ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений и условных обозначений . . . . . .
Введение . . . . . .

Глава 1. История развития микробиологии . . . . . .
1.1. Первые исследователи микроорганизмов. . . . . .
1.2. Развитие медицинского и физиологического направления в микробиологии . . . . . .
1.3. Становление вирусологии . . . . . .
1.4. Развитие экологии и прикладных направлений биологии микроорганизмов. . . . . .

Глава 2. Исторический обзор представлений о роли микроорганизмов в происхождении жизни на Земле . . . . . .

Глава 3. Морфологические и структурные особенности микроорганизмов . . . . . .
3.1. Морфологическое разнообразие прокариот . . . . . .
3.2. Строение и функции прокариотической клетки . . . . . .
3.3. Спорообразование у бактерий . . . . . .
3.4. Цианобактерии . . . . . .
3.5. Морфология и строение актиномицетов . . . . . .
3.6. Морфология и строение плесневых грибов . . . . . .

Глава 4. Морфология и строение вирусов . . . . . .
4.1. Общие сведения . . . . . .
4.2. Теории происхождения вирусов . . . . . .
4.3. Строение и химический состав вирусов . . . . . .
4.4. Классификация вирусов . . . . . .
4.5. Биосинтез вирусных компонентов и размножение вирионов . . . .
4.6. Бактериофаги . . . . . .
4.7. Методы изучения вирусов . . . . . .

Глава 5. Возбудители вирусных инфекций . . . . . .
5.1. Возбудители острых респираторных вирусных инфекций . . . . . .
5.2. Вирус кори . . . . . .
5.3. Вирус эпидемического паротита . . . . . .
5.4. Вирус краснухи . . . . . .
5.5. Вирус ветряной оспы и опоясывающего герпеса . . . . . .
5.6. Новые патогены . . . . . .

Глава 6. Экология вирусов . . . . . .
6.1. Введение . . . . . .
6.2. Экология вирусов водных экосистем . . . . . .
6.3. Экология почвенных вирусов . . . . . .
6.4. Экология вирусов растений . . . . . .

Глава 7. Физиология микроорганизмов . . . . . .
7.1. Обмен веществ — одно из основных свойств живых организмов . . . . . .
7.2. Питание микроорганизмов . . . . . .
7.3. Способы получения бактериями энергии. . . . . .
7.4. Фотосинтез микроорганизмов . . . . . .
7.5. Хемосинтез микроорганизмов . . . . . .
7.6. Дыхание микроорганизмов . . . . . .
7.7. Рост и способы размножения микроорганизмов . . . . . .

Глава 8. Систематика микроорганизмов . . . . . .
8.1. Положение микроорганизмов в системе живого мира . . . . . .
8.2. Современная классификация микроорганизмов . . . . . .

Глава 9. Распространение микроорганизмов в биосфере . . . . . .

Глава 10. Микробиоценозы природных сред и их особенности . . . . . .
10.1. Микробиоценоз почвы . . . . . .
10.2. Микробиоценоз водоемов . . . . . .
10.3. Микроорганизмы питьевой воды . . . . . .
10.4. Микрофлора воздуха . . . . . .
10.5. Микрофлора поверхностей . . . . . .

Глава 11. Участие микроорганизмов в превращении основных биогенных элементов в природе . . . . . .
11.1. Введение . . . . . .
11.2. Процессы трансформации органических и неорганических соединений азота . . . . . .
11.3. Превращение микроорганизмами углеродсодержащих веществ. Круговорот углерода в природе . . . . . .
11.4. Аэробное и анаэробное разложение целлюлозы . . . . . .
11.5. Разложение пектиновых веществ . . . . . .
11.6. Трансформация углеводородов . . . . . .
11.7. Возврат углекислого газа в атмосферу с помощью брожения . . . . . .

11.8. Процессы трансформации органических
и неорганических соединений фосфора . . . . . .
11.9. Процессы трансформации органических
и неорганических соединений серы . . . . . .
11.10. Процессы трансформации соединений железа . . . . . .

Глава 12. Влияние внешних абиотических условий
на рост и размножение микроорганизмов . . . . . .
12.1. Общие сведения . . . . . .
12.2. Влияние земного тяготения . . . . . .
12.3. Магнетизм . . . . . .
12.4. Ультразвук . . . . . .
12.5. Действие излучений . . . . . .
12.6. Влажность . . . . . .
12.7. Гидростатическое давление . . . . . .
12.8. Температура . . . . . .
12.9. Кислотность среды обитания микроорганизмов . . . . . .
12.10. Влияние кислорода на жизнедеятельность
микроорганизмов.....
12.11. Соединения и ионы, токсичные для бактерий . . . . . .

Глава 13. Влияние биотических факторов на микроорганизмы . . . . . .
13.1. Формы взаимоотношений бактерий . . . . . .
13.2. Взаимоотношения бактерий с животными . . . . . .
13.3. Взаимоотношения микроорганизмов и растений . . . . . .

Глава 14. Практическая микробиология . . . . . .
14.1. Биотехнологическое применение микроорганизмов . . . . . .
14.2. Экологическая биотехнология . . . . . .
14.3. Утилизация твердых коммунальных отходов . . . . . .
14.4. Биоремедиация органических веществ и ксенобиотиков
в окружающей среде . . . . . .

Приложение. Ученые, внесшие значительный вклад
в развитие биологии, биохимии, физиологии и экологии
микроорганизмов . . . . . .

Предметный указатель . . . . . .

ВВЕДЕНИЕ

Предмет и задачи биологии микроорганизмов

Биология микроорганизмов (греч. *bios* — жизнь, *logos* — учение, *mikros* — малый) — наука о мельчайших одноклеточных организмах, включающих бактерии, археи, водоросли, грибы, простейшие и вирусы. В качестве названия дисциплины чаще используют термин «микробиология», что не совсем верно. Биология микроорганизмов — важнейший раздел общей биологии и, в отличие от других, далеко не самый изученный. Это интегральная наука. С одной стороны, фундаментом ее становления были механика, оптика, химия и медицина, а с другой, она активизировала развитие перечисленных направлений и в дальнейшем способствовала возникновению молекулярной биологии, генетики и генной инженерии, энзимологии, аутэкологии, биотехнологии, эпидемиологии и других биологических наук. Основные открытия в области молекулярной биологии и генетики впервые были сделаны при изучении бактерий и вирусов. Они показали единство основных процессов жизнедеятельности на молекулярном уровне во всем живом мире. В связи с этим биологию микроорганизмов выделили в одну из центральных наук современной биологии. Ее развитие способствовало пониманию биологии более высокоорганизованных организмов (в том числе человека), а изучение позволило пролить свет на эволюционные отношения между их различными видами и историю жизни на Земле, так как на нашей планете ее сформировали и поддерживают микроорганизмы.

Как важнейшая биологическая наука, микробиология обеспечивает нас доступными инструментами для исследования и понимания многих химических и физических процессов, происходящих в природе. С практической точки зрения современная биология микроорганизмов крайне важна для решения продовольственных и энергетических проблем, а также охраны окружающей среды и здоровья человека. Селекция микроорганизмов, способных трансформировать разливы нефти и нейтрализовать экотоксиканты, попадающие в окружающую среду, — мощное технологическое средство решения наиболее острых проблем современной цивилизации.

Предмет изучения микробиологии — многочисленная и разнородная группа микроскопических организмов, существующих в виде одиночных или групп клеток, названных прокариотами (доядерными организмами). Их важное отличие от эукариот (истинно ядерных клеток) состоит в структурно-функциональных особенностях и отсутствии ядра. Прока-

риоты характеризуются большей рациональностью клеточного строения, а также высокой функциональной и энергетической лабильностью. Они настолько совершенны, что за 3,8 млрд лет эволюции не было необходимости вносить в них существенные коррективы.

Дисциплину, изучающую бактерий, называют бактериологией (греч. *bacteria* — палка, *logos* — учение). Авторство этого термина принадлежит немецкому ботанику и бактериологу Фердинанду Юлиусу Кону (1828–1898), который в 1875 г. назвал бактериями одноклеточные микроорганизмы, размножающиеся бинарным делением и не имеющие ядра. Впервые термин «микроорганизм» предложил Эмиль Максимильен Поль Литтре (1801–1881). Официально это название вошло в научную терминологию 11 марта 1878 г. после доклада французского хирурга Шарля-Эммануэля Седийо (1804–1883) «Влияние открытий господина Пастера на прогресс хирургии» во французской Академии наук. Этим термином он объединил все микроскопические организмы. В 1895 г. французский микробиолог Пьер Эмиль Дюкло (1840–1904) предложил название «микробиология». С тех пор все эти понятия прочно вошли в научную терминологию.

К основным задачам микробиологии относят изучение внешней и внутренней организации микроорганизмов (морфологии), проявлений их жизнедеятельности (физиологии), систематики, изменчивости, наследственности и экологии. Биология микроорганизмов изучает разнообразие и исследует вопросы возникновения микроорганизмов, условия и закономерности их жизни, развития, взаимодействия с живой и неживой природой, а также участия в важнейших биогенных процессах, происходящих в биосфере.

Микробиологические исследования имеют большое практическое и теоретическое значение для формирования знаний о сложных биофизических и биохимических процессах, происходящих не только в микробных, но и мультиклеточных организмах. Микробная клетка — превосходная модель для понимания основных жизненных процессов, происходящих в животных и растительных клетках, исследования генетического материала и способов передачи одноименной информации.

Микроорганизмы — самые древние, многочисленные и загадочные жители нашей планеты. По масштабам распространения и влиянию на биосферу они не имеют себе равных. На Земле нет ни одного вида живых существ, превосходящего микроорганизмы по численности и функциональному разнообразию. Несмотря на то что, в отличие от эукариот, они испытывают недостаток в структурных различиях, бактерии восполняют его функциональным разнообразием. Физиологическая специфичность очень часто объединяет или разъединяет различные группы прокариот. Они обладают целым рядом особенностей, отличающих их от растител-

ных и животных клеток. Это заключается, прежде всего, в том, что отдельная микробная клетка способна к самостоятельному существованию, независимо от остальных представителей вида. Она способна самостоятельно реализовывать все жизненные функции, включая энергетический обмен и воспроизводство. В отличие от микроорганизмов, растительные и животные клетки не могут существовать автономно и служат частью мультиклеточного организма.

Микробная клетка изолирована от окружающей среды клеточной стенкой и цитоплазматической мембраной. В ее цитоплазме расположены различные внутриклеточные структуры и химические вещества, необходимые для осуществления процессов жизнедеятельности. Вся информация, требующаяся для роста и размножения микроорганизма, сосредоточена в нуклеоиде, находящемся в цитоплазме и не отграниченном от нее ядерной мембраной.

Микробная клетка обладает определенной, свойственной конкретному виду формой, размером и структурой. В то же время она постоянно трансформируется в ответ на изменения окружающей среды. Это открытая биохимическая и энергетическая система, постоянно изменяющаяся, но сохраняющая определенные признаки.

В процессе жизнедеятельности микробная клетка постоянно извлекает из окружающей среды необходимые химические вещества, преобразует их и использует содержащуюся в них энергию. Минерализация микроорганизмами органических веществ способствует изменению физико-химических параметров окружающей среды вследствие накопления неорганических соединений. Трансформация химической энергии посредством разложения энергонасыщенных веществ способствует ее передаче по пищевой цепи. Наряду с высокой скоростью размножения этот биохимический и энергетический динамизм определяет выдающееся экологическое значение микроорганизмов в поддержании устойчивости биосферы и создает условия для существования других представителей животного мира на нашей планете.

Микроорганизмы обладают способностью к направленному синтезу жизненно необходимых веществ и репликации. В процессе деления материнской клетки формируются две практически идентичные дочерние.

Микробные клетки подвержены воздействию различных факторов окружающей среды и вынуждены реагировать на них. Они способны изменять размер, форму и функционирование (например, скорость метаболизма и размножения в зависимости от температуры среды и т.д.), образовывать в цитоплазме вакуоли или, наоборот, использовать их содержимое, формировать новые клеточные структуры типа спор или капсул и т.д. Таким образом, исходя из состояния окружающей среды, клетка

формирует и модифицирует свои морфологические, физиологические, биохимические и структурные особенности. Способность к дифференциации — важнейшая особенность жизненного цикла каждой бактериальной клетки, причем некоторые изменения (например, морфологические) не запоминаются ею и не передаются следующим поколениям, а другие (например, направленность биохимических процессов, чувствительность к антибактериальным препаратам) могут закрепляться на генетическом уровне и наследоваться.

Микробные клетки обладают способностью воспринимать химические и физические воздействия окружающей среды и адекватно отвечать на них. С помощью различных химических веществ микроорганизмы обмениваются между собой разной информацией положительного или отрицательного характера. Прокариоты способны двигаться в направлении соответствующего раздражителя или от него, и этот процесс называют таксисом. Он характерен только для одноклеточных организмов. Клетки растений и животных не способны к независимому существованию и не обладают таксисом.

Как и все живые организмы, прокариоты развиваются, при этом в них происходят наследственные изменения, позволяющие оптимально существовать в специфических условиях окружающей среды. Об этом свидетельствуют филогенетические древа, демонстрирующие эволюционные отношения между клетками.

Таким образом, живая прокариотическая клетка представлена открытой системой, которая использует энергию, извлеченную из окружающей среды, для поддержания своей структуры и жизнедеятельности. Она обладает специфическим набором химических веществ, извлекаемых извне, синтезируемых внутри нее и выделяемых в среду обитания.

Биологическое и экологическое значение микроорганизмов

Около 3,8 млрд лет назад микроорганизмы были единственными обитателями нашей планеты. Они жили в условиях, в которых другие организмы не могли существовать. На протяжении миллионов лет они подготавливали условия для возникновения более сложных и организованных форм жизни. Благодаря микроорганизмам около 2 млрд лет назад произошла грандиозная перестройка всей геосферно-биосферной системы, связанная с кислородной атмосферой. В тот период на Земле господствовали лишь прокариоты, и становление биосферы происходило только под влиянием синезеленых водорослей и бактерий. Организация жизни прокариот в экстремальных условиях молодой планеты служит приме-

ром удивительного приспособления микроорганизмов. Именно они создали условия для развития биосферы и продолжают играть важную роль в поддержании экологической стабильности и формировании процессов, имеющих огромное значение. Обладая микроскопическими размерами, высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды, многообразием метаболических процессов и высокой скоростью размножения, микроорганизмы заняли практически все экологические ниши на планете.

Если бы микроорганизмы внезапно исчезли, жизнь на Земле прекратилась бы. Потеряв триллионы бактерий, живущих в толстой кишке и стабилизирующих ее содержимое, люди страдали бы диареей. Не сумев переварить без участия микроорганизмов сложные органические вещества, исчезли бы все живые организмы, питающиеся растениями. Микроорганизмы — важнейший элемент пищеварительного процесса, происходящего в специальном органе жвачных животных, — рубце, и без них существование последних было бы невозможно.

Рыбы, моллюски и другие обитатели рек, морей и океанов исчезли бы в результате голодания, вызванного нарушением водной цепи питания. Последнюю, в свою очередь, создают и поддерживают фотосинтетические микроорганизмы, преобразующие энергию солнца в питательную биомассу. Кроме того, в атмосфере быстро бы уменьшалось содержание кислорода, половину которого производят указанные бактерии, живущие в океане. Фактически, все цепи питания на Земле, в конечном счете, были бы разорваны.

Без микроорганизмов естественное разложение мертвых растений и животных прекратилось бы, а Земля превратилась в безжизненную свалку органических отходов. Питательные вещества, содержащиеся в мертвых тканях, не вернулись бы в воду и почву, и растения исчезли. Без растительной и животной пищи люди быстро пополнили бы миллионы других погибших разновидностей жизни на омертвевшей планете.

К счастью, этот сценарий никогда не будет реализован. Даже после страшных катаклизмов, произошедших на нашей планете, микроорганизмы выживали. Именно поэтому в течение всей истории существования животный и растительный мир извлекал и извлекает неизмеримую выгоду из их присутствия и активной деятельности.

Микробная клетка активно взаимодействует с окружающей средой, при этом она использует сложные ферментные системы, которые преобразуют и оптимизируют среду обитания микроорганизма, создают условия для существования высших растений, а следовательно, животных и человека. Существование биосферы немыслимо без бактерий. Ее устойчивость во многом определяют биогеохимические циклы, ключевую роль в которых играют микроорганизмы.

Микробные клетки — основные редуценты нашей планеты. Они перерабатывают сложные органические молекулы мертвых организмов в неорганические соединения, возвращая их в биосферу. Некоторые микроорганизмы фиксируют и восстанавливают молекулярный азот, преобразовывая его в соединения, доступные для других живых существ.

Они принимают активное участие в регуляции газового состава атмосферы, очищении окружающей среды от токсичных веществ, поддержании плодородия почвы и образовании полезных ископаемых. Микроорганизмы обладают огромной биомассой и ферментативной активностью, поэтому способны трансформировать большинство природных органических и неорганических соединений. Очищая планету от мертвых субстратов, они возвращают химические вещества и энергию в новые циклы круговорота веществ и энергии, обеспечивая условия для продолжения жизни на Земле.

Микробные клетки отличаются высоким темпом роста и размножения, устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды, способностью длительное время находиться в состоянии покоя и разнообразием физиологических проявлений. Благодаря микроскопическим размерам они могут мигрировать по всей планете с воздушными, водными и биогенными потоками. Более того, они сами создают условия для формирования воздушных течений, переносящих их в различные уголки Земли.

У поверхности морей и океанов скапливается огромное количество микроводорослей (динофлагеллят), интенсивно поглощающих солнечный свет и синтезирующих диметилсульфид. Это способствует прогреванию поверхности воды и прилегающих к ней воздушных течений. Турбулентные потоки воздуха захватывают микроводоросли, а диметилсульфид на воздухе превращается в сульфат, кристаллы которого стимулируют конденсацию паров воды. Ежегодно морские микроводоросли продуцируют в атмосферу от 15 до 40 млн т серы, что примерно в 3 раза больше, чем ежегодно выделяют все вулканы нашей планеты.

Так как над поверхностью морей и океанов практически нет пыли, кристаллы сульфатов служат единственными конденсаторами влаги, из которой формируются облака. Содержащиеся в них многочисленные бактерии и споры грибков разрушают стенки микроводорослей, превращая воду в лед. Замороженные частички извлекают воду из окружающих их капелек, формируя крупные ледяные шарики, которые падают вниз на землю, унося с собой микроорганизмы. Таким образом, последние с потоками воздуха и осадками мигрируют по всей планете. Именно поэтому в биосфере Земли едва ли найдется место, где было бы невозможно обнаружить микроорганизмы.

Микробные клетки обладают уникальной способностью приспосабливаться к постоянно изменяющейся окружающей среде. Они могут жить в самых неблагоприятных для других живых существ условиях, размножаться в снегу, льдах и сверхсоленых водоемах. Их обнаруживают на дне океанов, в бесплодных пустынях, льдах Арктики и Антарктики, а также в стратосфере. Ученые находили микроорганизмы в кипящих водах гейзеров и вулканических трещинах под океанской поверхностью, где нет света, а в воде растворены мышьяк, сероводород и другие агрессивные химические вещества. Установлено, что обычные бактерии вполне могут существовать в условиях высокого давления на гипотетической глубине 50 км в земной коре или 16 км в море. Живые микроорганизмы были найдены внутри камней, из которых сложены стены старых соборов Европы и храмов Юго-Восточной Азии.

Деятельность микробных клеток чрезвычайно разнообразна. Они выполняют грандиозную по своим масштабам работу, состоящую в разрушении и минерализации органических веществ, благодаря чему происходит поддержание равновесия между живой и неживой природой. В результате их жизнедеятельности сформированы месторождения нефти, газа, минералов и металлов. В определенных условиях микроорганизмы регулируют численность популяции растений и животных. К примеру, в Австралии только с их помощью была предотвращена экологическая катастрофа, связанная с безудержным размножением кроликов и кактусов.

Ни одно живое существо на нашей планете не может существовать без определенных групп микроорганизмов, с которыми в процессе эволюции сложились симбиотические отношения. Несмотря на выдающиеся достижения науки и техники XX в. и внедрение современнейших технологий, человек не может обходиться без бактерий и всегда будет зависеть от них. С древнейших времен и по сей день он использует микробиологические процессы в виноделии, сыроварении, хлебопечении, получении лекарственных препаратов, кисломолочных и сельскохозяйственных продуктов, а также многих других сферах хозяйственной деятельности. Производство высококачественного табака, чая и кофе также невозможно без участия микроорганизмов. Крупномасштабное микробиологическое производство антибактериальных и других лекарственных средств — важное направление мировой фармацевтической промышленности, потенциал которой составляет биллионы долларов.

Микроорганизмы играют центральную роль в биологической обработке сточных вод и твердых коммунальных отходов (ТКО). Человек использует их для борьбы с загрязнением окружающей среды (например, для очистки воды и почв от нефтяных разливов или пестицидов), получения

кормовых и пищевых продуктов, топлива, химических реактивов и лекарственных препаратов.

Во многом от них зависит сельскохозяйственное производство. Большинство зерновых и бобовых культур живут в тесной ассоциации с клубеньковыми бактериями, фиксирующими атмосферный азот и преобразовывающими его в азотистые соединения, доступные для растений. Их использование позволяет уменьшить потребность в дорогостоящих химических удобрениях.

Микроорганизмы играют ключевую роль в обеспечении растений важнейшими питательными веществами, в том числе углеродом, азотом, фосфором и серой, преобразуя эти элементы в доступные для них формы.

Тем не менее бактерии могут оказывать и негативное воздействие, вызывая болезни сельскохозяйственных животных и растений, которые наносят огромный экономический ущерб. Они приводят к порче пищи, загрязнению воды и ухудшению свойств различных продуктов. Исчезновение многих видов растений и животных, возможно, связано с появлением новых болезнетворных микроорганизмов, против которых отсутствовала эффективная защита. Именно поэтому на бытовом уровне у большинства людей они ассоциируются с серьезной угрозой существованию.

Специализация биологии микроорганизмов

В начале XX в. самые важные события в биологии микроорганизмов были связаны с открытием новых видов бактерий и их надлежащей классификацией. Это способствовало развитию бактериальной таксономии, которая, в свою очередь, требовала изучения строения и физиологии микробных клеток, бактериальных ферментов и химических реакций. Таким образом происходило развитие таких направлений биологии микроорганизмов, как физиология, бактериальная цитология и биохимия, а также молекулярная биология. Эти науки легли в основу развития бактериальной генетики, которую использовали в качестве инструмента для изучения филогенетических отношений среди прокариот, биологической классификации и понимания эволюционной истории микроорганизмов.

Интенсивное развитие микробиологии в XX в. привело к выделению двух ее разделов — общей и прикладной микробиологии. Как прикладная биологическая наука, биология микроорганизмов представлена отраслью знаний, включающей ряд отдельных дисциплин, которые получили широкое применение в различных областях научной и практической деятельности человека. Они отличаются друг от друга объектами, целями и задачами изучения, а также сферами практического применения. По мере развития биологии микроорганизмов были выделены направления, изучающие от-

дельные группы прокариот, — бактерии (бактериология), микроскопические грибы (микология), водоросли (альгология) и вирусы (вирусология).

Различают общую и специальную биологию микроорганизмов. Последнюю, в свою очередь, подразделяют на сельскохозяйственную (агромикробиологию), промышленную, медицинскую и ветеринарную.

Общая биология микроорганизмов изучает их морфологию, цитологию, физиологию, биохимию и систематику, выясняет основные закономерности их жизнедеятельности, изменчивость и наследственность, роль в круговороте веществ, распространение в природе и влияние на них окружающей среды. Общая микробиология — основополагающая дисциплина, поскольку ее знание требуется для работы в любой другой области этой науки.

В настоящее время относительно самостоятельным разделом общей биологии микроорганизмов считают их экологию. Впервые о необходимости ее выделения в качестве самостоятельной науки на конгрессе в Париже в 1938 г. заявил известный русский и советский микробиолог Сергей Николаевич Виноградский. Он сформулировал концепцию об элективных (лат. *electus* — избранный, *electivus* — избирательный) условиях развития микроорганизмов и отрицательно относился к возможности переноса лабораторных результатов их исследования на микробные клетки, обитающие в естественной среде. Ученый подчеркивал, что искусственные среды отличаются от естественных, микроорганизмы в природной среде обитания не представлены чистой культурой, а в последней они значительно отличаются от своих предков. Виноградский видел значение экологической микробиологии в изучении функционирования бактерий в естественной среде обитания, то есть в природе. Он создал учение о роли отдельных групп микроорганизмов в формировании природных экосистем.

В основе экологии микроорганизмов лежит концепция об их доминирующей роли как наиболее древних обитателей Земли в формировании биосферы и поддержании ее экологического равновесия.

Экология микроорганизмов изучает разнообразие и физиологию их сообществ, роль в поддержании устойчивости биосферы, а также изменения в микромире, вызванные природными факторами и антропогенным воздействием.

Эта наука уделяет большое внимание изучению закономерностей обитания микроорганизмов, особенностям формирования микробных ценозов, внутривидовым и межвидовым экологическим связям, а также влиянию физических и химических факторов окружающей среды на микробные клетки. Она изучает географию их распространения, определяет и исследует микроорганизмы, характерные для конкретной местности и природных процессов.

Использование методов молекулярной биологии и геномики в экологической микробиологии привело к открытию множества особенностей существования сообществ микроорганизмов в естественной среде. Применение методов масс-спектрометрии, молекулярной биологии, биоинформатики и генетической дактилоскопии стало обычным явлением при изучении природных популяций бактерий.

Экология микроорганизмов представлена морской, горной, космической, микробиологией пресных водоемов и воздуха, а также другими направлениями.

Сельскохозяйственная микробиология (агромикробиология) изучает роль микроорганизмов в формировании структуры почвы, разложении и минерализации органических веществ. Она исследует особенности взаимодействия микробных клеток и растений, а также их участие в биогеохимических циклах. Большое внимание сельскохозяйственная микробиология уделяет вопросам приготовления и консервирования кормов, изучению фитопатогенной микрофлоры и инфекционных заболеваний растений, а также микробиологическим методам защиты растений.

Развитие физиологии, биохимии и генетики микроорганизмов способствовало созданию нового научно-практического направления — промышленной микробиологии, которая служит основой биотехнологии и одним из важнейших направлений научно-технического прогресса. Биотехнология — наука о важнейших биологических процессах, системах и их практическом применении в индустриальном производстве. Она охватывает такие научно-практические сферы деятельности, как микробиологический синтез, клеточная и белковая инженерия, инженерная энзимология, культивирование клеток растений, животных и бактерий, а также методы слияния клеток.

Основными задачами биотехнологии считают изучение важнейших микробиологических процессов, используемых для получения индустриальным способом ценных продуктов жизнедеятельности микроорганизмов (микробного белка, молочной, масляной, уксусной и лимонной кислот, этилового и бутилового спиртов, ацетона, глицерина и других продуктов брожения).

Согласно определению Европейской биотехнологической федерации, созданной в 1978 г., биотехнология включает совместное использование биохимии, микробиологии, генетики и химической технологии для технологического (промышленного) применения полезных свойств микроорганизмов и культур тканей. Она создает возможность получения с помощью доступных и возобновляемых ресурсов веществ и соединений, важных для жизни и благополучия людей.

Современная биотехнология оказывает огромное влияние на все аспекты практической деятельности человека. В настоящее время с ее помощью получают десятки таких дорогостоящих биологически активных веществ, как гормоны, ферменты, витамины, антибактериальные и другие лекарственные средства.

Важный раздел биотехнологии — использование микроорганизмов в пищевой промышленности, в частности при производстве вина, пива, хлеба, сыра, кисломолочных и других продуктов.

Медицинская микробиология изучает морфологические и биологические свойства микроорганизмов, вызывающих заболевания человека, механизм их болезнетворного действия, а также защитные реакции, которыми организм отвечает на их проникновение и размножение. Используя методы бактериологической диагностики и индикации патогенных микроорганизмов во внешней среде, эта наука исследует биологию возбудителей инфекционных заболеваний, патогенез инфекционного процесса и иммунобиологические реакции.

Медицинская микробиология разрабатывает методы профилактики и лечения инфекционных заболеваний, изучает вопросы дезинфекции и стерилизации, а также использования антисептических и антибактериальных препаратов.

Специальный раздел медицинской микробиологии — санитарная микробиология, изучающая патогенные и условно-патогенные микроорганизмы, обитающие во внешней среде, и разрабатывающая методы бактериологических исследований воды, воздуха, почвы, продуктов питания, предметов обихода и обстановки с целью их гигиенической характеристики и эпидемиологической оценки в качестве возможных источников инфекции. Одна из задач санитарной микробиологии — разработка методов санитарно-микробиологического исследования и установление предельно допустимых уровней микробного загрязнения объектов окружающей среды. Это потребовало развития и внедрения современных способов подготовки безопасной питьевой воды и обработки сточных вод. Именно поэтому развитие санитарной микробиологии имеет большое значение не только для врачей и биологов, но и для инженеров.

Важный раздел медицинской микробиологии — медицинская эпидемиология, изучающая факторы и условия возникновения инфекционных заболеваний. Эпидемиологи ведут статистику одноименной заболеваемости и смертности, разрабатывают и реализуют противоэпидемические мероприятия.

Современную медицинскую микробиологию также подразделяют на вирусологию (учение о вирусах), иммунологию (науку о механизмах

защиты организма от патогенных и непатогенных микроорганизмов), микологию, изучающую патогенные для человека грибы, и протозоологию, объектами исследования которой являются одноклеточные патогенные организмы.

Развитие медицинской микробиологии имеет большое значение в борьбе с инфекционными заболеваниями человека. Оспа — первая болезнь, объявленная Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) успешно побежденной. В настоящее время жители современных развитых стран в достаточной степени защищены от полиомиелита, дифтерии, коклюша, брюшного тифа, чумы, желтой лихорадки и холеры.

Тем не менее, несмотря на огромные достижения медицинской микробиологии, инфекционные болезни остаются самыми распространенными. Среди них, прежде всего, можно выделить грипп, туберкулез, вирусный гепатит, пневмонию и инфекцию, вызываемую вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ). Кроме того, заражение инфекционными заболеваниями одного из десяти пациентов происходит во время госпитализации. Инфекции, приобретенные в медицинском учреждении, называют внутрибольничными. Эффективность борьбы с ними и другими инфекционными болезнями зависит от дальнейшего изучения микроорганизмов и их взаимодействия с организмом человека.

Ветеринарная микробиология изучает возбудителей заразных болезней животных. В ее задачи входят разработка и применение на практике микробиологических методов диагностики, профилактики и лечения инфекционных заболеваний животных.

Ветеринарная микробиология тесным образом связана с медицинской, поскольку многие инфекционные заболевания являются общими для животных и человека. Они могут передаваться от одних к другим прямым или косвенным путем и называются антропозоонозами.

Иммунология — раздел медицинской науки, изучающий значение и функции иммунной системы в любом живом организме. В ее рамках изучают влияние патогенных (способных причинить вред) и комменсальных (положительно влияющих) микроорганизмов на организм хозяина.

В качестве раздела микробиологии иммунология занимается увеличением продолжительности и повышением качества жизни посредством применения вакцин, медикаментозного и других методов лечения, а также проведения профилактических мероприятий.

Наномикробиология — современный раздел микробиологии, позволяющий изучать биологическую сущность бактериальных клеток и вирусов на молекулярном уровне. В качестве метода исследований она использует современные виды микроскопии: просвечивающую, сканирующую электронную и атомно-силовую. Эти инструменты позволяют создавать

трехмерные изображения бактериальных клеточных стенок, цитоплазматических мембран, внутренних структур клеток и вирусов с нанометровым разрешением. Покадровая визуализация во время атомно-силовой микроскопии помогает наблюдать за динамикой событий, происходящих на поверхности клетки. Результаты перечисленных исследований дают ранее неизвестные ответы на ряд вопросов. Среди них, например, реакция фотосинтетических мембран на свет, изменение структуры поверхности микроорганизмов по мере их роста или взаимодействия с лекарственными средствами, управление взаимодействием с антибактериальными препаратами и клетками организма хозяина с помощью молекулярных сил. Полученные знания очень важны, поскольку клеточные стенки бактерий выполняют несколько ключевых функций: сохраняют форму микроорганизма, поддерживают внутреннее давление клетки, защищают ее цитоплазму от воздействия внешней среды, выступают в качестве молекулярного сита, пропуская строго определенные молекулы, способствуют клеточной адгезии и служат мишенью для антибиотиков. Все это имеет большое значение в развитии экобиотехнологий (очистка сточных вод, биоремедиация), промышленных систем (иммобилизация клеток в биореакторах, биообрастание и загрязнение) и медицины (взаимодействие патогенов с тканями живого организма, их накопление на имплантатах и протезах).

Фармацевтическая микробиология изучает взаимодействие микроорганизмов с лекарственными препаратами. Она вырабатывает нормативные требования к безопасности фармацевтических исследований, а также стерильности оборудования при работе с бактериями и их метаболитами. Этот раздел науки исследует такие возможные побочные эффекты лекарственных препаратов, как канцерогенность и мутагенность, а также влияние микроорганизмов на химическое состояние готового продукта (например, соматропина и инсулина человеческого).

В отличие от многих дисциплин, изолированно изучающих биологические объекты на клеточном уровне, филогенетика рассматривает эволюционную историю видов и их взаимоотношения, сравнивая гены и белки разных биологических организмов. Это позволяет определить, на каком уровне генеалогического древа живые организмы могли разойтись, и установить их общих предков в палеонтологических последовательностях. Генеалогическое древо помогает в целях таксономии собрать воедино биологические последовательности на молекулярном уровне. Используя филогенетические исследования, ученые могут формировать эволюционные древа для всех микроорганизмов (в том числе патогенных), отслеживая их генетические мутации, а также находя общих предков большинства видов.

Методы классической микробиологии

Микробиологические исследования проводят в специально оборудованных лабораториях, позволяющих предотвратить заражение персонала, проникновение выделяемых микроорганизмов во внешнюю среду и обсеменение исследуемого материала посторонней микрофлорой. Они имеют соответствующую планировку и оснащены средствами дезинфекции и стерилизации.

Основными методами классической микробиологии считают следующие:

- микроскопический (бактериоскопический и вирусоскопический);
- культивирование и выделение чистых культур микроорганизмов;
- хранение микроорганизмов;
- стерилизация;
- серологический;
- биологических проб;
- аллергических реакций;
- генетический.

Микроскопический метод используют для изучения морфологии (формы, размера и строения) микроорганизмов с помощью микроскопа. В настоящее время применяют фазово-контрастную, поляризационную, люминесцентную и микроскопию в светлом и темном поле. Ее возможности чрезвычайно расширились с открытием электронного микроскопа, с помощью которого достигают увеличения объекта в 500 тыс. раз.

Объекты можно подвергать микроскопии в живом и неживом состоянии. Для изучения внешней формы, структурных элементов и тинкториальных свойств (способность микроорганизма к окрашиванию) готовят препарат с использованием различных красителей. Окраска может быть простой и сложной. В первом случае применяют один краситель, а при сложной окраске — несколько красителей в определенной последовательности, в результате чего различные элементы клетки приобретают разный цвет.

При микроскопии живых клеток используют методы, способствующие увеличению контрастности (например, темное поле, фазовое контрастирование, люминесцентные красители). Современные микроскопы оснащены цифровыми фото- и видеокамерами, а также связаны с компьютерами, что позволяет выполнять самые разнообразные исследования микроорганизмов.

Культивирование предусматривает создание искусственных условий для поддержания жизнедеятельности и размножения микроорганизмов *in vitro* (в пробирке). Его применяют для выделения бактерий из внешней среды, обнаружения возбудителя инфекционного заболевания и определения его вида, накопления микробной массы при получении чистой

культуры и изготовления биологических препаратов (вакцин, антигенов и анатоксинов).

Для культивирования микроорганизмов в лабораторных условиях применяют специально приготовленные питательные среды, которые могут быть плотными, жидкими, полужидкими, простыми и сложными. Метод культивирования включает приготовление питательных сред, посев, разведение и хранение культур микроорганизмов, получение бактериальных суспензий, а также подсчет колоний и бактериальных клеток.

Важный элемент микробиологических исследований — метод чистых культур, разработанный Р. Кохом в 1870 г. и носящий его имя. Он позволяет получить чистый штамм бактерий, свободный от других микроорганизмов. С.Н. Виноградский и другие ученые широко использовали этот метод для изучения роли бактерий в круговороте веществ в природе и возникновении того или иного инфекционного заболевания.

Использование различных методов хранения позволяет создавать музейные штаммы микроорганизмов, предназначенные для проведения различных исследований, в том числе для изучения патогенеза инфекционных заболеваний, контроля полноты стерилизации и получения биотехнологической продукции. Особо следует отметить хранение бактерий на специальных средах в вакууме и лиофилизацию.

Для относительно непродолжительного хранения микроорганизмов в вакууме используют так называемые голодные среды, содержащие минимальное количество питательных веществ. Их разливают в стерильные ампулы, засевают в столбик питательной среды чистую культуру бактерий и запаивают после возникновения едва заметного роста. В таких условиях культуру можно сохранять в холодильнике до одного года и более.

Лиофилизация — высушивание материала из замороженного состояния под вакуумом. Для этого культуру микроорганизмов суспендируют в среде, содержащей раствор сахарозы, желатина или сыворотки, быстро замораживают в смеси сухого льда и этанола и высушивают под вакуумом. В этих условиях при достаточном разрежении газов свободная вода замерзает без образования кристалликов льда, а затем ее удаляют вакуумом, при этом она переходит из твердого состояния в газообразное, минуя жидкую фазу. Лиофилизированная бактериальная культура может сохраняться в условиях холода в течение нескольких лет.

Стерилизацию (лат. *sterilis* — бесплодный) используют для полного уничтожения вегетативных и споровых форм микроорганизмов. Ее осуществляют нижеперечисленными способами.

- Физические методы:
  - нагревание воздуха в сушильном шкафу до 160–180 °С (сухой жар);
  - пар под давлением в автоклаве (стерилизаторе).

- Механический метод — фильтрации жидкостей через асбестовые, нитроцеллюлозные и другие фильтры, изготовленные из специальных пористых материалов.
- Химический метод — обработка материала дезинфицирующими или антисептическими средствами.

Один из методов медицинской микробиологии — серологическое исследование (лат. *serum* — сыворотка, жидкая составная часть крови), в основе которого лежит специфическое взаимодействие антигена и антитела в сыворотке крови человека и животных. Его используют с целью обнаружения специфических антител и диагностики инфекционных заболеваний.

В эпидемиологии серологические исследования позволяют обнаружить источник инфекции, определить состояние коллективного иммунитета и эффективность вакцинации.

Серологический метод привел к внедрению в медицинскую практику серотерапии и серопрофилактики. В первом случае лечение инфекционных заболеваний осуществляют иммунными антибактериальными и антитоксическими сыворотками. При их введении в организм больного происходят уничтожение возбудителя инфекции и нейтрализация выделяемого им токсина.

Серопрофилактика направлена на предупреждение инфекционных заболеваний посредством профилактического введения в организм антитоксической или антимикробной сыворотки крови здоровых людей или гамма-глобулина.

Метод биологических проб, используемый в медицинской и ветеринарной микробиологии, заключается в заражении экспериментальных животных возбудителями различных заболеваний с целью изучения течения болезни, путей ее распространения и методов лечения.

Метод аллергических реакций широко применяют в медицине для определения повышенной чувствительности организма к болезнетворным микроорганизмам и продуктам их жизнедеятельности.

Генетический метод внедрен в практику микробиологических исследований относительно недавно. Использование микроорганизмов в качестве объектов генетических исследований открыло новую эпоху не только в генетике, но и в биологии. На примере бактерий можно моделировать и изучать основные закономерности наследственности и изменчивости.