

обладают различными функциями — среди них имеются анальгетики, стимуляторы памяти и сна.

К веществам полипептидной природы относится ряд нейротоксинов, содержащихся в ядах змей, скорпионов и т. д. Эти вещества блокируют синаптическую передачу нервного импульса (см. § 11.5).

Табл. 2.3 характеризует разнообразие веществ, функционирующих в бактериальной клетке *Escherichia coli* (кишечной палочке).

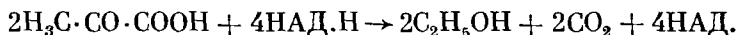
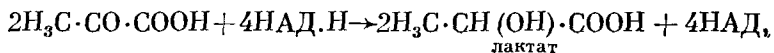
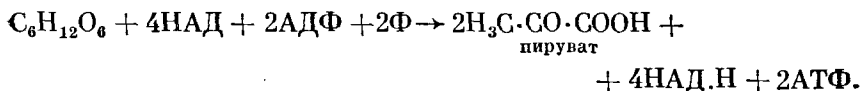
§ 2.10. Основные биохимические процессы

Все кратко охарактеризованные выше вещества участвуют в процессах жизнедеятельности различных организмов, выработанных в ходе биологической эволюции. Большие и малые биологические молекулы обеспечивают биосинтез, метаболизм и биоэнергетику.

Как уже сказано, нуклеиновые кислоты ответственны за биосинтез белков. В этом и состоит их единственная «законодательная» функция. В свою очередь «исполнители» — белки — являются необходимыми участниками всех биохимических процессов в качестве катализаторов — ферментов.

Для реализации биосинтеза и метаболизма необходима энергия, запасаемая в клетках в химической форме, главным образом в экзергонических третей и второй фосфатной связи АТФ. Соответственно метаболические биоэнергетические процессы имеют своим результатом «зарядку аккумулятора» — синтез АТФ из АДФ и неорганического фосфата. Это происходит в процессах дыхания и фотосинтеза. Современные организмы несут память об эволюции, начавшейся около $3,5 \cdot 10^9$ лет назад. Имеются веские основания считать, что жизнь на Земле возникла в отсутствие свободного кислорода (см. § 17.2). Метаболические процессы, протекающие при участии кислорода (прежде всего окислительное фосфорилирование при дыхании), относительно немногочисленны и эволюционно являются более поздними, чем анаэробные процессы. В отсутствие кислорода невозможно полное сгорание (окисление) органических молекул пищевых веществ. Тем не менее, как это показывают свойства ныне существующих анаэробных клеток, и в них необходимая для жизни энергия получается в ходе окислительно-восстановительных процессов. В аэробных системах конечным акцептором (т. е. окислителем) водорода служит O_2 , в анаэробных — другие вещества. Окисление без O_2 реализуется в двух путях брожения — в гликолизе и в спиртовом брожении. Гликолиз состоит в многостадийном расщеплении гексоз (например, глюкозы) вплоть до двух молекул пирувата (пировиноградной кислоты), содержащих по три атома углерода. На этом пути две молекулы НАД восстанавливаются до НАД.Н и две молекулы АДФ фосфорилируются — получаются две молекулы АТФ. Вследствие обратной реакции

НАД.Н → НАД + Н из пирувата получается лактат (молочная кислота). При спиртовом брожении из пирувата получается этиловый спирт. Побутно выделяется СО₂. Суммарные реакции:



Побочной стадией гликолитического и спиртового брожения является так называемый пентозофосфатный путь, на котором происходит расщепление воды и также выделение СО₂.

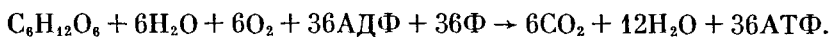
Благодаря присутствию во внешней среде СО₂ оказался возможным фотосинтез. Бактериальный фотосинтез, а затем и фотосинтез зеленых растений развивались примерно 3—2 · 10⁹ лет назад. Фотосинтез состоит в поглощении света и преобразовании его энергии в химическую энергию биологических молекул. Для этого потребовались поглощающие свет соединения, в частности, содержащие порфириновые циклы — хлорофилл и цитохромы. В результате поглощения квантов света в хлорофилле электроны системы переходят на более высокие уровни энергии. Далее работает цепь переноса электронов, главными участниками которой являются окислительно-восстановительные ферменты — цитохромы. Запасенная первоначально в хлорофилле энергия выделяется в биологически полезной форме — в АТФ и НАДФ. Происходит фотофосфорилирование.

По-видимому, на более поздней стадии эволюции возникло фотосинтетическое восстановление СО₂ до углеводов. При этом источником Н у прокариот (бактериальный фотосинтез) служат разные молекулы, а у зеленых растений Н₂О. В окружающую среду выделяется кислород. Его накопление в атмосфере является результатом фотосинтеза. Суммарная реакция:



Примерно 1,5—2 · 10⁹ лет назад парциальное давление О₂ в атмосфере достигло 0,02—0,20% современного уровня. При этом начал возникать аэробный метаболизм, дыхание. При клеточном дыхании происходит ряд взаимосвязанных процессов синтеза биологических молекул, необходимых для жизни, и «зарядка» АТФ (окислительное фосфорилирование). Молекулы пищевых веществ «сгорают», окисляются до СО₂ и Н₂О, причем О₂ служит конечным акцептором водорода. Освобождение химической энергии из пищи происходит, грубо говоря, в трех фазах. Первая состоит в расщеплении макромолекул и молекул жиров. Из белков получают аминокислоты, из углеводов (крахмал, гликоген) — глюкозы, из жиров — глицерин и жирные кислоты. Из этих веществ

во второй стадии образуются ацетилкофермент А (с. 42), α -кетоглутарат и оксалоацетат. В третьей фазе реализуется *цикл Кребса*, представленный на с. 424. Цикл Кребса начинается реакцией оксалоацетата с ацетил-КоА и тот же оксалоацетат регенерируется при обороте по циклу. Определенные реакции цикла, выполняющего каталитическую функцию, сопровождаются переносом атомов Н на НАД или флавопротеид. На каждые два электрона, перенесенные с НАД·Н на O_2 , синтезируются три молекулы АТФ (*окислительное фосфорилирование*). Этот перенос электронов осуществляется в дыхательной цепи. При переходе от первой фазы ко второй выделяется CO_2 , при переносе электронов с НАД·Н на O_2 образуется H_2O . Общий баланс процесса аэробного дыхания



Дыхание много эффективнее гликолиза. При гликолизе изменение свободной энергии на моль глюкозы составляет — 197 кДж, при дыхании — 2880 кДж.

Сложные процессы метаболизма, запасаения и расходования энергии пространственно локализованы в клетках. Дыхание реализуется в мембранах митохондрий, фотосинтез — в мембранах хлоропластов. Биохимические процессы эволюционно адаптированы. Так, у животных пустынь и у птиц главным источником метаболической энергии является жир, а не гликоген. В пустыне надо обеспечивать не только максимальный выход энергии, но и максимум образования воды — при окислении жира производится вдвое больше воды, чем при окислении гликогена. Для птиц существенна меньшая масса жира. Масса гликогена и связанной с ним воды в 8 раз больше, чем масса жира, дающая при окислении то же количество энергии.

Подробное рассмотрение и схемы всех метаболических путей содержатся в руководствах по биохимии. Мы вернемся к дыханию и фотосинтезу в гл. 13, посвященной биоэнергетике, и в гл. 14, посвященной фотобиологическим процессам.

§ 2.11. Сильные и слабые взаимодействия

Взаимодействия атомов в биологических молекулах, равно как и в молекулах синтетических органических соединений, — это прежде всего химические ковалентные связи, которые мы назовем сильными. Энергия, необходимая для разрыва С—С-связи, равна 348,6 кДж/моль, энергия С—N-связи 336 кДж/моль и т. д. Сильные взаимодействия определяют цепное строение биополимеров, соединение друг с другом соответствующих мономеров — аминокислотных остатков, нуклеотидов, гексоз. Сильные связи образуются внешними электронами атомов; теория ковалентных связей может быть основана только на квантовой механике. Соответствующая область физики или теоретической химии именуется *квантовой химией*.