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

Лекция 3. Краткий конспект
Тема: Отличительные особенности эукариотической и прокариотической клеток с позиции биотехнологии. Морфологические особенности микроорганизмов.

Цель: сопоставить строение и организацию прокариот и эукариот с точки зрения биотехнологического использования; ввести базовые понятия систематики/таксономии, морфологии и «культивируемости» микробов для корректной идентификации и выбора «клеточной фабрики».

Основные вопросы:

- Прокариоты vs эукариоты: ключевые отличия, влияющие на выбор экспрессионной платформы
- Клеточные оболочки, органеллы, рибосомы, геномная организация, деление и горизонтальный перенос
- Морфологические типы бактерий и грибов: формы клеток, способы расположения, спорообразование, жгутики/реснички, капсулы, биоплёнки
- Систематика, классификация, таксономия, номенклатура и идентификация; иерархия таксонов
- Культивируемые, некультивируемые, «фантомные» и криптические объекты; «парадокс чашки Петри»
- Трёхдоменная система (*Bacteria, Archaea, Eukarya*) и пятицарственная схема: зачем это нужно биотехнологу

Краткие тезисы:

Прокариоты (*Bacteria, Archaea*): отсутствие ядра, геном чаще в виде кольцевой ДНК (нуклеоид), рибосомы 70S, быстрый рост, высокая плотность культур → высокие титры простых продуктов (органические кислоты, ферменты), но ограниченные посттрансляционные модификации.

Эукариоты (дрожжи, микроскопические грибы, водоросли, простейшие): ядро, мембранные органеллы, рибосомы 80S, сложные секреторные пути и PTM (гликозилирование и др.) → подходят для рекомбинантных белков «человеческого типа», но часто медленнее растут.

Морфология бактерий: кокки, бациллы, вибрионы, спириллы, спирохеты; расположения — дипло-, тетракокки, стрепто-, стафилококки, сарцины; структуры — капсулы/EPS, жгутики, пили; эндоспоры у *Bacillus/Clostridium*.

Систематика/таксономия: упорядочивает разнообразие, обеспечивает устойчивые имена (номенклатура) и повторяемую идентификацию.

Штамм - потомки одной колонии; коллекционный штамм - сохраняемый эталон; клон - потомки одной клетки. Внутривидовые различия могут затрагивать антибиотикорезистентность, вирулентность, продуктивность метаболитов.

Некультивируемые и «фантомные» микробы известны по 16S/18S рРНК-секвенсам (методы без культивирования); их доля огромна → источник новых биокатализаторов.

Классификация доменов: разделение *Archaea* и *Bacteria* важно для понимания мембран, стенок и ферментов, применимых в экстремальных процессах.

Признак	**Прокариоты**	**Эукариоты**
Клеточное ядро	Нет	Есть
Мембранные органоиды	Нет. Их функции выполняют впячивания клеточной мембраны, на которых располагаются пигменты и ферменты	Митохондрии, пластиды, лизосомы, ЭПС, комплекс Гольджи
Оболочки клетки	Более сложные, бывают различные капсулы. Клеточная стенка состоит из муреина	Основной компонент клеточной стенки целлюлоза (у растений) или хитин (у грибов). У клеток животных клеточной стенки нет
Генетический материал	Существенно меньше. Представлен нуклеоидом и плазмидами, которые имеют кольцевую форму и находятся в цитоплазме	Объем наследственной информации значительный. Хромосомы (состоят из ДНК и белков). Характерна диплоидность
Происхождение	Из неживой природы в процессе химической и предбиологической эволюции	От прокариот в процессе их биологической эволюции
Деление	Бинарное деление клетки	Есть митоз и мейоз
Многоклеточность	не характерна	Представлены как одноклеточными, так и многоклеточными формами

Рибосомы	Мельче (70 S)	Крупнее (80 S), в митохондриях и пластидах 70 S
Обмен веществ	Более разнообразный (гетеротрофы, фотосинтезирующие и хемосинтезирующие различными способами автотрофы; анаэробное и аэробное дыхание)	Автотрофность только у растений за счет фотосинтеза. Почти все эукариоты аэробы

С точки зрения биотехнологии главное различие между прокариотами и эукариотами заключается не только в наличии или отсутствии ядра, но и в способе организации синтетических и транспортных путей. У прокариот генетический материал представлен нуклеоидом, чаще в виде одной кольцевой хромосомы с возможными плазмидами; транскрипция и трансляция пространственно и временно сопряжены, что обеспечивает быстрый отклик на изменения среды и высокие темпы роста. Рибосомы 70S, пептидогликановая клеточная стенка (у грамположительных - толстая с тейхоевыми кислотами, у грамотрицательных - тонкая плюс внешняя мембрана с липополисахаридом), бактериальные жгутики из флагеллина и пили формируют набор признаков, прямо влияющих на проницаемость, устойчивость к стрессам и способность к адгезии/биоплёнообразованию. Эти особенности делают прокариот удобными «быстрыми фабриками» для получения органических кислот, ферментов и простых метаболитов: они легко переносят плазмидные конструкции, допускают тонкую регуляцию промоторами и оперонами, а высокая удельная скорость роста позволяет быстро наращивать биомассу. Ограничением выступает узкий репертуар посттрансляционных модификаций и секреторных маршрутов: сложные гликопротеины и «человеческие» PTM в прокариотической системе воспроизвести трудно, а внешняя мембрана грамотрицательных препятствует выходу белков и усложняет очистку.

Эукариотическая клетка - дрожжи, микроскопические грибы, водоросли, простейшие — характеризуется отделённой транскрипцией и трансляцией (ядро и цитоплазма), наличием эндоплазматического ретикулума и аппарата Гольджи, обеспечивающих процессинг и сортировку секретируемых белков. Рибосомы 80S, линейные хромосомы и развитые механизмы экспрессии позволяют получать белки со «сродными» человеку модификациями, а клеточная стенка эукариотических микробов (например, хитиново-β-глюкановая у грибов или целлюлозная у многих водорослей) задаёт иную механику лизиса и экстракции. При выборе платформы инженер исходит из цели: для простых молекул и ферментов рациональнее

прокариоты, для антителоподобных и гликозилированных белков — дрожжи или нитчатые грибы; компромисс между скоростью, стоимостью и «качеством» продукта задаёт конфигурацию процесса.

Морфологические особенности микроорганизмов остаются фундаментом первичной диагностики и прогноза технологического поведения. Форма и способ расположения клеток у бактерий — кокки (дипло-, тетра-, стрепто-, стафило- и сарцины), бациллы, вибрионы, спириллы, спирохеты, а также нитчатые и ветвящиеся формы — в сочетании с типом стенки (грамположительные, грамотрицательные, кислотоустойчивые) и поверхностными структурами (капсула/слизистая оболочка, экзополисахариды, пили, жгутики) определяют адгезию к носителям, склонность к биоплёнообразованию и реологию культуральной жидкости. У бактерий спорообразование (эндоспоры у *Bacillus* и *Clostridium*) обеспечивает исключительную устойчивость к нагреванию, высушиванию и дезинфектантам, что с одной стороны полезно для формулирования биопрепаратов, а с другой требует более жёстких стерилизационных режимов. У грибов споры иного происхождения (конидии, спорангиоспоры) играют ключевую роль в распространении и технологической загрязняемости; дрожжи как безмицелиальные грибы обладают иными кинетическими профилями роста и секреции.

Чтобы упорядочить разнообразие, систематика описывает микроорганизмы, выясняет степень родства между ними и распределяет по соподчинённым группам; её практическая цель - создать классификацию. Таксономия как раздел систематики изучает принципы и методы ранжирования организмов по сходству (классификация), закрепляет устойчивые наименования таксонов (номенклатура, где действует принцип приоритета правильного имени) и обеспечивает процедуры идентификации - отнесения неизвестного изолята к одному из ранее охарактеризованных таксонов. Иерархия традиционно записывается как: вид ⊂ род ⊂ семейство ⊂ порядок ⊂ класс ⊂ отдел (phylum) ⊂ царство (kingdom). Для согласованности используются коды номенклатуры: ICNP (прокариоты), ICN (водоросли, грибы и растения), ICTV (вирусы). Современная классификация комбинирует фенотипические признаки с генотипическими и филогенетическими критериями (последовательности 16S/18S рРНК, конкатенированные маркёры, средняя нуклеотидная идентичность геномов), стремясь отразить естественные эволюционные отношения.

Ключевым шагом стало выделение трёх доменов жизни - *Bacteria, Archaea* и *Eukarya*, - основанное на сравнении рРНК. Для практики это не формальность: археи отличаются составом мембран (эфирные липиды глицерол-изопреноидного типа), структурой клеточных оболочек (псевдомуреин, S-слой), набором ферментов и устойчивостью к

экстремальным условиям (высокая солёность, температура, кислотность), что расширяет технологические окна процессов и спектр биокатализаторов. Параллельно в учебной и справочной литературе сохраняется пятицарственная схема, однако для инженерных решений доменная рамка удобнее, поскольку лучше предсказывает свойства клеточных «аппаратов».

Понятия «вид», «штамм», «коллекционный штамм» и «клон» необходимы для воспроизводимости. Вид - базовая таксономическая единица; штамм - потомки одной колонии, выделенной из конкретной пробы, различия между штаммами не выходят за пределы вида, но могут затрагивать антибиотикорезистентность, вирулентность или продуктивность метаболитов; коллекционный штамм - депонированный эталон, к которому можно вернуться для верификации результатов; клон — потомки одной клетки, полученные неполовым путём, обеспечивающие максимальную генетическую однородность. В прикладных задачах это непосредственно связано с стабильностью экспрессии, повторяемостью партий и регуляторными требованиям к исходным культурам.

Наконец, важно различать культивируемые, некультивируемые, «фантомные» и криптические объекты. Культивируемые организмы растут в виде чистых культур в контролируемых условиях на питательных средах. Некультивируемые (пока) видны микроскопически в природных образцах, в том числе по окраскам «живые/мёртвые», но не удаются в росте на стандартных средах. «Фантомные» известны исключительно по уникальным последовательностям генов рРНК, выявляемым ПЦР, секвенированием и сравнением с базами данных, при этом морфология в природных образцах не наблюдается; именно такие операционные таксоны заполняют филогенетические деревья метабаркодинга. Криптические таксоны представляют собой «предсказанные» фенотипы на основе геномных данных и гомологий; культура и полноценное описание ещё отсутствуют. Эта картина подводит к «парадоксу чашки Петри»: абсолютное большинство микробного разнообразия, наблюдаемого in situ, не растёт на наших средах, что требует имитации естественных ниш, ко-культур, использования низкопитательных субстратов, микрофлюидики и молекулярных методов *in situ*-детекции.

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1. Какие свойства оболочек прокариот и эукариот определяют выбор метода лизиса и стратегии секреции целевого продукта?
2. В каких случаях целесообразно заменить прокариотическую платформу на эукариотическую при производстве рекомбинантных белков?
3. Чем эндоспоры бактерий отличаются от спор грибов по происхождению и как это влияет на стерилизацию и хранение?
4. Объясните роль принципа приоритета в номенклатуре и его значение для воспроизводимости штаммовых исследований.

5. Что такое «парадокс чашки Петри» и какие два подхода позволяют выводить «некультивируемые» микроорганизмы в культуру?

6. Почему разделение на домены Bacteria, Archaea и Eukarya имеет прикладное значение для инженерии процессов в экстремальных условиях?

7. Сформулируйте различия между видом, штаммом, коллекционным штаммом и клоном на конкретном примере производственного процесса.

Рекомендуемый список литературных источников:

1. Марченко Б.И. Основы микробиологии и биотехнологии: учебное пособие. Ростов-на -Дону. – 2024. – 143 с.

2. Объекты биотехнологии: Учеб.-метод, пособие / Р. М. Турпанова,

Г. Ж. Сегизбаева, Ш. Е. Арыстанова, А. М. Гаджимурадова. - Алматы: Эверо, 2020. - 420 с.

3. Нетрусов А. И., Котова И. Б. Микробиология: учебник. — 3-е изд. — М.: Академия, 2018.

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