

Лекция 2. Химический состав клетки

1. Общая характеристика химического состава клетки.
2. Неорганические вещества.
3. Органические соединения.

1. Общая характеристика химического состава клетки

Живая клетка – гетерогенная система, отличающаяся необычайно разнообразным и сложным химическим составом. В ней одновременно и в строгой последовательности протекают химические процессы, обеспечивающие жизнедеятельность, рост и развитие, как самой клетки, так и организма в целом.

В составе клетки обнаружено почти 90 из существующих на Земле химических элементов. Однако их роль и соответственно содержание в организмах весьма различны. Наиболее часто и в больших количествах встречаются 12 элементов, так называемая «первичная дюжина». По уменьшению содержания в % на сухую массу их можно расположить в следующий ряд: O – 65–75%; C – 15–18; H – 8–10; N – 1,5–3,0; Ca – 0,4–2; P – 0,2–1,0; K – 0,15–0,4; S – 0,15–0,2; Na и Mg – 0,02–0,03, Cl – 0,05–0,1; Fe – 0,01–0,015%. Очевидно, что первые 4 элемента – кислород, углерод, водород и азот в сумме составляют более 90% сухого вещества клетки. Они же входят в состав большинства органических молекул и называются органогенами. Элементы «первичной дюжины» легко вступают в реакции, образуя достаточно прочные соединения. В то же время эти соединения могут разрушаться как внутри, так и вне клетки, что обеспечивает круговорот элементов в природе. Все эти элементы имеют небольшую атомную массу.

Особая роль в образовании сложных органических молекул принадлежит углероду. Это обусловлено тем, что для образования прочных связей с остальными органогенами ему необходимо небольшое число электронов – от 1 до 4. Атомы углерода обладают уникальной способностью объединяться в линейные, разветвленные или замкнутые цепочки. Атомы углерода способны образовывать одинарные, двойные и тройные связи, из них особая роль принадлежит двойным связям. В том случае, когда наблюдается закономерное чередование двойных и одинарных связей они называются конъюгированными, такие связи есть в молекуле хлорофилла. Цепочки только с одинарными связями называют **насыщенными**, с двойными – **ненасыщенными**. Одинарные и двойные связи углерод способен также образовывать с кислородом, азотом, водородом ($>C=O$, $>C=N$, $-C=C-O-H$).

Одна из наиболее известных классификаций элементов, входящих в живые организмы была предложена В.И. Вернадским. В основе классификации – процентное содержание отдельных элементов. По данному признаку все элементы, входящие в живые организмы делятся на три группы: макро-, микро- и ультра- микроэлементы. Содержание макроэлементов колеблется от нескольких десятков процентов до сотых долей процента. В эту группу входят все элементы «первичной дюжины». Концентрация микроэлементов колеблется от 10^{-2} до 10^{-6} , это Cu, Co, Zn, Mo, Mn, B, Br и др. Содержание ультрамикроэлементов едва достигает 10^{-6} , к ним относятся U, Ra, Au, Ag, Se и др. Их роль в организме еще не до конца ясна.

У всех живых организмов существует фундаментальное сходство в содержании как простых, так и сложных органических соединений. Оказалось достаточно лишь 30 первичных органических молекул для возникновения живых организмов и их даль-

нейшей эволюции: 20 аминокислот, 5 азотистых оснований, углеводы – рибоза и дезоксирибоза, глицерин и жирная кислота, по-видимому, пальмитиновая.

Вещества, входящие в состав клетки, можно разделить на две группы: неорганические: вода и минеральные вещества, часто и форме ионов, и органические: белки, липиды, углеводы, нуклеиновые кислоты и другие более или менее сложно устроенные молекулы: пигменты, гормоны, витамины, органические кислоты, продукты выделения.

2. Неорганические вещества

Вода, как правило, составляет большую часть сырой массы клеток от 60 до 90%. Высокое содержание воды необходимое условие для активной жизнедеятельности клетки. Вода выполняет следующие функции:

- является универсальным растворителем;
- служит средой для протекания биохимических реакций;
- активный метаболит, принимает непосредственное участие в биохимических реакциях, подвергаясь расщеплению или синтезируясь вновь;
- высокая теплоемкость и теплопроводность обуславливают роль воды как терморегулятора, поддерживающего тепловое равновесие клетки и организма;
- с током воды по телу растений и животных транспортируются различные вещества;
- определяет осмотические свойства клеток, у растений в связи с этим выполняет формообразовательную функцию;
- вода – источник кислорода, выделяющегося при фотосинтезе.

Минеральные вещества составляют около 1,5% от сырой массы клетки. По большей части это ионы, реже соли или кислоты. Наиболее важны для клетки такие ионы, как H^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HPO_4^{2-} (гидрофосфат); $H_2PO_4^-$ (дигидрофосфат), Cl^- , HCO_3^- (гидрокарбонат). Функции неорганических веществ:

- ионы, располагаясь по разные стороны мембраны, образуют трансмембранный потенциал;
- энергия, возникающая при перемещении протона водорода или катиона натрия через мембрану, используется для синтеза АТФ;
- ферменты осуществляют катализ лишь при строго определенном уровне рН; определяемым ионами неорганических веществ;
- катионы влияют на вязкость и текучесть цитоплазмы, K^+ увеличивает текучесть и понижает вязкость, Ca^{2+} оказывает противоположное действие;
- ионы вместе с другими низкомолекулярными соединениями создают осмотический потенциал клетки;
- нерастворимые соли, в частности фосфат кальция, придает прочность скелету позвоночных, раковинам моллюсков, минерализация клеток растений повышает прочность и защищает стебель;
- некоторые катионы являются активаторами ферментов.

3. Органические соединения

Среди органических соединений клетки различают низкомолекулярные и высокомолекулярные или макромолекулы. Большинство макромолекул являются полиме-

рами и состоят из повторяющихся сходных по структуре низкомолекулярных веществ – мономеров, связанных между собой ковалентными связями. Если все мономеры одинаковы, то полимер называют *регулярным*, если они отличаются функциональными группировками, сохраняя свою природу (например, аминокислоты в белке) – *нерегулярным*. Для важнейших полимеров живых организмов – белков и нуклеиновых кислот, перестановки и новые сочетания мономеров обеспечивают практически неисчерпаемое разнообразие этих молекул.

Углеводы построены всего из трех элементов: О, С, Н. Их общая формула $(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O})_n$. Содержание углеводов в клетке колеблется от 0,2 до 2% в расчете на сухую массу. Мономерные углеводы или простые сахара (моносахариды) представлены молекулами, углеродный скелет которых состоит из 3–7 атомов С. Цепочка может быть линейной, например у глюкозы, фруктозы, или замкнутой у рибозы и дезоксирибозы. Низкомолекулярные углеводы имеют небольшой молекулярный вес, сладкий вкус, легко растворяются в воде, образуют кристаллы.

Две молекулы моносахаридов образуют дисахарид (олигосахарид). К ним относятся сахароза, составляющая основную массу пищевого сахара, и являющаяся основным структурным компонентом полимерных углеводов – гликогена и крахмала, молочный сахар – лактоза, мальтоза, и др. Моносахариды выполняют структурную функцию, входя в состав РНК и ДНК (рибоза и дезоксирибоза), являются основным субстратом дыхания (глюкоза), определяют вкус плодов и овощей (фруктоза).

Высокополимерные углеводы (полисахариды) состоят из длинных линейных или разветвленных углеродных цепочек, образованных молекулами мономеров.

Под действием ферментов они легко гидролизуются, расщепляясь до мономеров.

К полисахаридам относятся запасные углеводы растений – крахмал (мономер – глюкоза) и инулин (мономер – фруктоза), у животных и грибов эту роль выполняет гликоген (мономер – глюкоза). И многие другие вещества, такие как клетчатка, хитин. Полисахариды выполняют структурную, защитную, запасную функции. Углеводы являются субстратом дыхания первого порядка.

Липиды – сложные органические соединения различной структуры, но с общими физико-химическими свойствами. Содержание липидов в клетке колеблется в достаточно широких пределах от 1 до 15%, а в жировых клетках до 90%.

Липиды – это эфиры трехатомного спирта глицерола (глицерина) и жирных кислот. По строению различают насыщенные – только с одинарными связями и ненасыщенные (непредельные) – с одинарными и двойными связями молекулы жирных кислот. Растительные жиры (масла) содержат в основном ненасыщенные жирные кислоты и имеют жидкую консистенцию, тогда как твердые животные жиры богаты насыщенными кислотами. Липиды играют уникальную роль в формировании структуры мембран. К липидам относятся и воска, в состав которых вместо глицерина входят другие, обычно длинноцепочечные, спирты. Воска находятся на поверхности листьев и плодов растений, входят в состав наружного скелета насекомых.

Липоиды – вещества близкие по своим свойствам к липидам, но обычно не содержащие жирных кислот, представлены стероидами и терпенами. Стероидные соединения входят в состав желчи (холевая кислота), выполняют функции половых гормонов (эстроген, прогестерон, тестостерон); к ним относятся и гликозиды растений, применяемые при заболеваниях сердца. К терпенам относятся соединения входящие в со-

став эфирных масел растений (ментол, камфара); гормоны роста растений, пигменты группы каротиноидов; натуральный каучук.

Функции липидов: структурная, запасаящая, особенно у животных, терморегуляции, энергетическая – очень важная для животных–обитателей моря. У позвоночных около половины энергии потребляемой живыми клетками в состоянии покоя образуется в ходе окисления жирных кислот. Липиды – субстрат дыхания второго порядка. В пустыне для многих животных жиры – источник эндогенной (образующейся в биохимических реакциях) воды. Некоторые липиды принимают участие в регуляции обменных процессов, например витамин D играет ключевую роль в обмене Са и Р.

Пигменты – высокомолекулярные природные окрашенные вещества. Их насчитывается несколько сотен. Особенно важную роль в живых организмах играют пигменты, относящиеся к металлопорфиринам и флавиновые пигменты. Металлопорфирины имеют, состоящее из четырех пятичленных пирольных колец порфириновое ядро, в центре которого находится атом металла. К ним относятся зеленые пигменты растений из группы хлорофиллов и близкие к ним пигменты водорослей.

У животных широко распространены дыхательные пигменты белковой природы: гемоглобин позвоночных определяет красную окраску крови, содержит в ядре окисное железо, хлорофиллин содержит закисное железо и окрашивает кровь некоторых червей в зеленый цвет. У моллюсков, паукообразных и каракатиц кровь голубого цвета, так как пигмент гемоцианин содержит атом меди. Главная функция дыхательных пигментов – транспорт кислорода, углекислого газа и атомов водорода. Близок по свойствам к гемоглобину находящийся в мышцах миоглобин, он создает запас кислорода, хотя и не участвует в его транспорте.

В хлоропластах растений содержится большое количество желто-оранжевых пигментов – каротиноидов, близких к липидам: каротин, ксантофилл, лютеин. Светочувствительный пигмент растений фитохром определяет фотопериодическую реакцию: начало цветения, которое определяется длиной дня. По этому признаку растения можно разделить на длиннодневные и короткодневные. С его работой связано прорастание спор и семян, рост листьев и удлинение междоузлий. В клеточном соке содержатся водорастворимые пигменты – антоцианы, обуславливающие розовую, малиновую, пурпурную, сиреневую окраску.

У животных темноокрашенные пигменты меланины выполняют защитную функцию. Желчные пигменты билирубин и биливердин образуются при распаде гемоглобина и выделяются из организма животных.

Для многих животных и цветковых растений пигменты обеспечивают привлечение полового партнера или опылителя, в других случаях определяют покровительственную или предостерегающую окраску.

Гормоны – органические вещества различной природы и происхождения, которые оказывают регулирующее действие на функциональное состояние более или менее удаленных органов или систем органов.

У животных гормоны выполняют следующие функции:

- 1) регулируют рост, развитие и дифференцировку тканей и органов;
- 2) участвуют в формировании адаптивных реакций организма;
- 3) регулируют работу многих систем, в том числе репродуктивной, выделительной, желудочно–кишечного тракта;
- 4) обеспечивают гомеостаз.

Вырабатываются гормоны железами внутренней секреции, в том числе щитовидной железой, надпочечниками, гипофизом, поджелудочной и половыми железами.

В отличие от животных растения не имеют высокоспециализированной гормональной системы. Фитогормоны образуются в различных органах и тканях, а регуляция физиологических процессов и морфогенеза осуществляется одними и теми же гормонами в различных соотношениях.

Витамины – группа сравнительно низкомолекулярных соединений различного строения, объединяемых по признаку их строгой необходимости для питания животных и человека. Витамины оказывают воздействие в достаточно малых концентрациях. Витамины делятся на два класса: жирорастворимые (А – ретинол, D – кальциферол, Е – токоферол) и водорастворимые (В₁ – тиамин, В₂ – рибофлавин, РР – никотиновая кислота).

При недостатке (авитаминоз, гиповитаминоз) или избытке (гипервитаминоз) нарушаются обменные процессы в организме, что проявляется в форме типичных для каждого случая симптомов. При недостатке витамина А ухудшается зрение, развивается сухость роговицы, нарушается адаптация к темноте, при длительном отсутствии – может наступить слепота. Витамин С участвует в метаболизме соединительных тканей, образовании здоровой кожи, его отсутствие вызывает заболевание цингой. При недостатке витамина В₁ развивается болезнь бери-бери: поражается нервная система, мышцы ослабевают, возможен паралич, появляются отеки и сердечная недостаточность. Рахит – ослабление прочности костной ткани у детей – следствие недостатка витамина D. Животные и человек не способны синтезировать витамины, они получают их с пищей.

Продукты выделения делятся на три группы:

- экскреты – ненужные или вредные для организма вещества, которые обычно удаляются во внешнюю среду: СО₂, Н₂О, эфирные масла, аммиак, этилен, непереваренные остатки пищи;
- секреты активно выделяются с помощью особых структур и имеют определенную ценность для организма: нектар цветков, слизь на поверхности кончика корня,
- секреты пищеварительных желез насекомых и насекомоядных растений, вещества, активно выделяемые железами внешней секреции;
- инкреты остаются внутри организма и участвуют в метаболизме: гормоны эндокринных желез животных, фитогормоны.

Экзометаболиты выполняют следующие функции:

- 1) информационную и сенсорную,
- 2) трофическую;
- 3) защитную, являясь токсическими для других видов.

Белки – нерегулярные полимеры, построенные из мономеров – аминокислот. Видовая специфичность организмов зависит от набора определенных белков. Число этих молекул чрезвычайно велико: в клетках бактерии *Escherichia coli* обнаружены около 3000 различных белков, а у человека – около 50 000. Белки составляют не менее 50% сухой массы клеток. Они находятся практически во всех клетках живых организмов и выполняют многочисленные функции: каталитическую, или ферментативную; структурную и строительную; регуляции физиологических процессов; защитную; двигательную; транспортную; токсическую; запасающую; рецепторную; регуляторную; энергетическую.

Нуклеиновые кислоты (НК) вместе с белками называют молекулами– носителями жизни. НК – высокомолекулярные природные соединения, обеспечивающие сохранение и передачу наследственной информации в живых организмах, не исключая и вирусы. Нуклеиновые кислоты обнаруживаются в ядре клетки, митохондриях, хлоропластах, РНК и в цитоплазме. Мономерами нуклеиновых кислот являются нуклеотиды, состоящие из пятиуглеродного сахара (рибозы или дезоксирибозы), остатка фосфорной кислоты и азотистого основания. Рибоза входит в состав рибонуклеиновых кислот, дезоксирибоза – дезоксирибонуклеиновых. Азотистые основания НК отличаются по строению и принадлежат к двум классам: аденин и гуанин – производные пурина, содержат два кольца, цитозин, тимин и урацил – производные пиримидина, содержат одно кольцо. Нуклеотиды содержащие соответствующие основания называются аденозин (А), гуанозин (Г), цитидин (Ц), тимидин (Т) и уридин (У). ДНК и РНК содержат по четыре основания, общими для обеих являются аденин, гуанин и цитозин, 4–е основание для ДНК – тимин, для РНК – урацил. Изучая химический состав ДНК, ученые установили, что число пуриновых оснований всегда равно числу пиримидиновых, а количество аденина равно количеству тимина, так же как количество цитозина – количеству гуанина.

Эта закономерность получила название правила Чаргаффа.

Строение молекулы ДНК было расшифровано американским биохимиком Дж. Уотсоном и английским физиком Ф. Криком, за что они и были удостоены в 1962 г. Нобелевской премии. Существуют пары между основаниями:

1) всегда пуриновое основание одной цепи связано с пиримидиновым другой;
2) образуются лишь строго определенные пары – аденин – тимин (А–Т) и гуанин–цитозин (Г–Ц). В молекуле РНК при транскрипции место тимина занимает урацил. Позднее установили, что при таком объединении размер пар одинаков, а между основаниями возникает максимально возможное число водородных связей. Этот принцип получил название принципа комплементарности, или дополнения. Таким образом, зная последовательность оснований в одной цепи со 100% –ной уверенностью можно назвать состав комплементарной второй цепи.