INNOVATIONS IN TECHNOLOGY AND SCIENCE EDUCATION
ISSN 2181-371X
https://science-research.org.uz/index.php/ITSE

ХИМИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Н.Т.Алимходжаева
Ташкентский государственный медицинский университет
Доцент кафедры Медицинской и биологической химии, медицинской биологии, биофизики и медицинской информатики

Аннотация: В статье рассматривается химия биогенных элементов, составляющих основу живых систем и определяющих их структуру и функции. Подробно освещена роль макро- и микроэлементов в составе биомолекул, их участие в метаболических процессах, регуляции ферментативной активности и поддержании гомеостаза организма. Приведены сведения о химических свойствах углерода, водорода, кислорода, азота, фосфора, серы и других элементов, без которых невозможна жизнедеятельность. Особое внимание уделено взаимосвязи химических свойств биогенных элементов с их биологическими функциями, а также последствиям их дефицита или избытка. Материал статьи может быть полезен студентам медицинских и биологических специальностей, а также специалистам, изучающим биохимию и медицинскую химию.

Ключевые слова: биогенные элементы, элементы, составляющие основу живых организмов, и элементы, дефицит которых приводит к патологическим состояниям.

Введение

Живые организмы состоят из ограниченного числа химических элементов, которые получили название биогенных. Они формируют основу биомолекул, определяют строение клеток и тканей, а также обеспечивают протекание всех жизненно важных биохимических процессов. К числу основных биогенных элементов относятся углерод, водород, кислород, азот, сера и фосфор, которые образуют макроэргические соединения, белки, липиды, углеводы и нуклеиновые кислоты. В то же время микроэлементы, такие как железо, цинк, медь, марганец и др., выполняют функции кофакторов ферментов, участвуют в регуляции метаболизма и поддержании гомеостаза. Изучение химии биогенных элементов позволяет понять взаимосвязь между их строением, свойствами и биологической ролью, что имеет важное значение для биологии, медицины и фармации.

Одним из разделов бионеорганической химии является химия биогенных элементов, изучающая поведение химических элементов в биологических системах. Химические элементы, необходимые для нормальной жизнедеятельности организма в той или иной форме входящие в состав биомассы и выполняющие в ней определенные жизненные функции, называются биогенными элементами.

К важнейшим биогенным элементам относятся:

- шесть неметаллов органогенов —водород, кислород, азот, углерод, фосфор, сера;
- десять биометаллов (металлов жизни) — натрий, калий, магний, кальций, железо, кобальт, медь, цинк, марганец и молибден.

Шесть элементов: водород, кислород, азот, углерод, фосфор и сера синтезируются в организме в результате его жизнедеятельности. В процессе обмена веществ (метаболизме), кроме вышеуказанных биометаллов, участвуют хлор, фтор бор, кремний, ванадий, хром, никель, йод, бром, др.

По степени важности для жизнедеятельности организма биогенные элементы можно разделить на три группы:

- элементы, составляющие основу живых организмов, и элементы, дефицит которых приводит к патологическим состояниям. К ним относятся: H, O, N, C, P, S, F, Cl, I, Se, Na, K, Mg, Ca, Mn, Fe, Co, Cr, V, Cu, Zn, Mo, Ti, B, Si;

- элементы, не являющиеся биогенными, но входящие в состав лекарственных препаратов: Ag, Au, Al, Pb, Sb, Bi, Pt.
- элементы, в настоящее время не входящие в состав лекарственных препаратов.

В настоящее время известно более 118 химических элементов, из них 92 элемента встречаются в природе. Более 78 элементов входят в состав биологических систем. 18 элементов выполняют наиболее важную функцию в организме. Из них 6 элементов органогенов (H, C, O, P, S, N) входят в состав белков, нуклеиновых кислот и составляют основу жизнедеятельности организма. Их называют элементами жизни или «китами химии».

Остальные 12 элементов (Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Mo, Cl, I) также участвуют в жизнедеятельности организма, из них 10 металлов называют биометаллами или металлами жизни. Эти элементы отличаются друг от друга как строением атомов и химическими свойствами, так и количественным содержанием их в организме.

Элементы с четными порядковыми номерами составляют более 85%, с нечетными – 15% массы организма. В процессе жизнедеятельности растительные и животные организмы усваивают, накапливают и используют различные химические элементы.

На содержание химических элементов в организме влияют следующие факторы:

- распространенность элементов в земной коре;
- агрегатное состояние их природных соединений;
- растворимость природных соединений элементов в воде и др.

В организм человека химические элементы попадают из окружающей среды – воздуха, почвы, природных вод и т.д. В состав живых организмов в больших количествах входят только те элементы, которые наиболее распространены в земной коре (кислород 47,2%, углерод, водород, азот, кальций, магний, натрий, фосфор, сера, хлор).

Классификация биогенных элементов проводится по следующим признакам:

По электронному строению атома:

- биогенные s – элементы: H,Li,Na,K,Mg,Ca, и др.
- биогенные p – элементы: O, C, S, CI, P, B и др.
- биогенные d – элементы: Mn, Fe, Zn, Co, Cu, Ni и др.

В зависимости от количества биогенных элементов в организме различают:

Макробиогенные элементы – общее содержание в организме более 10^{-3} %масс). Это неметаллы – органогены и хлор, а также биометаллы s-блока: O, C, H, N, S, P, CI, Ca, Na, K, Mg и др.

Микробиогенные элементы – содержание в организме (10^{-3}–10^{-5} %масс). Это биометаллы d-блока: Mn, Co, Cu, Mo, Zn, Ni, Cr а также p- элементы F, I, Br, Si, B и др.

Ультрамикробиогенные элементы – содержание в организме менее 10^{-5}%. Это Au, Se, Ag и др.

По значению выполняемой в организме функции различают:

- элементы, необходимые для жизнедеятельности организма, недостаток которых в организме приводит к серьезным патологиям. Это все макробиогенные и некоторые микробиогенные элементы.
- элементы, которые могут иметь жизненно важное значение. К ним относятся элементы, которые имеются в биологических системах, но их участие в биохимических процессах еще не изучены до конца. К ним относятся Cr, Ni, Cd и др.
- элементы, биологическое значение которых еще не выявлено. Они встречаются в организме, но в каких органах и тканях пока не изучено. К ним относятся Tl, In, La, Te, W и др.

В земной коре преобладают металлы, а в живых организмах — неметаллы.

Современная медицина широко исследует взаимосвязь между содержанием химических элементов в организме и развитием различных заболеваний. Оказалось, что особенно чутко организм реагирует на изменение концентраций микроэлементов. Так при развитии гипертонической болезни в крови и эритроцитах более, чем в 2 раза уменьшается содержание

лития, при инфаркте миокарда в плазме крови снижается содержание ионов Zn2+. Проявления истинного дефицита микроэлементов для человека доказаны для железа, меди, цинка, марганца, хрома, молибдена и кобальта, а также фтора, иода и селена. В большинстве случаев это связано с особенностями биогеохимических провинций. Например, Узбекистан характеризуется низким содержанием йода, что приводит к массовым случаям заболевания щитовидной железы (эндемический зоб). При недостаточном поступлении элемента в организм наносится существенный ущерб росту и развитию организма. Это объясняется снижением активности ферментов, в состав которых входит элемент. Постоянство содержания необходимых элементов вероятнее всего определяется эффективными механизмами гомеостаза. В живом организме не только присутствуют все элементы, но каждый из них выполняет какую-то функцию.

Органы и ткани человека по-разному концентрируют в себе различные химические элементы. Большинство микроэлементов накапливаются в печени, костной и мышечной тканях. Некоторые элементы могут концентрироваться в больших количествах в определенных органах. Например, Zn – в поджелудочной железе, I – в щитовидной, F – в эмали зубов; Al, As, V – в волосах и ногтях; Cd, Hg, Mo- в почках; Ba – в пигментной сетчатке глаза; Br, Mn, Cr – в гипофизе и т.д. Количественное содержание и биологическая роль химических элементов обратно пропорциональна их порядковым номерам. Поэтому основу организма человека составляют элементы первых четырех периодов периодической системы.

В основном это p- элементы (C, O, N, P, S, Cl) и s- элементы (H, Na, K, Ca, Mg). Большинство металлов жизни d- элементы 4 периода (Fe, Co, Cu, Mn, Zn, V). Исключением являются d-элемент Mo и p- элемент I, которые расположены в 5 периоде. Элементы 5, 6 и 7 периодов чужеродны и очень токсичны для организма (Hg, Ag, Cd, Sr, Ba, Tl, Pb, Sn).

Установлена связь между положением химических элементов в периодической системе и их биологической ролью:

- элементы IA группы – влияют на деятельность сердечной мышцы и кровообращения;
- элементы IIA группы – оказывают влияние на процессы образования костей, действие гормона инсулина;
- элементы VA группы – участвуют в процессах окислительного распада веществ в организме;
- элементы VIA группы – способны к взаимному замещению в биологических соединениях.

Органы человека не одинаково концентрируют в себе различные химические элементы. Большинство микроэлементов накапливается в печени, костной и мышечной тканях. Микроэлементы в организме могут находиться в связанном состоянии и в виде свободных ионных форм. Известно, что кремний, алюминий, медь и титан в тканях головного мозга находятся в виде комплексов с белками, тогда как марганец – в ионном виде. Некоторые органы способны накапливать опре-деленные биогенные элементы. Такие органы называют депо. Например, печень является основным депо. В печени накапливается около 20 элементов. В поджелудочной железе накапливается Zn, Co, Ni. В надпочечнике накапливается Br, I, Si, Ti, Pb, Cr и Zn.

Основные функции биогенных элементов

Биологически важные s - элементы



Водород (H)- первый представитель s- элементов I группы. Молекулярный водород (H_2) - самая легкая молекула во Вселенной. В отличие от кислорода, существующего как в природе, так и в организме в свободном виде, водород почти полностью находится в виде его соединений (основное соединение водорода - вода).

Водород является самым маленьким антиоксидантом, поэтому он может проникать в мозг и ткани организма, легко преодолевая физиологический барьер между кровеносной системой и центральной нервной системой. Водород способен проникать через клеточные мембраны и ликвиди-ровать токсичные радикалы внутри клеток.

Водород - самый распространенный элемент в нашей вселенной, его доля в земной коре составляет около 99 % по массе и во вселенной 92 % по числу атомов.

В организме человека массой 70 кг содержится 7кг водорода, в костной ткани – 5,2 %; в мышечной ткани – 9,3 % на килограмм сухой массы ткани.

Биологическая роль: водород принимает участие в важных процессах:

- входит в состав воды, которая является жидкой средой организма, составляя 60 % от массы тела; различные ткани отличаются по количеству воды в своем составе: мозг – 81 %, кровь – 80 %, печень – 70 %, мышцы – 50-75 %, хрящи – 60 %, кости – 30%;
- входит в состав жиров (4,9 %), белков (10 %), углеводов (6,18 %), нуклеиновых кислот и других органических соединений;
- является необходимым реагентом окислительно–восстановительных реакций, источник протонов водорода;
- молекулярный водород мгновенно превращает токсичные гидроксил-радикалы, находящиеся в организме, в воду. Он легко проникает в клетки и нейтрализует цитотоксические кислородные радикалы, защищая тем самым ДНК, РНК и белки от оксидативного;
- молекулярный водород является сигнальной молекулой, влияет на межклеточную коммуникацию, метаболизм клеток и экспрессию генов. Он обладает противовоспалительным, антиаллергическим и антиапоптотическим действиями.

Молекулярный водород отвечает за здоровье каждой клетки в организме человека. Он входит в состав практически всех органических и неорганических химических соединений, существующих в организме человека.

Наиболее полезное в природе применение - это то, что Солнце состоит в основном из водорода, а без Солнца не было бы жизни на Земле. В этом отношении и взгляде на водород он очень оказался полезен для всего живого.



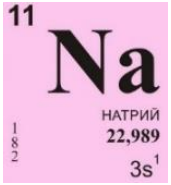
Литий s- элемент I группы, второго периода периодической системы с атомным номером 3. Литий - микроэлемент. В небольших количествах необходим организму человека (порядка 100мкг/день для взрослых). В организме преимущественно находится в щитовидной железе, лимфоузлах, сердце, печени, лёгких, кишечнике, плазме крови, надпочечниках.

В организме человека массой 70кг содержится 0,67мг лития; в крови – 0,004мг/л; в мышечной ткани – 0,023 $\cdot 10^{-4}$ % на килограмм сухой массы ткани.

Литий принимает участие в важных процессах:

- участвует в углеводном и жировом обменах;
- поддерживает иммунную систему;
- оказывает воздействие на нервную систему;
- обладает кардиотоксическим действием;
- антидепрессант.

К продуктам, богатым литием, относятся: картошка, свекла, капуста, помидоры, салат, перец, сельдерей.



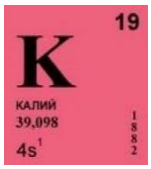
Натрий s- элемент I группы третьего периода. Это необходимый для нормальной жизнедеятельности организма макроэлемент, один из важнейших элементов, участвующих в минеральном обмене животных и человека. Натрий - основной ион внеклеточной жидкости, в ней содержится 96% от общего количества натрия в организме (90-100г). Нормальная концентрация Na в плазме крови поддерживается с высокой точностью, поскольку определяет осмотические свойства плазмы и водный обмен.

В организме человека массой 70кг содержится 100г натрия; в крови – 1970мг/л; в костной ткани – 1,00%; в мышечной ткани – 0,26-0,78% на килограмм сухой массы ткани. В высших организмах натрий находится большей частью в межклеточной жидкости (примерно в 15 раз больше чем в цитоплазме клетки).

Натрий принимает участие в важных процессах:

- участвует в поддержании осмотического давления крови, регулирует кровяное давление;
- регулирует деятельность нервной и мышечной тканей (передача импульса);
- участвует в активном транспорте мембран (K/Na– насос);
- активизирует пищеварительные ферменты;
- нормализует водный баланс; соли натрия (NaH_2PO_4, Na_2HPO_4, $NaHCO_3$) входят в состав буферных систем крови и способствуют поддержанию постоянства концентрации ионов водорода (pH).

К продуктам, богатым натрием, относятся: поваренная соль, соевый соус, капуста, помидоры, фасоль, горох, мясные консервы, крабы, креветки, раки, морская капуста, молоко, творог, плавленый сыр, куриное яйцо.



Калий s- элемент I группы четвертого периода. Макроэлемент, является основным внутриклеточным катионом. Ионы калия содержатся во всех клетках и физиологических жидкостях организма в виде солей и сложных органических соединений; Основная часть калия (98%) содержится в цитоплазме в связанном состоянии с белками, углеводами и фосфатами.

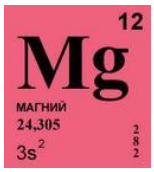
В организме человека массой 70кг содержится 140г калия; в крови – 1620мг/л; в костной ткани – 0,21 %; в мышечной ткани – 1,6 %. Во внеклеточном пространстве его в 20-40 раз меньше, чем во внутриклеточной жидкости.

Калий принимает участие в важных процессах:

- поддерживает осмотическое давление по обеим сторонам клетки, регулирует кислотно-щелочное равновесие крови, водно-солевой баланс организма, участвует в углеводном обмене и синтезе белков;
- участвует в передаче мышечного импульса, поддерживает тонус мускулатуры;
- необходим для нормальной работы нервной системы, участвует в передаче нервного импульса, улучшает память;
- участвует в поддержании нормального ритма сокращений сердца, регулирует кровяное давление, действует как иммуномодулятор; активизирует работу ряда ферментов; оказывает мочегонное действие; обладает защитными свойствами против избытка Na.

Между ионами K^+ и Na^+ существует антагонизм: действие первого нивелирует действие второго.

К продуктам, богатым калием, относятся: орехи, морская капуста, мед, листовые овощи, яблоки, сухофрукты, горох, оливы, финики, печеный картофель, бананы, апельсиновый и томатный соки морковь.



Магний - биогенный s- элементы II группы является макроэлементом живого организма. Существует около полутора десятков ферментов, которые активируются ионами Mg2+. Этот элемент участвует в важной реакции превращения системы АДФ в АТФ. В растительном мире велика его роль – он содержится в хлорофилле - около 2% (масс). Магний накапливается в печени, а затем переходит в мышцы и кости. В мышцах он усиливает процессы обмена углеводов, а в костях вместе с кальцием является одним из важнейших веществ. При нарушении магний-кальциевого равновесия весь магний переходит в мышцы и кости, вытесняет из них кальций и вызывает рахит.

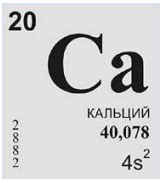
В организме человека массой 70кг содержится 19-25г магния; в крови – 37,8мг/л; в костной ткани – (7-18) $\cdot 10^{-2}$ %; в мышечной ткани – 9 $\cdot 10^{-2}$ %

Магний принимает участие в важных процессах:

- является компонентом ряда ферментов, участвующих в углеводном и фосфорном обмене, в поддержании постоянной температуры тела, в образовании белков;
- содержится в крови и тканях, главным образом, во внутриклеточном веществе;
- поддерживает здоровую минеральную структуру костей;
- участвует в проведении импульса от нервов к мышцам; активирует ДНК полимеразу;

- повышает сопротивляемость к инфекциям, участвуя в выработке интегринов («клейких» молекул), помогающих иммунным клеткам «приклеиваться» именно там, где это необходимо;
- стимулирует перистальтику кишечника, способствует желчеотделению и выведению холестерина из кишечника;
- оказывает антиспастическое и сосудорасширяющее действие, понижает артериальное давление, снимает мышечные спазмы, уменьшает менструальные боли.

К продуктам, богатым магнием, относятся: гречишный мед, цитрусовые, злаки и крупы, финики, инжир и другие сухофрукты, овощи, особенно листовые, горох, козье молоко, яичный желток, семечки.



Кальций – это жизненно необходимый макробиогенный s- элемент II группы. В организме он находится в виде ионов и в связанном состоянии с белками и липидами. Кальций является основным структурным компонентом костей, хрящей и зубов (97-99 % от общего содержания кальция в организме). Основная масса кальция у человека находится в костной и зубной тканях в виде фосфата, карбоната, фторида. Ионы Ca2+ могут замещаться ионами ряда щелочноземельных металлов, например, ионами стронция. Последнее приводит к тяжелым профессиональным заболеваниям.

В организме человека массой 70кг содержится 1,4 % кальция; в крови – 90мг/л; в костной ткани – 17 %; в мышечной ткани – 0,14-0,07 %.

Кальций принимает участие в важных процессах:

- способствует восстановлению клеток всего организма, т.к. является составной частью их ядра, клеточных и тканевых жидкостей, обеспечивает «слипание» клеток при тканеобразовании;
- является основным элементом костной ткани ($Ca_5(OH)(PO_4)_3$, $CaCO_3$) и зубов ($Ca_5F(PO_4)$), усиливает прочность костей и зубов;
- обеспечивает проницаемость базальных мембран эпителиев;
- необходим для работы мышц и кроветворения;
- участвует в возбуждении и регулировке работы сердца;
- участвует в передаче нервного импульса и мышечном сокращении;
- необходим для нормального свертывания крови;
- оказывает существенное влияние на усвоение пищи организмом;

К продуктам, богатым кальцием, относятся: молочные продукты, особенно сыры, орехи, сардины, лосось, свекла, фасоль, лук и другие листовые овощи.

Список литературы

1. Алимходжаева Н.Т., ЮлдашевН.М., Акбарходжаева Х.Н., Таджиева Х. *Медицинская химия.* –URI: http://repository.tma.uz/xmlui/handle/1/1461 - 2021
2. Ахмедов Х.Х., Хидоятов Б.Х. *Медицинская химия*. – Ташкент: Фан, 2020. – 456 с.
3. Ленинджер А.Л. *Основы биохимии*. – М.: Мир, 2018. – 1248 с.
4. Корольков Д.В., Леснов Ф.И. *Биоорганическая химия*. – М.: Академия, 2019. – 432 с.
5. Жарков А.Ю. *Биологическая химия: учебное пособие*. – СПб.: Питер, 2021. – 512 с.
6. Voet D., Voet J.G. *Biochemistry*. – Hoboken: Wiley, 2019. – 1200 p.
7. Nelson D.L., Cox M.M. *Lehninger Principles of Biochemistry*. – 8th ed. – New York: W.H. Freeman, 2021. – 1340 p.
8. Fraga C.G. (Ed.). *Plant and Human Health, Volume 1: Phytochemistry and Molecular Aspects*. – Springer, 2018. – 715 p.
9. Underwood E.J., Suttle N.F. *The Mineral Nutrition of Livestock*. – 4th ed. – CABI Publishing, 2001. – 614 p.