

Бактерии

Распространены повсеместно: в воде, почве, воздухе, живых организмах. Они обнаруживаются как в самых глубоких океанических впадинах, так и на высочайшей горной вершине Земли — Эвересте, как во льдах Арктики и Антарктиды, так и в горячих источниках. В почве они проникают на глубину 4 и более км, споры бактерий в атмосфере встречаются на высоте до 20 км, гидросфера вообще не имеет границ обитания этих организмов. Бактерии способны поселяться практически на любом как органическом, так и неорганическом субстрате.

Несмотря на простоту строения, они обладают высокой степенью приспособленности к самым разнообразным условиям среды. Это возможно благодаря способности бактерий к быстрой смене поколений. При резкой смене условий существования среди бактерий быстро появляются мутантные формы, способные существовать в новых условиях среды.

1. Морфология бактерий

Все бактерии — исключительно одноклеточные организмы. Некоторые способны образовывать колонии.

Размер и форма Размеры их клеток колеблются в пределах от 1 до 15 мкм. По форме клеток различают (рис. 91):

- Шаровидные — кокки:
 - *микрোকки* — делятся в разных плоскостях, лежат одиночно;
 - *диплококки* — делятся в одной плоскости, образуют пары;
 - *тетракокки* — делятся в двух плоскостях, образуют тетрады;
 - *стрептококки* — делятся в одной плоскости, образуют цепочки;
 - *стафилококки* — делятся в разных плоскостях, образуют скопления, напоминающие грозди винограда;
 - *сарцины* — делятся в трех плоскостях, образуют пакеты по 8 особей.
- Вытянутые — палочки:
 - *бациллы* (палочковидные) — делятся в разных плоскостях, лежат одиночно;
- Извитые:
 - *вибрионы* — в виде запятой;
 - *спириллы* — имеют от 4 до 6 витков;
 - *спирохеты* — длинные и тонкие извитые формы с числом витков от 6 до 15.

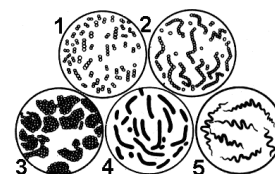


Рис. 91. Форма и взаимное расположение бактерий:

1 — палочек; 2, 3, 4 — кокков; 5 — спирилл.

Помимо основных, в природе встречаются и другие, весьма разнообразные, формы бактериальных клеток.

Среди структур бактериальных клеток различают:

- *основные структуры* — клеточную стенку, цитоплазматическую мембрану, цитоплазму с различными цитоплазматическими включениями и нуклеоид;
- *временные структуры* (имеются лишь на определенных этапах жизненного цикла) — капсула, жгутики, фимбрии, у некоторых — эндоспоры (рис. 92).

Капсула У многих бактерий поверх клеточной стенки располагается слизистый матрикс — капсула. Капсулы образованы полисахаридами. Иногда в состав капсулы входят полипептиды. Как правило, капсула выполняет защитную функцию, предохраняя клетку от действия неблагоприятных факторов среды. Кроме того, она может способствовать прикреплению к субстрату и участвовать в передвижении.

Клеточная стенка Бактериальная клетка заключена в плотную, жесткую клеточную стенку, на долю которой приходится от 5 до 50% сухой массы клетки.

Клеточная стенка выполняет роль наружного барьера клетки, устанавливающего контакт микроорганизма со средой.

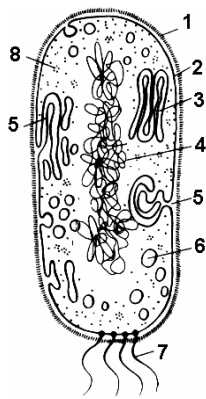
Основным компонентом клеточной стенки бактерий является полисахарида — муреин. По содержанию муреина все бактерии подразделяются на две группы: грамположительные и грамтрицательные¹.

Известны также и формы, не имеющие клеточной стенки — микоплазмы.

Цитоплазматическая мембрана и ее производные

Цитоплазма клеток микроорганизмов отделена от клеточной стенки цитоплазматической мембраной. Она является основным полифункциональным элементом клетки.

¹ В 1884 г. Х. Грам предложил метод окрашивания бактерий, основанный на различной способности микроорганизмов удерживать красители в клетках. Клетки, способные удерживать краситель называют грамположительными, не способные — грамтрицательными.



Цитоплазматическая мембрана регулирует поступление питательных веществ в клетку и выход продуктов метаболизма наружу, принимает участие в метаболизме клеток. Имеет типичное строение: бимолекулярный слой фосфолипидов с встроенными белками. Белки мембраны в основном представлены структурными белками, обладающими ферментативной активностью. Обычно темпы роста цитоплазматической мембраны опережают темпы роста клеточной стенки. Это приводит к тому, что мембрана часто образует многочисленные инвагинации (впячивания) различной формы — *мезосомы*.

Рис. 92. Строение бактериальной клетки:

1 — клеточная стенка; 2 — наружная цитоплазматическая мембрана; 3 — хлоросома; 4 — нуклеоид; 5 — мезосома; 6 — вакуоли; 7 — жгутики; 8 — рибосомы.

Мезосомы различаются формой, размерами, локализацией в клетке. Наиболее просто устроенные имеют вид везикул (пузырьков), более сложные имеют пластинчатое и трубчатое строение. Предполагают, что мезосомы принимают участие в формировании поперечной перегородки при делении клетки. Мезосомы, связанные с нуклеоидом, играют определенную роль в репликации ДНК и последующем расхождении хромосом. Возможно, мезосомы обеспечивают разделение клетки на отдельные обособленные отсеки, создавая тем самым благоприятные условия для протекания ферментативных процессов.

В клетках фотосинтезирующих бактерий имеются внутрицитоплазматические мембранные образования — *хроматофоры*, обеспечивающие протекание бактериального фотосинтеза.

Цитоплазма и цитоплазматические включения

Цитоплазма представляет собой внутреннее содержимое клетки. В цитоплазме различают:

■ **цитозоль** — густую гомогенную часть, содержащую растворимые компоненты РНК, белки, вещества субстрата и продукты метаболизма;

■ **структурные элементы**: рибосомы, внутрицитоплазматические включения и нуклеоид.

Рибосомы свободно лежат в цитоплазме и не связаны с мембранами (как у эукариот). Для бактерий характерны 70S-рибосомы, образованные двумя субъединицами: 30S и 50S. Рибосомы бактериальных клеток собраны в полисомы, образованные десятками рибосом.

Цитоплазматические включения Бактериальные клетки могут иметь разнообразные цитоплазматические включения — газовые вакуоли, пузырьки, содержащие бактериохлорофилл, полисахариды, отложения серы и другие.

Нуклеоид Бактерии не имеют структурно оформленного ядра. Генетический аппарат бактерий называют *нуклеоидом*. Он представляет собой молекулу ДНК, сосредоточенную в ограниченном пространстве цитоплазмы.

Молекула ДНК имеет типичное строение. Она состоит из двух полинуклеотидных цепей, образующих двойную спираль. В отличие от эукариот, ДНК имеет кольцевую структуру, а не линейную. Молекулу ДНК бактерий отождествляют с одной хромосомой эукариот. Но если у эукариот в хромосомах ДНК связана с белками, то у бактерий ДНК комплексов с белками не образует.

ДНК бактерий закреплена на цитоплазматической мембране в области мезосомы.

Клетки многих бактерий имеют нехромосомные генетические элементы — *плазмиды*. Они представляют собой небольшие кольцевые молекулы ДНК, способные реплицироваться независимо от хромосомной ДНК. Среди них различают *F-фактор* — плазмиду, контролирующую половой процесс.

Жгутики Среди бактерий имеется много подвижных форм. Основную роль в передвижении играют жгутики.

Жгутики бактерий только внешне похожи на жгутики эукариот, строение же их иное. Они имеют меньший диаметр и не окружены цитоплазматической мембраной. Нить жгутика состоит из 3-11 винтообразно скрученных фибрилл, образованных белком флагеллином. У основания располагается крюк и парные диски, соединяющие нить с цитоплазматической мембраной и клеточной стенкой. Двигаются жгутики, вращаясь в мембране. Жгутики вызывают вращательное движение клеток бактерий по часовой стрелке, и они как бы ввинчиваются в среду. Жгут может менять направление движения. При этом бактерия останавливается и начинает кувыряться. Число и расположение жгутиков на поверхности клетки может быть различно.

Фимбрии *Фимбрии* — это тонкие нитевидные структуры на поверхности бактериальных клеток, представляющие собой короткие прямые полые цилиндры, образованные белком пилином.

Благодаря фимбриям, бактерии могут прикрепляться к субстрату или сцепляться друг с другом. Особые фимбрии — *половые фимбрии*, или *F-пили* — обеспечивают обмен генетического материала между клетками.

Эндоспоры При наступлении неблагоприятных условий, у некоторых бактерий происходит образование эндоспор (рис. 93). При этом клетка обезвоживается, нуклеоид сосредотачивается в спо-

рогенной зоне, цитоплазматическая мембрана образует впячивание, отделяющее спорогенную зону, а затем полностью окружает ее, отделяя от остального содержимого клетки. Образуются защитные оболочки, предохраняющие споры бактерий от действия неблагоприятных условий (споры многих бактерий выдерживают нагревание до 130°C, сохраняют жизнеспособность десятки лет). При наступлении прорастает, и образуется вегетативная клетка.

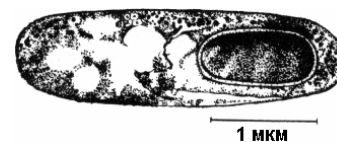


Рис. 93. Почти зрелый эндоспора в бактериальной клетке.

2. Физиология бактерий

Питание бактерий

Вместе с пищей бактерии, как и другие организмы, получают энергию для процессов жизнедеятельности и строительный материал для синтеза клеточных структур. Среди бактерий различают:

- Гетеротрофов, потребляющих готовое органическое вещество. Они могут быть:
 - *сапротрофами*, то есть питаться мертвым органическим веществом;
 - *паразитами*, то есть потреблять органическое вещество живых растений и животных.
- Автотрофов, способных синтезировать органические вещества из неорганических. Среди них различают:
 - *фотосинтетиков*, осуществляющих процессы синтеза за счет энергии солнечного света с помощью бактериохлорофилла;
 - *хемосинтетиков*, синтезирующих органические вещества за счет химической энергии окисления серы, сероводорода, аммиака и т.д.

Среди прокариот есть группа микроорганизмов, способных, в отличие от эукариот, в процессе катаболизма осуществлять окисление неорганических веществ. К ним относятся нитрифицирующие бактерии, железобактерии, водородные бактерии и т.д.

Фотосинтез Небольшая группа автотрофных бактерий способна осуществлять фотосинтетическое фосфорилирование. К ним относятся цианобактерии, зеленые и серные пурпурные бактерии. Фотосинтез цианобактерий сходен с фотосинтезом растений и сопровождается выделением кислорода. Зеленые и пурпурные бактерии в качестве донора электронов используют сероводород, серу, сульфат, молекулярный водород и т.д., но не воду. Поэтому в данном случае молекулярного кислорода не образуется.

Размножение бактерий Бактерии способны к интенсивному размножению. Некоторые бактерии при благоприятных условиях способны делиться каждые 20 минут.

Бесполое размножение Бесполое размножение является основным способом размножения бактерий. Оно может осуществляться путем бинарного деления и почкования.

Бинарное деление Большинство бактерий размножается путем бинарного равновеликого поперечного деления клеток. При этом образуются две одинаковые дочерние клетки.

Перед делением происходит репликация ДНК.

Деление может происходить в одной или нескольких плоскостях. Если после деления дочерние клетки не расходятся, то в первом случае происходит образование цепочек разной длины, а во втором — групп клеток разнообразной формы.

Почкование Некоторые бактерии размножаются путем почкования. При этом на одном из полюсов материнской клетки образуется короткий вырост — *гифа*, на конце которого формируется почка, в нее переходит один из поделившихся нуклеоидов. Почка разрастается, превращаясь в дочернюю клетку, и отделяется от материнской в результате формирования перегородки между почкой и гифой.

Почкование бактерий можно рассматривать как один из вариантов бинарного деления клетки — неравновеликого.

Половой процесс, или генетическая рекомбинация

Можно говорить о том, что у бактерий наблюдается и половой процесс. Гаметы у бактерий не образуются, слияния клеток нет, но происходит главнейшее событие полового процесса — обмен генетической информацией. Этот процесс называют *генетической рекомбинацией*. Часть ДНК (реже вся) клеткой-донором передает клетке-реципиенту и замещает часть ДНК клетки-реципиента. Образовавшуюся ДНК называют *рекомбинантной*. Она содержит гены обеих родительских клеток.

Различают три способа передачи генетической информации:

- конъюгация;
- трансдукция.
- трансформация;

Конъюгация *Конъюгация* — это прямая передача участка ДНК от одной клетки другой во время непосредственного контакта клеток друг с другом (рис. 94). Передача генетической информации возможна благодаря образованию клеткой-донором особых структур, называемых F-пилями, или половыми фимбриями. Их образование контролируется особой плазмидой — *F-фактором* (поло-

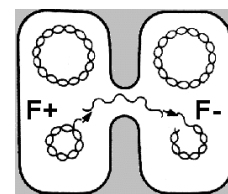


Рис. 94. Конъюгация у бактерий.

вым фактором). Плазида кодирует специфические белки фимбрий. F-пили образуются очень быстро, в течение 4-5 минут. Конец половой фимбрии клетки-донора прикрепляется к белку наружной мембраны клетки-реципиента и через канал F-пили ДНК клетки-донора переходит в клетку-реципиента. После завершения конъюгации половые пили быстро сбрасываются клеткой.

Во время конъюгации ДНК передается только в одном направлении (от донора к реципиенту), обратной передачи нет.

Трансдукция *Трансдукция* — это перенос фрагмента ДНК от одной бактерии к другой с помощью бактериофага.

После заражения бактерии ДНК бактериофага встраивается в ДНК бактерии и реплицируется вместе с ней. При образовании новых вирусных частиц ДНК фага высвобождается. При этом она может захватить с собой часть генетического материала бактерии. Во время заражения новых клеток таким вирусом в ДНК бактерии встраивается не только вирусная ДНК, но и часть генетического материала другой бактериальной клетки.

Трансформация *Трансформация* — это передача генетической информации без непосредственного контакта клеток. Клетка-реципиент активно поглощает генетическую информацию погибших бактерий.

3. Значение бактерий

Бактерии играют огромное значение и в биосфере, и в жизни человека. Бактерии принимают участие во многих биологических процессах, особенно в круговороте веществ в природе. Значение для биосферы:

- Гнилостные бактерии разрушают азотсодержащие органические соединения неживых организмов, превращая их в перегной.
- Минерализующие бактерии разлагают сложные органические соединения перегноя до простых неорганических веществ, делая их доступными для растений.
- Многие бактерии могут фиксировать атмосферный азот. Причем, *азотобактер*, свободноживущий в почве, фиксирует азот независимо от растений, а *клубеньковые бактерии* проявляют свою активность только в симбиозе с корнями высших растений (преимущественно бобовых), благодаря этим бактериям почва обогащается азотом и повышается урожайность растений.
- Симбиотические бактерии кишечника животных (прежде всего, травоядных) и человека обеспечивают усвоение клетчатки.
- Бактерии являются не только редуцентами, но и продуцентами (создателями) органического вещества, которое может быть использовано другими организмами. Соединения, образующиеся в результате деятельности бактерий одного типа, могут служить источником энергии для бактерий другого типа.
- Помимо углекислого газа, при разложении органического вещества в атмосферу попадают и другие газы: H_2 , H_2S , CH_4 и др. Таким образом, бактерии регулируют газовый состав атмосферы.
- Существенную роль играют бактерии и в процессах почвообразования (разрушение минералов почвообразующих пород, образование гумуса).

Некоторые вещества, образующиеся в процессе жизнедеятельности бактерий, важны и для человека.

Значение их в следующем:

- деятельность бактерий используется для получения молочнокислых продуктов, для квашения капусты, силосования кормов;
- для получения органических кислот, спиртов, ацетона, ферментативных препаратов;
- в настоящее время бактерии активно используются в качестве продуцентов многих биологически активных веществ (антибиотиков, аминокислот, витаминов и др.), используемых в медицине, ветеринарии и животноводстве;
- благодаря методам генетической инженерии, с помощью бактерий получают такие необходимые вещества, как человеческий инсулин и интерферон;
- без участия бактерий невозможны процессы, происходящие при сушке табачных листьев, приготовлении кожи для дубления, мацерации волокон льна и пеньки;
- человек использует бактерии и для очистки сточных вод.

Отрицательную роль играют патогенные бактерии, вызывающие заболевания растений, животных и человека.

Многие бактерии вызывают порчу продуктов, выделяя при этом токсичные вещества.