
ТВАРИННИЦТВО, КОРМОВИРОБНИЦТВО, ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ПЕРЕРОБКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

ANIMAL HUSBANDRY, FEED PRODUCTION,
STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

УДК 636.2:612.39:549.322

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.2.24>

РОЛЬ КОБАЛЬТУ В ЖИВЛЕНІ КОРІВ

Кряжевських Д.С. – аспірант кафедри годівлі тварин та технології кормів
імені П.Д. Пшеничного,
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Кобальт, як мікроелемент, необхідний мікроорганізмам рубця для утворення вітаміну В12. У метаболізмі ссавців вітамін В12 є важливою частиною двох ферментативних систем, які беруть участь у багатьох метаболічних реакціях, таких як метаболізм вуглеводів, ліпідів, деяких амінокислот і ДНК. Аденозилкобаламін і метилкобаламін є коферментами метилмалонілкоферменту А (КоА) мутази і метіонінсинтеази і необхідні для отримання енергії через рубцевий метаболізм. Ознаки дефіциту кобальту варіюються від гіпорексії, зниження росту та втрати ваги до стеатозу печінки, анемії, порушення імунної функції, порушення репродуктивної функції та навіть смерті. Кобальтовий статус у жуйних тварин можна оцінити прямим вимірюванням концентрації кобальту або вітаміну В12 в крові або тканинах, а також рівня метилмалонової кислоти, гомоцистеїну або транскобаламіну в крові; метилмалонова кислота в сечі; деякі змінні гематологічні; споживання їжі або зростання тварин. Загалом передбачається, що потреба в кобальті (Со) становить приблизно 0,20 ррт (мг/кг) у раціоні сухої речовини (DM); сучасні рекомендації, здається, радять збільшити кількість добавок Со та встановити їх приблизно на 0,30 – 0,35 мг Со/кг сухої речовини. Хоча немає одностайного критерію щодо продуктивності молока, відгодівлі або репродуктивних показників у відповідь на збільшення додавання Со, у деяких дослідженнях, коли загальний Со в раціоні становив приблизно 1-1,3 ррт (мг/кг), максимальні реакції спостерігалися у виробництві молока.

Важливо відзначити, що кобальт не має відомої поживної функції, окрім як компонента вітаміну В12, беручи участь як коферменти у двох важливих ферментних системах: метилмалоніл-КоА-мутази, яка потребує аденозилкобаламіну, та метіонінсинтеази, яка вимагає метилкобаламіну, і які необхідні для отримання енергії через метаболізм рубця. У жуйних тварин на ефективність мікробного використання кобальту для синтезу кобаламіну впливають численні фактори, такі як адекватний внесок кобальту, інгредієнти та склад раціону, а також склад мікробіома рубця та його вплив на бродіння.

Ключові слова: кобальт, вітамін В12, жуйні, корови, продуктивність.

Kriazhevskykh D.S. The role of cobalt in cow nutrition

Cobalt, as a trace element, is essential for rumen microorganisms for the formation of vitamin B12. In the metabolism of mammals, vitamin B12 is an integral component of two enzymatic systems involved in multiple metabolic reactions, including the metabolism of carbohydrates, lipids, certain amino acids, and DNA. Adenosylcobalamin and methylcobalamin are coenzymes of methylmalonyl-CoA mutase and methionine synthetase and are essential for obtaining energy through ruminal metabolism. Signs of cobalt deficiency range from hyporexia, reduced growth and weight loss to liver steatosis, anemia, impaired immune function, impaired reproductive function and even death. Cobalt status in ruminant animals can be assessed by direct measurement of blood or tissue concentrations of cobalt or vitamin B12, as well as the levels of methylmalonic acid, homocysteine, or transcobalamin in blood; methylmalonic acid in urine; certain haematological variables; food consumption; or animal growth. In general, it is assumed that the requirement for cobalt (Co) is expressed around 0.20 ppm (mg/kg) in the dry matter (DM) diet; current recommendations seem to advise increasing Co supplementation and placing it around 0.30-0.35 mg Co/kg DM. Although there is no unanimous criterion regarding milk production, fattening, or reproductive rates in response to increased supplementation with Co, in some investigations, when the total Co in the diet was approximately 1 to 1.3 ppm (mg/kg), maximum responses were observed in milk production.

It is important to note that cobalt does not have a known nutritional function except as a component of vitamin B12, participating as coenzymes in two critical enzyme systems: methylmalonyl CoA mutase, which requires adenosylcobalamin and methionine synthetase, which requires methylcobalamin, and which are essential to obtaining energy through the ruminal metabolism. In ruminants, the efficacy of microbial cobalt utilization for cobalamin synthesis is influenced by multiple factors, including the adequate provision of cobalt, the composition of the diet, and the ruminal microbiome's composition and its impact on fermentation.

Key words: cobalt, vitamin B12, cattle, cows, productivity.

Постановка проблеми. Кобальт (Co) – металевий елемент з атомною масою 58,9. Він вважається незамінним мікроелементом, оскільки він необхідний у раціоні людини та деяких видів тварин у дуже малих кількостях, близьких до 100 мг на кг сухої речовини [3, 23, 40]. Як такий, кобальт не має відомої поживної функції, окрім як компонента вітаміну B12, тому, коли ми говоримо про статус Co, ми насправді маємо на увазі статус вітаміну B12 [17, 41].

Відомо, що кобальт (Co) у жуйних тварин є важливим компонентом для мікробного синтезу вітаміну B12, водорозчинного вітаміну групи В, широко відомого як кобаламін, ціанокобаламін або також званий перніціозним антианемічним фактором [39]. Хоча технічно вітамін B12 відноситься лише до ціанокобаламіну, насправді термін вітамін B12 є загальною назвою, яка використовується для позначення групи сполук, які мають активність B12, таких як ціано, гідрокси, метил або дезоксиаденозилкобаламін, і які також відомі як повні кориноїди [28, 32]. Існує багато різних аналогів і похідних, позбавлених біологічної активності [32, 10], і існують навіть різні ізоформи кобаламіну (CBL) [7].

Усі вони мають дуже складні структури, є найбільшими за хімічним складом з усіх вітамінів, з молекулярною масою 1355. Однією з його основних характеристик є вміст кобальту від 4,4% до 5,8% [3, 32, 13, 14, 22]. Молекула складається з чотирьох основних частин: корінового кільця (подібного до того, що міститься в гемі, хлорофілі та цитохромах); залишилися нуклеотиди; амінопропанольний залишок, який зв'язує нуклеотид з коріновим кільцем, і ліганд В, приєднаний до атома кобальту як центральне ядро корінового кільця [22, 5, 20, 21, 35]. У ціанокобаламіні (CBL) 5,6-диметилбензімідазол (5,6-DMB) є основою у нуклеотидній фракції [4].

Хоча кобальт відомий як важливий мікроелемент для людей і тварин, існують відмінності в тому, як він повинен надходити в раціон різних видів. У той час

як овочі не можуть синтезувати цей вітамін, люди та більшість моногастричних тварин (виключно тварин з цекотрофією або копрофагією) потребують кобальту в його активній формі (вітамін B12). Однак у дорослих жуйних вітамін B12 виробляється під час мікробної ферментації їжі в шлунках і, головним чином, у рубці. Рубцева флора, тобто мікроорганізми, бактерії та дріжджі, присутні в рубці, може синтезувати вітамін B12 за умови, що концентрація кобальту в рубцевій рідині перевищує 0,5 мг/мл, тоді як якщо цей рівень не досягається, рубцевий синтез вітаміну B12 залишається пригніченим, зменшуючи його внесок у кров та інші тканини [39, 10, 15, 34].

Постановка завдання. Метою роботи був поглиблений аналіз літературних даних щодо перспектив та проблем застосування кобальту в живленні корів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дорослі домашні жуйні тварини не обов'язково залежать від харчового джерела вітаміну B12, тому що мікроорганізми рубця здатні синтезувати вітамін B12 з Co [9]. Ефективність, з якою Co використовується мікроорганізмами рубця, які виробляють вітамін B12, дуже низька, і, за даними Сміта (1987), кількість Co в раціоні, що перетворюється на вітамін B12 в рубці, коливається між 3-13% споживання [26, 27]. Кількість синтезованого кобаламіну залежить від багатьох факторів, включаючи склад раціону (співвідношення корму до концентрату; вміст клітковини) і споживання сухої речовини [20]. Однак давно визнано, що найважливішим фактором для виробництва вітаміну B12 і аналогів, синтезованих рубцевими бактеріями, є концентрація кобальту в раціоні [10, 4, 34]. Без кобальту в раціоні вироблення вітаміну B12 в рубці швидко зменшується (протягом кількох днів). Проте, вітаміну B12, що зберігається в печінці дорослих жуйних, зазвичай достатньо, щоб вистачило на кілька місяців, якщо вони поміщені на дієту з дефіцитом кобальту.

Жуйні більш чутливі до дефіциту вітаміну B12, ніж нежуйні, значною мірою тому, що вони сильно залежать від глюконеогенезу для задоволення потреб своїх тканин у глюкозі [15].

Потреби у вітаміні B12 у раціоні жуйних тварин тісно пов'язані з потребами в кобальті, оскільки, будучи компонентом молекули B12, вміст кобальту в раціоні є основним обмежуючим фактором для синтезу вітаміну B12 мікрофлорою рубця. Оскільки кобаламін відсутній у харчових продуктах рослинного походження, надходження вітаміну B12 у жуйних має бути забезпечено достатньою кількістю Co [35]. Загалом було підраховано, що для ефективного функціонування мікроби рубця потребують від 0,07 до 0,11 мг кобальту/кг корму [15] або достатнього раціону кобальту (0,07-0,2 мг/кг) [22]. Жуйні тварини мають здатність синтезувати вітамін B12 за умови, що вони отримують адекватне дієтичне постачання кобальту та мають нормально функціонуючий рубець [22]. Однак частка кобальту в раціоні, який використовується для цих синтетичних процесів, відносно низька в овець і корів, коливаючись від 3% до 15% [14, 4, 34], хоча, згідно з Girard та ін. [14], лише 4% кобальту в раціоні було використано для синтезу CBL.

Жуйні тварини мають вищі потреби у вітаміні B12, ніж нежуйні тварини, ймовірно, через їх участь у метаболізмі пропіонової кислоти [22]. Поточна потреба в Co виражається на основі концентрації, як ми зазначали, 0,2 мг/кг у сухій речовині (DM) раціону, а не в мг Co/день, що всмоктується [25]. Це робиться тому, що Co потрібен в основному, і, можливо, тільки бактеріям рубця, а необхідна кількість залежить від їжі, доступної в рубці [41].

Синтез вітаміну B12 у рубці збільшується з більш високою концентрацією Co в раціоні [19]. Таким чином, було продемонстровано підвищення вмісту вітаміну

B12 у сироватці крові, коли вміст Co, доданого до раціону, збільшився з 0,10 мг/кг до 1,0 мг/кг (DMB) [36, 38, 37]. Рекомендована добавка Co для великої рогатої худоби повинна становити від 0,11 до 0,35 мг/кг, з максимальним значенням 10 мг/кг і демонструвати токсичні характеристики при досягненні 30 мг/кг [29].

Хоча дані про концентрацію Co в харчових продуктах обмежені, вимога, згідно з Національною дослідницькою радою (NRC), полягає в тому, щоб загальний Co та, у більшості ситуацій, основні інгредієнти дієти були здатні забезпечити достатню кількість Co [5]. Таким чином, було проведено численні дослідження з основними дієтами, що містять від 0,2 до 0,4 мг/кг Co [19, 18] до дієт з 1 і 2 мг/кг Co [41, 2]. Stangl та ін. [33] оцінили потребу великої рогатої худоби в Co та підтвердили, що рекомендовані рівні Co в раціоні можуть бути встановлені приблизно на рівні 150–200 мкг/кг сухої речовини, тоді як при вмісті Co в раціоні максимальні рівні вітаміну B12 були знайдені близько 250 мг/кг сухої речовини [80]. Крім того, фолієві кислоти в плазмі крові не реагували на різні рівні Co та гемоглобін, а гематокрит незначно реагував на збільшення вмісту Co в раціоні й знижувався лише у великої рогатої худоби з дієтою нижче 100 мкг Co/кг СМ [33].

Проте є численні дослідження, які показують, що синтез вітаміну B12 може бути обмежений, навіть якщо в раціоні достатньо кобальту, оскільки кілька факторів можуть впливати на його синтез і, можливо, на його використання [22]. Серед цих факторів можна виділити деякі, такі як сезонні зміни, концентрація кобальту в кормах, включаючи трави, звички випасу, вид тварин, вік, співвідношення концентрат-фураж, рівні різних інших поживних речовин у раціоні та навіть забруднення ґрунту [22, 19].

При годуванні великої рогатої худоби раціонами з високим вмістом концентратів спостерігається підвищення концентрації загального вітаміну B12 в сироватці крові, але частка ціанокобаламіну зменшується, оскільки утворюється велика кількість аналогів. Ці природні аналоги мають невелику активність або взагалі не мають активності [10, 4].

Концентрація вітаміну B12 у вмісті рубця телиць, яких годували сумішшю сіна та зерна, не спостерігала помітної різниці, коли їх годували гранульованим меленим сіном або подрібненим сіном, і, крім того, вміст рубця містив значно більше вітаміну, коли годували довгим сіном, ніж коли годували меленим сіном, і обидва вони постачалися разом із кукурудзою [9]. Було навіть припущено, що вимоги до кобальту, а також міді, вищі, ніж рекомендації NRC, можуть сприяти засвоєваності неякісних кормів (таких як залишки врожаю кукурудзи) [22].

Очевидний синтез CBL у рубці негативно корелює з рН рубця [30], зникненням крохмалю або споживанням крохмалю та позитивно корелює з споживанням ADF (клітковина з кислотним миючим засобом) або NDF (клітковина з нейтральним миючим засобом) [4]. Очевидно, всупереч впливу рН рубця на концентрацію CBL у рубці, Cannizzo et al. [6] помітили, що плазмові концентрації загального вітаміну B12 підвищилися у корів із рН рубця нижче 5,6 [4]. Це може бути важливим в епізодах підгострого рубцевого ацидозу, який може вказувати лише на низьку продуктивність молочних тварин або бичків на відгодівлі, і який характеризується низьким рН рубця (5,5–5,0) як наслідок низького вмісту клітковини в раціоні [1].

При контролі молочної продуктивності та відтворних показників у стаді корів, які отримували до раціону органічні форми мінеральних речовин, зокрема кобальт у формі ко-глюкогептанату, у концентраціях 2,1 мг/кг у сухостійний період і 1,1 мг/кг у лактаційний період, було підтверджено збільшення молочної

продуктивності (також збільшення N сечовини в молоці та зниження відсотка молока). жиру разом із втратою ваги та стану тіла). Однак вони не мали помітного впливу на репродуктивні показники (ранню фолікулярну динаміку, вимірювання жовтого тіла, якість ембріонів тощо), а також на печінкові та лютетінові рівні доповнених мінералів (Zn, Mn, Cu та Co) [16].

Навпаки, у молочних корів концентрація B-12 у печінці продовжувала збільшуватися, оскільки в раціоні збільшувалася додана Co (також у формі Co глюконат), зі значеннями до 3,6 мг/кг [2]. Однак це підвищення рівня вітаміну B12 у печінці не призвело до жодної користі для здоров'я корів або їх продуктивності. Тому виявлення високих рівнів цього вітаміну в печінці не могло мати жодного важливого значення [41].

Повідомлялося про лінійне збільшення виробництва молока у багатоплідних корів, коли додавання Co збільшувалося з 0 до приблизно 1 мг/кг, але без жодного ефекту у тварин першої лактації. Старші корови, як правило, мають нижчу концентрацію B12 у печінці, що може пояснити ефект паритету [5].

Під час дослідження на молочних коровах у період лактації оцінити вплив збільшення надходження кобальту у вигляді сульфату кобальту на мікробний синтез вітаміну B12, на якість молока (концентрації білка та лактози), а також на деякі параметри рубця (рН, концентрації коротколанцюгових жирних кислот, концентрації аміаку та синтезу мікробних білків), вони підтвердили, що додаткове надходження кобальту в раціон (0,29 мг порівняно з 0,17 мг Co/кг сухої речовини) не мало впливу ні на вказані параметри рубця, ні на характеристики виробленого молока. Однак додаткове додавання кобальту (0,29 мг Co/кг сухої речовини) призвело до більшої кількості вітаміну B12 у дуоденальному хімусі (вміст кобальту в дуоденальному хімусі) і зі значними індивідуальними відмінностями [34]. Додаткове пероральне введення кобальту в раціон тільних молочних корів також не призвело до підвищення рівня вітаміну B12 у сироватці крові телят. Можливо, це було пов'язано з тим, що вміст кобальту в раціоні молочних корів (0,27 мг Co/кг сухої речовини і вище, ніж поточні рекомендації) був вищим, ніж у контрольних корів (які отримували 0,13 мг Co/кг сухої речовини), і що це останнє значення було нижчим, ніж поточна рекомендація щодо додавання Co, приблизно 0,20 мг Co/кг сухої речовини [33, 31].

Деякі дослідження показали, що дієта може мати важливий вплив на синтез вітаміну B12 у рубці, таким чином, що концентрація вітаміну B12 у молоці може бути змінена шляхом управління годуванням, але лише обмеженим чином [12]. Концентрація вітаміну B12 у молоці сильно варіювалася між стадами, від 2861 до 5892 пг/мл [45].

На думку Duplessis et al. [11, 12], дієтичні фактори, пов'язані з концентрацією вітаміну B12 у молоці, здатні пояснити лише обмежену частину варіації, оскільки його концентрація була позитивно пов'язана з відсотком клітковини та негативно з крохмалем та енергією раціону, а також, рубцевий синтез вітаміну B12 позитивно корелював із споживанням поживних речовин та споживаними кількостями NDF та крохмалю [7].

Також можна спостерігати негативну кореляцію між концентрацією вітаміну B12 у молоці та надоєм, включаючи концентрацію лактози, і позитивну кореляцію між концентрацією вітаміну B12 та жиру та білка в молоці. Однак існує низка індивідуальних факторів, які також визначають значення вітаміну B12 у молоці, при цьому третя та наступні лактації показують вищу концентрацію вітаміну B12 у молоці, ніж у корів першого та другого отелення [12].

Сироваткові концентрації вітаміну В12 різко знизилися у всіх корів у передпологовий період; отже, дієтична добавка з Со (що містить 0,15, 0,89 або 1,71 мг/кг Со, у перерахунку на суху речовину) може збільшити синтез вітаміну В12 у рубці, підвищуючи концентрацію вітаміну В12 у молозиві та молоці корів, які отримували добавки. Однак додавання не вплинуло на споживання сухої речовини або виробництво молока та молочних компонентів, а також не вплинуло на концентрацію Со в печінці чи сироватці, хоча концентрація Со в молоці збільшилася (0,089, 0,120 та 0,130 г Со/мл) через 120 днів у молоці [19].

Висновки і пропозиції. Важливо відзначити, що кобальт не має відомої поживної функції, окрім як компонента вітаміну В12, беручи участь як коферименти у двох важливих ферментних системах: метилмалоніл-КоА-мутази, яка потребує аденозилкобаламіну, та метіонінсинтетази, яка вимагає метилкобаламіну, і які необхідні для отримання енергії через метаболізм рубця. У жуйних тварин на ефективність мікробного використання кобальту для синтезу кобаламіну впливають численні фактори, такі як адекватний внесок кобальту, інгредієнти та склад раціону, а також склад мікробіома рубця та його вплив на бродіння. Щоб визначити кобальтовий статус тварини, можна оцінити рівень В12 у крові та печінці, але іншими дуже цікавими варіантами є вимірювання метаболітів, таких як метилмалонова кислота, гомоцистеїн або голотранскобаламін, у крові, а також метилмалонової кислоти в сечі. Загалом потреба в кобальті становить близько 0,20 ppm (мг/кг), хоча рекомендується збільшити цю добавку до 0,30-0,35 ppm (мг/кг), оскільки синтез вітаміну В12 у рубці збільшується, коли концентрація Со в раціоні збільшується, і було доведено, що збільшення добавки може бути корисним для бродіння в рубці, виробляючи максимальну реакцію у виробництві молока. Для відгодівельного комплексу, хоча не було виявлено істотного впливу на перетравність раціону або продуктивність тварин, він міг знизити їхню захворюваність. У овець потреби значно вищі, ніж у інших видів, тому для росту ягнят потрібно близько 200 мкг/добу, а дефіцит викликає погіршення імунної функції та, отже, нижчу життєздатність новонароджених ягнят.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Abdou M.M., Abd El Tawab A.M. The relationship between nutritional strategies and ruminants disorders: A review. *Int. Res. J. Anim. Vet.* 2020;2:1–7.
2. Akins M.S., Bertics S.J., Socha M.T., Shaver R.D. Effects of cobalt supplementation and vitamin B12 injections on lactation performance and metabolism of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2013;96:1755–1768. doi: 10.3168/jds.2012-5979.
3. Brewer K., Maylin G.A., Fenger C.K., Tobin T. Cobalt use and regulation in horseracing: A review. *Comp. Exerc. Physiol.* 2016;12:1–10. doi: 10.3920/CEP140008.
4. Brito A., Chiquette J., Stabler S.P., Allen R.H., Girard C.L. Supplementing lactating dairy cows with a vitamin B 12 precursor, 5, 6-dimethylbenzimidazole, increases the apparent ruminal synthesis of vitamin B 12. *Animal.* 2015;9:67–75. doi: 10.1017/S1751731114002201.
5. Brito A., Hertrampf E., Olivares M., Gaitán D., Sánchez H., Allen L.H., Uauy R. Folate y vitamina B12 en la salud humana. *Rev. Méd. Chile.* 2012;140:1464–1475. doi: 10.4067/S0034-98872012001100014.
6. Cannizzo C., Ganesella M., Casella S., Giudice E., Stefani A., Coppola L.M., Morgante M. Vitamin B12 and homocysteine levels in blood of dairy cows during subacute ruminal acidosis. *Arc. Anim. Breed.* 2012;55:219–225. doi: 10.5194/aab-55-219-2012.
7. Castagnino D.S., Kammes K.L., Allen M.S., Gervais R., Chouinard P.Y., Girard C.L. High-concentrate diets based on forages harvested at different maturity

stages affect ruminal synthesis of B vitamins in lactating dairy cows. *Animal*. 2017;11:608–615. doi: 10.1017/S1751731116001798.

8. Cook J.G., Green M.J. Milk production in early lactation in a dairy herd following supplementation with iodine, selenium and cobalt. *Vet. Rec.* 2010;167:788–789. doi: 10.1136/vr.c5648.

9. Dryden L.P., Hartman A.M. Variations in the amount and relative distribution of vitamin B12 and its analog in the bovine rumen. *J. Dairy Sci.* 1971;54:235–246. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(71)85818-6.

10. Dubeski P.L. Ph.D. Thesis. Oklahoma State University; Stillwater, OK, USA: 1992. B-Vitamins for Cattle: Availability, Plasma Levels, and Immunity.

11. Duplessis M., Pellerin D., Cue R.L., Girard C.L. Factors affecting vitamin B12 concentration in milk of commercial dairy herds: An exploratory study. *J. Dairy Sci.* 2016;99:4886–4892. doi: 10.3168/jds.2015-10416.

12. Duplessis M., Pellerin D., Robichaud R., Fadul-Pacheco L., Girard C.L. Impact of diet management and composition on vitamin B₁₂ concentration in milk of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 2019;101:8559–8565. doi: 10.3168/jds.2018-14477.

13. Forrellat Barrios M., Gómis Hernández I., Gautier du Défaix Gómez H. Vitamina B12: Metabolismo y aspectos clínicos de su deficiencia. *Rev. Cuba. Hematol. Inmunol. Hemoter.* 1999;15:159–174.

14. Girard C.L., Santschi D.E., Stabler S.P., Allen R.H. Apparent ruminal synthesis and intestinal disappearance of vitamin B12 and its analogs in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2009;92:4524–4529. doi: 10.3168/jds.2009-2049

15. Goff J.P. Determining the mineral requirement of dairy cattle; Proceedings of the 11th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium, University of Florida; Gainesville, FL, USA. 13–14 January 2000; pp. 106–132.

16. Hackbart K.S., Ferreira R.M., Dietsche A.A., Socha M.T., Shaver R.D., Wiltbank M.C., Fricke P.M. Effect of dietary organic zinc, manganese, copper, and cobalt supplementation on milk production, follicular growth, embryo quality, and tissue mineral concentrations in dairy cows. *J. Anim. Sci.* 2010;88:3856–3870. doi: 10.2527/jas.2010-3055.

17. Herdt T.H., Hoff B. The use of blood analysis to evaluate trace mineral status in ruminant livestock. *Vet. Clin. N. Am. Food A.* 2011;27:255–283. doi: 10.1016/j.cvfa.2011.02.004.

18. Kincaid R.L., Lefebvre L.E., Cronrath J.D., Socha M.T., Johnson A.B. Effect of dietary cobalt supplementation on cobalt metabolism and performance of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2003;86:1405–1414. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73724-2.

19. Kincaid R.L., Socha M.T. Effect of cobalt supplementation during late gestation and early lactation on milk and serum measures. *J. Dairy Sci.* 2007;90:1880–1886. doi: 10.3168/jds.2006-296.

20. Mahmood L. The metabolic processes of folic acid and Vitamin B12 deficiency. *J. Health Res. Rev.* 2014;1:5–9. doi: 10.4103/2394-2010.143318.

21. Martens J.-H., Barg H., Warren M., Jahn D. Microbial production of vitamin B12. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2002;58:275–285. doi: 10.1007/s00253-001-0902-7.

22. McDowell L.R. Vitamins in Animal and Human Nutrition. Iowa State University Press; Ames, IA, USA: 2012. Vitamin B12; pp. 523–563.

23. Miller J., Wentworth J., McCullough M.E. Effects of Various Factors on Vitamin B12 Content of Cows' Milk. [(accessed on 18 March 2025)]; Available online: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf60145a006>.

24. National Research Council (NRC) Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed. National Academy Press; Washington, DC, USA: 1996.

25. National Research Council (NRC) Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 8th rev. National Academy Press; Washington, DC, USA: 2021.

26. Paterson J., Engle T.E. Trace Mineral Nutrition in Beef Cattle. University of Tennessee; Knoxville, TN, USA: 2005. p. 22.

27. Paterson J.E., Macpherson A. A comparison of serum vitamin B12 and serum methylmalonic acid as diagnostic measures of cobalt status in cattle. *Vet. Rec.* 1990;126:329–332.
 28. Rizzo G., Laganà A.S. *Molecular Nutrition*. Elsevier; Amsterdam, The Netherlands: 2020. A review of vitamin B12; pp. 105–129.
 29. Rollin F., Guyot H. Trace minerals management in cattle; *Proceedings of the XVIII Congreso Internacional ANEMBE de Medicina Bovina*; Lérida, Spain. 24–26 April 2013; pp. 154–159.
 30. Schwab E.C., Schwab C.G., Shaver R.D., Girard C.L., Putnam D.E., Whitehouse N.L. Dietary forage and nonfiber carbohydrate contents influence B-vitamin intake, duodenal flow, and apparent ruminal synthesis in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2006;89:174–187. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72082-3.
 31. Schwarz F.J., Kirchgessner M., Stangl G.I. Cobalt requirement of beef cattle-feed intake and growth at different levels of cobalt supply. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2000;83:121–131. doi: 10.1046/j.1439-0396.2000.00258.x.
 32. Smith A.D., Warren M.J., Refsum H. Vitamin B12. *Adv. Food Nutr. Res.* 2018;83:215–279. doi: 10.1016/bs.afnr.2017.11.005.
 33. Stangl G.I., Schwarz F.J., Müller H., Kirchgessner M. Evaluation of the cobalt requirement of beef cattle based on vitamin B12, folate, homocysteine and methylmalonic acid. *Br. J. Nutr.* 2000;84:645–653. doi: 10.1017/S0007114500001987.
 34. Stemme K., Lebzien P., Flachowsky G., Scholz H. The influence of an increased cobalt supply on ruminal parameters and microbial vitamin B12 synthesis in the rumen of dairy cows. *Arch. Anim. Nutr.* 2008;62:207–218. doi: 10.1080/17450390802027460.
 35. Stemme K., Meyer U., Lebzien P., Flachowsky G., Scholz H. *Cobalt and Vitamin B12 Requirement of Dairy Cows*. Volume 9. Taylor & Francis; Braunschweig, Germany: 2003. pp. 24–25.
 36. Tiffany M.E., Fellner V., Spears J.W. Influence of cobalt concentration on vitamin B-12 production and fermentation of mixed ruminal microorganisms grown in continuous culture flow-through fermentors. *J. Anim. Sci.* 2006;84:635–640. doi: 10.2527/2006.843635x.
 37. Tiffany M.E., Spears J.W. Differential responses to dietary cobalt in finishing steers fed corn-versus barley-based diets. *J. Anim. Sci.* 2005;83:2580–2589. doi: 10.2527/2005.83112580x.
 38. Tiffany M.E., Spears J.W., Xi L., Horton J. Influence of dietary cobalt source and concentration on performance, vitamin B-12 status, and ruminal and plasma metabolites in growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.* 2003;81:3151–3159. doi: 10.2527/2003.81123151x.
 39. Underwood E.J., Suttle N.F. *Los Minerales en la Alimentación del Ganado*. Acirbia; Zaragoza, Spain: 2002. 3rd. version.
 40. Viglierchio M.C. *Aportes de la Bioquímica a la Interpretación del Metabolismo del Cobalto*. Universidad Nacional de la Pampa; La Pampa, Argentina: 2000. pp. 22–28. Anuario 2000 Facultad de Ciencias Veterinarias.
 41. Weiss W.P. *Recommendations for Trace Minerals for Dairy Cows*. [(accessed on 18 March 2025)]; Available online: <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/48026>.
-