findings on the biological effects of selenium in selected animal species-a critical review. *Int J Mol Sci.* 2017;18(10):2209. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms18102209>

25. Hu YJ, Gao KG, Zheng CT, Wu ZJ, Yang XF, Wang L et al. Effect of dietary supplementation with glycitein during late pregnancy and lactation on antioxidative indices and performance of primiparous sows. *J Anim Sci.* 2015;93(5):2246-2254. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7767>

26. Jeddi-Tehrani M, Torabi R, Mohammadzadeh A, Arefi S, Keramatipour M, Zeraati H, Akhondi MM, Mahmoudian J, Mahmoudi AR, Zarei S. Investigating Association of Three Polymorphisms of Coagulation Factor XIII and Recurrent Pregnancy Loss. *Am J Reprod Immunol.* 2010;64(3):212-217. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.2010.00838.x>

27. Kafilzadeh F, Shabankareh HK, Targhibi MR. Effect of chromium supplementation on productive and reproductive performances and some metabolic parameters in late gestation and early lactation of dairy cows. *Biol Trace Elem Res.* 2012;149(1):42-49. doi: [10.1007/s12011-012-9390-0](https://doi.org/10.1007/s12011-012-9390-0)

28. Kaprara A, Krassas GE. Selenium and thyroidal function; the role of immunoassays. *Hell J Nucl Med.* 2006;9(3):195-203.

29. Karkoodi K, Chamani M, Beheshti M, Mirghaffari SS, Azarfar A. Effect of organic zinc, manganese, copper, and selenium chelates on colostrum production and reproductive and lameness indices in adequately supplemented Holstein cows. *Biol Trace Elem Res.* 2012;146(1):42-46. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9216-5>

30. Kendall NR, Marsters P, Guo L, Scaramuzzi RJ, Campbell BK. Effect of copper and thiomolybdates on bovine theca cell differentiation in vitro. *J. Endocr.* 2006;189(3):455-463.

31. Kontic-Vucinic O, Sulovic N, Radunovic N. Micronutrients in women's reproductive health: II. Minerals and trace elements. *Int J Fertil Womens Med.* 2006;51(3):116-124.

32. Kotyzova D, Cerna P, Leseticky L, Eybl V. Trace elements status in selenium-deficient rats-interaction with cadmium. *Biological trace element research.* 2000;136(3):287-93. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-009-8541-4>

33. Kumar S. Management of infertility due to mineral deficiency in dairy animals. In: Advance diagnostic techniques and therapeutic approaches to metabolic and deficiency diseases in dairy animals: Proceedings of ICAR summer school, IVRI, Izatnagar, UP 2003, 15th July to 4th Aug.; Izatnagar, 2003:128-137.

34. Larsen PR, Berry MJ. Nutritional and hormonal regulation of thyroid hormone deiodinases. *Ann Res Nutr.* 1995;15:323-352. doi: [10.1146/annurev.nu.15.070195.001543](https://doi.org/10.1146/annurev.nu.15.070195.001543)

35. Lykkesfeldt J, Svendsen O. Oxidants and antioxidants in disease: oxidative stress in farm animals. *Vet J.* 2007;173(3):502-511. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2006.06.005>

36. Machado VS, Bicalho MLS, Pereira RV, Caixeta LS, Knauer WA, Oikonomou G, Gilbert RO, Bicalho RC. Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on the health and production of lactating Holstein cows. *Vet J.* 2013;197(2):451-456. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.02.022>

37. Mallard BA, Dekkers JC, Ireland MJ, Leslie KE, Sharif S, Vankampen CL, Wagter L, Wilkie BN. Alteration in immune responsiveness during the peripartum period and its ramification on dairy cows and calf health. *Journal of Dairy Science.* 1998;81(2):589-595. doi: [10.3168/jds.s0022-0302\(98\)75612-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(98)75612-7)

38. Mihailović M, Cvetković M, Ljubić A, Kosanović M, Nedeljković S, Jovanović I, Pesut O. Selenium and malondialdehyde content and glutathione peroxidase activity in maternal and umbilical cord blood and amniotic fluid. *Biol Trace Elem Res.* 2000;73(1):47-54. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:73:1:47>

39. Mihiu D, Sabău L, Costin N, Ciortea R, Măluțan A, Mihiu CM. Implications of maternal systemic oxidative stress in normal pregnancy and in pregnancy complicated by preeclampsia. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2012;25(7):944-951. doi: [10.3109/14767058.2011.600796](https://doi.org/10.3109/14767058.2011.600796)

40. Milanesi A, Brent G. Management of hypothyroidism in pregnancy. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes.* 2011;18(5):304-309. doi: [10.1097/MED.0b013e32834a91d1](https://doi.org/10.1097/MED.0b013e32834a91d1)

41. 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.

42. Miroshnikov SA, Zavyalov OA, Frolov AN, Bolodurina IP, Kalashnikov VV, Grabeklis AR, Tinkov AA, Skalny AV. 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: <https://doi.org/10.1007/s12011-017-0991-5>

43. Omur A, Kirbas A, Aksu E, Kandemir F, Dorman E, Kaynar O, Ucar O. Effects of antioxidant vitamins (A, D, E) and trace elements (Cu, Mn, Se, Zn) on some metabolic and reproductive profiles in dairy cows during transition period. *Pol J Vet Sci.* 2016;19(4):697-706. doi: [10.1515/pjvs-2016-0088](https://doi.org/10.1515/pjvs-2016-0088)

44. Pagrut N, Ganguly S. Importance of trace elements in animal reproduction: a review. *International Journal of Pharmaceutical Research and Bio-Science.* 2018;7(3):11-17.

45. Park SJ, Lee SH, Cho DY, Kim KM, Lee DJ, Kim BT. Hair calcium concentration is associated with calcium intake and bone mineral density. *Int J Vitam Nutr Res.* 2013;83(3):154-161. doi: <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000160>

46. Qian L, Zou X, Xu Z, Zuo G. Effects of various levels of iron on the reproductive performance and biochemical parameters of gestation sow. *Chinese J. Vet. Sci.* 2001;5:526-528

47. Rao VR, Lakshmi A, Sadhnani MD. Prevalence of hypothyroidism in recurrent pregnancy loss in first trimester. *Indian J Med Sci.* 2008;62(9):357-361.

48. Rodrigues JL, Batista BL, Nunes JA, Passos CJS, Barbosa Jr F. Evaluation of the use of human hair for biomonitoring the deficiency of essential and exposure to toxic elements. *Sci Total Environ.* 2008;405(1-3):370-376. doi: [10.1016/j.scitotenv.2008.06.002](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.002)

49. Rutigliano HM, Lima FS, Cerri RLA, Greco LF, Vilela JM, Magalhães V, Silvestre FT, Thatcher WW, Santos JEP. Effects of method of presynchronization and source of selenium on uterine health and reproduction in dairy cows. *J Dairy Sci.* 2008;91(9):3323-3636. doi: [10.3168/jds.2008-1005](https://doi.org/10.3168/jds.2008-1005)

50. Serdar Z, Gur E, Colakoethullary M, Develioethlu O, Sarandol E. Lipid and Protein oxidation and antioxidant function in women with mild and severe preeclampsia. *Arch Gynecol Obstet.* 2003;268(1):19-25. doi: [10.1007/s00404-002-0302-y](https://doi.org/10.1007/s00404-002-0302-y)

51. Skalnaya MG, Jaiswal SK, Prakash R, Prakash NT, Grabeklis AR, Zhegalova IV, Zhang F, Guo X, Tinkov AA, Skalny AV. The level of toxic elements in edible crops from seleniferous area (Punjab, India). *Biol Trace Elem Res.* 2018;184(2):523-528. doi: [10.1007/s12011-017-1216-7](https://doi.org/10.1007/s12011-017-1216-7)

52. Tan C, Wei H, Sun H, Ao J, Long G, Jiang S, Peng J. Effects of dietary supplementation of oregano essential oil to sows on oxidative stress status, lactation feed intake of sows, and piglet performance. *Biomed Res Int.* 2015;2015(2):525218. doi: <https://doi.org/10.1155/2015/525218>

53. Thornton PK, van de Steeg J, Notenbaert A, Herrero M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: a review of what we know and what we need to know. *Agricult. Syst.* 2009;101(3): 113-127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.002>

54. Waller KP. Mammary gland immunology around parturition. Influence of stress, nutrition and genetics. *Advances in Experimental Medicine and Biology.* 2000;480:231-245. doi: https://doi.org/10.1007/0-306-46832-8_29

55. Wichtel JJ. A review of selenium deficiency in grazing ruminants. Part 1: new roles for selenium in ruminant metabolism. *N Z Vet J.* 1998;46(2):47-52. doi: 10.1080/00480169.1998.36055

56. Xu T, Gao X, Liu G. The antagonistic effect of selenium on lead toxicity is related to the ion profile in chicken liver. *Biological trace element research.* 2015;169:365-373. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0422-4>

57. Yasothai R. Importance of minerals on reproduction in dairy cattle. *International Journal of Science, Environment and Technology.* 2014;3(6):2051-2057.

58. Zhao J, Li Y, Li Y, Gao Y, Li B, Hu Y, Zhao Y, Chaia Z. Selenium modulates mercury uptake and distribution in rice (*Oryza sativa* L.), in correlation with mercury species and exposure level. *Metalomics.* 2014;6(10):1951-1957 doi: <https://doi.org/10.1039/C4MT00170B>

59. 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. *Biological Trace Element Research.* 2015;164(1):43-49. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0207-1>

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)30-81-78, e-mail: forleh@mail.ru

Поступила в редакцию 22 апреля 2020 г.; принята после решения редколлегии 15 июня 2020 г.; опубликована 8 июля 2020 г./ Received: 22 April 2020; Accepted: 15 June 2020; Published: 8 July 2020