

DOI: 10.32636/01308521.2024-(76)-1-9

Оригінальна наукова стаття

УДК 636.084.41: 619: 616-098: 543.432.1: 636.2

ВМІСТ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ПЛАЗМІ КРОВІ, МОЛОЦІ ТА ВОЛОСЯНОМУ ПОКРИВІ МОЛОЧНИХ КОРІВ**І. В. Лобойко¹, В. В. Влізло^{1,2}**

¹Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с.
Оброшине, Львівський р-н,
Львівська обл., 81115

²Львівський національний
університет ветеринарної
медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького
вул. Пекарська, 50, м. Львів, 79010

Про авторів:

Ігор ЛОБОЙКО,
аспірант
ORCID: 0000-0002-7045-1646

Василь ВЛІЗЛО,
доктор ветеринарних наук,
професор, академік НААН
ORCID: 0000-0001-8588-5095

Для листування:

Ігор ЛОБОЙКО
e-mail: zzzigorzzz2018@gmail.com

Інформація про фінансування:

Національна академія аграрних
наук України

Отримано:
8 лютого 2024 р.
Погоджено до друку:
13 серпня 2024 р.

Метою роботи було проаналізувати рівень надходження мінеральних речовин з кормами, дослідити вміст мікроелементів (*Fe, Cu, Co, Zn, Mn, Se*) у плазмі крові, молозиві та волосяному покриві корів у перші дні після отелення для встановлення забезпеченості ними тварин. Лабораторні дослідження Феруму у плазмі крові, молозиві та волосяному покриві корів показали, що його вміст знаходився у всіх досліджуваних тварин на високому рівні. Кількість Купруму у плазмі крові, молозиві та волосяному покриві корів вказувала на добре забезпечення ним тварин, що може пояснюватися згодовування преміксу зі сполуками *Cu* під час сухостійного періоду. Вміст Кобальту у плазмі крові корів був нижче встановлених фізіологічних значень ($0,22 \pm 0,053$ мкмоль/л), а у волосяному покриві знаходився на нижній фізіологічній межі ($0,14 \pm 0,012$ мг/кг), що є ознакою недостатнього надходження *Co* в організм. Кількість Цинку у плазмі крові, молозиві та волосяному покриві знаходився на фізіологічному рівні, попри те, що корови не отримували *Zn* з преміксами. Отже, забезпеченість Цинком з кормів задовольняє потреби тварин. Вміст Мангану у плазмі крові корів був низьким ($0,63 \pm 0,021$ мкмоль/л). Манган корови не отримували додатково до раціону з преміксами, тому протягом часу лактації може посилюватися його дефіцит в організмі. Вміст Селену у плазмі крові корів після отелення показував низькі показники ($0,39 \pm 0,045$ мкмоль/л). У молозиві вміст *Se* був вищим порівняно з плазмою крові ($2,9 \pm 0,55$ мкмоль/л). У волосяному покриві корів кількість Селену дорівнювала $1,44 \pm 0,130$ мг/кг. Низькі показники *Se* у крові корів після отелення, а також відсутність його додаткових включень у раціони дійних тварин може спричинити дефіцит Селену в організмі під час лактаційного періоду.

Ключові слова: корови, живлення, кров, молозиво, волосяний покрив, мікроелементи.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Лобойко І. В., Влізло В. В., 2024

Content of Trace Elements in Blood Plasma, Milk and Hair Coat of Dairy Cows

¹Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS
Hrushevskoho street, 5, Obroshyne village, Lviv district, Lviv region, 81115

²Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies
Pekarska Str., 50, Lviv, 79010

About authors:

Ihor LOBOIKO
ORCID: 0000-0002-7045-1646

Vasyl VLIZLO
ORCID: 0000-0001-8588-5095

For corresponding:

Ihor LOBOIKO
e-mail: zzzigorzzz2018@gmail.com

Funding information:

National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:

February 8, 2024

Accepted:

August 13, 2024

The aim of the study was to analyze the level of mineral intake from feed, and to investigate the content of trace elements (*Fe*, *Cu*, *Co*, *Zn*, *Mn*, *Se*) in blood plasma, colostrum, and hair coat of cows in the first days after calving to determine their adequacy for the animals. Laboratory analysis of iron (*Fe*) in the blood plasma, colostrum, and hair coat of cows showed that its content was at a high level in all examined cows. The amount of copper (*Cu*) in the blood plasma, colostrum, and hair coat of cows indicated good provision for the animals, possibly due to the feeding of a premix containing *Cu* compounds during the dry period. Cobalt (*Co*) content in the blood plasma of cows was below the established norm ($0.22 \pm 0.053 \mu\text{mol/l}$), and in the hair coat, it was at the lower physiological limit ($0.14 \pm 0.012 \text{ mg/kg}$), indicating insufficient intake of *Co* in the organism. Zinc (*Zn*) content in the blood plasma, colostrum, and hair coat was at the physiological level, despite cows not receiving *Zn* from premixes; their provision from feeds satisfied the animals' needs. Manganese (*Mn*) content in the blood plasma of cows was low ($0.63 \pm 0.021 \mu\text{mol/l}$). Cows did not receive additional manganese to the ration from premixes, which may lead to an exacerbation of its deficit in the organism during lactation. Selenium (*Se*) content in the blood plasma of cows after calving showed low levels ($0.39 \pm 0.045 \mu\text{mol/l}$). In colostrum, the *Se* content was higher compared to blood plasma ($2.9 \pm 0.55 \mu\text{mol/l}$). In the hair coat of cows, the selenium content was $1.44 \pm 0.130 \text{ mg/kg}$. Low *Se* levels in the blood of cows after calving, as well as the absence of additional inclusions in the rations of lactating animals, may lead to selenium deficiency in the organism during the lactation period.

Keywords: cows, nutrition, blood, colostrum, hair coat, trace elements.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Мікроелементи необхідні для росту, розвитку, продуктивності та здоров'я тварин. До життєво необхідних (біогенних, біотичних, есенціальних) мікроелементів відносяться Ферум (*Fe*), Цинк (*Zn*), Купрум (*Cu*), Кобальт (*Co*), Манган (*Mn*), Йод (*J*), Селен (*Se*), Молібден (*Mo*) [1]. Вказується на важливу роль для організму тварин Хрому (*Cr*), Флуору (*F*), Бору (*B*). Згідно з останніми вимог однієї із найбільш поширених систем годівлі тварин – американської системи годівлі (*National Research Council – NRC*), для живлення великої рогатої худоби важливими є 10 мікроелементів, зокрема *Cr*, *Co*, *Cu*, *J*, *Fe*, *Mn*, *Mo*, *Ni*, *Se* та *Zn* [18, 19]. Інші мікроелементи, які не вказані у цьому списку, не відзначені, як життєво необхідні, оскільки їх участь у

живленні та метаболізмі великої рогатої худоби ще мало вивчена [4].

Селен, Купрум, Цинк, Манган, Кобальт та Йод належать до мікроелементів, яких найчастіше не вистачає в кормах великої рогатої худоби. Водночас, у кормах містяться достатня кількість і навіть надлишок Феруму, Молібдену, Кальцію та Сульфуру, які є антагоністами біогенних мікроелементів, посилюючи їх дефіцит [5]. Крім цього, у великої рогатої худоби біодоступність мікроелементів з кормами є відносно низькою, оскільки у передшлунках між мінеральними речовинами та компонентами корму можуть утворюватися нерозчинні сполуки, що погіршує всмоктування мікроелементів [14].

Таким чином, у корів часто спостерігається дефіцит мікроелементів у кормах, тому при формуванні раціонів передбачено додатково вводити мінеральні речовини у мінерально-вітамінних чи мінеральних преміксах та кормових добавках. Сьогодні у преміксах застосовуються неорганічні та органічні форми мінеральних речовин, або їх суміші [10]. Вони сприяють одночасній ліквідації дефіциту необхідних біотичних мікроелементів і забезпечують їх комплексну дію. Збалансований вміст мікроелементів в організмі корів позитивно впливає на функціонування різних органів і систем, підвищує продуктивність, профілакує захворюваність у корів [27].

Для забезпечення високої молочної продуктивності корові необхідно спожити велику кількість сухої речовини корму з вмістом достатньої кількості життєво необхідних поживних та біологічно активних речовин, зокрема й мінералів. Зважаючи на низьку засвоюваність мінеральних речовин, пропонується давати тваринам вищі за рекомендовані норми дози мікроелементів. Так, перегодовування мікроелементами є звичайною практикою в системах інтенсивного виробництва молока в Канаді, США та Великій Британії. У Канаді 66 % господарств було збільшено дози мінеральних елементів у раціонах [6]. Встановлено, що додавання до раціонів корів *Zn*, *Mn* і *Cu* може спричинити їх накопичення в організмі [27].

Надлишок мікроелементів у раціонах корів виводяться з гноєм, а це має згубний вплив на екосистему, оскільки гній із високим вмістом мінеральних сполук вноситься як органічне добриво на поля [3]. Це спричиняє негативну дію на мікроорганізми ґрунту, рослинний та тваринний світ [16].

Слід відзначити, що дефіцит або надлишок мікроелементів у раціоні часто не проявляється розвитком клінічних ознак хвороби, або протікає безсимптомно [1, 25]. Проте ріст, розвиток і здоров'я тварин

залежить від фізіологічно збалансованого вмісту та співвідношення між окремими мінеральними речовинами у тканинах і рідинах організму. Для встановлення забезпеченості мікроелементами тварин пропонується їх визначати у цільній крові, сироватці та плазмі крові. У останній час для об'єктивної оцінки стану мінерального живлення великої рогатої худоби мікроелементи визначають у молоці, сечі, фекаліях, тканинах та волоссяному покриві. Зокрема, волосся завдяки своїй структурі є інформативним біологічним матеріалом для оцінки надходження мінеральних речовин в організмі тварини протягом тривалого часу [20]. Волосся бере участь у метаболізмі великої кількості мікроелементів (*Mn*, *Cu*, *Zn*, *Se*, *Mo*, *J*, *Cd*, *Pb* і *Hg*) і дає репрезентативну оцінку мінеральному живленню великої рогатої худоби. Вказується, що існує корелятивний зв'язок між вмістом мінеральних речовин в крові та волоссяному покриві [7].

Метою нашої роботи було проаналізувати рівень надходження мінеральних речовин з кормами, дослідити вміст мікроелементів (*Fe*, *Cu*, *Co*, *Zn*, *Mn*, *Se*) у плазмі крові, молозиві та волоссяному покриві корів у перші дні після отелення і встановити забезпеченість тварин Ферумом, Купрумом, Кобальтом, Цинком, Манганом та Селеном.

Матеріали і методи. Матеріалом для досліджень були 5 клінічно здорових корів Української чорно-рябої молочної породи. Тварини були після другої та третьої лактацій, 2–5 діб після отелення. Продуктивність корів складала 30–40 літрів молока у день. Тварин цілорічно утримували безприв'язно у приміщенні. Годівля корів здійснювалася з використанням кормових столів (годівниць). Раціон був однаковий протягом року і мало залежав від пори року.

Корів досліджували клінічно і відбирали від них проби крові, молозива та волоссяного покриву для проведення лабораторних досліджень. Проби

отримували у грудні за відсутності линяння, що важливо для аналізу волосяного покриву. Зразки пігментованого волосяного покриву вистригали у ділянці спини корів на глибину до одного мм від шкіри. Проби крові отримували з хвостової вени до ранішньої годівлі, а молозива – під час ранішнього доїння. У відібраних зразках плазми крові, молозива та волосяного покриву досліджували вміст Феруму, Купруму, Кобальту, Цинку, Мангану та Селену. Проби плазми крові, молозива та волосяного покриву піддавалися попередній обробці методом кислотного екстрагування (неповної мінералізації) згідно з ДСТУ 7670:2014 та ДСТУ ISO 11885:2019, розчиняючи в 10 мл нітратної кислоти. Пробопідготовка включала гомогенізацію біоматеріалу, його зважування і змішування з нітратною кислотою у фторопластовому циліндрі. Після цього, матеріал накривали годинниковим склом та переносили у спеціальну мікрохвильову піч, у якій під дією заданих параметрів тиску та температури відбувалося озолення зразка. Отриманий розчин переносили у мірну поліпропіленову пробірку, тричі змиваючи зі стінок фторопластового циліндра, та доводили деіонізованою водою до об'єму 10 мл. До розчину проби додавали внутрішній стандарт скандію (0,2 мг/л). Пробірку ретельно закривали кришкою, перемішували, дисоціювали та концентрували на приладі попередньої підготовки проби зразка у мікрохвильовій печі MarS6 iWave протягом 2 годин за температури 220 °С. Надалі свіжоприготовлені зразки розчиняли дистильованою водою (кратність розведення – 25 або 50). Вміст мікроелементів у плазмі крові, молозиві та волосяному покриві визначали на атомно-емісійному спектрометрі ICAP 7000 Duo (Thermo Scientific, США) з індукційно зв'язаною плазмою.

Усі маніпуляції з тваринами здійснювали згідно з Європейською конвенцією про захист хребетних тварин,

що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 1986) і “Загальними етичними принципами експериментів на тваринах”, ухваленими Першим національним конгресом з біоетики (Київ, 2001). Експерименти проводили з дотриманням принципів гуманності, викладених у директиві Європейської Спільноти (Directive 2010/63/EU, 2010).

Результати та обговорення. Раціон годівлі корів складався з (кількість сухої речовини у кг та % поживності): силосу кукурудзяного (7,2 кг та 30,77 %), сінажу житнього (3,0 кг та 12,82 %), дробини (2,5 кг та 10,69 %), спеціального комбікорму «Монефікс 300» (10,7 кг та 45,72 %). Комбікорм «Монефікс 300» містив зерно кукурудзи, дерть пшеничну, макуху ріпакову та соєву, барду кукурудзяну, шрот соняшниковий, премікси та кормові добавки (вітамінів, мінеральних речовин, амінокислот). Мінерально-вітамінний премікс згодовували з розрахунку 100 г на корову в день. До раціону сухостійних корів вносили мінерально-вітамінний премікс «FULL DRY», у 100 г якого містилося 8,4 % Кальцію, 70 мг Йоду, 1260 мг Купруму, 39 мг Кобальту, 25 мг Селену, а також вітаміни – А (700 тис. МО), D₃ (170 тис. МО) та Е (6000 мг). Дійним коровам згодовували мінерально-вітамінну добавку «ACTIVIT», у 100 г якої було 28,7 % Кальцію, 5 % Магнію, 108 мг Йоду, 38 мг Селену, а також вітаміни – біотин (100 мг), А (800 тис. МО), D₃ (170 тис. МО) та Е (4800 мг). Отже, з біотичних мікроелементів дійним коровам додатково згодовували лише Йод та Селен. У високопродуктивних молочних корів після отелення метаболізм протікає на особливо високому рівні, тому потребує більшого забезпечення життєво необхідних поживних та біологічно-активних речовин, зокрема й мікроелементів [25]. Незбалансованість раціонів великої рогатої худоби за основними біотичними мікроелементами може спричинити

зниження продуктивності та негативно вплинути на здоров'я тварин [12, 23].

Оскільки мікроелементи відіграють важливу роль у життєдіяльності організму, то для власників і відповідальних працівників молочних ферм, які утримують високопродуктивних корів, важливим є застосування повноцінних преміксів та кормових добавок для забезпечення необхідної кількості мінеральних речовин і ліквідації їх дефіциту у раціоні. Враховуючи різні рівні засвоєння мінеральних речовин та метаболічні процеси, які впливають на них, складно оцінити стан мікроелементного забезпечення у молочних корів лише на основі контролю раціону [13]. Тому ми провели клінічне дослідження корів і визначали вміст мікроелементів у крові, молозиві та волосяному покриві.

При клінічному дослідженні корів встановлено задовільний загальний стан.

Лабораторні дослідження Феруму у плазмі крові, молозиві та волосяному покриві корів показали, що його вміст знаходився у всіх досліджуваних тварин на високому рівні (табл.). Про добре забезпечення корів *Fe* з кормами, а також його високі показники у крові, молозиві та інших субстратах організму вказують й інші дослідники [24].

Вміст Купруму (табл.) у плазмі крові корів знаходився в межах фізіологічних коливань (15,7–20,9 мкмоль/л). Водночас кількість *Si* у молозиві була майже утричі вищою порівняно з вмістом у плазмі крові. Слід відзначити, що у молозиві корів на другу добу після отелення вміст Купруму є вищим, ніж на п'ятий день (128 та 26 мкмоль/л, відповідно). Вміст й інших мінеральних речовин у перших пробах молозива є найвищим і поступово знижується у наступні доби після отелення [24].

Вміст мікроелементів у плазмі крові, молозиві та волосяному покриві корів

Мікроелементи	Плазма крові, мкмоль/л	Молозиво, мкмоль/л	Волосяний покрив, мг/кг
Ферум	27,9±4,23	59,1±11,99	154,6±16,87
Купрум	19,2±0,64	56,6±16,52	20,1±0,99
Кобальт	0,22±0,053	0,6±0,22	0,14±0,012
Цинк	21,7±0,87	102,4±13,58	229,5±8,37
Манган	0,63±0,021	1,29±0,048	14,6±1,44
Селен	0,39±0,045	2,9±0,55	1,44±0,130

У волосяному покриві корів встановлено 20,1±0,99 мг Купруму у кг сухої речовини. Вміст *Si* у волосяному покриві відображує надходження елемента в організм корів протягом тривалого часу, а його кількість у крові та молоці вказує на забезпеченість даним мікроелементом з кормами лише у час проведеного дослідження [11]. Низькі показники Купруму у волоссі свідчать про тривалий його дефіцит у раціонах корів [22].

Слід зазначити, що досліджувані нами корови під час сухостійного періоду отримували *Si* з преміксом, можливо тому вміст даного мікроелементу у плазмі крові, молозиві та волосяному покриві вказував

на добру забезпеченість тварин Купрумом у перші дні після отелення. Однак відсутність *Si* у мінеральному преміксі для дійних корів може спричинити його дефіцит протягом лактаційного періоду. Проведені дослідження іншими вченими вказують на необхідність постійного додаткового введення Купруму до раціонів молочних корів [26].

Вміст Кобальту у плазмі крові корів (табл.) був нижче встановлених фізіологічних коливань (0,36–0,85 мкмоль/л) [2]. Водночас у молозиві кількість *Co* була вищою, ніж у плазмі крові. У волосяному покриві вміст Кобальту дорівнював 0,14±0,012 мг/кг

сухої речовини. Враховуючи те, що рівень *Co* у волоссі корів повинен бути вищим за 0,12 мг/кг [17], то слід відзначити його незначні запаси в організмі досліджуваних тварин. Не виключено, що кількість Кобальту в організмі дійних корів в процесі лактації буде знижуватися, оскільки у мінеральному преміксі, який вони отримують, даний мікроелемент відсутній. Як показують результати досліджень, найчастіше корми не забезпечують молочних корів достатньою кількістю *Co*, а також *Se*, *Cu*, *Zn*, *Mn* та *J* [4], тому їх слід додатково згодовувати з преміксами.

Проведені нами дослідження вказують на добру забезпеченість корів Цинком (табл.). Так, у всіх корів вміст *Zn* у плазмі крові знаходився у межах фізіологічних коливань. У молозиві кількість Цинку була значно вищою, ніж у плазмі крові. Вміст *Zn* у крові та молоці тісно пов'язаний з надходженням даного мікроелементу з кормами. Вміст Цинку у молоці знижується протягом лактації і його кількість є значно нижчою, ніж у молозиві [21].

У волосяному покриві вміст Цинку був також на досить високому рівні, оскільки фізіологічна кількість повинна бути не нижчою за 100 мг/кг [17].

Попри те, що корови не отримували *Zn* з преміксами, однак його забезпеченість з кормами задовольняла потреби тварин. Цинк є важливим мікроелементом, необхідним для виробництва молока та підтримки оптимального здоров'я молочних корів. За рекомендаціями американських вчених вміст *Zn* у раціоні молочних корів слід збільшити із 60 мг/кг до 76 мг/кг, а для забезпечення стабільної продуктивності та здоров'я й до 100 мг/кг сухої речовини [8]. Отже, слід проводити подальші дослідження з метою встановлення забезпечення Цинком корів протягом всього лактаційного періоду.

Вміст Мангану у плазмі крові корів був нижчим (табл.), порівняно з фізіологічними значеннями [2, 17]. У молозиві вміст *Mn* був дещо вищим, ніж у

плазмі крові. За даними літератури, інформативні результати щодо забезпеченості корів Манганом отримують при дослідженні волосяного покриву [17]. Проведені нами дослідження показали, що кількість *Mn* у волоссі корів дорівнювала $14,6 \pm 1,44$ мг/кг і це може свідчити про його добру забезпеченість [11]. Манган корови не отримували з преміксом, враховуючи його низькі показники у плазмі крові та молозиві, не виключено, що протягом часу лактації може настати його дефіцит в організмі. Слід враховувати й те, що основні інгредієнти корму забезпечують дійних корів з продуктивністю 45 кг молока на добу *Cu*, *Mn* і *Zn* лише, відповідно на 63, 25 і 61 % від потреби [18].

При дослідженні Селену у плазмі крові корів встановлено (табл.) його низькі показники, порівняно з рекомендованими фізіологічними значеннями [2, 5]. Вміст *Se* у плазмі крові тісно пов'язаний з його кількістю у кормах, тому навіть короточасний дефіцит його споживання може спричинити зниження в організмі. У молозиві вміст Селену був значно вищим порівняно з плазмою крові. Слід відзначити, що кількість Селену в молозиві майже у 4 рази вища, ніж у молоці [15]. Водночас, у передшлунках жуйних настає відновлення мікроорганізмами, спожитого з кормом *Se*, до нерозчинних форм, що веде до зниження його засвоєння [21].

У волосяному покриві корів кількість Селену дорівнювала $1,44 \pm 0,130$ мг/кг. Це може вказувати на те, що у сухостійний період корови мали достатнє забезпечення *Se* [11, 17]. Адже сухостійні корови отримували премікс з вмістом Селену. Встановлені нами низькі показники *Se* у крові корів після отелення, а також відсутність його додаткових включень у раціоні дійних тварин може спричинити дефіцит Селену в організмі під час лактаційного періоду [9].

Висновки. Корови сухостійного періоду отримували додатково з кормами мінерально-вітамінний премікс, у складі

якого були Йод, Купрум, Кобальт та Селен, а дійні – лише Йод та Селен. Лабораторні дослідження плазми крові, молозива та волосяного покриву корів на 2–5 добу після отелення показали добру забезпеченість організму тварин Ферумом, Купрумом та Цинком. Вміст Кобальту, Мангану та Селену в організмі корів був низьким, що може свідчити про недостатнє забезпечення ними раціонів. Низькі показники біотичних мікроелементів у

організмі корів після отелення, а також відсутність їх додаткових включень у раціони дійних тварин може спричинити дефіцит під час лактаційного періоду.

Перспективи подальших досліджень. Слід провести подальші дослідження життєво необхідних мікроелементів у організмі молочних корів під час лактації, а також й в інші фізіологічні періоди для з'ясування потреб і регулювання забезпеченості.

Список використаної літератури

1. Левченко В. І., Влізло В. В., Кондрахін І. П. Ветеринарна клінічна біохімія : підручник / За редакцією В. І. Левченка і В. В. Влізла. Біла Церква, 2019. 415 с.
2. Влізло В. В., Федорук Р. С., Ратич І. Б. Лабораторні методи досліджень у біології тваринництві та ветеринарній медицині : довідник / За ред. В. В. Влізла. Львів : СПОЛОМ. 2012. 764 с.
3. Analyses of the relationship between the concentrations of essential trace elements in total mixed ration and faeces samples from Holstein Friesian dairy cows and the estimation of faeces reference values / R. Staufenbiel et al. *Schweiz Arch Tierheilkd.* 2022. Vol. 164. No. 10. P. 709–719. doi: 10.17236/sat00370.
4. Arthington J. D., Ranches J. Trace Mineral Nutrition of Grazing Beef Cattle. *Animals (Basel)*. 2021. Vol. 11, No. 10. P. 2767. Doi: 10.3390/ani11102767.
5. Corbett R. B. Trace Mineral Nutrition in Confinement Dairy Cattle. *Veterinary Clinics of North America : Food Animal Practice*. 2023. Vol. 39, I. 3. P. 425–438. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2023.06.004>.
6. Duplessis M., Royer I. Mini-Review: The importance of an integrated approach to assess trace mineral feeding practices in dairy cows. *Front. Anim. Sci.* 2023. Vol. 4. P. 1155361. Doi: 10.3389/fanim.2023.1155361.
7. Effect of breed and sampling place on the mineral content of cattle hair / E. Szigeti et al. *Poljoprivreda*. 2015. Vol. 21. P. 59–62. Doi: 10.18047/poljo.21.1.sup.13.
8. Effects of Elevating Zinc Supplementation on the Health and Production Parameters of High-Producing Dairy Cows / M. Oconitrillo et al. *Animals*. 2024. Vol. 14, No. 3. P. 395. <https://doi.org/10.3390/ani14030395>.
9. Efficacy of feeding hydroxy-selenomethionine on plasma and milk selenium in mid-lactation dairy cows / M. A. Hachemi et al. *Journal of Dairy Science*. 2023. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22323>.
10. Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in the pre- and postpartum diets on mineral status, antioxidant

References

1. Levchenko V. I., Vlizlo V. V., Kondrakhin I. P. *Veterynarna klinichna biokhimiya : textbook* / Edited by V. I. Levchenko & V. V. Vlizlo. Bila Tserkva. 2019. 415 p.
2. Vlizlo V. V., Fedoruk R. S., Ratych I. B. Laboratory methods of investigation in biology, stockbreeding and veterinary : directory / Edited by V. V. Vlizlo. Lviv : SPOLOM. 2012. 764 p.
3. Analyses of the relationship between the concentrations of essential trace elements in total mixed ration and faeces samples from Holstein Friesian dairy cows and the estimation of faeces reference values / R. Staufenbiel et al. *Schweiz Arch Tierheilkd.* 2022. Vol. 164. No. 10. P. 709–719. doi: 10.17236/sat00370.
4. Arthington J. D., Ranches J. Trace Mineral Nutrition of Grazing Beef Cattle. *Animals (Basel)*. 2021. Vol. 11, No. 10. P. 2767. Doi: 10.3390/ani11102767.
5. Corbett R. B. Trace Mineral Nutrition in Confinement Dairy Cattle. *Veterinary Clinics of North America : Food Animal Practice*. 2023. Vol. 39, I. 3. P. 425–438. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2023.06.004>.
6. Duplessis M., Royer I. Mini-Review: The importance of an integrated approach to assess trace mineral feeding practices in dairy cows. *Front. Anim. Sci.* 2023. Vol. 4. P. 1155361. Doi: 10.3389/fanim.2023.1155361.
7. Effect of breed and sampling place on the mineral content of cattle hair / E. Szigeti et al. *Poljoprivreda*. 2015. Vol. 21. P. 59–62. Doi: 10.18047/poljo.21.1.sup.13.
8. Effects of Elevating Zinc Supplementation on the Health and Production Parameters of High-Producing Dairy Cows / M. Oconitrillo et al. *Animals*. 2024. Vol. 14, No. 3. P. 395. <https://doi.org/10.3390/ani14030395>.
9. Efficacy of feeding hydroxy-selenomethionine on plasma and milk selenium in mid-lactation dairy cows / M. A. Hachemi et al. *Journal of Dairy Science*. 2023. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22323>.
10. Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in the pre- and postpartum diets on mineral status, antioxidant biomarkers, and health of dairy cows / B. Mion et al.

biomarkers, and health of dairy cows / B. Mion et al. *Journal of Animal Science*. 2023. <https://doi.org/10.1093/jas/skad041>.

11. Erhebungen zum Spurenelementstatus von wachsenden Rindern und deren Kälbern mit Hilfe von Haaranalysen / O. Steinhöfel et al. 45. *Internationale Leipziger Laborfortbildung. Tradition und Zukunft in der Veterinärmedizin*. Leipzig. 2021. P. 102–107.

12. Goff J. P. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *J. Dairy Sci.* 2018. Vol. 101, I. 4. P. 2763–2813. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112>.

13. Herdt Th. H., Hoff B. The Use of Blood Analysis to Evaluate Trace Mineral Status in Ruminant Livestock. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2011. Vol. 27, I. 2. P. 255–283. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2011.02.004>.

14. Hill G. M., Shannon M. C. Copper and Zinc Nutritional Issues for Agricultural Animal Production. *Biol. Trace Elem. Res.* 2019. Vol. 188. P. 148–159. Doi: 10.1007/s12011-018-1578-5.

15. Juniper D. T., Rymer C., Briens M. Bioefficacy of hydroxy-selenomethionine as a selenium supplement in pregnant dairy heifers and on the selenium status of their calves. *J. Dairy Sci.* 2019. Vol. 102. P. 7000–7010. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16065>.

16. López-Alonso M., Miranda M. Implications of Excessive Livestock Mineral Supplementation on Environmental Pollution and Human Health / In: De Leon D. A., Aragon P. R., editors. *Trace Elements: Environmental Sources, Geochemistry and Human Health*. Nova Science Publishers, Inc. ; New York, NY, USA. 2012. P. 75–91.

17. Moritz A. Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin / Edited by A. Moritz. Stuttgart : Schattauer. 2014. 934 p.

18. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition. *Washington, DC: The National Academies Press*. 2016. <https://doi.org/10.17226/19014>.

19. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. *Washington, DC: The National Academies Press*. 2021. <https://doi.org/10.17226/25806>.

20. Seasonal Changes in Trace-Element Content in the Coat of Hucul Horses / K. Jachimowicz-Rogowska et al. *Animals*. 2022. Vol. 12. No. 20. P. 2770. <https://doi.org/10.3390/ani12202770>.

21. Spears J. W., Brandao V. L. N., Heldt J. Invited Review: Assessing trace mineral status in ruminants, and factors that affect measurements of trace mineral status. *Applied Animal Science*. 2022. Vol. 38, I. 3. P. 252–267. <https://doi.org/10.15232/aas.2021-02232>.

22. Suttle N. F. Reducing the risk of copper toxicity in dairy cattle. *Veterinary Rec.* 2016. Vol. 178.

Journal of Animal Science. 2023. <https://doi.org/10.1093/jas/skad041>.

11. Erhebungen zum Spurenelementstatus von wachsenden Rindern und deren Kälbern mit Hilfe von Haaranalysen / O. Steinhöfel et al. 45. *Internationale Leipziger Laborfortbildung. Tradition und Zukunft in der Veterinärmedizin*. Leipzig. 2021. P. 102–107.

12. Goff J. P. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *J. Dairy Sci.* 2018. Vol. 101, I. 4. P. 2763–2813. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112>.

13. Herdt Th. H., Hoff B. The Use of Blood Analysis to Evaluate Trace Mineral Status in Ruminant Livestock. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2011. Vol. 27, I. 2. P. 255–283. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2011.02.004>.

14. Hill G. M., Shannon M. C. Copper and Zinc Nutritional Issues for Agricultural Animal Production. *Biol. Trace Elem. Res.* 2019. Vol. 188. P. 148–159. Doi: 10.1007/s12011-018-1578-5.

15. Juniper D. T., Rymer C., Briens M. Bioefficacy of hydroxy-selenomethionine as a selenium supplement in pregnant dairy heifers and on the selenium status of their calves. *J. Dairy Sci.* 2019. Vol. 102. P. 7000–7010. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16065>.

16. López-Alonso M., Miranda M. Implications of Excessive Livestock Mineral Supplementation on Environmental Pollution and Human Health / In: De Leon D. A., Aragon P. R., editors. *Trace Elements: Environmental Sources, Geochemistry and Human Health*. Nova Science Publishers, Inc. ; New York, NY, USA. 2012. P. 75–91.

17. Moritz A. Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin / Edited by A. Moritz. Stuttgart : Schattauer. 2014. 934 p.

18. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition. *Washington, DC: The National Academies Press*. 2016. <https://doi.org/10.17226/19014>.

19. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. *Washington, DC: The National Academies Press*. 2021. <https://doi.org/10.17226/25806>.

20. Seasonal Changes in Trace-Element Content in the Coat of Hucul Horses / K. Jachimowicz-Rogowska et al. *Animals*. 2022. Vol. 12. No. 20. P. 2770. <https://doi.org/10.3390/ani12202770>.

21. Spears J. W., Brandao V. L. N., Heldt J. Invited Review: Assessing trace mineral status in ruminants, and factors that affect measurements of trace mineral status. *Applied Animal Science*. 2022. Vol. 38, I. 3. P. 252–267. <https://doi.org/10.15232/aas.2021-02232>.

22. Suttle N. F. Reducing the risk of copper

P. 196–196. Doi: 10.1136/vr.i793.

23. Trace Elements in Beef Cattle: A Review of the Scientific Approach from One Health Perspective / F. L. Silva et al. *Animals (Basel)*. 2022. Vol. 31, No. 12. P. 2254. Doi: 10.3390/ani12172254.

24. Valldecabres A., Silva-del-Río N. First-milking colostrum mineral concentrations and yields: Comparison to second milking and associations with serum mineral concentrations, parity, and yield in multiparous Jersey cows. *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105, No. 3. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21069>.

25. Weiss W. P. A 100-year review: From ascorbic acid to zinc - mineral and vitamin nutrition of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2017. Vol. 100. P. 10045–10060. Doi: 10.3168/jds.2017-12935.

26. Wysocka D., Snarska A., Sobiech P. Copper – an essential micronutrient for calves and adult cattle. *J. Elem.* 2019. Vol. 24, No. 1. P. 101–110. DOI: 10.5601/jelem.2018.23.2.1645..

27. Zinc, copper, and manganese homeostasis and potential trace metal accumulation in dairy cows: Longitudinal study from late lactation to subsequent mid-lactation / J.-B. Daniel et al. *The Journal of Nutrition*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.02.022>.

28. Yang F. L., Li X. S. Role of antioxidant vitamins and trace elements in mastitis in dairy cows. *J. Advanced Veterinary Anim. Res.* 2015. Vol. 2. P. 1–9. doi: 10.5455/javar.2015.b48

toxicity in dairy cattle. *Veterinary Rec.* 2016. Vol. 178. P. 196–196. Doi: 10.1136/vr.i793.

23. Trace Elements in Beef Cattle: A Review of the Scientific Approach from One Health Perspective / F. L. Silva et al. *Animals (Basel)*. 2022. Vol. 31, No. 12. P. 2254. Doi: 10.3390/ani12172254.

24. Valldecabres A., Silva-del-Río N. First-milking colostrum mineral concentrations and yields: Comparison to second milking and associations with serum mineral concentrations, parity, and yield in multiparous Jersey cows. *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105, No. 3. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21069>.

25. Weiss W. P. A 100-year review: From ascorbic acid to zinc - mineral and vitamin nutrition of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2017. Vol. 100. P. 10045–10060. Doi: 10.3168/jds.2017-12935.

26. Wysocka D., Snarska A., Sobiech P. Copper – an essential micronutrient for calves and adult cattle. *J. Elem.* 2019. Vol. 24, No. 1. P. 101–110. DOI: 10.5601/jelem.2018.23.2.1645.

27. Zinc, copper, and manganese homeostasis and potential trace metal accumulation in dairy cows: Longitudinal study from late lactation to subsequent mid-lactation / J.-B. Daniel et al. *The Journal of Nutrition*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.02.022>.

28. Yang F. L., Li X. S. Role of antioxidant vitamins and trace elements in mastitis in dairy cows. *J. Advanced Veterinary Anim. Res.* 2015. Vol. 2. P. 1–9. doi: 10.5455/javar.2015.b48.