

ЛЕКЦИЯ 3

Содержание химических элементов в клетке. Вода и другие неорганические вещества, их роль в жизнедеятельности клетки

Неорганические вещества клетки – вещества, в состав которых не входит углерод, кроме CO, CO₂, H₂CO₃ и карбонатов. В клетках неорганические вещества представлены водой (до 85%), солями минеральных кислот, а также соответствующими катионами и анионами (1%).

Органические вещества клетки – соединения, в состав которых входит углерод, образуя углеродный скелет (за исключением CO, CO₂, H₂CO₃ и карбонатов). В живых клетках органические вещества представлены белками, жирами, углеводами, нуклеиновыми и другими органическими кислотами.

Таблица 4 Химические вещества клетки

Неорганические	Содержание, %	Органические	Содержание, %
Вода	70-80	Белки	10-20
Минеральные вещества	1,0-1,5	Жиры	1-5
		Углеводы	0,2-2,0
		Нуклеиновые кислоты	1,0-2,0
		АТФ и другие низкомолекулярные органические кислоты	0,1-0,5

Таблица 5 Содержание химических элементов в клетке, %

Органогены	Макроэлементы	Микроэлементы
Кислород 65-75	Магний 0,02-0,03	Цинк 0,0003
Углерод 15-18	Натрий 0,02-0,03	Медь 0,0002
Водород 8-10	Кальций 0,04-2,00	Йод 0,0001
Азот 1-3	Железо 0,01-0,02	Фтор 0,0001
	Калий 0,15-0,40	Марганец 0,001-0,000001
	Сера 0,15-0,20	Бор 0,001-0,000001
	Фосфор 0,20-1,00	Молибден (следовые концентрации)
	Хлор 0,05-0,10	Кобальт (следовые концентрации)

В литературе можно встретить иной принцип классификации элементов, входящих в состав клетки. Элементы, количество которых составляет от 10 до 0,001% от массы тела, называют макроэлементами, а те, на долю которых приходится менее 0,001% - микроэлементами. Кроме того, среди макроэлементов могут еще выделять «основные элементы», а из группы микроэлементов выделять «ультрамикроэлементы», встречающиеся в живых организмах в следовых концентрациях.

Таблица 6 Роль макроэлементов на клеточном и организменном уровне организации

Элемент	Роль в клетке	Роль в организме
Магний (Mg)	Кофактор многих ферментов, участвующих в энергетическом обмене и синтезе ДНК	Входит в состав ферментов, необходимых для функционирования мышечной, нервной и костной тканей
Натрий (Na)	Участвует в создании и поддержании биоэлектрического потенциала на мембране (в результате работы натриевого и калий-натриевого насосов)	Ионы натрия влияют на работу почек; Участвуют в поддержании сердечного ритма (вместе с катионами K^+ и Ca^{2+}); Вместе с ионами Cl^- составляют большую часть минеральных веществ крови; Участвуют в регулировании кислотно-щелочного равновесия организма, входя в состав буферной системы организма
Кальций (Ca)	Ионы Ca^{2+} участвуют в регуляции избирательной проницаемости клеточной мембраны; Участвуют в процессах соединения ДНК с белками	Нерастворимые соли кальция входят в состав костей; Ионы Ca^{2+} участвуют в образовании желчи; Повышают рефлекторную возбудимость спинного мозга и центра слюноотделения; Участвуют в синаптической передаче нервного импульса; В процессах свертывания крови; Активируют ферменты при сокращении поперечно-полосатых мышечных волокон
Железо (Fe)		Входит в состав гемма белка – переносчика кислорода – гемоглобина и белка, содержащего запас кислорода в мышцах – миоглобина. (Небольшой запас находится в железосодержащем белке ферритине в печени и селезенке)
Калий (K)	Участвует в поддержании коллоидных свойств цитоплазмы; Участвует в создании и поддержании биоэлектрического потенциала на мембране (в результате работы натрий-калиевого насоса);	Участвуют в поддержании сердечного ритма (вместе с натрием и кальцием); Участвует в проведении нервного импульса

	Активирует ферменты, участвующие в синтезе белка; Входит в состав ферментов, участвующих в гликолизе	
Сера (S)	Входит в состав серосодержащих аминокислот (цистина, цистеина, метионина); Участвует в формировании третичной структуры белка (образование дисульфидных мостиков);	В основном предопределяется ролью этого элемента в клетке. Кроме того, входит в состав инсулина, витамина B ₁ , биотина
Фосфор (P)	В виде остатков фосфорной кислоты входит в состав АТФ, нуклеотидов, ДНК, РНК, коферментов НАД, НАДФ, ФАД, фосфорилированных сахаров, фосфолипидов, многих ферментов; входит в состав всех мембранных структур.	В виде фосфатов входит в состав костной ткани, зубной эмали; У млекопитающих фосфатная буферная система, в состав которой входят анионы H ₂ PO ₄ ⁻ и HPO ₄ ²⁻ (вместе с бикарбонатной буферной системой), поддерживает рН тканевой жидкости в интервале 6,9-7,4
Хлор (Cl)	Анионы Cl ⁻ (вместе с различными катионами) поддерживают электронеutrальность клетки	Анионы Cl ⁻ вместе с катионами натрия Na ⁺ участвуют в формировании осмотического потенциала плазмы крови; Участвуют в процессах возбуждения и торможения в нервных клетках; Входят в состав соляной кислоты, являющейся компонентом желудочного сока
Цинк (Zn)		Входит в состав фермента, участвующего в транспорте углекислого газа в крови; Фермента, гидролизующего пептидные связи при переваривании белков; Входит в состав ферментов, необходимых для нормального роста
Медь (Cu)		Участвует в кроветворении, синтезе гемоглобина; Входит в состав фермента, участвующего в синтезе меланина (пигмента кожи)
Йод (I)		Входит в состав гормона

		щитовидной железы - тироксина
Фтор (F)		В виде нерастворимых кальциевых солей входит в состав костей и зубов
Марганец (Mn)	Входит в состав ферментов, участвующих в дыхании, окислении жирных кислот, повышает активность карбоксилазы	Входит в состав фосфатаз – ферментов, необходимых для роста костей
Бром (Br)	Входит в состав витамина В ₁ -составной части фермента, участвующего в расщеплении пировиноградной кислоты.	В основном предопределяется ролью этого элемента в клетке
Кобальт (Co)		Входит в состав витамина В ₁₂ (В желудке всасывается в составе кобаламина и принимает участие в синтезе гемоглобина. Недостаток Co приводит к кобальтдефицитной анемии.)

Вода – главный компонент всех клеток живых организмов, составляющий до 85% их массы. Поступает в организм из внешней среды, также может образовываться при расщеплении жиров, белков и углеводов. Вода находится в цитоплазме и ее органеллах. Функции воды многообразны: определяет физические свойства клеток – объем, упругость, является хорошим растворителем, средой для физиологических и биохимических процессов, химическим компонентом, терморегулятором, участвует в реакциях гидролиза, окисления и синтеза. Может находиться в клетке в различных формах. Гидратационная вода – вода, связанная с белками и ионами, обеспечивающая набухание коллоидов. Обменная вода заключена между молекулами белка, мембранами. Является растворителем веществ. Свободная вода находится в межклеточных пространствах, сосудах, полостях органов. Служит для переноса веществ из окружающей среды в клетку и наоборот. Первые две формы называют связанной водой, т.к. она не вытекает из клеток при их рассекании, свободная же вода при этом вытекает. Значение воды для биологических процессов определяется ее физическими и химическими свойствами. Физические свойства определяются размером молекул, их формой и полярностью. Метаболические свойства воды в клетке определяют свойства элементов, входящих в состав ее молекул, а также способность самих молекул воды образовывать водородные связи (как между собой, так и с молекулами других веществ)

Таблица 7 Физические свойства воды и их значение для биологических процессов

Физические свойства	Значение	Примеры
Сочетание высокой теплоемкости (благодаря наличию водородных связей между молекулами) и высокой теплопроводности (из-за	Идеальная жидкость для поддержания теплового равновесия организма – большое количество воды в клетках придает организму термостабильность и, кроме	Потоотделение

небольших размеров молекул)	того, указанные физические свойства дают возможность значительно охладиться при минимальной потере воды	
Практически полная несжимаемость	Поддержание формы организмов	Амниотическая жидкость поддерживает и защищает плод млекопитающих
Вязкость (благодаря наличию водородных связей)	Смачивающие свойства	Синовиальная жидкость является «смазкой» в суставах; Плевральная жидкость уменьшает трение между грудной клеткой и легкими во время дыхания.
Хороший растворитель	Самый распространенный в природе растворитель, среда протекания многих химических реакций в организме	Кровь, тканевая жидкость, лимфа, желудочный сок, слюна.
Способность образовывать гидратационную оболочку вокруг макромолекул (благодаря полярности молекул)	Является дисперсионной средой в коллоидной системе цитоплазмы	Гиалоплазма представляет собой коллоидный раствор белков, в котором макромолекулы белков окружены «чехлом» из определенным образом ориентированных молекул воды
Оптимальное для биологических систем значение силы поверхностного натяжения (определяемого силами межмолекулярного сцепления)	Водные растворы являются средством передвижения веществ в организме	Капиллярный кровоток

Таблица 8 Метаболические функции воды

Метаболическая функция	Примеры
Участие в реакциях гидролиза	1) I этап диссимиляции Гидролиз биополимеров до мономеров: Белки + вода = аминокислоты Гидролиз жиров: Жир + вода = глицерин + жирные кислоты 2) Высвобождение энергии АТФ $АТФ + H_2O = АДФ + H_3PO_4 + E (40 \text{ кДж})$
Донор электронов	

Источник атомарного водорода	
Источник протонов для работы протонных насосов	Синтез АТФ в митохондриях на III этапе диссимиляции

Химические и физико-химические методы обнаружения минеральных веществ

Для анализа минеральных веществ в основном используются физико-химические методы – оптические и электрохимические.

Практически все эти методы требуют особой подготовки проб для анализа, которая заключается в предварительной минерализации объекта исследования. Минерализацию можно проводить двумя способами: «сухим» и «мокрым». «Сухая» минерализация предполагает проведение при определенных условиях обугливания, сжигания и прокаливания исследуемого образца. «Мокрая» минерализация предусматривает еще и обработку объекта исследования концентрированными кислотами (чаще всего HNO_3 и H_2SO_4).

Наиболее часто применяемые методы исследования минеральных веществ, представлены ниже.

Фотометрический анализ (молекулярная абсорбционная спектроскопия). Он используется для определения меди, железа, хрома, марганца, никеля и других элементов. Метод абсорбционной спектроскопии основан на поглощении молекулами вещества излучений в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях электромагнитного спектра. Анализ можно проводить спектрофотометрическим или фотоэлектроколориметрическими методами.

Эмиссионный спектральный анализ. Методы эмиссионного спектрального анализа основаны на измерении длины волны, интенсивности и других характеристик света, излучаемого атомами и ионами вещества в газообразном состоянии. Эмиссионный спектральный анализ позволяет определить элементарный состав неорганических и органических веществ.

Интенсивность спектральной линии определяется количеством возбужденных атомов в источнике возбуждения, которое зависит не только от концентрации элемента в пробе, но и от условий возбуждения. При стабильной работе источника возбуждения связь между интенсивностью спектральной линии и концентрацией элемента (если она достаточно мала) имеет линейный характер, т.е. в данном случае количественный анализ можно также проводить методом градуировочного графика.

Наибольшее применение в качестве источника возбуждения получили электрическая дуга, искра, пламя. Температура дуги достигает $5000-6000^\circ\text{C}$. В дуге удается получить спектр почти всех элементов. При искровом разряде развивается температура $7000-10\ 000^\circ\text{C}$ и происходит возбуждение всех элементов. Пламя дает достаточно яркий и стабильный спектр испускания. Метод анализа с использованием в качестве источника возбуждения пламени называют пламенно-эмиссионным анализом. Этим методом определяют свыше сорока элементов (щелочные и щелочно-земельные металлы, Cu^{2+} , Mn^{2+} и др.).

Атомно-абсорбционная спектроскопия. Данный метод основан на способности свободных атомов элементов в газах пламени поглощать световую энергию при характерных для каждого элемента длинах волн.

В атомно-абсорбционной спектроскопии практически полностью исключена возможность наложения спектральных линий различных элементов, т.к. их число в спектре значительно меньше, чем в эмиссионной спектроскопии.

Уменьшение интенсивности резонансного излучения в условиях атомно-абсорбционной спектроскопии экспоненциальному кону убывания интенсивности в зависимости от толщины слоя и концентрации вещества, аналогичному закону Бугера-Ламберта-Бера

$$\lg J/J_0 = A = klc,$$

где J_0 – интенсивность падающего монохроматического света; J – интенсивность прошедшего через пламя света; k – коэффициент поглощения; l – толщина светопоглощающего слоя (пламени); c – концентрация.

Постоянство толщины светопоглощающего слоя (пламени) достигается с помощью горелок специальной конструкции.

Методы атомно-абсорбционного спектрального анализа находят широкое применение для анализа практически любого технического или природного объекта, особенно в тех случаях, когда необходимо определить небольшие количества элементов.

Методики атомно-абсорбционного определения разработаны более чем для 70 элементов.

Кроме спектральных методов анализа широкое применение нашли электрохимические методы, из которых выделяются нижеперечисленные.

Ионометрия. Метод служит для определения ионов K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , F^- , I^- , Cl^- и т.д.

Метод основан на использовании ионоселективных электродов, мембрана которых проницаема для определенного типа ионов (отсюда, как правило, высокая селективность метода).

Количественное содержание определяемого иона проводится либо с помощью градуировочного графика, который строится в координатах $E-pC$, либо методом добавок. Метод стандартных добавок рекомендуется использовать для определения ионов в сложных системах, содержащих высокие концентрации посторонних веществ.

Полярография. Метод переменного-токовой полярографии используют для определения токсичных элементов (ртуть, кадмий, свинец, медь, железо).