

Биохимия. Занятие 1.

Тема: Молекулярная организация клетки.

Пригодность органических соединений для выполнения биологических функций.

Тот факт, что живое вещество по элементарному составу резко отличается от литосферы и атмосферы, заставляет предположить, что некоторые химические элементы в большей мере, чем остальные, «пригодны» для построения молекул, входящих в состав живых организмов. Так, из 100 химических элементов, обнаруженных в земной коре, в состав живого вещества входят только 22 (причем лишь 16 из них встречаются во всех классах организмов)¹:

Элементы, входящие в состав органических веществ	Одноатомные ионы	Элементы, обнаруживаемые в следовых количествах	
		Mn	Al
O		Fe	V
C	Na ⁺	Co	Mo
N	K ⁺	Cu	I
H	Mg ²⁺	Zn	Si
P	Ca ²⁺	B	
S	Cl		

¹ Элементы, обозначенные полужирным шрифтом, найдены у всех организмов. Остальные встречаются только у некоторых видов.

Таблица I-1

Относительное содержание некоторых химических элементов в земной коре и в организме человека

В земной коре		В организме человека	
элемент	содержание, ат. %	элемент	содержание, ат. %
O	62,5	H	60,3
Si	21,2	O	25,5
Al	6,47	C	10,5
Na	2,64	N	2,42
Ca	1,94	Na	0,73
Fe	1,92	Ca	0,226
Mg	1,84	P	0,134
P	1,42	S	0,132
C	0,08	K	0,036
N	0,0001	Cl	0,032

Кроме того, соотношение этих химических элементов в живых организмах иное, чем в земной коре. В живых организмах в наибольшем количестве встречаются водород, кислород, углерод и азот; в большинстве клеток они составляют, около 99% их массы. В то же время в земной коре самыми распространенными элементами являются кислород, кремний, алюминий и натрий (табл. I-1). Относительное содержание углерода, водорода и азота в живом веществе гораздо выше, чем в земной коре. Исходя из этого, мы можем предположить, что молекулы, содержащие атомы именно этих элементов, необходимы для реализации тех процессов, которые в совокупности обеспечивают функционирование живого организма. В чем же причина того, что углерод, водород, азот и кислород так поразительно подходят для выполнения биологических функций? Эти четыре элемента обладают одним общим свойством: все они легко образуют ковалентные связи посредством спаривания электронов. Для того чтобы полностью укомплектовать свои внешние электронные оболочки и образовать таким путем стабильные ковалентные связи, водороду требуется один электрон, кислороду — два, азоту — три и углероду — четыре электрона. Эти четыре элемента могут легко реагировать друг с другом, заполняя свои внешние электронные оболочки. Помимо этого три из них (C, N и O) образуют и ординарные и двойные связи—способность, благодаря которой они могут давать самые разнообразные химические соединения. Атомы углерода способны, кроме того,

образовывать тройные связи как с другими углеродными атомами, так и с атомами азота. Однако этот тип связи встречается в природе сравнительно редко.

Углерод, азот, водород и кислород оказались в высшей степени подходящими в биологическом отношении еще и потому, что среди элементов, способных образовывать ковалентные связи, они — самые легкие. Поскольку прочность ковалентной связи обратно пропорциональна атомным весам связанных с ее помощью атомов, возможно, что живые организмы выбрали именно эти элементы из-за их способности формировать прочные ковалентные связи.

Очень важна способность атомов углерода взаимодействовать друг с другом, образуя стабильные ковалентные углерод-углеродные связи. Поскольку атомы углерода могут либо присоединять, либо отдавать четыре электрона для заполнения внешнего октета, каждый углеродный атом может образовывать ковалентные связи с четырьмя атомами углерода. Ковалентно связанные атомы углерода могут образовывать каркасы бесчисленного множества различных органических молекул. Кроме того, поскольку атомы углерода легко образуют ковалентные связи с кислородом, водородом и азотом, а также с серой, в органические молекулы может включаться значительное число различных функциональных групп. Соединениям углерода свойственна еще одна отличительная особенность, которая состоит в способности спаренных электронов образовывать вокруг каждого атома углерода тетраэдрическую конфигурацию, благодаря чему различные типы органических молекул обладают различной трехмерной структурой. Никакой другой химический элемент, кроме углерода, не может создавать стабильные молекулы со столь разнообразными конфигурациями и размерами и с таким разнообразием функциональных групп. Из других элементов только атомы кремния могут соединяться друг с другом ковалентными связями. Но несмотря на то, что кремний значительно более распространен в литосфере, чем углерод, он, очевидно, менее пригоден для живых организмов. Возможно, главная причина этого кроется в том, что в присутствии кислорода связи кремний — кремний нестабильны; в этих условиях образуются силикаты и нерастворимые полимеры двуокиси кремния, например кварц.

Органические соединения углерода, обнаруживаемые в живых организмах, находятся в сильно восстановленной или гидрированной форме, тогда как в земной коре углерод широко представлен такими соединениями, как бикарбонаты или карбонаты. Поскольку атмосфера очень богата кислородом, углерод и водород обычно стремятся окислиться соответственно до двуокиси углерода и воды — соединений стабильных и бедных энергией. В то же время восстановленные органические соединения, входящие в состав живого вещества, обладают более высоким запасом энергии, в связи с чем их построение из CO_2 и воды требует от организма затрат свободной энергии. Очевидно, что соединения углерода особенно хорошо соответствуют требованиям живых организмов, так как последние отобрали их, невзирая на относительную бедность литосферы углеродом и несмотря на тот факт, что восстановление неорганического углерода сопряжено с затратой энергии.

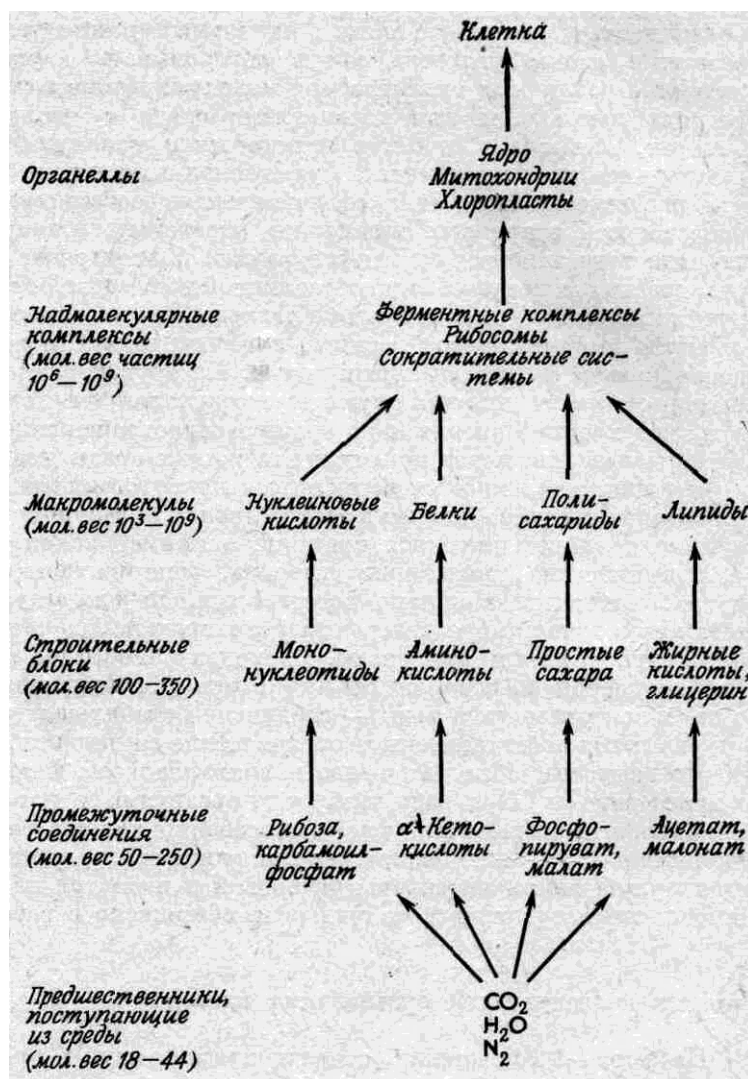
Иерархия молекулярной организации клеток

На фигуре I-1 соединения, содержащиеся в живых организмах, расположены по степени возрастания сложности их молекул. Все органические биомолекулы в конечном счете происходят из очень простых низкомолекулярных *предшественников*, получаемых из внешней среды, а именно из двуокиси углерода, воды и атмосферного азота. Эти предшественники последовательно превращаются через ряд *промежуточных продуктов* метаболизма все большего молекулярного веса в биомолекулы, играющие роль *строительных блоков*, т. е. в органические соединения среднего молекулярного веса. В дальнейшем эти строительные блоки связываются друг с другом ковалентными связями, образуя *макромолекулы*, обладающие уже относительно высоким молекулярным весом.

Например, аминокислоты — это строительные блоки, из которых образуются белки; мононуклеотиды служат строительными блоками нуклеиновых кислот, моносахариды — строительными блоками полисахаридов, а жирные кислоты — строительными блоками большинства липидов.

На следующем, более высоком уровне организации макромолекулы, относящиеся к различным группам, объединяются друг с другом, образуя *надмолекулярные комплексы*, например липопротеиды, представляющие собой комплексы липидов и белков, или рибосомы — комплексы нуклеиновых кислот и белков. Однако на этом этапе проявляется четкое различие в способе сборки компонентов. В надмолекулярных комплексах составляющие их макромолекулы не связываются ковалентно друг с другом. Например, между нуклеиновыми кислотами и белками в рибосомах не образуется ковалентная связь; они «удерживаются вместе»

при помощи слабых нековалентных сил — ионных взаимодействий, водородных связей, гидрофобных взаимодействий и вандерваальсовых сил. Тем не менее нековалентное связывание макромолекул в надмолекулярные комплексы очень специфично и, как правило, весьма стабильно вследствие тщательной геометрической «подгонки» или комплементарности отдельных частей комплекса.



Фиг. I-1. Иерархия молекулярной организации клетки.

Таблица I-2
Молекулярные компоненты клетки *E. coli*

	Содержание, % общего веса	Число молекул каждого вида
Вода	70	
Белки	15	~3000
ДНК	1	1
РНК	6	~1000
Углеводы	3	~50
Жиры	2	~40
Строительные блоки и про- межуточные соединения	2	~500
Неорганические ионы	1	12

имеются достаточно веские причины «предпочтения» нековалентных взаимодействий ковалентным при образовании надмолекулярных комплексов из макромолекулярных компонентов.

На высшем уровне организации в иерархии клеточной структуры различные надмолекулярные комплексы объединяются в *органеллы*, например ядра, * митохондрии, хлоропласты, или в другие тельца и включения — лизосомы, микротельца и вакуоли. Насколько известно, различные компоненты всех этих структур также объединяются в основном при помощи нековалентных взаимодействий.

Распределение четырех основных типов биомacroмолекул в клетках *Escherichia coli* показано в табл. I-2. Ясно, что из всех макромолекул белки встречаются в наибольших количествах, причем это справедливо для всех типов клеток. Фактически все четыре основных типа биологических макромолекул в разных клетках встречаются приблизительно в одних и тех же пропорциях, разумеется, если не считать «неживые» части живых организмов — наружный скелет, минеральные компоненты кости, внеклеточные образования (волосы, перья), а также инертные запасные вещества, например крахмал и жир, содержание которых сильно варьирует у разных организмов.

Функции четырех главных классов биомacroмолекул во всех клетках также оказались идентичными. Универсальная функция нуклеиновых кислот состоит в хранении и передаче генетической информации. Белки являются непосредственными продуктами, а также «реализаторами» действия генов, в которых заключена генетическая информация. Большинство белков наделено специфической каталитической активностью и функционирует в качестве ферментов; остальные белки служат структурными элементами. Вообще при помощи белков, которые по своим свойствам являются наиболее многосторонними из всех биомолекул, осуществляется еще много других биологических функций.

Полисахариды выполняют две основные функции: некоторые из них например крахмал, служат формой, в которой хранится «горючее», необходимое для жизнедеятельности клетки, а другие, например целлюлоза, образуют внеклеточные структурные компоненты. Что касается липидов, то они служат, во-первых, главными структурными компонентами мембран и, во-вторых, запасной формой богатой энергией «горючего».

Между нуклеиновыми кислотами и белками, с одной стороны, и полисахаридами и липидами, с другой, существует фундаментальное различие. Нуклеиновые кислоты и белки являются в силу особенностей своей структуры *информационными макромолекулами*. Каждая молекула нуклеиновой кислоты построена из четырех (или более) типов мононуклеотидов, расположенных в специфической последовательности, несущей определенную информацию. Точно так же каждая белковая молекула представляет собой последовательность приблизительно 20 различных аминокислот, несущую специфическую информацию. Полисахариды никакой информации не несут; они построены либо из совершенно идентичных повторяющихся строительных блоков (например, крахмал представляет собой полимер D-глюкозы), либо из чередующихся блоков двух типов. Липиды не являются информационными молекулами, так как их компоненты—жирные кислоты — построены из повторяющихся идентичных двууглеродных единиц.