

УДК 577.1

Кашарная Ольга Владиславовна, аспирант, Астраханский
государственный университет

e-mail: olga.i.karat@yandex.ru

Ермилова Татьяна Сергеевна, аспирант, Астраханский государственный
университет

e-mail: tatjana.br94@gmail.com

Самбунова Маргарита Александровна, научный сотрудник, ООО
«БИОС»

e-mail: samburova.m.20@mail.ru

Салимзаде Эмиль Афлатун оглы, аспирант, Астраханский
государственный университет

e-mail: salimzade.emil@bk.ru

ФУНКЦИИ МЕДИ В ЖИВЫХ СИСТЕМАХ

В статье обобщаются сведения о влиянии меди на функционирование живых организмов, о ее роли в обменных процессах. Приводятся сведения о влиянии недостатка и избытка микроэлемента на физиологический баланс в живых системах. Также обсуждается значимость элемента для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и животноводства.

Ключевые слова: медь; эссенциальный элемент; содержание, избыток и недостаток микроэлемента; бактерицидные свойства; антиоксидантная защита; интоксикация; ферменты; загрязнение.

Olga Vladislavovna Kasharnaya, Astrakhan State University

e-mail: olga.i.karat@yandex.ru

Tatyana Sergeevna Ermilova, Astrakhan State University

e-mail: tatjana.br94@gmail.com

Margarita Alexandrovna Samburova, BIOS LLC

e-mail: samburova.m.20@mail.ru

Aflatun oglu Salimzade, Astrakhan State University

e-mail: salimzade.emil@bk.ru

FUNCTIONS OF COPPER IN LIVING SYSTEMS

The article summarizes information about the effect of copper on the functioning of living organisms, about its role in metabolic processes. The article provides information on the effect of deficiency and excess of a trace element on the physiological balance in living systems. The importance of the element for increasing the productivity of crops and livestock is also discussed.

Key words: copper; essential element; content, excess and deficiency of a trace element; bactericidal properties; antioxidant protection; intoxication; enzymes; pollution.

Введение

Медь — первый из металлов, освоенных человечеством благодаря доступности получения из медной руды и небольшой температуры плавления. Cu (лат. Cuprum) является элементом 11 группы четвёртого периода побочной подгруппы первой группы периодической системы Д. И. Менделеева, атомный номер 29. Самые древние изделия из меди найдены на территории Турции (раскопки Чатал-Гююк). В истории человечества Медный век, когда стали использоваться предметы и орудия труда, изготовленные из этого элемента, следует за Каменным.

Содержание микроэлемента в клетке менее 0.001 %. А в массе земной коры на его долю приходится 0.01 %. Медь мало распространена в природе, чаще встречаются ее соединения: медный колчедан, медный блеск, малахит. Встречается в самородном состоянии, иногда в виде крупных экземпляров (массой до нескольких тонн). Благодаря этому факту, а также благодаря

легкости обработки, этот элемент использовался людьми с глубокой древности [Hennadii 2019].

Материалы и методы

В обзоре научной литературы использованы труды российских и зарубежных авторов и коллективов в рецензируемых периодических научных изданиях, сборниках трудов симпозиумов, семинаров и конференций.

Результаты

Медь является необходимым элементом для всех высших растений и животных. К жизненно необходимым (эссенциальным) микроэлементам относятся Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Mo, Se, I и C) [Anke 2004]. При их недостатке происходит нарушение основных функций деления и размножение клеток организмов.

Некоторые соединения меди могут быть токсичны при содержании выше предельно допустимых концентраций в пище и воде. Содержание ее в питьевой воде не должно быть выше 1 мг/л [СанПиН 2.1.4.1074-01], но и недостаток в питьевой воде также нежелателен. Микроэлемент относится к группе тяжелых металлов, нередко наблюдаются естественные и техногенные загрязнения Cu почв, а при высокой степени подвижности соединений элемента медь активно накапливается тканями растений, переходя по трофической цепи в организм животных [Рыльникова 2020].

Роль Cu в жизни растений

Для сельскохозяйственных культур Cu также необходима для развития и нормального функционирования. Дефицит элемента в растениях возникает на бедных почвах: песчаных или торфяных [Sun 2019].

Нормальная концентрация микроэлемента в растениях колеблется от 5 до 30 мг/кг и токсичная – в пределах 30–100 мг/кг [Kabata-Pendias 2000].

Элемент принимает участие процессах окисления, является составляющей частью ферментов, усиливает в растениях дыхательные процессы, давая хлорофиллу большую устойчивость, повышает качество фотосинтетической деятельности и водного баланса. Cu способствует функции

восстановления и фиксации азота. Недостаток микроэлемента приводит к ухудшению образования зерен у злаковых культур. Напротив, при обработке семян зерновых препаратами Cu — увеличивается количество зерен в колосе, а внесение Cu в почву — увеличивает рост зерновок. Интенсивное усваивание элемента злаковыми из почвы происходит в период до фазы выхода в трубку и во время формирования зерна [7]. Элемент влияет на устойчивость растений к колебаниям температурных показателей, уменьшает грибковое и бактериальное поражение органов растений. Различные виды растений из-за биологических особенностей и доступности микроэлемента в почвах по-разному способны его накапливать. Факторами, определяющими содержание элемента в растениях, являются метеорологические условия, наличие в почвах подвижных формы Cu, внесение удобрений, особенности биологии и видов сельскохозяйственных культур [Sun 2019].

Для улучшения качества растительной продукции необходима оптимизация питания растений соединениями меди.

Роль Cu в организме животных

В.Т. Самохин высказал предположение, что главными причиной ухудшения здоровья животных являются неблагоприятные условия окружающей среды и дисбаланс содержания микроэлементов: Cu, Zn, Mn, Co, I, Se. От микроэлементного статуса сильно зависят воспроизводительная способность и продуктивные характеристики сельскохозяйственных животных [Самохин 2005, Нежданов 2017, Bhalakiya 2019].

В сыворотке крови животных концентрация Cu составляет 1000 мкг/л, в цельной крови 1200-1300 мкг/л. Наиболее часто снижение уровня меди наблюдают у жвачных, реже – у свиней и птиц [Hill 2019].

Сравнительно рано была выявлена биологическая роль меди в окислительно-восстановительных реакциях млекопитающих [Linder 2001].

В животноводстве уделяется большое внимание к поступлению животным меди. Добавки, содержащие соединения меди, могут использоваться с целью улучшения результативности искусственного осеменения животных и

снижения случаев осложненного течения беременности. В тоже время у животных недостаток меди способствует развитию анемии, ухудшает волосяной покров, изменяет окраску вокруг глаз (эффект медных очков), приводит к диарее и снижению продуктивности молока. У молодняка скота в конце пастбищного периода из-за недостатка микроэлемента может наблюдаться задержка в развитии [Сафонов 2007].

При достаточном присутствии микроэлемента в кормах дефицит может усугубляться из-за слишком низкой абсорбции Cu . Препятствует усвоению микроэлемента в организме белок и железо. Не абсорбируемые комплексы в рубце вместе с Cu образуют сера и молибден. В то же время трансфер меди от матери к плоду практически не испытывает влияния других макро- и микроэлементов [Черницкий 2017]

Избыток меди приводит к развитию быстрой интоксикации у овец и у дойных коров, вызывая в последствии патологии печени, некроз, метгемоглобинемию, гиперкупремию, билирубинемия, гемолиз эритроцитов. Клинически это проявляется отсутствием аппетита, желтушностью, возникновением жажды, учащением дыхания и сердцебиения. Животные становятся малоподвижными. Летальный исход наступает от печеночной комы, которой предшествует затруднение дыхания и судороги [Elalfy 2021]. В корм для восполнения недостатка микроэлемента добавляют сульфат или карбонат меди.

Для предупреждения отравления животных делают перерыв в подкормках солями меди.

По данным CVB (2005) уровень токсичности для жвачных животных - 40 мг/кг СВ (постоянное кормление). Максимум - 35 мг/кг в полном рационе (88% СВ) для коров и 15 мг/кг для овец.

Участие Cu в функционировании организма человека

В организме человека содержится 100-150 мг Cu . Микроэлемент принимает участие во внутриклеточном высвобождении энергии, устраняет свободные радикалы, тем самым выступая в роли антиоксиданта, участвует в

образовании эритроцитов, окислении жирных кислот, синтезе коллагена и формировании гормонов [Nguta 2010, Myint 2018].

Лучше всего организм усваивает двухвалентную медь. В тонком кишечнике происходит всасывание до 95% меди, поступающей вместе с пищей. Для взрослых физиологическая потребность в элементе в сутки 1 мг, для детей - от 0,5 до 1 мг.

В печени взрослых людей содержится на 1 кг сухого веса примерно 35 мг микроэлемента. Максимальное содержание элемента в крови наблюдается в полдень, минимальное содержание - в полночь. Увеличение содержания меди в сыворотке крови наблюдается при инфекционных болезнях, при некоторых формах цирроза печени. Cu необходима для образования гемоглобина, переносит Fe в костный мозг и преобразует его в органическую форму. Медь также участвует в процессах роста организма, его размножения, входит в процесс образования меланина. Взрослому человеку в день необходимо 2 мг Cu. Всасывание происходит в верхних отделах кишечника, затем элемент отправляется в печень. Выводится через кишечник (с калом до 85%). С мочой за сутки выводится 0,009-0,008 мг Cu. Медь принимает участие в поддержании прочности костных структур, эластичности сухожилий, связок, кожных покровов, капилляров, стенок легочных альвеол.

Недостаточность микроэлемента вызывает следующие патологии: задержку роста, развития, снижение гемоглобина и анемию, дерматозы, депигментацию и выпадение волос, потерю веса, атрофию сердечной мышцы. Важнейшая функция микроэлемента — каталитическая.

Медь является кофактором ферментов антиоксидантной защиты, например Cu-Zn-содержащей супероксиддисмутазы, и помогает нейтрализовать действие свободных радикалов [Близнецова 2008, Rehder 2021].

В организм человека микроэлемент поступает с продуктами питания. Достаточно высокое содержание микроэлемента в мясных субпродуктах (печень, почки), в овощах (картофель, базилик, шпинат), в зерновых и бобовых культурах, в морепродуктах, в яблоках, в сухофруктах (чернослив), в какао.

При недостатке микроэлемента в организме наблюдаются: задержка роста, анемия, дерматозы, депигментация волос, частичное облысение, потеря аппетита, сильное исхудание, понижение уровня гемоглобина, атрофия сердечной мышцы.

Избыток меди приводит к дефициту цинка и молибдена, а также марганца.

Ферментативная функция Cu

В недавнее время были достигнуты определенные результаты, связанные с изучением биологической роли микроэлемента. Они связаны с изучением и открытием новых протеинов в живых организмах, содержащих в своем составе Cu. Эти протеины участвуют в окислительно-восстановительных процессах и обладают ферментативной функцией [Кощев 2018]. Цитохромоксидаза, катализирует конечный этап окисления восстановленного цитохрома с кислородом воздуха в тканевом дыхании. Ферменты, катализирующие окисление дифенолов и гидроксилирование монофенолов – ортодифенолоксидаза (полифенолоксидаза, тирозиназа), дофамингидроксилаза; ферменты, окисляющие в альдегиды моноамины и диамины; катализирующие пурины – ксантинооксидаза кишечника крупного рогатого скота, уратоксидаза, лизилоксидаза и другие содержат Cu в своем составе. В структурах нейронов дофамин-β-гидроксилаза требуется для синтеза норадреналина, пептидил-глицин-α-монооксигеназа для образования амидированных нейропептидов, лизилоксидаза обеспечивает стабилизацию во внеклеточном матриксе эластина и коллагеновых фибрилл. Также стоит упомянуть, что микроэлемент задействован в структуре антиоксидантного фермента супероксиддисмутазы [Нежданов 2012, Chowdhury 2017, McIntire 2020].

Cu в процессах катализации с содержащими ее ферментами связана с такими соединениями как аскорбиновая кислота, гемапиридоксин. Атомы Cu играют роль переносчиков электронов, поэтому могут образовывать фермент-субстратные комплексы.

Изучаются амоксидазы, найденные в сыворотке крови и почках таких

животных как свиньи, в митохондриях печени коров, участвующие в катализации адреналина, дофамина, норадреналина, гистамина, серотонина и других биогенных аминов и имеющие в своем составе Cu [Татьяничева 2016]. Существует несколько типов митохондриальных аминоксидаз. Установлена функция меди в составе цитохромоксидазы в качестве переносчика электронов. Экспериментально доказано, что при удалении Cu из цитохромоксидазы, она утрачивает свою активность, а при повторном введении Cu, активность подлежит восстановлению [Canonica 2019].

Бактерицидные свойства Cu

Известны также бактерицидные свойства элемента. Федеральным Агентством по Охране Окружающей Среды США (US EPA) в 2008 меди и некоторым ее сплавам был дан статус веществ с бактерицидной поверхностью. Были изучены бактерицидные свойства элемента и его сплавов против метициллин-устойчивого штамма золотистого стафилококка. В 2009 группой медиков университета Саутгемптона под руководством профессора д-р Вильяма Кивила было выяснено влияние Cu в инактивации вируса гриппа A/H1N1, известного как «свиной грипп». В последнее время уделяется внимание изучению влияния элемента на организм человека в связи с заболеванием COVID-19.

Бактерицидные свойства ионов меди при условии достижения соответствующих концентраций и pH среды могут быть использованы для дополнительной дезинфекции источников водоснабжения, а ультрадисперсный порошок вещества является перспективным материалом для создания бактерицидных поверхностей [Гутенев 2001, Доронин 2011].

Cu как источник загрязнения окружающей среды

Источником загрязнения почв соединениями меди являются предприятия машиностроения, черной и цветной металлургии, химические производства, транспорт, использование содержащих Cu пестицидов и удобрений [Побилат 2017]. На территориях повышенного загрязнения почв элементом необходимо проведение постоянного мониторинга за содержанием

его в растительной массе и разработка мероприятий по уменьшению поступления Cu в растения.

Заключение

Медь - незаменимый элемент для полноценного функционирования растений, животных и человека. Она участвует в процессе фотосинтеза растений, способствует усвоению азота, крахмала, повышает устойчивость хлорофилла, поддерживает дыхание, участвует как биокатализатор в кроветворении, стимулирует синтез гемоглобина из неорганических соединений железа. Микроэлемент влияет на рост животных организмов и повышает их устойчивость к заболеваниям.

Влияя на обмен липидов, углеводов, белков и других минеральных соединений, является необходимым источником для нормального развития организмов. Элемент участвует в синтезе гормонов, витаминов, оказывает влияние на функционирование нервной и эндокринной системы, обеспечивая тем самым полноценное функционирование живых организмов.

Оптимальное поступление меди также необходимо для защиты от свободнорадикального окисления. При том ее избыток в случае злоупотребления добавками соединений, наличия естественных аномалий с высоким уровнем элемента в объектах окружающей среды или антропогенного загрязнения способен вызывать противоположный эффект и обуславливать интоксикацию организма.

Не смотря на обширные сведения о меди, ее свойства и функции в биологических системах все еще требуют дополнительного изучения.

Список источников:

1. Близнецова Г.Н., Сафонов В.А., Нежданов А.Г., Рецкий М.И. Антиоксидантный статус беременных и бесплодных высокопродуктивных коров // Молочное и мясное скотоводство. – 2001. – № 7. – С. 39-40.
2. Гутенев В.В., Хасанов М.Б., Монтвила О.И., Ажгиревич А.И. Бактерицидные свойства ионов меди и влияние на них различных факторов //

Вода и экология: проблемы и решения. – 2001. – №. 3. – С. 21-27.

3. Доронин С.Ю., Чернова Р.К., Алипов В.В., Белолищева Г.М., Лебедев М.С., Шаповал О.Г. Синтез и бактерицидные свойства ультрадисперсного порошка медисинтез и бактерицидные свойства ультрадисперсного порошка меди // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. – 2011. – Т. 11. – №. 1. – С. 18-22.

4. Кощаев И. А. Биологическая роль меди в кормлении животных // Статья в сборнике трудов конференции. Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства. – 2018. – С. 96-100.

5. Нежданов А.Г., Рецкий М.И., Сафонов В.А., Братченко Э.В. Изменение пероксидного и эндокринного статуса телок в процессе становления половой и физиологической зрелости // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 3. – С. 69-70.

6. Нежданов А.Г., Шабунин С.В., Сафонов В.А., Маланыч Е.В. Системное решение проблемы сохранения репродуктивного потенциала молочного скота в условиях промышленных технологий его эксплуатации // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии. – 2017. – С. 260-262.

7. Побилат А.Е., Волошин Е.И. Марганец в почвах и растениях южной части Средней Сибири // Микроэлементы в медицине. – 2017. – Т. 18. – №. 2. – С. 43-47.

8. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Цупкина М.В., Сафонов В.А. Исследование экологического воздействия Новотроицкого хвостохранилища на растительных покров и живые организмы // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 1. – С. 108-120.

9. Самохин В.Т. Хронический комплексный гипомикроэлементоз и здоровье животных // Ветеринария. – 2005. – №. 12. – С. 3-5.

10. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01 (с изменениями от 7 апреля 2009 г., 25 февраля 2010 г.) Минздрав России 2002 (Москва)

11. Сафонов В.А. Значение минеральных элементов в крови высокопродуктивных коров // Молочное и мясное скотоводство. – 2007. – № 4. – С. 23-30.
12. Татьяничева О.Е., Трубчанинова Н.С. Оптимизация рационов для кроликов // Международные научные исследования. – 2016. – №. 4. – С. 98-100.
13. Черницкий А.Е., Скогорева Т.С., Сафонов В.А. Изучение особенностей микроэлементного обмена в системе «мать-плацента-плод» у крупного рогатого скота // Метериалы XXIII съезда физиологического общетсва им. И.П. Павлова с международным участием. – 2017. – С. 2480-2482.
14. Anke M. Essential and toxic effects of macro, trace and ultratrace elements in the nutrition of man // Elements and their compounds in the environment. – 2004. – С. 305-341.
15. Bhalakiya N. et al. Role of trace minerals in animal production and reproduction // International Journal of Livestock Research. – 2019. – Т. 9. – №. 9. – С. 1-12.
16. Canonica F., Klose D., Ledermann R., Sauer M.M., Abicht H.K., Quade N., ... Glockshuber R. Structural basis and mechanism for metallochaperone-assisted assembly of the CuA center in cytochrome oxidase // Science advances. – 2019. – Т. 5. – №. 7. – eaaw8478.
17. Chowdhury B., Maji M., Biswas B. Catalytic aspects of a copper (II) complex: biological oxidase to oxygenase activity //Journal of Chemical Sciences. – 2017. – Т. 129. – №. 10. – С. 1627-1637.
18. Elalfy M.M., Abomosallam M.S., Sleem F., Elhadidy M. Copper and copper containing pesticide as copper oxychloride toxicity and its adverse effects on animal and human health // Medico Research Chronicles. – 2021. – Т. 8. – №. 2. – С. 89-98.
19. Hennadii H., Pavlo S., Vasyl L. The philosophy of mining: historical aspect and future Prospect // Философия и космология. – 2019. – Т. 22. – С. 76-90.
20. Hill G.M., Shannon M.C. Copper and zinc nutritional issues for agricultural animal production // Biological trace element research. – 2019. – Т. 188.

– №. 1. – С. 148-159.

21. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. – CRC press, 2000. – 548 с.

22. Linder M.C. Copper and genomic stability in mammals // Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis. – 2001. – Т. 475. – №. 1-2. – С. 141-152.

23. McIntire W.S., Hartmann C. Copper-containing amine oxidases // Principles and applications of quinoproteins. – CRC Press, 2020. – С. 97-172.

24. Myint Z.W. et al. Copper deficiency anemia // Annals of hematology. – 2018. – Т. 97. – №. 9. – С. 1527-1534.

25. Nguta J. M. Essential trace elements: trace elements in human and animal health //LAP Lambert Academic Publishing. – 2010.

26. Rehder D. et al. Metals in Host–Microbe Interaction: The Host Perspective. – 2021. (Cambridge: MIT Press)

27. Sun Q. et al. Mobility and fractionation of copper in sandy soils // Environmental Pollutants and Bioavailability. – 2019. – Т. 31. – №. 1. – С. 18-23.