КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ
ФАКУЛЬТЕТ БИОЛОГИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ
КАФЕДРА БИОТЕХНОЛОГИИ

Лекция 6. Краткий конспект
Тема: Морфологические особенности прокариот, способствующие их распространению и выживанию

Цель: определить и объяснить ключевые морфологические особенности прокариотов, которые способствуют их выживанию и распространению в разных условиях среды

Основные вопросы:
-Взаимодействие бактериальной клетки с окружающей средой
-Капсула прокариот и её значение
-Клеточная стенка бактерий и окраска по Граму: строение и функции
-Грамположительные бактерии
-Грамотрицательные бактерии
-Цитоплазма и её компоненты
-Нуклеоид, плазмиды и генетический материал бактерии
-Общая схема строения и функций бактериальной клетки

Краткие тезисы:

Все живые клетки, включая бактерии, обеспечивают поступление питательных веществ, поиск подходящих экологических ниш и защиту от неблагоприятных факторов.

У прокариот эти взаимодействия особенно важны: они не имеют сложных органелл, и их выживание зависит от способности быстро адаптироваться.

На поверхности клетки расположены молекулы, принимающие сигналы из внешней среды и запускающие клеточные реакции: движение, прикрепление, формирование биоплёнок, транспорт веществ, защита.

Капсула - вязкий слой толщиной ~0,2 мкм, прочно связанный с клеточной стенкой; при слишком толстой - называют слизью.

По химическому составу: ~98 % воды и ~2 % органических веществ (полисахариды, гликопротеины, полипептиды).

Состав капсулы различается у разных бактерий (например, у *Klebsiella pneumoniae* - глюкоза, галактоза, рамноза; у *Bacillus anthracis* - полимер D-глутаминовой кислоты).

Клеточная стенка бактерий обеспечивает форму и прочность клетки, защищает от осмотического лизиса, механических повреждений и участвует в обмене веществ и в патогенности (состав стенки может вызывать воспалительные реакции, участвовать в адгезии).

Цитоплазма - внутренняя коллоидная среда клетки: вода + растворённые белки, РНК, ионы, ферменты, запасные вещества.

При разрушении стенки клетка теряет жёсткость и становится сферической (протопласт у грамположительных, сферопласт у грамотрицательных).

Генетический материал бактерий расположен в нуклеоиде: кольцевая двунитевая ДНК без оболочки, ядрышка, гистонов.

Длина ДНК значительно превышает размеры клетки, но упакована с помощью белков и суперспиральной структуры.

Помимо основной хромосомы, могут присутствовать плазмиды - дополнительные кольцевые молекулы ДНК, не несущие жизненно необходимых генов, но содержащие важные функции (устойчивость к антибиотикам, токсины, факторы конъюгации).

Бактериальная клетка - высокоорганизованная система: капсула (защита, адгезия, вирулентность), клеточная стенка (форма, прочность, барьер), цитоплазма (метаболизм, белковый синтез), нуклеоид (управление жизнедеятельностью).

Все живые клетки взаимодействуют с окружающей средой, обеспечивая поступление питательных веществ, поиск экологических ниш для роста и защиту от неблагоприятных факторов, включая вирусы и хищников. У прокариот эти взаимодействия особенно важны, так как их выживание полностью зависит от способности адаптироваться и быстро реагировать на изменения внешней среды. Основную роль в этом играют молекулы, расположенные на поверхности клетки. Именно они воспринимают сигналы из окружающей среды и обеспечивают соответствующие клеточные реакции. Эти молекулы позволяют бактериям двигаться, прикрепляться к поверхностям, образовывать биоплёнки, регулировать транспорт веществ и защищаться от угроз.

Капсула прокариот и её значение

Одной из важнейших структур бактериальной клетки является **капсула**. Она представляет собой вязкий слой толщиной около 0,2 мкм, прочно связанный с клеточной стенкой. Если этот слой слишком толстый, его называют слизью. У некоторых бактерий капсула может быть легко удалена при промывке или субкультивировании, что говорит о её слабой связи со стенкой.

По химическому составу капсула состоит примерно на 98% из воды и на 2% из органических веществ - полисахаридов, гликопротеинов, полипептидов или их сочетания. У различных видов бактерий состав капсулы отличается: у уксуснокислых бактерий она состоит из гомополисахарида (гемицеллюлозы), у лейконостоков - из целлюлозы, содержащей глюкозу или фруктозу; у *Klebsiella pneumoniae* - из глюкозы, галактозы и рамнозы, у *Bacillus anthracis* - из полимера D-глутаминовой кислоты, а у стрептококков - из полимеров L-аминокислот.

Капсула выполняет множество жизненно важных функций. Прежде всего, она защищает клетку от высыхания, удерживая большое количество воды. Она также служит барьером против механических повреждений и колебаний температуры. Важной функцией капсулы является участие в прикреплении бактерий к поверхностям. Например, стрептококки, вызывающие кариес, с помощью капсулы прочно удерживаются на поверхности зубов. Кроме того, капсула препятствует фагоцитозу - поглощению бактериальных клеток лейкоцитами, что делает её важнейшим фактором вирулентности. Она также мешает бактериофагам прикрепляться к поверхности клетки, служит дополнительным источником питания при недостатке веществ и способствует взаимному отталкиванию бактерий одинакового заряда, предотвращая их скопление. Капсула хорошо визуализируется методом негативного окрашивания и нередко используется для идентификации возбудителей заболеваний.

Клеточная стенка и окраска по Граму

Клеточная стенка бактерий - это жёсткая структура, обеспечивающая прочность, форму и защиту клетки. В 1884 году датский микробиолог Ханс Грам разработал метод дифференциального окрашивания, который позволил разделить бактерии на две большие группы: грамположительные и грамотрицательные.

Различие между ними связано с особенностями строения клеточной стенки, прежде всего с количеством пептидогликана и присутствием специфических компонентов, таких как тейхоевые кислоты или липополисахариды.

Грамположительные бактерии

У грамположительных бактерий клеточная стенка толстая - её толщина достигает 15-80 нм. Она состоит преимущественно из многослойного пептидогликана, который составляет от 60 до 90% массы стенки. Кроме того, в неё входят белки (около 1%) и липиды. Характерной особенностью грамположительных бактерий является наличие **тейхоевых кислот**, ковалентно связанных с пептидогликаном. Эти кислоты представляют собой полимеры полирибитолфосфата или полиглицеринфосфата и могут содержать боковые цепи, включающие сахара или аминокислоты. Различают два типа таких соединений - **тейхоевые** и **липотейхоевые кислоты**, последние связаны с цитоплазматической мембраной.

Функции тейхоевых кислот весьма разнообразны. Они обеспечивают гибкость клеточной стенки и играют роль в регуляции транспорта ионов, поскольку их отрицательный заряд притягивает катионы, такие как кальций и калий. Эти кислоты также участвуют в росте клеток, облегчая разрыв β-связей между компонентами пептидогликана и тем самым способствуя обновлению клеточной оболочки. Кроме того, тейхоевые кислоты выполняют антигенную функцию, помогая различать виды грамположительных бактерий, и могут служить рецепторами для некоторых бактериофагов. Они также усиливают патогенные свойства бактерий, повышая их адгезию к эпителиальным поверхностям и устойчивость к действию β-лактамных антибиотиков.

Грамотрицательные бактерии

Клеточная стенка грамотрицательных бактерий более сложна по строению, но значительно тоньше. Она включает три слоя: внутреннюю цитоплазматическую мембрану, тонкий слой пептидогликана и внешнюю мембрану. Между этими слоями располагается **периплазматическое пространство**, содержащее ферменты и транспортные белки. В отличие от грамположительных бактерий, у грамотрицательных пептидные цепи в пептидогликане сшиты слабее, что придаёт стенке большую гибкость.

Внешняя мембрана состоит из фосфолипидов на внутренней стороне и липополисахаридов (ЛПС) - на внешней. ЛПС являются важными компонентами, выполняющими защитные и структурные функции. Их липидная часть (липид А) обращена внутрь и формирует гидрофобную область мембраны, тогда как полисахаридная часть направлена наружу и обеспечивает устойчивость клетки к воздействию токсинов и антибиотиков. Липид А обладает токсическими свойствами и действует как **эндотоксин**, вызывая у заражённого организма сильные воспалительные реакции. Кроме того, ЛПС придают поверхности бактерий отрицательный заряд, что стабилизирует мембрану.

Внешняя мембрана содержит также **порины** - белки, образующие каналы для прохождения мелких молекул (например, глюкозы), и специфические транспортные системы для крупных веществ, таких как витамин B_{12}.

Важную роль играют и **липопротеины Брауна**, связывающие пептидогликан с внешней мембраной. Благодаря этим структурам грамотрицательные бактерии обладают высокой устойчивостью к действию антибиотиков, желчных солей и других неблагоприятных факторов.

Функции клеточной стенки

Клеточная стенка выполняет множество функций. Она придаёт клетке форму и прочность, защищает её от осмотического лизиса и механических повреждений, участвует в поддержании внутреннего давления и обмене веществ. Стенка также играет важную роль в патогенности бактерий - некоторые её компоненты (например, тейхоевые кислоты или липополисахариды) способны вызывать воспалительные реакции или усиливать адгезию к клеткам хозяина.

У грамположительных бактерий ферменты и транспортные белки выделяются во внешнюю среду, а у грамотрицательных - концентрируются в периплазматическом пространстве. При разрушении стенки клетка теряет жёсткость и принимает сферическую форму. Такие изменённые клетки называются **протопластами** (у грамположительных) или **сферопластами** (у грамотрицательных). Протопласты имеют только одну мембрану, а сферопласты - две. Эти формы служат моделью для изучения мембранных процессов и устойчивости бактерий.

Цитоплазма и её компоненты

Цитоплазма - это внутренняя коллоидная среда клетки, представляющая собой систему, состоящую из воды, растворённых белков,

РНК, ионов, ферментов и запасных веществ. В ней находятся многочисленные **рибосомы**, не имеющие мембраны. На рибосомах происходит синтез белков - процесс, при котором из аминокислот формируются белковые молекулы по информации, закодированной в матричной РНК.

В цитоплазме содержатся также **включения** - запасные вещества, образующиеся при избытке питательных компонентов в окружающей среде. К ним относятся гранулы полисахаридов (гликогена, крахмала, гранулёзы), жировые включения (поли-β-оксимасляная кислота, нейтральные жиры, воски) и гранулы полифосфатов, называемые **волютином**. Последние служат резервуаром фосфора, необходимого для синтеза АТФ и нуклеиновых кислот. Гранулы волютина легко выявляются специальными методами окраски, например, по Нейссеру, и особенно характерны для возбудителя дифтерии - *Corynebacterium diphtheriae*.

Нуклеоид и плазмиды

Генетический материал бактерий представлен **нуклеоидом**, который выполняет роль ядра, но не имеет оболочки, ядрышка и гистонов. Он состоит из кольцевой двунитевой молекулы ДНК, плотно упакованной в центральной части клетки. Если расправить такую ДНК, её длина может превышать 1 мм, однако в клетке она компактно уложена благодаря особым белкам и суперспиральной структуре. В большинстве бактерий нуклеоид представлен одной хромосомой, хотя могут встречаться и дополнительные кольцевые молекулы - **плазмиды**. Плазмиды не несут жизненно необходимых генов, но содержат важные для выживания элементы - например, гены устойчивости к антибиотикам, токсины или факторы конъюгации, обеспечивающие горизонтальный перенос генетической информации.

Бактериальная клетка - это высокоорганизованная система, каждая структура которой выполняет определённую функцию. Капсула защищает клетку и повышает её вирулентность, клеточная стенка придаёт прочность и форму, а также служит барьером для внешних воздействий. Цитоплазма содержит ферменты и рибосомы, где происходит синтез белков, а нуклеоид управляет всеми процессами жизнедеятельности. Благодаря этим структурам бактерии способны выживать в самых разнообразных условиях, быстро адаптироваться и играть ключевую роль в экосистемах Земли. Понимание их строения и функций имеет огромное значение для медицины, биотехнологии и разработки эффективных методов борьбы с инфекционными заболеваниями.

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1. Что такое капсула бактерии и какова её толщина?
2. В чём различие между слоями клеточной стенки грамположительных и грамотрицательных бактерий?

3. Что такое тейхоевые кислоты и какую функцию они выполняют у грамположительных бактерий?
4. Что такое периплазматическое пространство и какие функции оно выполняет у грамотрицательных бактерий?
5. Что такое нуклеоид, чем он отличается от ядра эукариотической клетки?
6. Что такое плазмиды и какую биологическую значимость они имеют?
7. Почему разрушение клеточной стенки приводит к образованию протопластов или сферопластов?

Рекомендуемый список литературных источников:

1. Чеснокова, М. Г. Биотехнологическая продукция микробного происхождения. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2020.
2. Артюхова, С. И. Биотехнология микроорганизмов: пробиотики, пребиотики, метабиотики. – Кемерово, 2019. – 224 с.
3. Марченко Б.И. Основы микробиологии и биотехнологии: учебное пособие. Ростов-на -Дону. – 2024. – 143 с.

СОСТАВИТЕЛЬ: к.б.н., профессор Игнатова Л.В. Алматы, 2025