

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ РОЛІ ЕСЕНЦІЙНИХ, БІОГЕННИХ, БІОФІЛЬНИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ В ОРГАНІЗМІ ТВАРИН

Шаповалов С.О.

Інститут тваринництва НААНУ, Харків

У статті наведено дані літературного огляду теоретичної та практичної ролі есенційних, біогенних, біофільних мікроелементів у організмі сільсько-господарських тварин. Наведено сучасні та класичні історичні уявлення щодо ролі цих елементів у біохімічних та загальнофізіологічних потребах організму.

Ключові слова: біогенні мікроелементи, есенційні мікроелементи, роль мікроелементів, тварини

Theoretical and practical aspects of role of essential, biogenic, nutrients, trace elements in animals. Shapovalov S.O. – Review of publications on theoretical and practical role of essential, nutrients, trace elements in freeze body of farm animals. Modern and classic historical understanding of the role of these elements in biochemical and physiological needs organisms are presented.

Key words: biogenic minerals, essential trace elements, role of trace elements, animals.

У здійсненні усіх життєвоважливих функцій організму мінеральному обміну відводиться значна роль. Хімічні елементи входять до складу клітин тканин і органів, містяться у крові. Разом з водою вони забезпечують постійність осмотичного тиску, кислотно-основної рівноваги, включаються у різні реакції обміну речовин. За участю мінеральних речовин відбуваються процеси всмоктування, секреції, кровотворення, згортання крові, виділення з організму метаболітів [6, 15]. Без них неможливі функції м'язового скорочення, нервової провідності, внутрішньотканинного дихання [5, 7].

Перші фундаментальні роботи про біологічну роль мінеральних речовин (макро- і мікроелементів) з'явилися в 40 – 50-х роках ХХ століття [10, 11, 13]. Число досліджень в галузі елементології у світі нині досягає 10 000 щорічно [3, 18, 24]. Це обумовлено, з одного боку, впровадженням нових технічних можливостей (атомно-абсорбційний аналіз, інверсійна вольтамперометрія та інші), з іншого – наростанням актуальності проблеми екозалежної патології [2, 12, 20]. З 92 наявних у природі хімічних елементів 81 є присутнім

у живому організмі [14]. Мінеральні речовини входять до складу усіх рідин і тканин, регулюючи понад 50 000 біохімічних процесів [4, 6, 22]. Сукупність процесів всмоктування, розподілу, засвоєння і виділення речовин, що знаходяться у вигляді неорганічних з'єднань, складають мінеральний обмін [20].

Пусковим механізмом асиміляції елементів у шлунково-кишковому тракті є зниження їх концентрації в тканинних депо або інші регуляторні процеси, викликані порушенням співвідношення між макро- і мікроелементами або біологічними речовинами (гормонами, цитокінами, чинниками росту, ферментами) [7, 11]. Шлях передачі інформації від тканин до клітин кишківника досі до кінця не вивчений. Передбачається, що цей процес контролюється геном-регулятором і здійснюється низькомолекулярними білками через клітини нервової, імунної і ендокринної систем [6, 10]. Виведення макро- мікроелементів з організму здійснюється з сечею, жовчю, потом, калом, інші – депонуються [2]. Організм тварини має досить чітку систему саморегуляції. При надмірному отриманні макро- і мікроелементів починає працювати система елімінації.

Макроелементи – речовини, вміст яких перевищує 0,01% маси тіла. Вони складають 99,99% живого субстрату. Ще більше вражає, що 99% живих тканин містять тільки шість елементів: С, Н, О, N, P, Са. Елементи Na, Mg, Fe, Cl, S відносять до олігобіогенних елементів. Вміст їх коливається від 0,1 до 1%. Мікроелементи (МЕ) – речовини, концентрація яких в організмі рівна або скаладає менше 0,01% маси тіла. Елементи, концентрація яких менше, ніж 10-5%, відносять до ультрамікроелементів («слідові елементи» (trace elements) у німецькій та англомовній літературі, «олігоелементи» – у франкомовній літературі) [23]. Нині вчення про МЕ рослинних і тваринних організмів є досить відомим, чого не можна сказати про їх есенційність. Цей термін широко застосовується в іноземній літературі і є похідним від латинського слова «essentia», що означає «суть» [13].

В. І. Вернадський у своїх працях називає їх «розсіяними елементами» [10]. Більшість мікроелементів містяться в основному в тканинах печінки. Це депо мікроелементів. Тканинні депо мають потужні резерви макроелементів, тоді як резерви мікроелементів незначні. Цим пояснюються низькі адаптаційні можливості організму до дефіциту мікроелементів в їжі [19]. Деякі мікроелементи проявляють спорідненість до певних тканин (йод – до щитовидної залози, фтор – до емалі зубів, цинк – до підшлункової залози, молібден – до нирок і так далі). Проте така класифікація не вказує на роль і значення

в організмі того або іншого елементу. Про біологічну важливість елементу не досить судити тільки за його вмістом в тканинах. Біологічна активність речовини може зберігатися і в дуже низьких концентраціях, у той час, як підвищена кількість відносно норми навіть незамінних мікроелементів проявляє токсичну дію [21].

У 1869 р. J. Raulin, учень Л. Пастера, встановив есенційність МЕ для пліснявого гриба *Aspergillus niger*. У 1880 р. російський учений Лунін Н. І. довів, що для повноцінного харчування, окрім білків, вуглеводів, жирів і мінеральних солей, потрібні речовини, що містяться у рослинній їжі. За свідченням W. M. Fowler, ще в 1883 р. у Німеччині було уперше зареєстровано зменшений вміст заліза у крові хворих на анемію [5].

На початок ХХ століття отримані достовірні відомості про есенційність щонайменше трьох МЕ. Великі заслуги в теорії есенційності МЕ належать французькому біохімікови та мікробіологові Y. E. Bertrand, який у 1912 р. обґрунтував поняття про хвороби недостатності. Розрізняють екзогенну (дефіцит надходження в організм необхідних нутрієнтів) і ендогенну недостатність, в основному пов'язану з порушенням всмоктування речовин у шлунково-кишковому тракті, аномаліями їх засвоєння на рівні органів, тканин і клітин, з неповноцінністю біологічного транспорту із багатьма іншими чинниками, серед яких велику роль у забезпеченні організму есенційними МЕ грають ензимопатії генетичної природи [17].

З 110 елементів, що зустрічаються у природі, 81 виявлено в тілі живого організму [13]. Вміст мінеральних речовин, хоча і коливається залежно від видової специфічності, характеризується наявністю 25 макро- і мікроелементів [5, 17], у той же час відмінності в концентрації настільки великі, що надають риси хімічної неповторності кожному виду [31].

За сучасними даними, не менше 15 МЕ з виявлених є есенційними. На думку П. Аджетта, Ферум, Цинк, Купрум, Кобальт, Мангань, Молибден, Селен, Хром забезпечують оптимальний рівень здоров'я тварин [2]. Дані клінічної патології дозволяють приєднати до них Флюор і Нікель. Нещодавно до нових есенційних елементів стали відносити Ванадій, Кремній, Станум, Арсен. За К. Шварцем, токсичність елементу не виключає того, що за певних умов дозування і експозиції він може становити сприятливу і навіть життєво важливу дію на організм. Тим паче, що іони одних і тих же металів, але зі змінною валентністю (наприклад, Арсен, Хром, Ванадій, Молибден, Аргентум, Меркурій), характеризуються різною мірою токсичності [5].

Порівняно недавно це було підтверджено по відношенню до таких токсичних елементів, як кадмій, свинець, олово і рубідій [6]. Таким чином, загальне число життєвонеобхідних (есенційних) МЕ – 19. Відкриття есенційності багатьох МЕ, зокрема значення їх недостатності, не поступається за своєю значимістю відкриттю вітамінів. Відносно есенційності багатьох МЕ детально описані різноманітні біологічні ефекти на різних рівнях організації живого і варіантах експозиції, у популяційних дослідженнях і гострому експерименті [4]. Сучасне уявлення про есенційність представлено на рис. 1.

Elements essential to man and mammals
 □ = Essential trace elements (microminerals)

H																	He																												
Li	Be											B	C	N	O	(F)	Ne																												
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
K	Ca	Sc	Ti	(V)	Cr	Mn	Fe	Co	(Ni)	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Ac																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																

Рис. 1. Есенційності мікроелементів за основними сучасними критеріями

Життєва необхідність (біогенність, есенційність, біофільність) у кожному мікроелементі може вважатися доведеною, якщо дотримуються 5 наступних критеріїв: 1) мікроелемент є присутнім у тканинах здорового організму; 2) відмінності в його відносному змісті у різних видів тварин невеликі; 3) при виключенні цього мікроелемента з раціону спостерігаються чітко відтворні морфологічні і фізіологічні зміни; 4) зміни, що виникають, супроводять специфічні порушення біохімічних процесів; 5) виявлені біохімічні зміни можна попередити і відновити шляхом введення елемента, якого бракує.

МЕ діють в організмі шляхом входження в тій чи іншій формі в структуру біологічно активних речовин, головним чином ферментів [24]. У цьому розгадка фізіологічної активності дуже малих їх кількостей. Якщо прийняти, що основа життя – обмінні процеси,

то одну з провідних ролей відіграють МЕ. Ферменти можуть активуватися шляхом входження металу в якості компонента так званого активного центру ферменту [31]. Метали знаходяться у живому організмі у вигляді простих речовин, гідратованих іонів і складних біокомплексів, що мають у складі ще й аніони амінокислот, нуклеїнові кислоти, протеїни та інші хімічні сполуки [29].

Функції металів і їх сполучень різноманітні: утворення різних структур (кісткових і м'язових тканин, клітинних стінок і т. д.), участь у біохімічних процесах (окислювальному фосфорилуванні, гідролізі), регуляція діяльності м'язів, передача нервових імпульсів і багато що інше. Виконуючи каталітичну, структурну і регуляторну функції, вони взаємодіють з ферментами, попередниками гормонів, біологічними мембранами, беруть участь в усіх видах обміну речовин [24, 31]. Метал, що входить у ферментну систему, може збільшити її активність у багато тисяч разів. Наприклад, відомо, що іони заліза здатні розкладати перекис водню на воду і кисень. При вступі заліза до структури ферменту каталази реакції прискорюються у 10 млрд разів [17]. МЕ можуть не лише активізувати ферментний процес, але і впливати на його спрямованість. Так, у карбооксипептидази b – пептидазна активність під впливом Кобальту збільшується, а естеразна зменшується; від Кадмію, отриманого в тих же кількостях (0,01 міліграм), навпаки, збільшується естеразна активність і пригнічується пептидазна [8]. Атоми металів здатні безпосередньо сполучатися з вуглецем органічних сполук, утворюючи при цьому безліч нових продуктів. При надходженні до організму вони, окрім участі у ферментативних процесах, можуть утворювати досі невідомі сполуки, які відіграють важливу роль у життєдіяльності організму. Необхідно враховувати також можливість впливу МЕ на нервові процеси, на що вказують експериментальні дослідження В. С. Ращеса [29].

Загальне фізіологічне значення МЕ пов'язано також із специфічною функцією залоз внутрішньої секреції, діяльність останніх залежить від кількості мінеральних речовин. Відповідні дані отримані при вивченні хімічної будови гормонів і необхідності окремих МЕ для функції відповідної залози (наприклад, гормони щитовидної залози і йод, який входить у їх структуру, інсулін і Цинк, гормони статевих залоз і Манган); виборчого відношення ендокринних залоз і їх структур до визначеного МЕ (наприклад, до Цинку сім'яників інсулярного апарату підшлункової залози); дослідженні дії МЕ на певний вид обмінних процесів (Цинк – на вуглеводний, Манган – на білковий, вуглеводний, фосфорний і т. д.); на підставі вивчення впливу міне-

ральних речовин на функцію фізіологічної системи, пов'язаної із залозами внутрішньої секреції або інших утворень (кровотворна функція і участь в ній Феруму, Купруму, Кобальту) [5, 11, 16, 22].

Порушення засвоєння МЕ цілком, безперечно, проявляються патологією. Встановлений вплив їх недостатності на життєздатність нащадків. Р. Aggett і S. Rose [5, 10] показали, що дефіцит МЕ у матері здатний викликати аномалії розвитку різних органів і тканин, а також передчасну загибель ембріона і плоду. Тканини зародка на певному етапі розвитку особливо чутливі до порушень мінерального обміну [14].

Дослідження останніх років довели, що тривала недостатність деяких МЕ може призводити до передракового стану, а також до різкого збільшення числа випадків раку певних органів у мікроелемент-дефіцитних регіонах деяких країн [5]. Відомі крилаті слова, сказані в 40-х роках німецькими ученими Вальтером та Ідою Ноддак : «У кожному буличнику на бруківці є присутніми усі елементи періодичної системи». Якщо погодитися, що в кожному буличнику містяться усі елементи, то тим більше це повинно бути справедливо для живого організму. Сучасний стан знань щодо біологічної ролі елементів можна характеризувати як поверхневий дотик до цієї проблеми. Накопичено фактичні дані за вмістом елементів у різних компонентах біосфери, реакції організму у відповідь на їх недостатню кількість і надлишок. Складені карти біогеохімічного районування і біогеохімічних провінцій. Але немає загальної теорії, що розглядає функції, механізм дії і роль мікроелементів у біосфері. Дефіцит і надлишок біогенного елемента завдає шкоди організму. Усі живі організми реагують на нестачу і надлишок або несприятливе співвідношення елементів. Звичайні мікроелементи, коли їх концентрація в організмі перевищує біотичну концентрацію, проявляють токсичну дію на організм. При цьому токсичні елементи при дуже малих концентраціях не чинять шкідливої дії на рослини і тварин [7, 11].

Постійність вмісту необхідних елементів найімовірніше визначається ефективними механізмами гомеостазу. Вміст мікроелементів є характерною ознакою виду і залежить від ряду умов: віку, статі, пори року і доби, умов праці, виду трудової діяльності живого організму, а також різних фізіологічних (вагітність, лактація) і патологічних станів. Є закономірні і впорядковані етапи їх вступу і утилізації. Для нормального функціонування організму мікроелементний склад має бути постійним, тобто повинен підтримуватися мікроелементний гомеостаз, що здійснюється за допомогою гормонів [17, 20].

Дефіцит і надлишок мікроелементів негативно впливає на здоров'я живого організму. Мікроелементологія виділяє дві групи мікроелементів (МЕ) : по-перше, це біогенні елементи, які є незамінними нутрієнтами, значення яких порівняне зі значенням вітамінів, , вони не синтезуються в організмі, та серед них є токсичні елементи, які зараз є одними з основних забрудників довкілля.

При різноманітних формах контакту організмів з цими елементами виникають хвороби і синдроми інтоксикації – токсикопатії. Складність проблеми полягає не лише в тому, що прояви недостатності й інтоксикації украй різноманітні, але і в тому, що самі есенційні МЕ за певних умов викликають токсичні реакції, а при інших (певній дозі і експозиції) виявляють властивості есенційних, тобто виявляються корисними. Це тісно стикається з їх взаємовпливом, який може бути як синергічним, так і антагоністичним. Багато що в мікроелементології, особливо в проблемі дисбалансу МЕ в організмі, ще недостатньо досліджено [16]. Біогенні елементи підрозділяють на три блоки: s -, p-, d – блоки. Хімічні елементи, в атомах яких заповнюється електронами s – підрівень зовнішнього рівня, називають s- елементами. Будова їх валентного рівня $ns^1 - 2$, невеликий заряд ядра сприяє тому, що атоми s – елементів – типові активні метали; показником цього є невисокий потенціал їх іонізації. Катіони ІА групи мають менший радіус і більший заряд і володіють, отже, більш високою поляризуючою дією, утворюють більш ковалентні і менш розчинні сполуки. Атоми прагнуть прийняти конфігурацію попереднього інертного газу. При цьому елементи ІА і ІА груп утворюють відповідно іони M і M^2 . Біологічні функції s – елементів дуже різноманітні: активація ферментів, участь у процесах згортання крові, в різних реакціях організму, пов'язаних зі зміною проникності мембран по відношенню до іонів Калію, Натрію і Кальцію, участь в утворенні мембранного потенціалу, запуску внутрішньоклітинних процесів, таких як обмін речовин, ріст, розвиток, скорочення, ділення і секреція. Забезпечують перенесення інформації до клітини. Чутливість клітин до цих іонів забезпечується різницею їх вмісту зовні і всередині клітини, градієнтом концентрації (іонною асиметрією). Старіння – зниження градієнта концентрації, смерть – вирівнювання концентрації зовні і усередині клітини. Градієнт концентрації забезпечується зв'язуванням вільних іонів клітини специфічними білками.

Елементи d – блоку – це елементи, у яких відбувається побудова d – підрівня передзовнішнього рівня. Вони утворюють В – групи. Електронна будова валентного рівня d – елементів : $(n - 1) d^1 - 10$,

ns1 – 2. Вони розташовані між s – і p – елементами, тому дістали назву «перехідні елементи», d – елементи утворюють 3 сімейства у великих періодах і включають по 10 елементів (4-й період сімейство Sc²¹ – Zn³⁰, 5-й період – Y³⁹ – Cd⁴⁸, 6-й період – La⁵⁷ – Hg⁸⁰, 7-й період Ac⁸⁹ – Mt109) [5, 10]. Особливості d – елементів визначаються електронною будовою їх атомів: у зовнішньому електронному шарі міститься, як правило, не більше 2 s – електронів, p – підрівень вільний, відбувається заповнення d – підрівня передзовнішнього рівня. Для V, Cr, Mn, Fe, Co енергія іонізації складає відповідно від 6,74 до 7,87 еВ. Саме тому перехідні елементи в утворюваних ними сполуках проявляють тільки позитивний ступінь окиснення і проявляють властивості металів. Велика частина d – елементів – це тугоплавкі метали. За хімічною активністю d – елементи дуже різноманітні. Такі як Sc, Mn, Zn, найбільш хімічно активні (як лужноземельні). У організмі d – елементи представлені як мікроелементи, існуючі у вигляді гідратованих, гідролізованих іонів; але частіше у вигляді біонеорганічних комплексів. Вони виступають у якості сильних комплексоутворювачів, що обумовлено наявністю на d – підрівні передзовнішнього рівня валентних електронів. У кислих середовищах іони d – елемента знаходяться у вигляді гідратованих іонів [M(H₂O) m]ⁿ. Процес гідролітичної взаємодії може протікати з утворенням багатоядерних комплексів у результаті реакції полімеризації.

Нині відомі більше 2000 ферментів, багато з яких специфічні, тобто каталізують одну реакцію. Здатність іона металу виконувати свою роль в активному центрі відповідного ферменту залежить від комплексоутворення, геометрії і стійкості утворюваного комплексу. Проміжне положення між специфічними і неспецифічними ферментами займають деякі металоферменти. Іони металів виконують функцію кофактору. Підвищення міцності біокомплексу ферменту підвищує специфічність його біологічної дії. На ефективність ферментативної дії іона металу ферменту впливає ступінь його окиснення [5, 10]. Значення атомних та іонних радіусів, енергій іонізації, координаційних чисел, схильність до утворення зв'язків із одними і тими ж елементами в молекулах біолігандів обумовлюють ефекти, які спостерігаються при взаємному заміщенні іонів : може відбуватися як посилення (синергізм), так і пригнічення біологічної активності (антагонізм) елемента, що заміщується. Іони d – елементів у ступеневі окислення 2 (Mn, Fe, Co, Ni, Zn) мають схожі фізико-хімічні характеристики атомів (електронну структуру зовнішнього рівня, близькі радіуси іонів, тип гібридизації орбіталей, близькі зна-

чення констант стійкості з біолігандами). Схожість фізико-хімічних характеристик комплексоутворювача визначає близькість їх біологічної дії і взаємозамінюваність [4]. За результатами досліджень М. Bonham et al. [27], М. Failla [23] сформульовано загальні положення про взаємозв'язок між забезпеченістю організму мікроелементами і рівнем протиінфекційного захисту: неадекватне забезпечення макро- і мікроелементами обумовлює пригнічення активності різних клітин макроорганізму, у тому числі тих, що беруть участь в неспецифічних і специфічних механізмах захисту; порушення в імунній системі, викликані дефіцитом макро- або мікроелементів, достатні для достовірного збільшення ризику ускладненого перебігу і летального результату вірусних, мікробних і паразитарних інфекцій.

Концентрацію макро- і мікроелементів у організмі можна визначити за їх вмістом у крові, волоссі, нігтях, слині, шлунковому соці, сечі, грудному молоці [12, 20]. Ефекти, що викликаються мікроелементами, залежать від їх надходження до організму. Концентрації біометалів в організмі при нормальному його функціонуванні підтримуються на строго певному рівні (біотична доза) за допомогою відповідних протеїнів і гормонів. Запаси біометалів у організмі систематично поповнюються за рахунок їжі. Хімічний склад рослин і тварин, що йдуть на живлення, також впливає на організм [10].

Таким чином, найважливіші функції живого організму – реалізація генетичної інформації, утворення субклітинних структур, метаболічні процеси, вироблення енергії, функціонування усіх органів і систем знаходяться у залежності від кількісного і якісного вмісту в організмі мінеральних речовин. Вивчення їх біологічної ролі є актуальним для сучасної медицини, а нові наукові дослідження, що уточнюють місце макро- і мікроелементів у етіології, патогенезі та особливостях перебігу багатьох захворювань, дадуть можливість підвищити ефективність їх лікування і профілактики. Забезпечення есенційними мікроелементами є невід'ємною частиною формування здоров'я усіх груп населення, і в зв'язку з цим можна на повних підставах говорити про значущість цього чинника для загального прогресу. А з догматів лікарів Древньої Індії виходить: «Лікар, який знає лікувальні таємниці трав, – живий організм; лікар, який знає силу молитви, – пророк; а лікар, що пізнав таємниці металів, – подібний до Бога».

Література

1. Абатуров А. Е. Микроэлементный баланс и противомикробная защита у детей // Здоровье ребенка. – 2008. – № 1(10). – С. 47 – 50.

2. Агаджанян Н. А. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека / Н. А. Агаджанян, А. В. Скальный. — М.: изд-во КМК, 2001. — 83 с.
3. Авцын А.П. Микроэлементы человека. / Авцын А.П., Жаворонков А.А. — М.: Медицина, 1991. — 496 с.
4. Бабенко Г. А. Микроэлементозы человека: патогенез, профилактика, лечение / Бабенко Г. А. // Микроэлементозы в медицине. — 2001. — № 2 (1). — С. 2 — 5.
5. Башкірова Л. Біологічна роль деяких есенційних макро-та мікроелементів (огляд) / Л. Башкірова, А. Руденко // Ліки України. — 2004. — № 10. — С. 59 — 65.
6. Бут Г. Микроэлементы и их роль в обеспечении иммунного ответа / Бут Г. // Новости медицины и фармации. — 2008. — № 4 (235). — С. 13.
7. Громова О. А. Нейрохимия макро- и микроэлементов. Новые подходы к фармакотерапии / О. А. Громова, А. В. Кудрин. — М.: Алев-В., 2001. — 272 с.
8. Громова О. А. Школа по витаминам и микроэлементам. / Громова О. А. — М., 2004. — 59 с.
9. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов. / [Ершов Ю.А., Попков В.А., Берлянд А.С. и др.]. — М.: Высшая школа, 1993. — 560 с.
10. Жолнин А.В. Комплексные соединения. /Жолнин А.В. — Челябинск: ЧГМА, 2000. —28 с.
11. Иммунофармакология микроэлементов /Кудрин А. В., Скальный А. В., Жаворонков А.А и др. — М.: изд-во КМК, 2000. — 537 с.
12. Коровина Н. А. Профилактика дефицита витаминов и микроэлементов у детей / Н. А. Коровина, И. Н. Захарова, А. Л. Заплатников: Справочное пособие для врачей. — М., 2000. — 74 с.
13. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / А. П. Авцын, А. А. Жаворонков, М. А. Риш и др. — М.: Медицина, 1991. — 46 с.
14. Минделл Э. Справочник по витаминам и минеральным веществам. — М.: Медицина и питание, 1997 — 213 с.
15. Нарушения минерального обмена у человека (методическое пособие для врачей). — Д., 2006. — 82 с.
16. Обмен веществ у детей / Ю. Е. Вельтишев, М. В. Ермолаев, А. А. Ананенков и др. — М.: Медицина, 1983. — 464 с.
17. Орлов Д. С. Микроэлементы в почвах и живых организмах / Орлов Д. С. // Соровский образовательный журнал. — 1998. — № 1. — С. 61-68.
18. Пшендин П. И. Рациональное питание спортсменов./ Пшендин П. И. — Спб.: Олимп, 2003. — 114 с.
19. Радучич О. Азбука здоровья / Радучич О. // Здоров'я України. — 2007. — № 5. — С. 57.
20. Ребров В. Т. Витамины и микроэлементы / Ребров В. Т., Громова О. А. — М., 2003. — С. 9 — 19.

21. Роль микро- и макроэлементов в жизнедеятельности организма // *Medicus Amicus*, 2004. – №4. – С.18 – 23.
22. Серебровская Н. Микроэлементы и здоровье // *НУВЕЛЬ ЭСТЕТИК*, 2004. – № 6. – С. 11 – 16.
23. Скальный А. В. Микроэлементозы человека (диагностика и лечение): Практическое руководство для врачей и студентов медицинских вузов. / Скальный А. В. – М.: изд-во КМК, 2001. – 96 с.
24. Хьюз М. Неорганическая химия биологических процессов. / Хьюз М. – М.: Мир, 1983. – 416 с.
25. Brown J. M. Immunoglobulin and lymphocyte responses following silica exposure in New Zealand mixed mice / J. M. Brown, J. C. Pfau, A. Holian // *Inhal. Toxicol.* – 2004. – Vol.16, №3. – P. 133 – 139.
26. Campbell J. D. Lifestyle, minerals and health / Campbell J. D. // *Med. Hypotheses.* – 2001. – Vol. 57, №5. – P. 521 – 531.
27. Failla M. Trace Elements and Host Defense: Recent Advances and Continuing Challenges / Failla M. // *J. Nutr.* – 2003. – Vol. 133. – P. 1443S – 1447S.
28. Determination of normal concentration levels of Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Se and Zn in hair of the child population in the Czech Republic / B. Benes, J. Sladka, V. Spevackova et al. // *Centr. Eur. J. Public Health.* – 2003. – Vol. 11, №4. – P. 184 – 186.
29. Iron status and its relationship with lipid peroxidation in patients with acute myocardial infarction / M. Baykan, U. Celik, A. Orem et al. // *Acta Cardiol.* – 2001. – Vol. 56. – P. 277 – 281.
30. Iron and the anaemia of chronic disease: a review and strategic recommendations / I. Cavill, M. Auerbach, G. R. Bailie et al. // *Curr. Med. Res. Opin.* – 2006. – Vol. 22, №4. – P. 731 – 737.
31. The immune system as a physiological indicator for marginal copper status / M. Bonham, J. M. O'Connor, B. M. Hannigan et al. // *Br. J. Nutr.* – 2002. – Vol. 87. – P. 393 – 403.

Теоретические и практические аспекты роли эссенционных, биогенных, биофильных микроэлементов в организме животных. Шаповалов С.А. – В статье приведены данные литературного обзора теоретической и практической роли эссенционных, биогенных, биофильных микроэлементов в организме сельскохозяйственных животных. Приведены современные и классические исторические представления о роли этих элементов в биохимических и общезиологических потребностях организма.

Ключевые слова: биогенные микроэлементы, эссенционные микроэлементы, роль микроэлементов, животные.