

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное агентство по образованию РФ

Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса

Т.Ю. ГАРЦМАН

ОСНОВЫ МИКРОБИОЛОГИИ

Учебное пособие

Владивосток
Издательство ВГУЭС
2009

ББК 28.4я73

Г 20

Рецензенты: Л.Ю. Драгилева, доцент
каф. ТВЭ, канд. техн. наук,
зав. кафедрой;
В.П. Стуkun, ст. преподава-
тель каф. ТВЭ

Гарцман Т.Ю.

Г 20 **ОСНОВЫ МИКРОБИОЛОГИИ:** учебное пособие. –
Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2009. – 104 с.

Учебное пособие по курсу «Основы микробиологии» написано в соответствии с разделами программы «Основы микробиологии» на основе требований государственного образовательного стандарта второго поколения по специальностям «Товароведение в таможенной сфере» и «Товароведение и экспертиза непродовольственных товаров». Каждая глава учебного пособия предварена перечнем компетенций и снабжена контрольными вопросами.

Предназначено студентам специальности 351100 «Товароведение и экспертиза товаров (по областям применения)» всех форм обучения.

ББК 28.4я73

Печатается по решению РИСО ВГУЭС

© Издательство Владивостокский
государственный университет
экономики и сервиса, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Основы микробиологии» представляет собой изложение основных и специальных понятий микробиологии, которые являются базовыми для изучения ряда специальных дисциплин специальностей «Товароведение в таможенной сфере» и «Товароведение и экспертиза непродовольственных товаров». Предметом изучения являются микроскопические объекты живого мира и их влияние на свойства и качество непродовольственных товаров. Изучение «Основ микробиологии» позволяет студентам-товароведам использовать полученные фундаментальные знания для анализа повреждающих факторов и способов их устранения, принятия мер по сохранению надлежащих свойств товаров народного потребления.

Цель курса – формирование системы фундаментальных знаний, необходимых для решения теоретических и практических товароведческих задач. Для успешного освоения курса необходимо:

- усвоить основные понятия микробиологии;
- выявить особенности взаимодействия микроорганизмов с объектами окружающей среды и макроорганизмом;
- описать основные инструменты коррекции нежелательных взаимодействий.

Тема 1.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИИ
И МИКРООРГАНИЗМОВ.
КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ
МИКРОБИОЛОГИИ.
ПОЛОЖЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В
СИСТЕМЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ.
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ
МИКРООРГАНИЗМОВ

В результате изучения темы 1 студент овладеет следующими компетенциями:

- 1) сможет определять термины «биология», «микробиология» и «микроорганизм»;*
- 2) сможет ориентироваться в разделах современной микробиологии;*
- 3) сможет оценить роль открытий Л. Пастера и русских ученых в развитии микробиологии;*
- 4) овладеет методами световой микроскопии;*
- 5) сможет охарактеризовать положение микроорганизмов в системе животного мира.*

1.1. Биология. Микробиология.
Микроорганизмы и их практическое значение

Биология (греч. bios – жизнь и logos – учение) – совокупность естественных наук о жизни как особом явлении природы. Предметом изучения служат строение, функционирование, индивидуальное и историческое (эволюция) развитие организмов, взаимоотношения их друг с другом и с окружающей средой. Термин «биология» был предложен в начале XIX в. Ламарком (J.V.P.A. Lamarck) и Тревиранусом (Treviranus) независимо друг от друга. Познание биологических закономерностей составляет основу прогресса в области медицины, сельского, промышленного и лесного хозяйства.

Стремление человека познать живую природу всегда было вызвано его практическими нуждами. В древности были заложены основы ботаники (Теофраст, 372–287 гг. до н.э.) и зоологии (Аристотель, 384–322 гг. до н.э.). Аристотель, например, дал описание свыше 500 видов животных, предпринял попытку их классификации. В ее современном понимании биология начала формироваться в XIV–XV вв. В XV–XVIII вв. начинается процесс дифференциации биологии по нескольким крупным направлениям. Интенсивно стали развиваться такие разделы биологии, как зоология, анатомия, физиология, ботаника. Линней (С. Linnaeus, 1735) предложил для обозначения биологических видов бинарный (двойной) принцип номенклатуры, положив таким образом начало современной классификации живых форм. В 1809 г. Ламарк выступил с первой концепцией эволюции. Применение микроскопа дало начало развитию микробиологии, которая является самостоятельным разделом современной биологии.

Микробиология (греч. mikros – малый и биология) — наука о микроорганизмах, изучающая их систематику, строение, физиологию, биохимию, генетику и изменчивость, распространение и роль в природе, в жизни человека, а также разрабатывающая способы управления их жизнедеятельностью, методы их выявления и распознавания. Как наука микробиология сформировалась во второй половине XIX в., главным образом благодаря работам Л. Пастера и Р. Коха. Современная микробиология распадается на ряд самостоятельных разделов.

Общая микробиология изучает фундаментальные закономерности биологии микроорганизмов. По средам их обитания она разделяется на почвенную, водную, геологическую микробиологию.

Техническая (промышленная) микробиология, или биотехнология, занимается исследованием микробиологических процессов, применяемых для получения дрожжей, кормового белка, липидов и др., а также микробиологическим синтезом антибиотиков, витаминов, ферментов, аминокислот и др. На основе достижений технической микробиологии развились микробиологическая промышленность и ряд отраслей пищевой промышленности.

Сельскохозяйственная микробиология изучает состав почвенной микрофлоры, ее роль в круговороте веществ в почве, значение для структуры и плодородия почвы, действие бактериальных препаратов на урожайность растений, а также микроорганизмы, вызывающие болезни растений, разрабатывает способы борьбы с ними, методы консервирования кормов и др.

Санитарная микробиология изучает микрофлору окружающей среды человека с точки зрения ее влияния на его здоровье и разрабатывает микробиологические показатели гигиенического нормирования, а также мероприятия по обеззараживанию объектов окружающей среды и мето-

ды контроля их эффективности. Разделом санитарной микробиологии является санитарно-пищевая микробиология.

Медицинская микробиология изучает патогенные и условно-патогенные для человека микроорганизмы, механизмы их болезнетворного действия, строение токсинов микроорганизмов и их действие, вирулентность и общие закономерности развития инфекционных процессов, разрабатывает методы специфической профилактики и лечения инфекционных болезней. Эти же вопросы применительно к сельскохозяйственным и другим животным решает *ветеринарная микробиология*.

Выделяют также радиационную микробиологию, изучающую влияние ионизирующих излучений на микроорганизмы, и *космическую микробиологию*, исследующую особенности микрофлоры человека и окружающей среды в космических кораблях и станциях, а также условия выживания и распространения микроорганизмов в космосе.

Микроорганизмы — мельчайшие организмы, имеющие различное строение и разнообразные биологические свойства. Изучением строения микроорганизмов, их морфологии и физиологии, жизненных циклов и систематики, наследственности и изменчивости, взаимоотношений микроорганизмов с внешней средой и организмом человека или животного занимается микробиология.

Микроорганизмы широко распространены в природе. Они находятся в почве, воде, воздухе, в организме и на поверхности тела человека и животных, на растениях, различных предметах, в пищевых продуктах. Микроорганизмы играют важную роль в круговороте веществ в природе. В частности, с помощью микроорганизмов почвы осуществляются биологический круговорот углерода, азота, фосфора, фиксация молекулярного азота воздуха, благодаря их жизнедеятельности происходят разложение и минерализация животных и растительных остатков, попадающих в почву, процесс ее самоочищения от нечистот и отходов. Микроорганизмы, обитающие в воде, участвуют в круговороте серы, железа и других элементов, осуществляют разложение органических веществ животного и растительного происхождения, обеспечивают самоочищение воды в водоемах. Микрофлора, заселяющая организм человека и животных, играет важную роль в их жизнедеятельности. Многие микроорганизмы используют для получения биологически активных соединений (в т.ч. антибиотиков, иммуномодуляторов и др.), различных пищевых, например кисломолочных, продуктов. В сельском хозяйстве применяют бактериальные удобрения, с помощью микроорганизмов осуществляют консервирование кормов.

Относительно небольшая часть микроорганизмов является условно-патогенной или патогенной для человека и животных. Некоторые микроорганизмы вызывают поражение сельскохозяйственных продуктов, приводят к обеднению почвы азотом, обладают деструктивным

действием на объекты окружающей среды, санитарно-технические, производственные и другие сооружения и объекты, вызывают цветение и загрязнение водоемов, накопление ядовитых веществ (сероводорода, нитритов, микробных токсинов).

Микроорганизмы отличаются хорошей приспособляемостью к действию факторов внешней среды. Различные микроорганизмы могут расти при температуре от -6° до $+50-75^{\circ}$ (археобактерии — при температуре около 300° , создаваемой под давлением в горячих источниках на дне океана), повышенном уровне ионизирующего излучения, любом значении pH, при 25% концентрации хлорида натрия, в условиях различного содержания кислорода (вплоть до полного его отсутствия).

1.2. История развития микробиологии

На протяжении длительного времени человек жил в окружении невидимых существ, использовал продукты их жизнедеятельности (например, при выпечке хлеба из кислого теста, приготовлении вина и уксуса), страдал, когда эти существа являлись причинами болезней или портили запасы пищи, но не подозревал об их присутствии. Не подозревал потому, что не видел, а не видел потому, что размеры этих микроорганизмов лежали много ниже того предела видимости, на который способен человеческий глаз. Известно, что человек с нормальным зрением на оптимальном расстоянии (25–30 см) может различить в виде точки предмет размером 0,07–0,08 мм. Меньшие объекты человек заметить не может. Это определяется особенностями строения его органа зрения.

Попытки преодолеть созданный природой барьер и расширить возможности человеческого глаза были сделаны давно. Так, при археологических раскопках в Древнем Вавилоне находили двояковыпуклые линзы – самые простые оптические приборы. Линзы были изготовлены из отшлифованного горного хрусталя. Можно считать, что с их изобретением человек сделал первый шаг на пути в микромир.

Дальнейшее совершенствование оптической техники относится к XVI–XVII вв. и связано с развитием астрономии. В это время голландские шлифовальщики стекла сконструировали первые подзорные трубы. Оказалось, что если линзы расположить не так, как в телескопе, то можно получить увеличение очень мелких предметов. Микроскоп подобного типа был создан в 1610 г. Г. Галилеем (G. Galilei, 1564–1642). Изобретение микроскопа открыло новые возможности для изучения живой природы.

Одним из первых микроскопов, состоящий из двух двояковыпуклых линз, дававших увеличение примерно в 30 раз, сконструировал и использовал для изучения строения растений английский физик и изобретатель Р. Гук (R. Hooke, 1635–1703). Рассматривая срезы пробки, он

обнаружил правильное ячеистое строение древесной ткани. Эти ячейки впоследствии были названы им «клетками» и изображены в книге «Микрография» (1665). Именно Р. Гук ввел термин «клетка» для обозначения тех структурных единиц, из которых построен сложный живой организм. Дальнейшее проникновение в тайны микромира неразрывно связано с совершенствованием оптических приборов.

Первым человеком, увидевшим микроорганизмы, был голландец Антони ван Левенгук (Antony van Leeuwenhoek, 1632–1723), мануфактурщик из Дельфта. Заинтересовавшись строением льняного волокна, он отшлифовал для себя несколько грубых линз. Позднее А. ван Левенгук увлекся этой тонкой и кропотливой работой и достиг большого совершенства в деле изготовления линз, названных им «микроскопиями». По внешней форме это были одинарные двояковыпуклые стекла, оправленные в серебро или латунь (то, что мы теперь называем «лупы»), однако по своим оптическим свойствам линзы А. ван Левенгука, дававшие увеличение в 200–270 раз, не знали себе равных. (Достаточно напомнить, что теоретический предел увеличения двояковыпуклой линзы – 250–300 раз.)

Обладая природной любознательностью, А. ван Левенгук с интересом рассматривал все, что попадалось под руку: воду из пруда, зубной налет, настой перца, слюну, кровь и многое другое. Результаты своих наблюдений он начал посылать в Лондонское Королевское общество, членом которого впоследствии был избран. Всего А. ван Левенгук написал в это общество свыше 170 писем, а позднее завещал ему 26 своих знаменитых «микроскопий». Вот выдержка из одного письма: «24 апреля 1676 г. я посмотрел на... воду под микроскопом и с большим удивлением увидел в ней огромное количество мельчайших живых существ. Некоторые из них в длину были раза в 3–4 больше, чем в ширину, хотя они и не были толще волосков, покрывающих тело вши... Другие имели правильную овальную форму. Был там еще и третий тип организмов – наиболее многочисленный – мельчайшие существа с хвостиками». Сопоставив описание, приведенное в этом отрывке, и оптические возможности имевшихся в распоряжении А. ван Левенгука линз, можно сделать заключение, что в 1676 г. ему впервые удалось увидеть бактерии.

А. ван Левенгук повсюду обнаруживал микроорганизмы и пришел к выводу, что окружающий мир густо заселен микроскопическими обитателями. Все виденные им микроорганизмы, в том числе и бактерии, А. ван Левенгук считал маленькими животными, названными им «анималькулями», и был убежден, что они устроены так же, как и крупные организмы, т.е. имеют органы пищеварения, ножки, хвостики и т.д. Открытия А. ван Левенгука были настолько неожиданными и даже фантастическими, что на протяжении почти 50 последующих лет вызывали всеобщее изумление. Будучи в Голландии, Петр I посетил А. ван Левен-

гука и беседовал с ним. Из этой поездки Петр I привез в Россию микроскоп, а позднее в мастерских при его дворе были изготовлены первые отечественные микроскопы. Дальнейшее систематическое изучение окружающей природы с помощью совершенствовавшихся микроскопов подтверждало обнаруженное А. ван Левенгуком повсеместное распространение микроорганизмов. Три основные проблемы, волновавшие умы ученых на протяжении длительного времени, послужили могучим стимулом для развития исследований, приведших к возникновению и последующему интенсивному развитию микробиологии: природа процессов брожения и гниения, причины возникновения инфекционных болезней и проблема самозарождения организмов.

Многие процессы, осуществляемые микроорганизмами, были известны человеку с незапамятных времен. В первую очередь это гниение и брожение. В сочинениях древних греческих и римских авторов можно найти рецепты приготовления вина, кислого молока, хлеба, свидетельствующие о широком использовании в быту брожений. В средние века алхимики не обошли вниманием эти процессы и изучали их наряду с другими чисто химическими превращениями. Именно в этот период были сделаны первые попытки выяснить природу процессов брожения.

Термин «брожение» (*fermentatio*) для обозначения всех процессов, идущих с выделением газа, впервые употребил голландский алхимик Я. Б. ван Гельмонт (*J. B. van Helmont*, 1577–1644). Позднее брожения стали выделять из группы химических процессов, сопровождающихся газовыделением. Для обозначения материальной движущей силы брожения, его активного начала использовали термин «фермент». Взгляд на брожение и гниение как на чисто химические процессы был сформулирован в 1697 г. немецким врачом и химиком Г.Э. Шталем, (*G.E. Stahl*, 1660–1734). По представлениям Г. Шталя, брожение и гниение – это химические превращения, идущие под влиянием молекул «фермента», которые передают присущее им внутреннее активное движение молекулам сбраживаемого субстрата, т.е. выступают в качестве своеобразных катализаторов реакции. Однако эта точка зрения принималась не всеми исследователями.

Одна из первых догадок о связи описанных А. ван Левенгуком «глобул» (дрожжей) с явлениями брожения и гниения принадлежит французскому натуралисту Ж.Л.Л. Бюффону (*G.L.L. Buffon*, 1707–1788). Весьма близко подошел к пониманию роли дрожжей в процессе брожения французский химик А.Л. Лавуазье (*A.L. Lavoisier*, 1743–1794), изучавший количественно химические превращения сахара при спиртовом брожении. В 1793 г. он писал: «Достаточно немного пивных дрожжей, чтобы... дать первый толчок к брожению: оно потом продолжается само

собой. Я доложу в другом месте о действии фермента в целом». Однако сделать это ему не удалось: А. Лавуазье стал жертвой террора французской буржуазной революции.

С 30-х гг. XIX в. начинается период интенсивных микроскопических наблюдений. В 1827 г. французский химик Ж.Б. Демазьер (J.B. Demazier, 1783–1862) описал строение организмов (дрожжей), формирующих пленку на поверхности пива. Однако в работе Ж.Б. Демазьера нет никаких указаний на возможную связь процесса брожения с развивающейся на поверхности бродящей жидкости пленкой. Спустя 10 лет французский ботаник Ш. Каньяр де Латур (Ch. Cagniard de Latour, 1777–1859) предпринял тщательное микроскопическое изучение осадка, образующегося при спиртовом брожении, и пришел к выводу, что он состоит из живых существ, жизнедеятельность которых и является причиной брожения. Почти одновременно немецкий естествоиспытатель Ф. Кютцинг (F. Kuthzing, 1807–1893), исследуя образование уксуса из спирта, обратил внимание на слизистую массу, имеющую вид пленки на поверхности жидкости. Изучая эту массу, Ф. Кютцинг установил, что она состоит из микроскопических живых организмов и имеет непосредственное отношение к накоплению уксуса в среде. К аналогичным выводам пришел другой немецкий естествоиспытатель Т. Шванн (Th. Schwann, 1810–1882). Таким образом, Ш. Каньяр де Латур, Ф. Кютцинг и Т. Шванн независимо друг от друга и почти одновременно пришли к заключению о связи процессов брожения с жизнедеятельностью микроскопических живых существ.

Однако идеи о биологической природе «фермента» брожения, высказанные тремя исследователями, не получили признания. Более того, они были подвергнуты суровой критике со стороны приверженцев теории физико-химической природы брожения, обвинивших своих научных противников в «легкомыслии в выводах» и отсутствии каких-либо доказательств, подтверждающих эту «странную гипотезу». Господствовавшей оставалась теория физико-химической природы процессов брожения.

Формирование представлений о микробной природе инфекционных заболеваний началось с предположений древнегреческого врача Гиппократ (ок. 460–377 до н. э.) о том, что заразные болезни вызываются невидимыми живыми существами. Авиценна (ок. 980–1037) в «Каноне медицины» писал о «невидимых» возбудителях чумы, оспы и других заболеваний. Подобные мысли можно обнаружить и в трудах итальянского врача, астронома и поэта Дж. Фракастро (J. Fracastro, 1478–1553). В том, что инфекционные болезни вызываются живыми микроскопическими существами, был глубоко убежден русский врач-эпидемиолог Д.С. Самойлович (1744–1805), пытавшийся под микроскопом обнаружить возбудителя чумы, однако возможности существовавших тогда

микроскопов не позволили ему этого сделать. В 1827 г. итальянский естествоиспытатель А. Басси (A. Bassi, 1773–1856), изучая заболевание шелковичных червей, обнаружил передачу болезни при переносе микроскопического грибка от больной особи к здоровой. Таким образом, А. Басси впервые удалось экспериментально установить микробную природу этого заболевания.

Несмотря на блестящие догадки отдельных ученых и опыты А. Басси, в целом представление о микробной природе инфекционных болезней в течение долгого времени не получало признания. Подавляющее большинство исследователей были убеждены в том, что причинами всех заболеваний являются нарушения течения химических процессов в организме. Однако острый интерес к изучению инфекционных заболеваний и совершенствование микроскопической техники приводили к быстрому накоплению данных, говорящих об участии микробов в инфекционных заболеваниях.

Человеком, который своими работами положил начало современной микробиологии, был выдающийся французский ученый Луи Пастер (Louis Pasteur, 1822–1895). Научная деятельность Л. Пастера многогранна и охватывала все основные проблемы того времени, связанные с жизнедеятельностью микроорганизмов.

Чтобы оценить гигантский научный труд Л. Пастера, достаточно привести надпись на доске, прибитой к дому, где помещалась его лаборатория. Надпись эта гласит: Здесь была лаборатория Л. Пастера:

1857 г. – Брожение.

1860 г. – Самопроизвольное зарождение.

1865 г. – Болезни вина и пива.

1868 г. – Болезни шелковичных червей.

1881 г. – Зараза и вакцина.

1885 г. – Предохранение от бешенства.

Трудно переоценить значение научных открытий Л. Пастера, каждого из которых достаточно, чтобы навсегда вписать имя ученого в историю науки. Изучая молочнокислое, спиртовое, маслянокислое брожение, Л. Пастер выяснил, что эти процессы вызываются определенными видами микроорганизмов и непосредственно связаны с их жизнедеятельностью. Позднее, изучая «болезни» вина, болезни животных и человека, он экспериментально установил, что их «виновниками» также являются микроорганизмы. Таким образом, Л. Пастер впервые показал, что микроорганизмы – это активные формы, полезные или вредные, энергично воздействующие на окружающую природу, в том числе и на человека.

Принципиально важным не только для микробиологии, но для более глубокого понимания сущности живого в его разнообразных проявлениях было открытие Л. Пастером у микроорганизмов новых типов

жизни, не похожих на те, которые имеют место в мире растений и животных. В 1857 г. Л. Пастер при изучении спиртового брожения установил, что оно – результат жизнедеятельности дрожжей без доступа кислорода. Позднее при изучении маслянокислого брожения он обнаружил, что возбудители брожения вообще отрицательно относятся к кислороду и могут размножаться только в условиях, исключающих его свободный доступ. Таким образом, Л. Пастер обнаружил существование «жизни без кислорода», т.е. анаэробный способ существования. Он же ввел термины «аэробный» и «анаэробный» для обозначения жизни в присутствии или в отсутствие молекулярного кислорода.

К области теоретических открытий Л. Пастера относятся его работы о невозможности самозарождения. Спор о том, откуда возникают живые существа, в том числе и микроорганизмы: из себе подобных или из других компонентов живой природы, – это давний спор, приобретший к середине XIX в. большую остроту и далеко вышедший за рамки чисто научных дискуссий. На основании проделанных экспериментов Л. Пастер пришел к следующему выводу: «Нет, сегодня не имеется ни одного известного факта, с помощью которого можно было бы утверждать, что микроскопические существа появились на свет без зародышей, без родителей, которые их напоминают. Те, кто настаивает на противоположном, являются жертвой заблуждения или плохо проделанных опытов, содержащих ошибки, которые они не сумели заметить или которых они не сумели избежать».

И наконец, работы Л. Пастера в области изучения инфекционных болезней животных и человека (болезнь шелковичных червей, сибирская язва, куриная холера, бешенство) позволили ему не только выяснить природу этих заболеваний, но и найти способ борьбы с ними. Поэтому мы с полным правом можем считать, что своими классическими работами по изучению инфекционных болезней и мер борьбы с ними Л. Пастер положил начало развитию медицинской микробиологии.

Работы Л. Пастера были по достоинству оценены его современниками и получили международное признание. В 1888 г. для ученого на средства, собранные по международной подписке, был построен в Париже научно-исследовательский институт, носящий в настоящее время его имя. Л. Пастер был первым директором этого института. Открытия Л. Пастера показали, как разнообразен, необычен, активен невидимый простым глазом микромир и какое огромное поле деятельности представляет его изучение.

Одним из основоположников медицинской микробиологии наряду с Л. Пастером явился немецкий микробиолог Р. Кох (R. Koch, 1843–1910), занимавшийся изучением возбудителей инфекционных заболеваний. Свои исследования Р. Кох начал, еще будучи сельским врачом, с изучения сибирской язвы и в 1877 г. опубликовал работу, посвященную

возбудителю этого заболевания – *Bacillus anthracis*. Вслед за этим внимание Р. Коха привлекла другая тяжелая и широко распространенная болезнь того времени – туберкулез. В 1882 г. Р. Кох сообщил об открытии возбудителя туберкулеза, который в его честь был назван «палочкой Коха». (В 1905 г. за исследование туберкулеза Р. Коху была присуждена Нобелевская премия.) Ему принадлежит также открытие возбудителя холеры.

Родоначальником русской микробиологии является Л.С. Ценковский (1822–1887). Объектом его исследований были микроскопические простейшие, водоросли, грибы. Л.С. Ценковский открыл и описал большое число простейших, изучал их морфологию и циклы развития. Это позволило ему сделать вывод об отсутствии резкой границы между миром растений и животных. Л.С. Ценковский интересовался проблемами медицинской микробиологии. Им была организована одна из первых Пастеровских станций в России и предложена вакцина против сибирской язвы (так называемая «живая вакцина Ценковского»).

Основоположителем медицинской микробиологии справедливо считают также И.И. Мечникова (1845–1916). И.И. Мечников был разносторонним исследователем, но основные свои научные интересы он сосредоточил на проблеме изучения взаимоотношений хозяина и микроорганизма-паразита. В 1883 г. И.И. Мечников создал теорию иммунитета. В 1909 г. за исследования по фагоцитозу И.И. Мечникову была присуждена Нобелевская премия.

Большой вклад в развитие общей микробиологии внесли русский микробиолог С.Н. Виноградский (1856–1953) и голландский микробиолог М. Бейеринк (M. Beijerinck, 1851–1931). Оба много и плодотворно работали в разных областях микробиологии. Впитав идеи Л. Пастера о многообразии форм жизни в микромире, С.Н. Виноградский ввел микрoэкологический принцип в исследование микроорганизмов.

Пользуясь изящными методическими приемами, в основу которых был положен микрoэкологический принцип, С.Н. Виноградский выделил из почвы микроорганизмы, представляющие собой совершенно новый тип жизни и получившие название хемолитоавтотрофных. В качестве единственного источника углерода для построения всех веществ клетки хемолитоавтотрофы используют углекислоту, а энергию получают в результате окисления неорганических соединений серы, азота, железа, сурьмы или молекулярного водорода.

Микрoэкологический принцип был успешно развит М. Бейеринком и применен при выделении различных групп микроорганизмов. В частности, спустя восемь лет после открытия С.Н. Виноградским анаэробного азотфиксатора, М. Бейеринк обнаружил в почве еще один вид бактерий, способных к росту и азотфиксации в аэробных условиях, — *Azotobacter chroococcum*. Круг научных интересов М. Бейеринка был

необычайно широк. Ему принадлежат работы по исследованию физиологии клубеньковых бактерий, изучению процесса денитрификации и сульфатредукции, работы по изучению ферментов разных групп микроорганизмов.

С.Н. Виноградский и М. Бейеринк являются основоположниками экологического направления микробиологии, связанного с изучением роли микроорганизмов в природных условиях и участием их в круговороте веществ в природе.

Сообщения об активном участии микроорганизмов в процессах превращения веществ в природе стали быстро накапливаться в 70–80-х гг. XIX в. В 1877 г. французские химики Т. Шлезинг (Т. Schloesing) и А. Мюнц (А. Muntz) доказали микробиологическую природу процесса нитрификации. В 1882 г. П. Дегерен (Р. Deherein) обнаружил аналогичную природу процесса денитрификации, а двумя годами позднее он же установил микробиологическую природу анаэробного разложения растительных остатков. М.С. Воронин в 1867 г. описал клубеньковые бактерии, а спустя почти двадцать лет Г. Гельригель (Н. Hellrigel) и Г. Вильфарт (Н. Willfarth) показали их способность к азотфиксации. П.А. Костычев создал теорию микробиологической природы процессов почвообразования. Конец XIX в. ознаменовался еще одним важным открытием в области микробиологии. В 1892 г. Д.И. Ивановский обнаружил вирус табачной мозаики – представителя новой группы микроскопических существ. В 1898 г. независимо от Д.И. Ивановского вирус табачной мозаики был описан М. Бейеринком.

Таким образом, вторая половина XIX в. характеризуется выдающимися открытиями в области микробиологии. На смену описательному морфолого-систематическому изучению микроорганизмов, господствовавшему в первой половине XIX в., пришло физиологическое изучение микроорганизмов, основанное на точном эксперименте. Развитие нового этапа микробиологии связано в первую очередь с трудами Л. Пастера. К концу XIX в. намечается дифференциация микробиологии на ряд направлений: общая, медицинская, почвенная.

Успехи микробиологии во второй половине XIX в. привели к обнаружению чрезвычайного разнообразия типов жизни в микромире. Следующий вопрос, заинтересовавший исследователей: как объяснить такое многообразие, определить его границы, выявить, на чем оно основано? Постановкой этой проблемы, имеющей общебиологическое значение, мы обязаны двум крупнейшим микробиологам нашего времени А. Клюйверу (А. Kluuyver, 1888–1956) и К. ван Нилью (С. van Niel, 1897–1985). А. Клюйвер и его ученики (одним из них был К. ван Ниль) провели сравнительные биохимические исследования в относительно далеко отстоящих друг от друга физиологических группах микроорганизмов. Было изучено много форм микроорганизмов и примерно к середи-

не 50-х гг. прошлого века сформулировано то, что теперь называют теорией биохимического единства жизни.

В чем же конкретно состоит биохимическое единство жизни? Общее основано на единстве конструктивных, энергетических процессов и механизмов передачи генетической информации. А. Клейвер доказал два первых положения: все живые организмы построены из однотипных химических макромолекул, универсальной единицей биологической энергии служит АТФ, в основе физиологического разнообразия живых существ лежит несколько основных метаболических путей. Что касается последнего положения, то А. Клейвер изучением этой проблемы не занимался. Единство системы передачи генетической информации у всех клеточных типов жизни было установлено позднее. В настоящее время мы пока не знаем исключений, которые ставили бы под сомнение теорию биохимического единства жизни.

С начала XX в. продолжается дальнейшая дифференциация микробиологии. От нее отпочковываются новые научные дисциплины (вирусология, микология) со своими объектами исследования, выделяются направления, различающиеся задачами исследования (общая микробиология, техническая, сельскохозяйственная, медицинская, генетика микроорганизмов). Перечисление достижений микробиологии XX в. в кратком очерке представляется необычайно сложным, что и привело нас к заключению не делать этого. Фактически все последующее изложение материала (и то достаточно краткое и не затрагивающее всех направлений современной микробиологии) есть попытка охарактеризовать достижения в некоторых областях микробиологии на современном этапе. Вклад отдельных исследователей в решение определенных микробиологических проблем мы старались отмечать по мере изложения материала.

Итак, мы коротко остановились на истории микробиологии, особо подчеркнув роль исследователей, работы которых имели этапное значение не только для развития микробиологии, но и биологии в целом: А. ван Левенгук – открытие микромира, Л. Пастер – выяснение роли микроорганизмов в природе, С.Н. Виноградский и М. Бейеринк – утверждение многообразия форм жизни в микромире, А. Клейвер и К. ван Ниль – доказательство биохимического единства жизни.

1.3. Микроскопические методы исследования

В микробиологии широко применяют микроскопические методы исследования, методы культивирования микроорганизмов, генной инженерии, хроматографии, масс-спектрометрии, изотопных индикаторов, электрофореза, цитологические, иммунохимические, биохимические и другие.

Микроскопические методы исследования – способы изучения различных объектов с помощью микроскопа. В биологии и медицине эти методы позволяют изучать строение микроскопических объектов, размеры которых лежат за пределами разрешающей способности глаза человека. Основу микроскопических методов исследования составляет световая и электронная микроскопия. В практической и научной деятельности специалисты помимо обычной световой микроскопии используют фазово-контрастную, интерференционную, люминесцентную, поляризационную, стереоскопическую, ультрафиолетовую, инфракрасную микроскопию. В основе этих методов лежат различные свойства света. При электронной микроскопии изображение объектов исследования возникает за счет направленного потока электронов.

Для световой микроскопии и основанных на ней других микроскопических методов исследования определяющее значение помимо разрешающей способности микроскопа имеет характер и направленность светового луча, а также особенности изучаемого объекта, который может быть прозрачным и непрозрачным. В зависимости от свойств объекта изменяются физические свойства света – его цвет и яркость, связанные с длиной и амплитудой волны, фаза, плоскость и направление распространения волны. На использовании этих свойств света и строятся различные микроскопические методы исследования. Для световой микроскопии биологические объекты обычно окрашивают с целью выявления тех или иных их свойств. При этом ткани должны быть фиксированы, т.к. окраска выявляет определенные структуры только убитых клеток. В живой клетке краситель обособляется в цитоплазме в виде вакуоли и не прокрашивает ее структуры. Однако в световом микроскопе можно изучать и живые биологические объекты с помощью метода витальной микроскопии. В этом случае применяют темнопольный конденсор, который встраивают в микроскоп.

Для исследования живых и неокрашенных биологических объектов используют также фазово-контрастную микроскопию. Она основана на дифракции луча света в зависимости от особенностей объекта излучения. При этом изменяется длина и фаза световой волны. Объектив специального фазово-контрастного микроскопа содержит полупрозрачную фазовую пластинку. Живые микроскопические объекты или фиксированные, но не окрашенные микроорганизмы и клетки из-за их прозрачности практически не изменяют амплитуду и цвет проходящего через них светового луча, вызывая лишь сдвиг фазы его волны. Однако, пройдя через изучаемый объект, лучи света отклоняются от полупрозрачной фазовой пластинки. В результате между лучами, прошедшими через объект, и лучами светового фона возникает разность длины волны. Если

эта разность составляет не менее $\frac{1}{4}$ длины волны, то появляется зрительный эффект, при котором темный объект отчетливо виден на светлом фоне или наоборот в зависимости от особенностей фазовой пластинки.

Разновидностью фазово-контрастной микроскопии является амплитудно-контрастная, или аноптральная, микроскопия, при которой применяют объектив со специальными пластинками, изменяющими только яркость и цвет фонового света. В результате расширяются возможности исследования живых неокрашенных объектов. Фазово-контрастная микроскопия находит применение в микробиологии и паразитологии при исследовании микроорганизмов, простейших, клеток растений и животных, в гематологии для подсчета и определения дифференцировки клеток костного мозга и крови, а также при изучении клеток культуры тканей и т.п.

Интерференционная микроскопия решает те же задачи, что и фазово-контрастная. Но если последняя позволяет наблюдать лишь контуры объектов исследования, то с помощью интерференционной микроскопии можно изучать детали прозрачного объекта и проводить их количественный анализ. Это достигается благодаря раздвоению луча света в микроскопе: один из лучей проходит через частицу наблюдаемого объекта, а другой мимо нее. В окуляре микроскопа оба луча соединяются и интерферируют между собой. Возникающую разность фаз можно измерить, определив т.о. массу различных клеточных структур. Последовательное измерение разности фаз света с известными показателями преломления дает возможность определять толщину живых объектов и нефиксированных тканей, концентрацию в них воды и сухого вещества, содержание белков и т.д. На основании данных интерференционной микроскопии можно косвенно судить о проницаемости мембран, активности ферментов, клеточном метаболизме объектов исследования.

Поляризационная микроскопия позволяет изучать объекты исследования в свете, образованном двумя лучами, поляризованными во взаимноперпендикулярных плоскостях, т.е. в поляризованном свете. Для этого используют пленчатые поляроиды или призмы Николя, которые помещают в микроскопе между источником света и препаратом. Поляризация меняется при прохождении (или отражении) лучей света через различные структурные компоненты клеток и тканей, свойства которых неоднородны. В так называемых изотропных структурах скорость распространения поляризованного света не зависит от плоскости поляризации, в анизотропных структурах скорость его распространения меняется в зависимости от направления света по продольной или поперечной оси объекта. Если показатель преломления света вдоль структуры больше, чем в поперечном направлении, возникает положительное двойное лучепреломление, при обратных взаимоотношениях – отрицательное двой-

ное лучепреломление. Многие биологические объекты имеют строгую молекулярную ориентацию, являются анизотропными и обладают положительным двойным преломлением света. Такими свойствами обладают миофибриллы, реснички мерцательного эпителия, нейрофибриллы, коллагеновые волокна и др. Сопоставление характера преломления лучей поляризованного света и величины анизотропии объекта позволяет судить о молекулярной организации его структуры. Поляризационная микроскопия является одним из способов микробиологической диагностики, находит применение в цитологических исследованиях и др. При этом в поляризованном свете можно исследовать как окрашенные, так и неокрашенные и нефиксированные, так называемые нативные препараты срезов тканей.

Широкое распространение имеет люминесцентная микроскопия. Она основана на свойстве некоторых веществ давать свечение – люминесценцию в УФ-лучах или в сине-фиолетовой части спектра. Многие биологические вещества, такие как простые белки, коферменты, некоторые витамины и лекарственные средства, обладают собственной (первичной) люминесценцией. Другие вещества начинают светиться только при добавлении к ним специальных красителей – флюорохромоов (вторичная люминесценция). Флюорохромы могут распределяться в клетке диффузно либо избирательно окрашивают отдельные клеточные структуры или определенные химические соединения биологического объекта. С помощью иммунофлюоресценции в люминесцентном микроскопе выявляют вирусные антигены и их концентрацию в клетках, идентифицируют вирусы, определяют антигены и антитела, гормоны, различные продукты метаболизма и т.д.

Ультрафиолетовая микроскопия основана на способности некоторых веществ, входящих в состав живых клеток, микроорганизмов или фиксированных, но не окрашенных, прозрачных в видимом свете тканей, поглощать УФ-излучение с определенной длиной волн (400–250 нм). Этим свойством обладают высокомолекулярные соединения, такие как нуклеиновые кислоты, белки, ароматические кислоты (тирозин, триптофан, метилаланин), пуриновые и пиримидиновые основания и др. С помощью ультрафиолетовой микроскопии уточняют локализацию и количество указанных веществ, а в случае исследования живых объектов – их изменения в процессе жизнедеятельности.

Инфракрасная микроскопия позволяет исследовать непрозрачные для видимого света и УФ-излучения объекты путем поглощения их структурами света с длиной волны 750–1200 нм. Для инфракрасной микроскопии не требуется предварительной химической обработки препаратов. Этот вид микроскопических методов исследования наиболее часто используют в зоологии, антропологии, других отраслях биологии.

Для исследования объемных объектов используют стереоскопическую микроскопию. Конструкция стереоскопических микроскопов позволяет видеть объект исследования правым и левым глазом под разными углами. Исследуют непрозрачные объекты при относительно небольшом увеличении (до 120 раз). Стереоскопическая микроскопия находит применение в лабораторных исследованиях.

Для изучения на субклеточном и макромолекулярном уровнях структуры клеток, тканей микроорганизмов и вирусов используют электронную микроскопию. Этот микроскопический метод исследования позволил перейти на качественно новый уровень изучения материи. Резкое повышение разрешающей способности электронного микроскопа обеспечивается потоком электронов, проходящих в вакууме через электромагнитные поля, создаваемые электромагнитными линзами. Электроны могут проходить через структуры исследуемого объекта (трансмиссионная электронная микроскопия) или отражаться от них (сканирующая электронная микроскопия), отклоняясь под разными углами, в результате чего возникает изображение на люминесцентном экране микроскопа. При трансмиссионной (просвечивающей) электронной микроскопии получают плоскостное изображение структур, при сканирующей – объемное. Сочетание электронной микроскопии с другими методами, например с радиоавтографией, гистохимическими, иммунологическими методами исследования, позволяет проводить электронно-радиоавтографические, электронно-гистохимические, электронно-иммунологические исследования.

Электронная микроскопия требует специальной подготовки объектов исследования, в частности химической или физической фиксации тканей и микроорганизмов. Биопсийный материал и секционный материал после фиксации обезвоживают, заливают в эпоксидные смолы, режут стеклянными или алмазными ножами на специальных ультратомах, позволяющих получать ультратонкие срезы тканей толщиной 30–50 нм. Их контрастируют и затем изучают в электронном микроскопе. В сканирующем (растровом) электронном микроскопе изучают поверхность различных объектов, напыляя на них в вакуумной камере электронно-плотные вещества, и исследуют так называемые реплики, повторяющие контуры образца.

Микроскоп – прибор для получения увеличенного изображения объектов или деталей их структуры, не видимых невооруженным глазом. Микроскоп является наиболее распространенным прибором для микробиологических исследований.

Современный биологический микроскоп имеет массивный штатив (основание) с присоединенным к нему тубусодержателем, на котором смонтирована оптическая система, микромеханизм грубой и тонкой настройки оптической системы, головка для крепления револьверного

устройства со сменными 3–4 объективами, предметный столик с конденсором и диафрагмой и под ним светонаправляющее зеркало, концентрирующее естественный или искусственный свет на объект исследования. Тубусодержатель заканчивается головкой, на которой крепится монокулярный или бинокулярный тубус. Предметный столик микроскопа имеет приспособление для крепления предметного стекла с объектом исследования и механизм его перемещения в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Движение препарата в обоих направлениях можно определить по нониусам (вспомогательным шкалам), имеющим цену деления 0,1 мм.

Конденсор микроскопа представляет собой короткофокусный объектив, ирис-диафрагму и светофильтр. Конденсоры применяют для различных методов микроскопического исследования, например, для микроскопии в проходящем свете применяют конденсоры светлого или темного поля; причем конденсор светлого поля рассчитан на проходящее освещение препарата, а конденсор темного поля – на освещение препарата полым световым конусом. Чтобы луч света не мешал наблюдателю, пользуются конденсорами, создающими косое световое поле (под углом к оптической оси микроскопа), а также конденсоры для фазово-контрастных исследований, конденсоры отраженного света (эпиконденсор), представляющие собой кольцеобразную зеркальную или зеркально-линзовую систему вокруг объектива.

Объективы современных микроскопов – сложные оптические системы, с помощью которых получают изображение исследуемого объекта почти без аберрации (т.е. отчетливое без искажения); они позволяют достигать разного увеличения объекта и дают обратное (перевернутое) изображение. Объектив состоит из нескольких линз. Чем больше увеличение, тем ближе к препарату должен располагаться объектив, т.е. тем меньше его фокусное расстояние. Каждый объектив характеризуется силой увеличения (указана на его оправе: '10, '20, '40, '90), фокусным расстоянием, апертурой (действующее отверстие оптического прибора, определяемое размером линз и регулируемое ирис-диафрагмой), светосилой. Объективы, обеспечивающие значительное увеличение с малым фокусным расстоянием, численная величина апертуры которых выше 0,95, называются иммерсионными. Их используют в среде с более высоким показателем преломления, чем воздух (вода, глицерин, специальное иммерсионное масло).

Обратное изображение, получаемое объективом, рассматривают через окуляр с увеличением (обозначено на оправе) '5; '10; '15 и т.д. Окуляр представляет собой систему линз (чаще двух), взятых в обойму; его вставляют в зрительную трубу микроскопа или его бинокулярной насадки. Наиболее распространены окуляр Гюйгенса главным образом для ахроматических и планахроматических объективов и окуляр Рам-

сдена для большинства объективов. Кроме того, существуют специальные компенсационные окуляры с увеличением до $\times 20$, предназначенные для исправления остаточных хроматических аберраций объектива. Общее увеличение микроскопа определяется как произведение увеличения объектива и увеличения окуляра; оно достигает 1500–2000. Помимо просмотровых окуляров существуют фотоокуляры и проекционные окуляры, предназначенные для фотографирования изображения или его проецирования на экран. Для измерения размеров исследуемого объекта применяются специальные окуляр-микрометры, в которые вмонтирована масштабная сетка с делениями.

Для нормальной работы с микроскопом необходимо достаточное освещение объекта исследования, что достигается с помощью различных осветителей. Они имеют мощные источники света, работающие непосредственно от электрической сети или через понижающий трансформатор. В сложных микроскопах для исследовательских работ (МБИ-6, МБИ-15 и др.) осветитель встроен в систему микроскопа. Наиболее часто употребляемые осветители для работы в проходящем свете – ОС-14, ОИ-9М, ОИ-24 и более мощные – ОИ-19, ОИ-25, дающие значительно больший световой поток, применяются для темнопольной и фазово-контрастной микроскопии. Для люминесцентного анализа используют осветитель ОИ-24, создающий УФ-излучение; при применении светофильтра его используют для фотографирования объектов исследования.

Отечественная промышленность, кроме микроскопов для биологических исследований, выпускает стереомикроскопы (БМ-56, МБС-1, МБС-2, МБС-3 и пр.), обеспечивающие исследование объекта под разными углами зрения; при этом создается стереоскопический эффект, и наблюдаемое изображение воспринимается объемно.

Микроскопы сравнения обеспечивают визуальное сопоставление двух препаратов. Изображение каждого занимает половину поля зрения микроскопа, что позволяет проводить сравнительное изучение объектов.

Контактные микроскопы дают возможность проводить прижизненные исследования микроскопических структур отдельных участков тканей путем прижатия объектива к объекту исследования. Освещение объекта осуществляется через объектив обычно коротковолновой частью светового излучения с применением опак-иллюминатора с интерференционным светоделителем.

Темнопольный микроскоп предназначен для рассматривания объектов при освещении препарата лишь по краям темнопольным конденсором; при этом структуры, находящиеся внутри светового конуса, отражают свет и становятся видимыми на темном поле.

Фазово-контрастный микроскоп (аноптральный микроскоп) служит для исследования прозрачных объектов, которые не видны на светлом

поле и не подлежат окрашиванию из-за возникновения аномалий в исследуемых образцах. Этот микроскоп широко применяется при исследовании микробных клеток, микроскопическом анализе мочи, онкологических препаратов тканей и т.д.

Конденсор фазово-контрастного микроскопа (КФ-4) имеет апертурную диафрагму в виде кольца и фокусирующее световое кольцо, ослабляющее световой поток и изменяющее фазу на четверть волны; при этом невидимые структуры препарата становятся контрастными, хорошо видимыми.

Интерференционный микроскоп дает возможность исследовать объекты с низкими показателями преломления света и чрезвычайно малой толщины. В отличие от фазово-контрастного устройства в интерференционном микроскопе луч света, входящий в микроскоп, раздваивается. Часть проходит через исследуемый объект, а другая мимо по той же или дополнительной оптической ветви; затем оба луча соединяются и интерферируются, что позволяет контрастировать и увидеть исследуемую структуру.

Ультрафиолетовый и инфракрасный микроскопы предназначены для исследования объектов в ультрафиолетовом или инфракрасном участке светового спектра. Они снабжены флюоресцентными экраном, на котором формируется изображение исследуемого препарата, фотокамерой с чувствительным к этим излучениям фотоматериалом или электронно-оптическим преобразователем для формирования изображения на экране осциллоскопа. Длина волны ультрафиолетовой части спектра составляет 400–250 нм, поэтому в ультрафиолетовом микроскопе можно получить более высокое разрешение, чем в световом микроскопе, где освещение осуществляется видимым световым излучением с длиной волны 700–400 нм. Преимуществом этого микроскопа является также то, что невидимые в обычном световом микроскопе объекты становятся видимыми, поскольку поглощают УФ-излучение. Ультрафиолетовые микроскопы (МУФ-5, МУФ-6) используются при гистохимических исследованиях. В инфракрасном микроскопе наблюдение объектов ведется на экране электронно-оптического преобразователя или фотографируется. С помощью инфракрасной микроскопии изучают внутреннюю структуру непрозрачных объектов.

Поляризационный микроскоп (МИН-8 и др.) позволяет выявлять неоднородности (анизотропию) структуры при изучении строения тканей и образований в организме в поляризованном свете. Освещение препарата в поляризационном микроскопе осуществляется через поляризатор-пластинку, которая обеспечивает прохождение света в определенной плоскости распространения волн. Когда поляризованный свет, взаимодействуя со структурами, изменяется, то структуры резко контрастируют, что широко используют в медико-биологических исследо-

ваниях при изучении препаратов крови, гистологических препаратов, шлифов зубов, костей и т.д.

Люминесцентный микроскоп (МЛ-2, МЛ-3) предназначен для исследования люминесцирующих объектов, что достигается при освещении последних с помощью УФ-излучения. Наблюдая или фотографируя препараты в свете их видимой возбужденной флюоресценции (т.е. в отраженном свете), можно судить о структуре исследуемого образца, что используется в гистохимии, гистологии, микробиологии и при иммунологических исследованиях. Прямое окрашивание люминесцентными красителями позволяет более четко выявлять такие структуры клеток, которые трудно рассмотреть в световом микроскопе. Для определения интенсивности видимой флюоресценции служит фотометрическая насадка (ФМЭЛ-1) для люминесцентных микроскопов.

Рентгеновский микроскоп используется для исследования объектов в рентгеновском излучении, поэтому такие микроскопы снабжены микрофокусным рентгеновским источником излучения, преобразователем рентгеновского изображения в видимое – электронно-оптическим преобразователем, формирующим видимое изображение на осциллографической трубке или на фотоплёнке. Рентгеновские микроскопы имеют линейное разрешение до 0,1 мкм, что позволяет исследовать тонкие структуры живого вещества.

Сканирующий микроскоп дает возможность осуществлять последовательный осмотр препарата на выбранном участке построчно; расстояние между каждой просматриваемой строчкой устанавливается исследователем. Микроскоп снабжен устройством, обеспечивающим передвижение препарата в автоматическом режиме и фотометрирование или какой-либо другой метод оценки отмечаемых структурных изменений в исследуемом образце. Применяют при изучении гистологических препаратов, мазков крови, клеточных структур, например хромосомного набора. Осциллографическая трубка микроскопа имеет выход на экран. Существуют также специальные телевизионные микроскопы.

Ультрамикроскоп позволяет наблюдать объекты, размеры которых за пределами разрешающей способности наиболее сильных объективов световых микроскопов. Он имеет боковое освещение объекта исследования на фоне темного поля. Освещенные частицы, рассеивая свет, наблюдаются в виде ярких точек, что используется для изучения движения мелких частиц, чаще всего в проточной кювете.

Операционный микроскоп используется для проведения микрохирургических операций.

Все оптические микроскопы требуют бережного обращения, т.к. являются точно юстированными оптическими системами. К оптическим поверхностям микроскопа нельзя прикасаться руками; пыль снимают мягкой кисточкой, а оптические поверхности протирают смоченными в

этиловом спирте батистовыми салфетками. Хранение микроскопа и осветителей, работа с ними производятся при комнатной температуре и влажности воздуха, не превышающей 60%, при отсутствии паров, вызывающих коррозию.

Электронный микроскоп предназначен для исследования сверхтонких структур, неразличимых в световых микроскопах. В отличие от светового микроскопа в электронном разрешении определяется не только явлениями дифракции, но и различными аберрациями электронных линз, которые практически невозможно корригировать. Наводка микроскопа в основном производится диафрагмированием за счет применения малых апертур электронных пучков.

С развитием лазерной техники в практику исследований, например при изучении динамических процессов движущейся крови, вошли голографические микроскопы, обеспечивающие получение объемного изображения микроструктур. В таких микроскопах источником освещения объекта служит монохроматическое излучение, генерируемое лазерным источником. Интерпретация подобных исследований и управление ими возможны только с использованием компьютерных систем.

1.4. Положение микроорганизмов в системе животного мира

Начиная с Аристотеля (384–322 до н.э.), которому принадлежит первая попытка систематизировать накопленные к тому времени сведения об организмах, биологи делили живой мир на два царства – растений и животных. А. ван Левенгук, открывший мир микроскопических живых существ, был убежден в том, что они являются «маленькими живыми зверушками». С этого времени и до XIX в. все открываемые микроорганизмы рассматривали как мельчайшие существа животной природы.

Во второй половине XIX в. немецкий биолог Э. Геккель (E. Haeckel, 1834–1919) приходит к заключению, что микроорганизмы настолько существенно отличаются как от царства животных, так и от царства растений, что не укладываются ни в одно из этих подразделений. Э. Геккель предложил выделить все микроорганизмы, у которых отсутствует дифференцировка на органы и ткани (простейшие, водоросли, грибы, бактерии), в отдельное царство Protista (протисты, первосущества, от греч. protos – самый простой), включив в него организмы, во многих отношениях занимающие промежуточное положение между растениями и животными. Термин «protista» и сейчас применим для обозначения объектов, исследуемых микробиологами.

Раздел биологии, занимающийся принципами (теорией), методами и правилами иерархической классификации организмов (царство, тип, класс, отряд, семейство, род, вид, подвид) в зависимости от степени их родства – называется таксономией (от греч. taxis – расположение, строй, порядок). Конечная задача таксономии заключается в разработке концепции таксономических категорий, или рангов, и их иерархических соотношений, что дает возможность построить естественную систему классификации микроорганизмов, растений и животных. Иногда термин «таксономия» используют как синоним систематики. Таксономия тесно взаимодействует с экологией, теорией эволюции, филогенетикой, фенетикой и др. биологич. науками. Термин «таксономия» ввел в науку О. Декандоль (1813).

Микроорганизмы в таксономическом отношении очень разнообразны. Они включают **прионы, вирусы, бактерии, водоросли, грибы, простейшие** и даже микроскопические многоклеточные животные.

По наличию и строению клеток вся живая природа может быть разделена на **прокариоты** (не имеющие истинного ядра), **эукариоты** (имеющие ядро) и **не имеющие клеточного строения** формы жизни. Последние для своего существования нуждаются в клетках, т.е. являются внутриклеточными формами жизни.

По уровню организации геномов, наличию и составу белоксинтезирующих систем и клеточной стенки все живое делят на 4 царства: **эукариоты, эубактерии, архебактерии, вирусы и плазмиды.**

К прокариотам, объединяющим эубактерии и архебактерии, относят бактерии, низшие (сине-зеленые) водоросли, спирохеты, актиномицеты, архебактерии, риккетсии, хламидии, микоплазмы. Простейшие, дрожжи и нитчатые грибы – **эукариоты.**

Вироиды и прионы – новые, недавно открытые классы инфекционных агентов.

Вироиды – инфекционные агенты, вызывающие у растений поражения, сходные с вирусными, однако эти возбудители отличаются от вирусов рядом признаков: отсутствием белковой оболочки (голая инфекционная РНК), антигенных свойств, одноцепочечной кольцевой структурой РНК (из вирусов – только у вируса гепатита D), малыми размерами РНК.

Прионы (proteinaceous infectious particle – белкоподобная инфекционная частица) представляют лишенные РНК белковые структуры, являющиеся возбудителями некоторых медленных инфекций человека и животных, характеризующихся летальными поражениями центральной нервной системы. Существенные отличия от вирусов, прежде всего отсутствие собственного генома, не позволяют пока рассматривать прионы в качестве представителей живой природы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение биологии, микробиологии и микроорганизмов.
2. Охарактеризуйте разделы современной микробиологии.
3. Опишите историю развития микробиологии.
4. Дайте оценку открытиям Л.Пастера в развитии микробиологии.
5. Какова роль русских ученых в развитии микробиологии?
6. Опишите микроскопические методы исследований.
7. Каково строение светового микроскопа?
8. Охарактеризуйте положение микроорганизмов в системе животного мира.

Тема 2.

МОРФОЛОГИЯ И СИСТЕМАТИКА МИКРООРГАНИЗМОВ

В результате изучения темы 2 студент овладеет следующими компетенциями:

- 1) научиться различать микроорганизмы различных таксономических групп;*
- 2) сможет ориентироваться в размерах, строении и функции субъединиц прокариотной клетки.*

2.1. Систематика микроорганизмов

Данные о различии в строении клеток микроорганизмов, входящих в группу Protista, начали накапливаться с конца XIX в. Это повлекло за собой деление группы на высшие и низшие протисты. К высшим протистам стали относить микроскопических животных (простейших), микроскопические водоросли (кроме сине-зеленых) и микроскопические грибы (плесени, дрожжи), к низшим – все бактерии и сине-зеленые водоросли (последние чаще называют теперь цианобактериями). Деление на высшие и низшие протисты происходило в соответствии с двумя выявленными типами клеточной организации – эукариотной и прокариотной (термины были предложены в 30-х гг. XX в. протозоологом Э. Шаттоном (E. Chatton)). Высшие протисты имеют эукариотное строение клеток, т.е. являются эукариотами, низшие – прокариотное.

Обоснование того, что прокариотный и эукариотный типы клеточной организации являются наиболее существенной границей, разделяющей все клеточные формы жизни, связано с работами Р. Стейниера (R. Stanier, 1916–1982) и К. ван Ниля, относящимися к 60-м гг. Поясним разницу между прокариотами и эукариотами. Клетка – это кусочек цитоплазмы, отграниченный мембраной. Последняя под электронным микроскопом имеет характерную ультраструктуру: два электронно-плотных слоя каждый толщиной 2,5–3,0 нм, разделенных электронно-прозрачным промежутком. Такие мембраны получили название элементарных. Обязательными химическими компонентами каждой клетки

являются два вида нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), белки, липиды, углеводы. Цитоплазма и элементарная мембрана, окружающая ее, – неперенные и обязательные структурные элементы клетки. Это то, что лежит в основе строения всех без исключения клеток. Изучение тонкой структуры выявило существенные различия в строении клеток прокариот (бактерий и цианобактерий) и эукариот (остальные макро- и микро-организмы).

Прокариотная клетка отличается тем, что имеет одну внутреннюю полость, образуемую элементарной мембраной, называемой клеточной, или цитоплазматической (ЦПМ). У подавляющего большинства прокариот ЦПМ – единственная мембрана, обнаруживаемая в клетке. В эукариотных клетках в отличие от прокариотных есть вторичные полости. Ядерная мембрана, ограничивающая ДНК от остальной цитоплазмы, формирует вторичную полость. Наружные мембраны хлоропластов и митохондрий, окружающие заключенные в них функционально специализированные мембраны, играют аналогичную роль. Клеточные структуры, ограниченные элементарными мембранами и выполняющие в клетке определенные функции, получили название органелл. *Ядро* – это клеточные органеллы. В эукариотных клетках помимо перечисленных выше есть и другие органеллы.

В клетках прокариот органеллы, типичные для эукариот, отсутствуют. Ядерная ДНК у них не отделена от цитоплазмы мембраной. В цитоплазме находятся функционально специализированные структуры, но они не изолированы от цитоплазмы с помощью мембран и, следовательно, не образуют замкнутых полостей. Эти структуры могут быть сформированы и мембранами, но последние не замкнуты и, как правило, обнаруживают тесную связь с ЦПМ, являясь результатом ее локального внутриклеточного разрастания. В клетках прокариот есть также образования, окруженные особой мембраной, имеющей иное по сравнению с элементарной строение и химический состав.

Таким образом, основное различие между двумя типами клеток – существование в эукариотной клетке вторичных полостей, сформированных с участием элементарных мембран.

Как уже упоминалось, систематика, таксономия, микроорганизмов заключается в распределении (классификации) их по определенным группам (таксонам) с учетом формы, размеров, окраски, подвижности и других физиологических, культуральных, биохимических свойств. До сих пор нет единой естественной классификации микроорганизмов, отражающей эволюцию отдельных видов бактерий. Положение многих бактерий в системе еще точно не установлено. Сначала в основу классификации были положены морфологические признаки. Однако для

научно обоснованной классификации этого недостаточно. Морфологические признаки бактерий немногочисленны и непостоянны. Варьируют и физиологические свойства микроорганизмов в зависимости от условий развития.

В настоящее время для этой цели используют комплекс признаков: *фенотипические* (морфологические, культуральные, физиологические и другие свойства) и *генотипические* (физико-химические свойства ДНК). Геносистематика позволяет определять микроорганизмы не по сходству, а по родству.

Основная таксономическая единица в системах классификации бактерий – вид. В микробиологии применяют термин штамм – понятие более узкое, чем вид. *Штаммами* называют различные культуры одного и того же вида, выделенные из разных мест обитания. Для установления вида бактерий используют *морфологические* (форма клеток, размеры, спорообразование, подвижность, окраска по Граму), *культуральные* (характер роста на различных питательных средах: жидких и твердых, образование пигмента) и *физиологические* (отношение бактерий к различным источникам питания: углероду, азоту, сахарам и т. д.) свойства.

Как для растений и животных, так и для бактерий применяют биномиальную номенклатуру: родовое и видовое названия. Первое слово обозначает род и пишется на латинском языке с прописной буквы, второе слово обозначает видовое название микроорганизма и пишется со строчной буквы (на русском языке оба слова пишут со строчной). Например, сенная палочка – бациллюс субтилис (*Bacillus subtilis*); названия бактериям дают, учитывая их морфологические и физиологические особенности. В классификации бактерий используют следующие таксономические категории: вид, род, семейство, порядок, класс, отдел, царство.

Вид объединяет организмы одной или нескольких разновидностей; род – группу родственных видов; семейство – группу родственных родов; порядок – группу родственных семейств.

Группа истинных бактерий (эубактерии). Истинные бактерии (эубактерии) представляют собой одноклеточные организмы шаровидной, палочковидной и извитой форм, размеры которых составляют в длину 5–20, в ширину – 0,5–2 мкм; подвижные бактерии имеют жгутики. В группу входят неспорообразующие и спорообразующие виды, аэробы и анаэробы, сапрофиты и паразиты.

1. *Неспорообразующие бактерии.* Семейство *Pseudomonodaceae*, род *Pseudomonas* – палочковидные, не образующие спор, подвижные, разлагают органические вещества (белки, жиры, углеводы, гумус).

Семейство *Azotobacteriaceae*, роды *Azotomonas*, *Azotobacter* – имеют клетки от палочковидной до овальной формы, не образуют спор, подвижные, для них характерна способность фиксировать, или связы-

вать, молекулярный азот атмосферы. Семейство *Acetobacteriaceae*, роды *Acetobacter*, *Cluconobacter* – отличаются от вышеописанных организмов тем, что окисляют спирт в уксусную кислоту, широко распространены на цветах: плодах, овощах и т. д.

Семейство *Nitrobacteriaceae*, роды *NUrosomonas*, *Nitrobacter* – палочковидные, не образующие спор, подвижные и неподвижные, широко распространены в почвах, водоемах; характерна способность окислять аммиак до нитритов и нитратов.

Семейство *Enterobacteriaceae*, роды *Escherichia*, *Salmonella* – палочковидные микроорганизмы, обитающие в кишечнике человека и животных, служат возбудителями кишечных инфекций.

2. *Спорообразующие бактерии.* Семейство *Bacillaceae*, роды *Bacillus*, *Clostridium*, *Desulfotomaculum* – палочковидные клетки, подвижные, аэробы и анаэробы. Споры бацилл могут располагаться в различных частях материнской клетки, а споры клостридий чаще бывают шире материнской клетки, что обуславливает образование клостридиальной или плектридиальной форм клеток. Микроорганизмы данной группы широко распространены в почве, воде и принимают активное участие в разложении органических соединений, связывают атмосферный азот и служат возбудителями болезней человека, животных, растений и насекомых.

3. *Кокковидные и спиралевидные формы истинных бактерий.* Семейство *Micrococcaceae*, род *Micrococcus* – бактерии сферической формы, спор не образуют, аэробы или факультативные анаэробы, широко распространены в почве и пресных водоемах.

Семейство *Streptococcaceae*, роды *Streptococcus*, *Pediococcus* – клетки овальной формы, соединенные в цепочки разной длины, факультативные анаэробы, широко распространены в почве, на поверхности растений, в молоке. Большую роль играют в получении кисломолочных продуктов и силосовании кормов.

Семейство *Peptococcaceae*, роды *Peptococcus*, *Ruminococcus* – клетки сферические, неподвижные, спор не образуют, анаэробы, широко распространены в почве, на поверхности растений, в желудочно-кишечном тракте животных и человека.

Семейство *Spirillaceae*, род *Spirillum* – имеют вид изогнутых палочек, неспорообразующие, подвижные, широко распространены в загрязненных реках, озерах. К спиралевидным формам истинных бактерий относят роды *Vibrio*, *Desulfovibrio*, представители которых характеризуются изогнутостью клеток в виде запятой; среди них есть болезнетворные для человека и животных формы.

Микроорганизмы, отличающиеся от истинных бактерий.

1. *Цианобактерии* (синезеленые водоросли). Клетки имеют сферическую, палочковидную или изогнутую форму. Для них характерны

фотопигменты, осуществляющие фотосинтез. Это большая группа бактерий (более 1000 видов), которые широко распространены в почве, водоемах; многие цианобактерии (более 130 видов) способны к фиксации молекулярного азота атмосферы.

2. *Почкующиеся и (или) стебельковые бактерии*. Включают 17 родов, для них характерно участие в превращении соединений железа и марганца в водоемах. К группе относят роды *Gallionella*, *Pedomicrobium*, *Caulobacter* – это аэробы и микроаэрофиллы, хемоорганотрофы и хемолитотрофы.

3. *Скользкие бактерии* (миксобактерии). Клетки имеют палочковидную и веретенообразную формы, образуют большое количество слизи. Клеточная стенка у миксобактерии очень тонкая и эластичная, поэтому они отличаются гибкостью и обладают скользким движением. В неблагоприятных условиях образуют цисты. Слизистые скопления цист, называемые плодовыми телами, имеют неодинаковую форму и размеры у разных представителей миксобактерии. Это хемоорганотрофы, разлагают белки, полисахариды, целлюлозу и т. п. Миксобактерии распространены в почве, навозе, разлагающихся растительных остатках.

4. *Спирохеты*. Спиралевидные бактерии, клетки которых очень тонкие и длинные: от 3 до 500 мкм в длину и 0,3–1,5 мкм в толщину; имеют много завитков; спор не образуют, служат возбудителями инфекционных болезней человека и животных.

Актиномицеты (*Actinomycetes*). К актиномицетам (от греч. актис – луч, мицес – гриб) относят микроорганизмы, образующие подобие мицелия, их называют еще лучистые грибки. Актиномицеты занимают промежуточное положение между плесневыми грибами и бактериями, они представляют собой одноклеточные микроорганизмы, по строению сходные с бактериями; встречаются главным образом в почве.

Актиномицеты грамположительны, почти все они аэробы, хорошо растут на простых средах и различаются между собой по росту на поверхности и в глубине агар-агара, образуют воздушный и субстратный мицелий. Воздушный мицелий часто бывает сильно развит. Микроорганизмы данной группы имеют особые воздушные гифы (спорофоры), от которых отшнуровываются конидии, служащие для распространения вида. Строение этих спорофоров (прямые, волнистые, спиральные, мутовчатые и т.д.), форма колоний, их цвет и величина, запах позволяют различать многочисленные виды и штаммы.

Проактиномицеты (род *Nocardia*) образуют надсубстратный мицелий, настоящих спор нет.

Стрептомицеты (род *Streptomyces*) – воздушный мицелий, часто сильно развит. Наличием стрептомицетов обусловлен запах, который исходит от свежевспаханной почвы. Стрептомицеты служат основными

продуцентами антибиотиков, наиболее эффективны из которых стрептомицин, хлоромитетин, ауреомитин и др., используемые для борьбы с бактериальными и вирусными заболеваниями человека, животных и растений. Многие стрептомицеты потребляют целлюлозу, хитин и другие трудно разлагаемые природные вещества. В почве и илах водоемов широко распространен разлагающий целлюлозу и гумусовые соединения актиномицет *Micromonospora*, у которого отсутствует воздушный мицелий. Среди актиномицетов есть возбудители заболеваний человека и животных.

Микоплазмы. Клетки не имеют плотной оболочки и обладают самыми малыми среди бактерий размерами (125–250 нм). Подобно вирусам они проходят через бактериологические фильтры, задерживающие истинные бактерии. Это факультативные анаэробы, хемоорганотрофы; могут быть сапрофитами (сапротрофами), паразитами и возбудителями болезней животных и растений. Микоплазмы – мало исследованные организмы, хотя широко распространены в почве, сточных водоемах.

Риккетсии. Внутриклеточные паразиты; на искусственных питательных средах они не растут; вызывают заболевания человека и животных (сыпной тиф, Ку-лихорадка). Это мелкие, диаметром 0,1 мкм и длиной 1–1,5 мкм, неподвижные бактериоподобные организмы, видимые в световой микроскоп при увеличении в 1000 раз. Распространены они в тканях блох, вшей, клопов, слюнных железах членистоногих, откуда и попадают в организм человека.

Вирусы. Особая группа микроорганизмов значительно меньших размеров, чем все остальные, и более простого строения. Они не имеют клеточной структуры, не видны в обычные световые микроскопы и имеют разнообразную форму. Электронная микроскопия показывает, что вирусы бывают округлыми, палочковидными, спиралевидными, но чаще в виде многогранников. По химическому составу вирусы неоднородны. Одни из них состоят только из белка и одной из нуклеиновых кислот – ДНК или РНК; другие содержат еще липоиды, полисахариды. Нуклеиновая кислота в виде спирали располагается внутри вируса.

Снаружи она закрыта белковой оболочкой – *капсидом*, состоящим из отдельных белковых субъединиц *капсомер*. На искусственных питательных средах вирусы, как правило, не растут, выращивают их на культурах тканей. При большом скоплении вирусов в пораженной клетке образуются кристаллы разнообразной формы.

Каждый вирус имеет определенного хозяина – растение, животное или микроорганизм. Вирусы микроорганизмов называют *фагами*, они имеют соответственное название: бактериофаги – поражающие бактерий; актинофаги – актиномицеты; микофаги – вирусы грибов; цианофаги – паразитов синезеленых водорослей или цианобактерий.

При проникновении вирусов в микроорганизмы наблюдается растворение (лизис) последних. Впервые лизис бактерий наблюдал Н.Ф. Гамалея в 1898 г., в 1917 г. Д'Эррель также обнаружил подобное явление. Невидимый ультрамикроскопический паразит бактерий был подробно исследован и назван *бактериофагом* (пожирателем бактерий).

Сейчас подробно изучен механизм проникновения бактериофага в бактерию: фаг адсорбируется клеткой бактерии, далее содержимое головки фага (ДНК) переходит в бактерию, а оболочка фага остается вне ее.

Метаболизм бактериальной клетки перестраивается под влиянием ДНК фага. Синтезируются уже не бактериальные ДНК и белок, а фаговые, что и приводит к образованию в клетке новых фагов. Оболочка клетки лизируется, и фаги освобождаются. Одна клетка бактерии может служить источником нескольких сотен и даже тысяч бактериофагов. Специфичность отношений хозяина и фага определяется специфичностью адсорбции, которая зависит от рецепторов, имеющихся в клеточной стенке. Рецепторы для одних фагов находятся в липопротеиновом слое, для других – в липополисахаридном. При избытке бактериофага на одной клетке может адсорбироваться 200–300 фаговых частиц.

Явление бактериофагии иногда наблюдается на производствах, использующих микроорганизмы; при этом технологический процесс резко нарушается, что приносит вред качеству продукции.

Фаги широко распространены в природе, обладают специфичностью, т.е. поражают определенный вид или группу близких видов микроорганизмов.

Некоторые фаги применяют в медицине для профилактики или лечения заболеваний; используют как модель в молекулярной биологии, биохимии, генетике и других науках.

2.2. Строение прокариотной клетки

2.2.1. Размеры микроорганизмов

Как показывает само название, объекты, относимые к микроорганизмам, были выделены по признаку их малых размеров. Если принять за критерий границу видимости невооруженным глазом, равную 70–80 *мкм*, то все объекты, которые лежат за пределами этой границы, можно отнести к микроорганизмам. Мир микроорганизмов – это преимущественно мир одноклеточных форм. Диапазон размеров микроорганизмов велик. Величина самых крупных представителей микромира, лежащих на границе видимости невооруженным глазом, приблизительно 100 *мкм* (некоторые диатомовые водоросли, высшие протисты). На порядок ниже размеры одноклеточных зеленых водорослей и клеток дрожжей, еще ниже размеры, характерные для большинства бактерий.

В среднем линейные размеры бактерий лежат в пределах 0,5–3 мкм, но есть среди бактерий свои «гиганты» и «карлики». Например, клетки нитчатой серобактерии *Beggiatoa alba* имеют диаметр до 50 мкм; *Achromatium oxaliferum*, считающийся одним из крупных бактериальных организмов, имеет в длину 15–100 мкм при поперечнике примерно 5–33 мкм, а длина клетки спирохеты может быть до 250 мкм.

Если бактериальные клетки обычно можно увидеть в световой микроскоп, то вирусы, размеры большинства которых находятся в диапазоне 16–200 нм, лежат за пределами его разрешающей способности. Впервые наблюдать вирусы и выяснить их структуру удалось после изобретения электронного микроскопа. По своим размерам вирусы занимают место между самыми мелкими бактериальными клетками и самыми крупными органическими молекулами. Размер частиц вирус-сателлита (18 нм) и величина крупной молекулы глобулярного белка (13 нм) близки. Таким образом, если раньше между известными биологам организмами и неживыми молекулами химиков существовала пропасть, то теперь этой пропасти нет: она заполнена вирусами.

2.2.2. Форма прокариот

До недавнего времени большинство исследователей традиционно считали, что клетки прокариот достаточно однообразны и в подавляющем большинстве имеют форму сферы, цилиндра или спирали. Они бывают одиночными, в иных случаях образуют нити или колонии. Прокариоты сферической формы, называемые кокками, могут после деления не расходиться. Если деление происходит в одной плоскости, образуются пары клеток (диплококки) или цепочки (стрептококки). В том случае, когда деление происходит относительно равномерно в трех взаимно перпендикулярных направлениях и клетки после деления остаются соединенными друг с другом, возникают пакеты правильной формы (сарцины) или колонии сферической формы. Если же деление происходит в нескольких плоскостях неравномерно, образуются клеточные скопления неправильной формы. Прокариоты, имеющие форму цилиндра (палочковидные), сильно различаются по величине отношения длины клетки к ее поперечнику. Прокариоты спиралевидной формы характеризуются разным числом витков: у спирилл – от одного до нескольких витков, вибрионы выглядят наподобие изогнутых палочек, так что их можно рассматривать как неполный виток спирали.

За последнее время среди прокариот обнаружены организмы, отличающиеся от описанных выше основных форм. Некоторые бактерии имеют вид замкнутого или разомкнутого кольца, в зависимости от стадии роста. У прокариот, в основном размножающихся почкованием, описано образование клеточных выростов (простек), число которых может колебаться от 1 до 8 и более. Из природных субстратов выделены

бактерии червеобразной формы и напоминающие шестиугольную звезду. Для некоторых видов характерно слабое или довольно хорошо выраженное ветвление. Описаны прокариоты, обладающие морфологической изменчивостью, в зависимости от условий имеющие вид палочек, кокков или обнаруживающие слабое ветвление.

Форма многоклеточных прокариот также разнообразна: это скопления различной конфигурации, чаще – нити. Своеобразие бактериальным клеткам придают жгутики, имеющие различное расположение на клеточной поверхности, а также выделения внеклеточных веществ разной химической природы.

2.2.3. Структура, химический состав и функции компонентов прокариотной клетки

Клетка прокариот обладает рядом принципиальных особенностей, касающихся как ее ультраструктурной, так и химической организации. Структуры, расположенные снаружи от цитоплазматической мембраны (ЦПМ) – клеточная стенка, капсула, слизистый чехол, жгутики, ворсинки – называют обычно поверхностными структурами. Термином «клеточная оболочка» часто обозначают все слои, располагающиеся с внешней стороны от ЦПМ (клеточная стенка, капсула, слизистый чехол). ЦПМ вместе с цитоплазмой называется протопластом. Рассмотрим сначала строение, химический состав и функции поверхностных клеточных структур.

Клеточная стенка

Клеточная стенка – важный и обязательный структурный элемент подавляющего большинства прокариотных клеток, располагающийся под капсулой или слизистым чехлом или же непосредственно контактирующий с окружающей средой (у клеток, не содержащих этих слоев клеточной оболочки). На долю клеточной стенки приходится от 5 до 50% сухих веществ клетки. Клеточная стенка служит механическим барьером между протопластом и внешней средой и придает клеткам определенную, присущую им форму. Концентрация солей в клетке, как правило, намного выше, чем в окружающей среде, и поэтому между ними существует большое различие в осмотическом давлении. Клеточная стенка чисто механически защищает клетку от проникновения в нее избытка воды.

По строению и химическому составу клеточная стенка прокариот резко отличается от таковой эукариотных организмов. В ее состав входят специфические полимерные комплексы, которые не содержатся в других клеточных структурах. Химический состав и строение клеточной стенки постоянны для определенного вида и являются важным диагностическим признаком. В зависимости от строения клеточной стенки

прокариоты, относящиеся к зубактериям, делятся на две большие группы. Клеточные стенки грамположительных и грамотрицательных зубактерий резко различаются как по химическому составу, так и по ультраструктуре.

Прокариоты без клеточной стенки. При воздействии определенными химическими веществами оказалось возможным получать в лаборатории из разных видов зубактерий формы с частично (сферопласты) или полностью (протопласты) отсутствующей клеточной стенкой. Впервые это обнаружили при действии на бактериальные клетки лизоцимом, ферментом из группы гликозидаз, содержащимся в яичном белке, слезной жидкости и выделяемом некоторыми бактериями. Лизоцим разрывает β -1,4-гликозидные связи в гетерополисахаридной цепи, что в конечном итоге может привести к полному удалению пептидогликана из клеточной стенки. Полученные под действием лизоцима сферопласты (из грамотрицательных зубактерий) или протопласты (из грамположительных) принимают сферическую форму и очень чувствительны к внешнему осмотическому давлению. Существовать они могут только в условиях, когда осмотическое давление питательной среды сбалансировано с осмотическим давлением внутри клетки. В благоприятных условиях сферопласты и протопласты проявляют определенную метаболическую активность, но утрачивают способность к размножению.

Функции клеточной стенки прокариот. Клеточная стенка прокариот выполняет разнообразные функции: механически защищает клетку от воздействий окружающей среды, обеспечивает поддержание ее внешней формы, дает возможность клетке существовать в гипотонических растворах.

Структурная дифференцировка клеточной стенки у грамотрицательных зубактерий, приведшая к формированию дополнительного слоя в виде наружной мембраны, значительно расширила круг функций клеточной стенки. Прежде всего это связано с проблемами проницаемости и транспорта веществ в клетку. Наружная мембрана имеет специфические и неспецифические каналы (поры) для пассивного транспорта веществ и ионов, необходимых клетке, т.е. осуществляет функции молекулярного «сита». Наружная мембрана также препятствует проникновению в клетку токсических веществ, что находит отражение в большей устойчивости грамотрицательных зубактерий (сравнительно с грамположительными) к действию некоторых ядов, химических веществ, ферментов и антибиотиков.

Появление у грамотрицательных зубактерий дополнительной мембраны в составе клеточной стенки фактически привело к созданию обособленной полости (периплазматического пространства), отграниченной от цитоплазмы и внешней среды специфическими мембранами и несущей важную функциональную нагрузку.

Периплазматическое пространство, куда погружен пептидогликановый слой, заполнено раствором, в состав которого входят специфические белки, олигосахариды и неорганические молекулы. Периплазматические белки представлены двумя типами: транспортными белками и гидролитическими ферментами. *Транспортные белки* – это переносчики, связывающиеся с соответствующими субстратами внешней среды и транспортирующие их от наружной мембраны к цитоплазматической.

Было обнаружено также, что многие бактерии способны в больших количествах вырабатывать ферменты (гликозидазы, протеазы, липазы и др.), гидролизующие все типы полимерных молекул. Последними могут быть как молекулы, синтезируемые самой клеткой, так и чужеродные, попавшие в клетку извне. Отрицательные последствия гидролиза собственных молекул (самопереваривание) очевидны. В то же время прокариоты нуждаются в гидролитических ферментах, так как это расширяет круг используемых ими веществ, включая в него полимеры разного типа. Становится понятна необходимость изолирования этих ферментов от цитоплазматического содержимого. Грамположительные эубактерии выделяют гидролитические ферменты во внешнюю среду, у грамотрицательных – они локализованы в периплазматическом пространстве.

Разнообразные функции выполняют макромолекулы, локализованные частично или полностью на внешней стороне клеточной стенки, контактирующей с окружающей средой; это специфические рецепторы для фагов и колицинов; антигены (липополисахарид грамотрицательных эубактерий, тейхоевые кислоты грамположительных); макромолекулы, обеспечивающие межклеточные взаимодействия при конъюгации, а также между патогенными бактериями и тканями высших организмов.

Капсулы, слизистые слои и чехлы

Снаружи клеточная стенка прокариот часто бывает окружена слизистым веществом. Такие образования в зависимости от структурных особенностей получили название капсул, слизистых слоев или чехлов. Все они являются результатом биосинтеза прокариотами органических полимеров и отложения их вокруг клеток.

Под капсулой понимают слизистое образование, обволакивающее клетку, сохраняющее связь с клеточной стенкой и имеющее аморфное строение. Если толщина образования меньше 0,2 мкм и, следовательно, оно может быть обнаружено только с помощью электронного микроскопа, говорят о микрокапсуле. Если больше 0,2 мкм, говорят о макрокапсуле. Последнюю можно видеть в обычный световой микроскоп. Для этого препарат просматривают в капле туши, которая не в состоянии проникнуть в капсулу. На темном фоне выделяются клетки, окруженные светлыми зонами. Если же слизистое вещество имеет аморфный, бесструктурный вид и легко отделяется от поверхности прокариотной клетки, говорят о слизистых слоях, окружающих клетку.

Хотя капсулы, слизистые вещества и чехлы являются необязательными структурами прокариотной клетки, им приписывают определенные полезные для клетки *функции*. Вязкость внеклеточной среды, обусловленная наличием слизистых веществ, очевидно, благоприятна для клетки. Они защищают клетку от механических повреждений, высыхания, создают дополнительный осмотический барьер, служат препятствием для проникновения фагов. Иногда слизистые образования могут служить источником запасных питательных веществ. С помощью слизи осуществляется связь между соседними клетками в колонии, а также прикрепление клеток к различным поверхностям. Способность определенных бактерий синтезировать эти своеобразные внеклеточные полимеры находит практическое применение: их используют в качестве заменителя плазмы крови, а также для получения синтетических пленок.

Жгутики и механизмы движения

На клеточной поверхности многих прокариот имеются структуры, определяющие способность клетки к движению в жидкой среде. Это – жгутики. Их число, размеры, расположение, как правило, являются признаками, постоянными для определенного вида, и поэтому учитываются при систематике прокариот. Однако накапливаются данные о том, что количество и расположение жгутиков у одного и того же вида могут в значительной степени определяться условиями культивирования и стадией жизненного цикла, и, следовательно, не стоит переоценивать таксономическое значение этого признака.

Если жгутики находятся у полюсов или в полярной области клетки, говорят об их полярном или субполярном расположении, если – вдоль боковой поверхности, говорят о латеральном расположении. В зависимости от числа жгутиков и их локализации на поверхности клетки различают монополярные монотрихи (один жгутик прикреплен к одному полюсу клетки); монополярные политрихи (пучок жгутиков расположен на одном полюсе клетки), биполярные политрихи (на каждом полюсе – по пучку жгутиков); и перитрихи (многочисленные жгутики расположены по всей поверхности клетки или вдоль ее боковой поверхности). В последнем случае число жгутиков может достигать 1000 на клетку.

Подвижные бактерии активно перемещаются в направлении, определяемом теми или иными внешними факторами. Такие направленные перемещения бактерий называют таксисами. В зависимости от фактора различают хемотаксис (частный случай – аэротаксис), фототаксис, магнитотаксис, термотаксис и вискозитаксис. Наибольшее внимание привлекает изучение хемотаксиса, т.е. движения в определенном направлении относительно источника химического вещества. Для каждого организма все химические вещества в этом плане могут быть разделены на две группы: инертные и вызывающие таксисы (эффекторы). Среди по-

следних выделяют аттрактанты (вещества, привлекающие бактерий) и репелленты (вещества, отпугивающие бактерий). Аттрактантами могут быть сахара, аминокислоты, витамины, нуклеотиды и другие химические молекулы; репеллентами – некоторые аминокислоты, спирты, фенолы, неорганические ионы. Аттрактантом для аэробных и репеллентом для анаэробных прокариот является молекулярный кислород. Аттрактанты часто представлены пищевыми субстратами, хотя не все вещества, необходимые для организма, выступают в качестве аттрактантов. Также не все ядовитые вещества служат репеллентами и не все репелленты вредны.

Фототаксис, т.е. движение к свету или от него, свойствен прежде всего фототрофным бактериям. Способность перемещаться по силовым линиям магнитного поля Земли или магнита – магнитотаксис – обнаружена у разных бактерий, обитающих в пресной и морской воде. В клетках этих бактерий найдены непрозрачные частицы определенной геометрической формы – магнитосомы, заполненные железом в форме магнетита (Fe_3O_4) и выполняющие функцию магнитной стрелки. На долю магнетита может приходиться до 4% сухого вещества бактерий. В северном полушарии такие магниточувствительные бактерии плывут в направлении северного полюса Земли, в южном – в направлении южного. У ряда бактерий обнаружен вискозитаксис – способность реагировать на изменение вязкости раствора и перемещаться в направлении ее увеличения или уменьшения.

Ворсинки

К поверхностным структурам бактериальной клетки относятся также ворсинки (фимбрии, пили). Их насчитывается от нескольких единиц до нескольких тысяч на клетку. Эти структуры не имеют отношения к движению бактерий и обнаружены у подвижных и неподвижных форм. Ворсинки построены из одного вида белка – пилина – и представляют собой прямые белковые цилиндры, отходящие от поверхности клетки. Они, как правило, тоньше жгутиков (диаметр 5–10 нм, длина 0,2–2,0 мкм), расположены перитрихально или полярно. Больше всего сведений имеется о ворсинках *E. coli*. У этой бактерии описаны ворсинки общего типа и половые.

Ворсинки общего типа придают бактериям свойство гидрофобности, обеспечивают их прикрепление к клеткам растений, грибов и неорганическим частицам, принимают участие в транспорте метаболитов. Через ворсинки в клетку могут проникать вирусы.

Наиболее хорошо изучены половые ворсинки, или F-пили, принимающие участие в половом процессе бактерий. F-пили необходимы клетке-донору для обеспечения контакта между ней и реципиентом и в

качестве конъюгационного тоннеля, по которому происходит передача ДНК. Ворсинки нельзя считать обязательной клеточной структурой, так как и без них бактерии хорошо растут и размножаются.

Мембраны

Содержимое клетки отделяется от клеточной стенки цитоплазматической мембраной (ЦПМ) – обязательным структурным элементом любой клетки, нарушение целостности которого приводит к потере клеткой жизнеспособности. На долю ЦПМ приходится 8–15% сухого вещества клеток. У большинства прокариотных клеток ЦПМ – единственная мембрана. В клетках фототрофных и ряда хемотрофных прокариот содержатся также мембранные структуры, располагающиеся в цитоплазме и получившие название внутрицитоплазматических мембран. Их происхождение и функции будут рассмотрены ниже.

Химический состав мембран. ЦПМ – белково-липидный комплекс, в котором белки составляют 50–75%, липиды – от 15 до 45%. Кроме того, в составе мембран обнаружено небольшое количество углеводов. Как правило, липиды и белки составляют 95% и больше вещества мембран. Главным липидным компонентом бактериальных мембран являются фосфолипиды.

Структура мембран. Мембранные липиды всех эубактерий и части архебактерий образуют бислои, в которых гидрофильные «голова» молекул обращены наружу, а гидрофобные «хвосты» погружены в толщу мембраны.

В зависимости от расположения в мембране и характера связи с липидным слоем мембранные белки условно можно разделить на три группы: интегральные, периферические и поверхностные. Интегральные белки полностью погружены в мембрану, а иногда пронизывают ее насквозь. Связь интегральных белков с мембранными липидами очень прочна и определяется главным образом гидрофобными взаимодействиями. Периферические белки частично погружены в гидрофобную область, а поверхностные находятся вне ее.

Предложено несколько моделей строения мембраны. Наибольшее признание получила модель, учитывающая большинство данных, известных о мембранах, согласно которой в липидную основу включены асимметрично расположенные белковые молекулы. Некоторые из них образуют скопления на поверхностях липидного би- или монослоя, другие частично или полностью погружены в него, третьи пронизывают его насквозь. В модели подчеркнута асимметрия строения мембраны, основанная на различиях в химическом строении и расположении молекул белка.

Функции ЦПМ прокариот. ЦПМ прокариот выполняет разнообразные функции, в основном обеспечиваемые локализованными в ней со-

ответствующими ферментными белками. Первоначально была постулирована барьерная функция клеточной мембраны, получившая позднее экспериментальное подтверждение. С помощью специальных переносчиков, называемых транслоказами, через мембрану осуществляется избирательный перенос различных органических и неорганических молекул и ионов. В ней локализованы ферменты, катализирующие конечные этапы синтеза мембранных липидов, компонентов клеточной стенки и некоторых других веществ.

Общепризнана роль ЦПМ прокариот в превращениях клеточной энергии.

В последнее время выявляется еще одна функциональная грань клеточных мембран – их интегрирующая роль в организме, вполне сочетающаяся с давно установленной разъединяющей (барьерной) функцией. *Клетка* – единое целое. В обеспечении этого принципа клеточной организации важная роль принадлежит мембранам. Показан перенос электрохимической энергии и электронов вдоль мембран. Последние рассматриваются также как возможные пути транспорта жирорастворимых субстратов и молекулярного кислорода.

ЦПМ является основным барьером, обеспечивающим избирательное поступление в клетку и выход из нее разнообразных веществ и ионов. Осуществляется это с использованием разных механизмов мембранного транспорта. Выделяют 4 типа транспортных систем, с участием которых происходит проникновение молекул в бактериальную клетку: *пассивную диффузию, облегченную диффузию, активный транспорт и перенос химически модифицированных молекул.*

Цитозоль и рибосомы

Содержимое клетки, окруженное ЦПМ, называется цитоплазмой. Фракция цитоплазмы, имеющая гомогенную консистенцию и содержащая набор растворимых РНК, ферментных белков, продуктов и субстратов метаболических реакций, получила название цитозоля. Другая часть цитоплазмы представлена разнообразными структурными элементами: внутрицитоплазматическими мембранами (если они есть), генетическим аппаратом, рибосомами и включениями разной химической природы и функционального назначения.

Рибосомы – место синтеза белка – рибонуклеопротеиновые частицы размером 15–20 нм. Их количество в клетке зависит от интенсивности процессов белкового синтеза и колеблется от 5000 до 90 000. Общая масса рибосом может составлять примерно 1/4 клеточной массы, а количество рибосомальной РНК (рРНК) – 80–85% всей бактериальной РНК.

Строение генетического аппарата прокариот долгое время было предметом жарких дискуссий, суть которых сводилась к тому, есть у

них такое же ядро, как у эукариот, или нет. Установлено, что генетический материал прокариотных организмов, как и эукариотных, представлен ДНК, но имеются существенные различия в его структурной организации. У прокариот ДНК представляет собой более или менее компактное образование, занимающее определенную область в цитоплазме и не отделенное от нее мембраной, как это имеет место у эукариот. Чтобы подчеркнуть структурные различия в генетическом аппарате прокариотных и эукариотных клеток, предложено у первых его называть нуклеоидом в отличие от ядра у вторых.

При электронно-микроскопическом наблюдении видно, что нуклеоид прокариот, несмотря на отсутствие ядерной мембраны, довольно четко отграничен от цитоплазмы, занимает в ней, как правило, центральную область и заполнен нитями ДНК диаметром около 2 нм.

Вся генетическая информация прокариот содержится в одной молекуле ДНК, имеющей форму замкнутого кольца и получившей название бактериальной хромосомы. Длина молекулы в развернутом виде может составлять более 1 мм, т.е. почти в 1000 раз превышать длину бактериальной клетки. Длительное время считали, что в распределении нитей ДНК бактериальной хромосомы не прослеживается никакой закономерности. Однако если исходить из того, что молекула ДНК образует беспорядочный клубок, трудно объяснить процесс репликации и последующее распределение образовавшихся хромосом по дочерним клеткам. Специальные исследования показали, что хромосомы прокариот представляют собой высокоупорядоченную структуру.

Рост и способы размножения

Под ростом прокариотной клетки понимают согласованное увеличение количества всех химических компонентов, из которых она построена. Рост является результатом множества скоординированных биосинтетических процессов, находящихся под строгим регуляторным контролем, и приводит к увеличению массы (а следовательно, и размеров) клетки. Но рост клетки не беспределен. После достижения определенных (критических) размеров клетка подвергается делению.

Для подавляющего большинства прокариот характерно равновеликое бинарное поперечное деление, приводящее к образованию двух одинаковых дочерних клеток. При таком способе деления имеет место симметрия в отношении продольной и поперечной оси. У большинства грамположительных эубактерий и нитчатых цианобактерий деление происходит путем синтеза поперечной перегородки, идущего от периферии к центру. Клетки большинства грамотрицательных эубактерий делятся путем перетяжки. У *E. coli* на месте деления обнаруживается постепенно увеличивающееся и направленное внутрь искривление ЦПМ

и клеточной стенки. Синтез новой клеточной стенки может происходить в нескольких местах или только в зоне формирования поперечной перегородки.

Вариантом бинарного деления является почкование, которое можно рассматривать как неравновеликое бинарное деление. При почковании на одном из полюсов материнской клетки образуется маленький вырост (почка), увеличивающийся в процессе роста. Постепенно почка достигает размеров материнской клетки, после чего отделяется от последней. Клеточная стенка почки полностью синтезируется заново.

Внутрицитоплазматические включения

В цитоплазме прокариот обнаруживаются различные включения. Одни из них следует рассматривать как активно функционирующие структуры, другие – как продукты клеточного метаболизма, не выделяющиеся наружу, но откладывающиеся внутри клетки. Некоторые цитоплазматические включения имеют явно приспособительное значение. И наконец, многие из них являются запасными веществами, отложение которых клеткой происходит в условиях избытка питательных веществ в окружающей среде, а потребление наблюдается, когда организм попадает в условия голодания.

К числу внутрицитоплазматических включений, выполняющих определенную функцию в фотосинтезе, относятся хлоросомы зеленых бактерий и фикобилисомы цианобактерий. В этих структурах локализованы пигменты, поглощающие кванты света и передающие их в реакционные центры, т.е. выполняющие роль антенны.

Примером внутрицитоплазматических включений, имеющих приспособительное значение, служат магнитосомы и газовые вакуоли, или аэросомы, обнаруженные у водных прокариот. Газовые вакуоли найдены у представителей, относящихся к 15 таксономическим группам. Это сложно организованные структуры, напоминающие пчелиные соты. Состоят из множества регулярно расположенных газовых пузырьков, имеющих форму вытянутого цилиндра с заостренными концами (диаметр 65–115, длина 200–1200 нм). Каждый пузырек окружен однослойной белковой мембраной толщиной 2–3 нм, построенной из одного или двух видов белковых молекул, и заполнен газом, состав которого идентичен таковому окружающей среды. Мембрана газовых пузырьков проницаема для газов, но не проницаема для воды. Число газовых пузырьков, составляющих аэросому, у разных видов различно и зависит от внешних условий. Основная функция газовых вакуолей состоит в обеспечении плавучести водных организмов, которые с их помощью могут регулировать глубину, выбирая более благоприятные условия. При увеличении объема и числа газовых пузырьков плотность цитоплазмы уменьшается, и клетки перемещаются в верхние слои воды. Сжатие га-

зовых пузырьков, наоборот, приводит к погружению клеток. За несколькими исключениями, газовые вакуоли присущи безжгутиковым видам. Их, вероятно, можно рассматривать как альтернативу жгутикам для движения в вертикальной плоскости.

Запасные вещества прокариот представлены полисахаридами, липидами, полипептидами, полифосфатами, отложениями серы. Из полисахаридов в клетках откладываются гликоген, крахмал и крахмалоподобное вещество – гранулеза.

Контрольные вопросы

1. Что такое систематика и таксономия?
2. Что лежит в основе разделения микроорганизмов на таксономические группы?
3. Каковы размеры микроорганизмов?
4. Опишите формы прокариот.
5. Охарактеризуйте строение и функцию клеточной стенки, капсул, слизистых слоев и чехлов бактерий.
6. Опишите механизмы движения бактерий. Охарактеризуйте явление таксиса.
7. Опишите структуру и химический состав мембран, механизмы мембранного транспорта.
8. Охарактеризуйте цитозоль и рибосомы, внутрицитоплазматические включения.

Тема 3.

ФИЗИОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

В результате изучения темы 3 студент овладеет следующими компетенциями:

- 1) научится оценивать физиологические факторы жизни бактерий;*
- 2) сможет ориентироваться в понятиях «дыхание» и «питание» бактерий;*
- 3) сможет оценивать факторы размножения бактерий.*

3.1. Химический состав бактериальной клетки

Бактериальная клетка состоит из органогенов – азота (8–15% сухого остатка), углерода (45–55%), кислорода (30%), водорода (6–8%). Из них и других элементов и соединений микроорганизмы синтезируют белки, нуклеопротеиды, углеводы, липиды, нуклеиновые кислоты, ферменты, витамины и пр.

75–85% приходится на долю воды. В спорах бацилл и клостридий концентрация воды 40–50%, она главная составная часть клетки, находится в связанном состоянии, т.е. структурный элемент цитоплазмы – свободная вода, которая является растворителем для кристаллических веществ, источником водородных ионов и участником химических реакций.

Минеральные вещества бактерий – это неорганические компоненты: фосфор входит в состав нуклеиновых кислот, натрий участвует в поддержании осмотического давления в клетке, магний, калий, кальций, железо ферментов АТФ – аккумуляторы энергии в клетке, молибден, кобальт, бор – компоненты дыхательных ферментов.

50–80% сухого вещества бактериальной клетки приходится на долю белка. Он распределен в цитоплазме, нуклеоиде, цитоплазматической мембране и других клеточных структурах. К белкам принадлежат ферменты, многие токсины.

Большое значение в жизнедеятельности клетки имеют нуклеопротеиды – соединение белка с нуклеиновыми кислотами ДНК и РНК. Кроме нуклеопротеидов в клетке находятся липопротеиды, гликопротеины, хромопротеины.

ДНК – аденин, гуанин, цитозин, тимин, фосфорная кислота и дезоксирибоза.

РНК – аденин, гуанин, цитозин, урацил, фосфорная кислота, рибоза.

Количественное и качественное разнообразие белковых веществ, их комплексов и аминокислот наделяет мембраны видовой специфичностью.

Нуклеиновые кислоты ДНК содержатся в нуклеоиде и обуславливают генетические свойства, РНК – биосинтез белка.

Углеводы – 12–18% сухого вещества. Это основной источник энергии и углерода.

Многие структурные компоненты клетки состоят из углеводов (оболочка, капсула, слизистый слой). У ряда бактерий в цитоплазме имеются включения, по своему составу напоминающие гликоген, крахмал; играют роль запасных веществ в клетке.

Липиды – составляют ~ 10% сухого остатка. У бактерий, откладывающих жир в виде особых включений, количество липидов доходит до 40% (микобактерии туберкулеза).

Липиды – это запасные вещества, повышающие устойчивость бактерий во внешней среде. Связываясь с белками и углеводами, липиды составляют сложный комплекс, определяющий токсические свойства микроорганизмов.

Жизненные функции микроорганизмов: питание, дыхание, рост и размножение – изучает физиология. В основе физиологических функций лежит непрерывный обмен веществ (метаболизм). Сущность обмена веществ составляют два противоположных, но взаимосвязанных процесса: ассимиляция (анаболизм) и диссимиляция (катаболизм).

Ассимиляция – это усвоение питательных веществ и использование их для синтеза клеточных структур.

При процессах диссимиляции питательные вещества разлагаются и окисляются, при этом выделяется энергия, необходимая для жизни микробной клетки. Все процессы синтеза и распада питательных веществ совершаются с участием ферментов. В микроорганизмах происходит интенсивный обмен веществ, за сутки 1 микробная клетка может переработать питательных веществ, которые в 30–40 раз больше ее массы.

Микробная клетка использует питательные субстраты для синтеза составных частей своего тела, ферментов, пигментов.

3.2. Питание бактерий

Типы питания бактерий определяются по характеру усвоения углерода и азота.

По усвоению углерода бактерии делят на 2 типа:

- ауотрофы, или литотрофы, – бактерии, использующие в качестве источника углерода CO_2 воздуха;
- гетеротрофы, или органотрофы, – бактерии, которые нуждаются для своего питания в органическом углероде (углеводы, жирные кислоты).

По способности усваивать азот микроорганизмы делятся на 2 группы:

- аминокавтотрофы;
- амонотрофы.

Аминокавтотрофы – для синтеза белка клетки используют молекулярный азот воздуха или усваивают его из аммонийных солей.

Амонотрофы – получают азот из органических соединений – аминокислот, сложных белков. Сюда относятся все патогенные микроорганизмы и большинство сапрофитов.

По характеру источника использования энергии микроорганизмы делятся на фототрофы, использующие для биосинтетических реакций энергию солнечного света, и хемотрофы.

Хемотрофы получают энергию за счет окисления неорганических веществ (нитрифицирующие бактерии и др.) и органических соединений (большинство бактерий, в том числе и патогенного для человека вида).

Факторы роста: наряду с пептонами, углеводами, жирными кислотами и неорганическими элементами, бактерии нуждаются в специальных веществах – ростовых факторах, играющих роль катализаторов в биохимических процессах клетки и являющихся структурными единицами при образовании некоторых ферментов. К факторам роста относятся различные витамины, некоторые аминокислоты, пуриновые и пиримидиновые основания и др.

Знание потребностей микроорганизмов в питательных веществах и факторах роста очень важно, в частности для создания питательных сред, применяемых для их выращивания.

Питательные среды подразделяются на 4 основные группы:

- * универсальные;
- * специальные;
- * избирательные (элективные);
- * дифференциально-диагностические.

1. Универсальные (МПА, МПБ) содержат питательные вещества, в присутствии которых растут многие виды патогенных и непатогенных бактерий.

2. Питательные специальные среды применяют для выращивания бактерий, не размножающихся на универсальных средах (кровяной, сывороточный агар, сывороточный бульон).

3. Избирательные (элективные) среды служат для выделения определенного вида микробов, росту которых они способствуют, задерживая или подавляя рост сопутствующих микроорганизмов. Соли желчных кислот, подавляя рост кишечной палочки, делают среду элективной для брюшного тифа.

4. Дифференциально-диагностические среды позволяют отличить (отдифференцировать) один вид микробов от другого по ферментативной активности, например среды Гиса с углеводами и индикатором. При росте микроорганизмов, расщепляющих углеводы, изменяется цвет среды. Кроме того, в лабораториях для первичного посева и транспортировки исследуемого материала применяют консервирующие среды (глицериновую, магниевую и т.д.).

3.3. Дыхание бактерий

Атмосферный воздух содержит 78% азота, 20% кислорода и 0,03–0,09% углекислого газа. Углекислота и азот воздуха могут быть использованы только аутотрофами. Кислород же играет важную роль в метаболизме (обмене веществ), дыхании и получении энергии большинства видов бактерий.

Дыхание (или *биологическое окисление*) – это сложный процесс, который сопровождается выделением энергии, необходимой микроорганизмам для синтеза различных органических соединений. Бактерии, как и высшие животные, для дыхания используют кислород. Однако Л. Пастером было доказано существование таких бактерий, для которых наличие свободного кислорода является губительным, энергия, необходимая для жизнедеятельности, получается ими в процессе брожения.

Все бактерии по типу дыхания подразделяются на облигатные аэробы, микроаэрофилы, факультативные анаэробы, облигатные анаэробы.

Облигатные (строгие) аэробы развиваются при наличии в атмосфере 20% кислорода (микобактерии туберкулеза), содержат ферменты, с помощью которых осуществляется перенос водорода от окисляемого субстрата к кислороду воздуха.

Микроаэрофилы нуждаются в значительно меньшем количестве кислорода, и его высокая концентрация хотя и не убивает бактерии, но задерживает их рост (актиноисцеты, бруцеллы, лептоспиры).

Факультативные анаэробы могут размножаться как в присутствии, так и в отсутствие кислорода (большинство патогенных и сапрофитных микробов – возбудители брюшного тифа, паратифов, кишечная палочка).

Облигатные анаэробы – бактерии, для которых наличие молекулярного кислорода является губительным (клостридии столбняка, ботулизма).

Аэробные бактерии в процессе дыхания окисляют различные органические вещества (углеводы, белки, жиры, спирты, органические кислоты и пр.).

Дыхание у анаэробов происходит путем ферментации субстрата с образованием небольшого количества энергии. Процессы разложения органических веществ в бескислородных условиях, сопровождающиеся выделением энергии, называют брожением. В зависимости от участия определенных механизмов различают следующие виды брожения: спиртовое, осуществляемое дрожжами, молочно-кислое, вызываемое молочно-кислыми бактериями, масляно-кислое и пр.

С выделением большого количества тепла при дыхании некоторых микроорганизмов связаны процессы самовозгорания торфа, навоза, влажного сена и хлопка.

3.4. Ферментативная активность бактерий

Ферменты – биологические катализаторы, высокомолекулярные вещества белковой природы, вырабатываемые живой клеткой. Они строго специфичны и играют важнейшую роль в обмене веществ микроорганизмов. Специфичность их связана с активными центрами, образуемыми группой аминокислот, т.е. каждый фермент реагирует с определенным химическим соединением или катализирует одну или несколько близких химических реакций. Например: фермент лактаза расщепляет лактозу, мальтаза – мальтозу и т.д.

Экзоферменты – выделяются во внешнюю среду, осуществляют процессы расщепления высокомолекулярных органических соединений. Способность к образованию экзоферментов во многом определяет *инвазивность* бактерий – способность проникать через слизистые, соединительнотканые и другие тканевые барьеры.

Примеры: *гиалуронидаза* расщепляет гиалуроновую кислоту, входящую в состав межклеточного вещества, что повышает проницаемость тканей (клостридии, стрептококки, стафилококки и многие другие микроорганизмы); *нейраминидаза* облегчает преодоление слоя слизи, проникновение внутрь клеток и распространение в межклеточном пространстве (холерный вибрион, дифтерийная палочка, вирус гриппа и многие другие). К этой же группе относятся энзимы, разлагающие антибиотики.

Эндоферменты – участвуют в реакциях обмена веществ, расщепляют макромолекулы питательных веществ до более простых соединений, которые могут быть усвоены микробной клеткой. Ферментный состав микроорганизмов является постоянным, а различные виды микробов четко различаются по набору ферментов. Поэтому изучение фер-

ментативного состава имеет важное значение для идентификации различных микроорганизмов.

Микроорганизмы синтезируют различные ферменты. У бактерий обнаружены ферменты 6 основных классов:

1. *Оксидоредуктазы* – катализируют окислительно-восстановительные реакции.

2. *Трансферазы* – осуществляют реакции переноса групп атомов.

3. *Гидролазы* – осуществляют гидролитическое расщепление различных соединений.

4. *Лиазы* – катализируют реакции отщепления от субстрата химической группы негидролитическим путем с образованием двойной связи или присоединения химической группы к двойным связям.

5. *Лигазы или синтетазы* – обеспечивают соединение двух молекул, сопряженное с расщеплением пирофосфатной связи в молекуле АТФ или аналогичного трифосфата.

6. *Изомеразы* – определяют пространственное расположение групп элементов.

В соответствии с механизмами генетического контроля у бактерий выделяют три группы ферментов:

– *конститутивные*, синтез которых происходит постоянно;

– *индуцибельные*, синтез которых индуцируется наличием субстрата;

– *репрессибельные*, синтез которых подавляется избытком продукта реакции.

В бактериологии для дифференциации микроорганизмов по биохимическим свойствам основное значение часто имеют конечные продукты и результаты действия ферментов. В соответствии с этим существует микробиологическая (рабочая) классификация ферментов:

1) сахаролитические;

2) протеолитические;

3) аутолитические;

4) окислительно-восстановительные;

5) ферменты патогенности (вирулентности).

Ферментный состав клетки определяется геномом и является достаточно постоянным признаком. Знание биохимических свойств микроорганизмов позволяет идентифицировать их по набору ферментов. Основные продукты ферментирования углеводов и белков – кислота, газ, индол, сероводород, хотя реальный спектр для различных микроорганизмов намного более обширный.

Практическое использование ферментативных свойств микробов: процессы брожения, грибы в пивоварении и виноделии, обработка шкур, для смягчения, консервирование, приготовление биодобавок к стиральным порошкам для удаления белковых загрязнений, так как они расщепляют белки до водорастворимых соединений.

3.5. Рост и размножение микроорганизмов

Одним из проявлений жизнедеятельности микроорганизмов является их рост и размножение.

Рост – это увеличение размеров отдельной особи.

Размножение – способность организма к воспроизведению.

Основным способом размножения у бактерий является поперечное деление, которое происходит в различных плоскостях с формированием многообразных сочетаний клеток (гроздь, цепочки, тьюки и т.д.). У бактериальных клеток делению предшествует удвоение материнской ДНК. Каждая дочерняя клетка получает копию материнской ДНК. Процесс деления считается законченным, когда цитоплазма дочерних клеток разделена перегородкой. Клетки с перегородкой деления расходятся в результате действия ферментов, которые разрушают сердцевину перегородки.

Скорость размножения бактерий различна и зависит от вида микроба, возраста культуры, питательной среды, температуры.

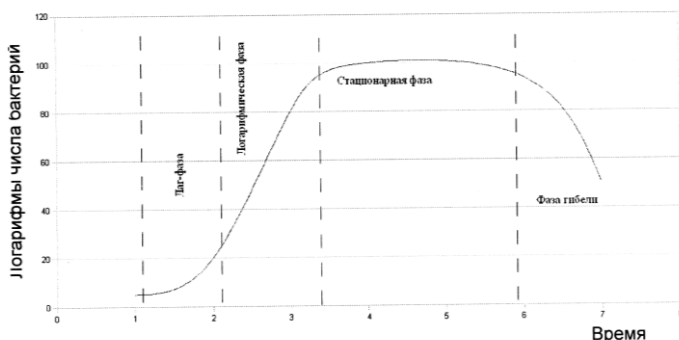
При выращивании бактерий в жидкой питательной среде наблюдается несколько фаз роста культур:

1. Фаза исходная (латентная) – микробы адаптируются к питательной среде, увеличивается размер клеток. К концу этой фазы начинается размножение бактерий.

2. Фаза логарифмического инкубационного роста – идет интенсивное деление клеток. Длится эта фаза около 5 часов. При оптимальных условиях бактериальная клетка может делиться каждые 15–30 мин.

3. Стационарная фаза – число вновь появившихся бактерий равно числу отмерших. Продолжительность этой фазы выражается в часах и колеблется в зависимости от вида микроорганизмов.

4. Фаза отмирания – характеризуется гибелью клеток в условиях истощения питательной среды и накопления в ней продуктов метаболизма микроорганизмов.



Если питательная среда, в которой культивируются микроорганизмы, будет обновляться, то можно поддерживать фазу логарифмического роста.

При размножении на плотных питательных средах бактерии образуют на поверхности среды и внутри нее типичные для каждого микробного вида колонии. Колонии могут быть выпуклыми или плоскими, с ровными или неровными краями, с шероховатой или гладкой поверхностью и иметь различную окраску: от белой до черной. Все эти особенности (культуральные свойства) учитывают при идентификации бактерий, а также при отборе колоний для получения чистых культур. Чтобы знать, как получить чистую культуру того или иного микроорганизма, надо внимательно ознакомиться с практической частью данной главы.

3.6. Пигментообразование у бактерий

Образование пигментов происходит при хорошем доступе кислорода и определенном составе питательной среды. По химическому составу и свойствам пигменты неоднородны и подразделяются на:

- растворимые в воде (пиоцианины синегнойной палочки);
- растворимые в спирте;
- нерастворимые в воде;
- нерастворимые в воде и спирте.

Бактерии могут образовывать пигменты разного цвета:

красный – *Serratia marcescens*; кремовый – *Staphilococcus aureus*; желтый – *Scifreus*; синий – синегнойная палочка и т.д.

Пигменты бактерий защищают их от природной ультрафиолетовой радиации, участвуют в процессах дыхания, реакциях синтеза, обладают антибиотическим действием.

Фотогенные бактерии, т.е. бактерии, способные светиться, – это своеобразная форма освобождения энергии при окислительных процессах. Чем сильнее приток кислорода, тем сильнее свечение бактерий.

Светящиеся бактерии называют «фотобактериями». К ним относятся большая группа физиологически сходных, но морфологически различных бактерий (кокки, палочки, вибрионы). Они являются не образующими спор вибрионами. Большая часть видов светящихся бактерий выделена из морской воды; они не вызывают гниения, культивируются в обычных средах. Из некоторых бактерий были получены экстракты, испускающие свет в темном помещении, из некоторых экстрактов был выделен люциферин и фермент люцифераза.

Типичный представитель фотогенных микробов *Photobacterium phosphoreum* – неподвижная кокковидная бактерия, развивающаяся при температуре 28°C.

Патогенных для человека видов в группе фотогенных бактерий не установлено.

Ароматобразующие микробы – микроорганизмы, которые обладают способностью выделять летучие вещества, вырабатываемые ими в процессе жизнедеятельности. Они образуют уксусно-этиловый и уксусно-амиловый эфиры.

С помощью микробов путем сбраживания навоза, растительных остатков и бытовых отходов получают метан, который используется во многих странах для отопления помещений.

Промышленные предприятия уже начали выпуск микробного белка, используемого для корма животных и птиц. С помощью микробов можно получить витамины, ферменты (амилазу, лактозу, пенициллиназу, протеазы).

Патогенные представители вырабатывают ядовитые для человека и животных вещества – токсины, которые делятся на 2 группы:

1. *Экзотоксин* – белки, которые клетка выделяет во внешнюю среду, обладает выраженными иммуногенными и антигенными свойствами. Часто они состоят из двух фрагментов – А и В. В-фрагмент способствует адгезии, инвазии. А – обладает выраженной активностью по отношению к внутренним системам клетки. Экзотоксины малоустойчивы к действию света, кислот, щелочей. Большая часть из них белки, разрушающиеся под действием пищеварительных ферментов (исключение составляют токсины возбудителя ботулизма и патогенных стафилококков). Обработанные формалином и теплом (0,3–0,5% при температуре + 38...39⁰С) экзотоксины, утратившие патогенные свойства, но сохранившие антигенную активность, называют анатоксинами. Получены анатоксины против столбняка, ботулизма, клостридиозов. Они используются в качестве вакцин.

2. *Эндотоксин* – тесно связан с телом микробной клетки, так как локализуется в липополисахаридном слое клеточной стенки. Действие эндотоксинов на организм не отличается специфичностью. Эндотоксины освобождаются при разрушении микробной клетки.

Основные свойства токсинов

Экзотоксины	Эндотоксины
1	2
Выделяются живыми клетками, обнаруживаются в высоких концентрациях в жидких средах	Компонент клеточной стенки грамотрицательных бактерий, освобождающийся при их дезинтеграции
Полипептиды	Липополисахаридные комплексы

Окончание таблицы

1	2
Относительно нестабильны, быстро разрушаются при температуре выше 60 ⁰ С	Относительно стабильны, выдерживают нагревание свыше 60 ⁰ С несколько часов без потери активности
Высокоантигенны, стимулируют образование активного антитоксина, нейтрализующего токсин	Не стимулируют образование антитоксина, вызывают образование антител к полисахаридам
Высокотоксичны	Слаботоксичны
Не вызывают лихорадки	Часто вызывают лихорадку

Контрольные вопросы

1. Опишите химический состав бактериальной клетки.
2. Охарактеризуйте процессы питания бактерий.
3. Охарактеризуйте процессы дыхания бактерий.
4. Охарактеризуйте ферментативную активность и пигментообразование бактерий.
5. Охарактеризуйте рост и размножение бактерий.
6. Опишите основные свойства бактериальных токсинов.

Тема 4.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ

В результате изучения темы 4 студент овладеет следующими компетенциями:

- 1) сможет определять влияние факторов среды на жизнедеятельность микроорганизмов;*
- 2) сможет определять различные микробиоценозы и взаимоотношения между микроорганизмами;*
- 3) сможет ориентироваться в спектре противомикробных средств;*
- 4) сможет определить пути преодоления резистентности микроорганизмов.*

4.1. Экология бактерий. Факторы, влияющие на жизнедеятельность микроорганизмов

Взаимоотношения микроорганизмов с внешней средой описывает раздел микробиологии – экология микроорганизмов. Термин «экология» образован двумя греческими словами: oikos – дом и logos – наука. **Экология** – это всеобщая наука о биосфере, которая в настоящее время приобрела особое значение.

По Э. Геккелю, предложившему в 1866 г. этот термин, **экология – это наука об отношениях организмов и окружающей среды**. Степень приспособляемости вида к изменениям условий среды называют экологической валентностью. Экологической валентностью вида микроорганизмов также называют его способность заселять среду, проявляющуюся определенными изменениями экологических факторов.

Таким образом, экология микроорганизмов – наука о взаимоотношениях микроорганизмов друг с другом и с окружающей средой.

Количество и жизнедеятельность микробов зависят от условий существования (питания, температуры, влажности).

По характеру питания микробы делятся на **автотрофные**, питающиеся минеральными веществами, и **гетеротрофные**, питающиеся готовыми органическими соединениями. Гетеротрофные микробы делятся на **сапрофиты** (метатрофы), разлагающие органические вещества в природе и вызывающие порчу пищевых продуктов, и **паразиты** (паратрофы), развивающиеся в теле других организмов и питающиеся сложными органическими веществами. К группе паразитов относятся разнообразные возбудители заболеваний человека и животных.

По типу дыхания микробы делятся на **аэробы**, развивающиеся только при доступе кислорода воздуха, и **анаэробы**, не нуждающиеся в кислороде воздуха. Анаэробные микробы подразделяются на облигатные, для которых кислород вреден, и факультативные, которые могут жить как при доступе воздуха, так и без него. Температура является одним из наиболее важных факторов, влияющих на жизнедеятельность микробов.

По отношению к температуре микробы подразделяют на три группы: **мезофилы, психрофилы и термофилы**.

Большинство микробов, находящихся в стадии активного размножения (вегетативная стадия), погибает при температуре около 70°C за 1–5 мин. Споры некоторых бактерий выдерживают кипячение в течение нескольких часов. Во влажной среде споры бактерий погибают при 120°C через 20–30 мин, а в сухой – при 160–170°C через 1–2 ч. Споры большинства дрожжей и плесеней менее устойчивы к воздействию высоких температур, чем споры бактерий и быстро погибают при нагревании до 65–80°C.

Влияние температуры на жизнедеятельность микробов обуславливает возможность хранения пищевых продуктов (рыба, мясо и др.) при пониженных температурах, замедляющих размножение микробов и угнетающих деятельность ферментов. Наблюдения показывают, что количество микробов, погибших при замораживании продуктов, нередко достигает 80–90% от их первоначального содержания. Микроорганизмы, оставшиеся в живых, вначале инактивируются холодом, но при дальнейшем хранении охлажденного или замороженного продукта при температуре не ниже минус 8°C их жизнедеятельность постепенно восстанавливается. Губительно действуют на микробы повторное замораживание и оттаивание продукта.

Большое влияние на жизнедеятельность микробов оказывает влажность среды. В результате высушивания продукта останавливается развитие многих видов содержащихся в нем микробов, так как при отсутствии воды они не могут питаться. Так, минимум содержания влаги в среде обитания для развития бактерии составляет 30%, а для многих

плесеней – около – 13%. Споры некоторых плесневых грибов сохраняют способность к прорастанию при отсутствии влаги в течение нескольких лет.

Жизнедеятельность микроорганизмов зависит также от реакции среды; наиболее благоприятной для большинства бактерий является нейтральная или слабощелочная, а для плесневых грибов и дрожжей — слабокислая реакция среды. Оптимум концентрации водородных ионов (рН) для патогенных бактерий находится в пределах от 7,0 до 7,6, для грибов и дрожжей от 3 до 6,0. С повышением температуры реакция среды изменяется, так как диссоциация кислот усиливается. Изменяя реакцию среды, можно подавлять или стимулировать развитие микробов, что имеет большое практическое значение.

Большинство бактерий мало чувствительны к изменениям концентрации раствора хлористого натрия в пределах от 0,5 до 3%. Ряд морских бактерий, адаптированных к морской воде, содержащей приблизительно 3,5% хлористого натрия, весьма чувствительны как к более низкому, так и к более высокому его концентрациям. Существуют бактерии, которые адаптировались к среде с высокой концентрацией хлористого натрия (около 29%). Такие микроорганизмы называются галофилами, или солелюбивыми. Многие гнилостные бактерии прекращают свое развитие при 10%-й концентрации хлористого натрия в среде. Микроорганизмы постепенно приспосабливаются к соленой среде, особенно если находятся в ней длительное время.

Некоторые патогенные микроорганизмы более чувствительны к действию крепких растворов хлористого натрия, чем сапрофитные, а палочковидные более чувствительны, чем кокки. Пленчатые дрожжи развиваются даже в 24%-х растворах хлористого натрия.

Эффективность воздействия ультрафиолетовых лучей на микробы зависит от дозы облучения. Под действием ультрафиолетовых лучей через несколько минут погибают не только вегетативные формы бактерий, но и споры, для уничтожения которых требуется энергии в 4–5 раз больше. Ультрафиолетовое излучение используют для борьбы с болезнетворными микробами (в воде, воздухе, на предметах обихода), а также микробами, вызывающими порчу продуктов.

4.2. Взаимоотношения микроорганизмов в микробиоценозах

Любые таксоны живых организмов характеризуются определенными ареалами.

Ареал (лат. *area* – площадь, пространство) – это часть земной поверхности, в пределах которой распространен и проходит полный цикл

своего развития данный таксон (вид, род, семейство и т.д.). Об ареалах бактерий говорят редко, как и о закономерностях их географического распространения. Однако по крайней мере некоторые виды бактерий имеют ограниченные ареалы.

Внутри ареалов организмы развиваются в составе определенных экосистем.

Экосистема (греч. *oikos* – жилище, местообитание, *systema* – сочетание, объединение) – совокупность совместно обитающих организмов и условий их существования, находящихся в закономерной связи друг с другом и образующих систему взаимообусловленных биотических и абиотических явлений и процессов.

Понятие экосистема приложимо к объектам разной сложности и размеров. Можно выделить экосистему озера, пруда, леса, но может быть экосистема рубца жвачного животного, кишечного тракта дождевого червя или ризосферы растения. В экосистему входят сообщество организмов или биоценоз и физико-химические условия обитания.

Под «окружающими условиями» обычно понимают как биотические, так и абиотические компоненты экосистемы.

Синэкология (греч. *syn* – вместе) – раздел экологии, изучающий сообщества организмов.

Биоценоз (греч. *bios* – жизнь, *koinos* – сообщество) – это сообщество организмов разного уровня – животных, растений, микроорганизмов. Бактерии являются компонентами любых биоценозов. Биоценозы являются объектами исследований общей экологии и специальной науки **биоэкологии**. Сообщество, включающее только микроорганизмы, можно обозначить термином **ценоз** или **микроценоз**. Микроценозы могут быть самостоятельными или являться элементами биоценоза. Их разнообразие иногда значительно даже в пределах ограниченной территории.

Микроценозы по своему составу и свойствам могут быть более или менее стабильными или нестабильными и временными, степень их функциональной самостоятельности может сильно различаться. Как относительно постоянные и самостоятельные можно рассматривать, например, микроценозы пищеварительного тракта животных, рубца жвачных, кишечника насекомых и т.п.

Местообитания – это места, где определенные организмы присутствуют и размножаются и могут быть обнаружены. Внутри экосистемы определенный микроорганизм обычно имеет лишь одно место обитания. Однако в разных экосистемах один и тот же вид может иметь несколько местообитаний. Например, условно-патогенные бактерии *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* и др. находятся на разных участках тела

в зависимости от состояния хозяина, а псевдомонады входят и в состав ценозов водоемов.

Экологическая ниша – это совокупность всех факторов среды, в пределах которых возможно существование вида в природе. В понятие экологической ниши входит также та роль, которую данный организм играет в данной экосистеме, или, иначе говоря, та функция, которую выполняет данный организм как член сообщества видов этой экосистемы. Способность к выполнению определенной функции в экосистеме определяется всем комплексом физиологических и биохимических особенностей данного вида. Обычно экологическая ниша, занимаемая организмом в естественной среде, бывает уже, чем можно было бы ожидать, исходя из потенциальных возможностей данного вида. Так, например, многие бактерии, гидролизующие целлюлозу, не являются строго специализированными и могут использовать различные органические вещества. Однако во многих экосистемах их развитие связано только с использованием целлюлозы, поскольку на других субстратах они оказываются неконкурентноспособными.

Согласно принципу (закону) Вольтерры – Гаузе, или принципу конкурентного исключения, два вида не могут устойчиво сосуществовать в ограниченном пространстве, если рост численности обоих лимитирован одним и тем же жизненно важным ресурсом, количество и доступность которого ограничены. Это также означает, что два вида не могут сосуществовать, если они занимают одну экологическую нишу.

Ареалы микроорганизмов

Бактерии распространены повсеместно и присутствуют везде, где есть какая-либо жизнь. Следует, однако, различать условия, в которых они сохраняются, но не активны. По существующим представлениям в атмосфере активного развития бактерий не происходит, хотя они могут присутствовать здесь в большом числе.

Не принято говорить о географических закономерностях распространения тех или иных бактерий, об их ареалах. Эта ситуация отчасти зависит от недостатка наших знаний в области систематики и биологии бактерий, но и сейчас уже можно найти примеры, свидетельствующие о существовании географических закономерностей распространения, а также о существовании ареалов некоторых форм.

Определенные ареалы имеют многие виды бактерий, облигатно связанных в своем существовании с теми или иными видами высших организмов.

Хорошо известны ареалы возбудителя чумы *Yersinia pestis*, так же как и их изменения в исторический период. Известно, что *Yersinia pestis* происходит из каких-то районов на центральном плато провинции

Юнань в Китае. Караваны купцов разносили эту бактерию по различным районам Земли. В древности и в особенности в период средневековья периодически возникали страшные эпидемии чумы. В XIV столетии от чумы погибло около четверти населения Европы. Однако столь бурное распространение этой бактерии носило временный характер. Постоянно существовать она может только в определенных условиях в колониях грызунов. В Европе в средние века такими постоянными ее ареалами были колонии сурков.

После исчезновения этих колоний постоянных ареалов *Yersinia pestis* в Европе не стало, но в некоторых районах Азии в колониях грызунов эта страшная бактерия время от времени обнаруживается. Благодаря хорошо организованной противочумной службе в нашей стране чума как заболевание практически ликвидирована, хотя сами бактерии в известных ареалах временами обнаруживаются. В Америке до 1900 г. этой бактерии не было. Начиная с 1900 г. стали отмечаться отдельные случаи заноса заболевания, а с 1924 г. на западе США образовались постоянные очаги чумы в колониях диких грызунов.

Развитие экосистемы, в процессе которого происходит смена ценозов, обозначают термином *сукцессия* (лат. *successio* – преемственность, наследование). Этот процесс упорядочен и предсказуем.

Микроценозы кишечного тракта животных, водоемов, почв и многие другие, если рассматривать их в целом, характеризуются значительной стабильностью. Численность организмов, составляющих популяции тех или иных видов, входящих в данный ценоз, поддерживается в определенных пределах. Внесенные в ценоз клетки посторонних бактерий либо отмирают, либо их численность через некоторое время стабилизируется.

Во многих случаях сукцессия характеризуется следующей общей закономерностью. Когда система молода и число факторов, определяющих ее структуру, невелико, в ней преобладает ограниченное количество так называемых *r*-стратегов – организмов, скорость размножения которых при условии изобилия пищи высока. В результате их жизнедеятельности среда становится все более неоднородной – количество факторов, воздействующих на систему, возрастает. «Зрелая» система образована большим числом разнообразных видов, численности популяций разных видов выравнены за счет того, что *r*-стратегов становится меньше, а количество медленно растущих организмов с повышенной конкурентноспособностью – *K*-стратегов – увеличивается.

Еще начиная с работ Л. Пастера, внимание бактериологов привлекали явления активного угнетения одних микроорганизмов другими – процессы микробного антагонизма.

В 1877 г., работая со своим учеником Ж. Жубером, Л. Пастер обнаружил, что сибиреязвенные бациллы развивались только в стерильной моче. В моче, зараженной другими бактериями, они не могли расти; кроме того, сибиреязвенные бациллы, привитые чувствительному животному вместе с посторонней бактерией, уже не вызывали инфекцию. В. Бабеш в 1885 г. сообщал о существовании молочнокислых бактерий, выделяющих вещества, ингибирующие развитие других бактерий. Позже Илья Ильич Мечников подчеркивал, что болгарская палочка действует антагонистически на другие микробы не только путем образования молочной кислоты, но также в результате выделения ею специальных веществ.

Большое внимание ученых в наше время привлекают исследования симбиотических взаимоотношений между микроорганизмами.

4.3. Противомикробные средства

Вещества, препятствующие росту и размножению микроорганизмов, впервые применил врач Парацельс (1493–1541). Он ввел в практику ртуть, железо, серу, сульфат меди. П. Эрлих первым получил положительный результат при лечении больных сифилисом, используя органическое производное мышьяка – сальварсан, и создал теорию «волшебной пули». Постулат гласит: лекарственное средство должно обладать минимальной органотропностью и максимальной «паразитотропностью». В 1908 г. был получен первый сульфаниламид из каменноугольной смолы. В 70-х годах XIX века русские врачи В.А. Манасеин и А.Г. Полотебнов установили бактерицидное действие экстракта культуры *Penicillium glaucum*. В 1928 г. А. Флеминг обнаружил задержку роста стафилококка плесневым грибом *P. Notatum*. Впервые химически чистый пенициллин получен в 1940 г. (Х. Флори и Э. Чейн).

Антибиотики (от греч. *anti* – против, *bios* – жизнь) – биологически активные вещества, образуемые в процессе жизнедеятельности грибов, бактерий, животных, растений и созданные синтетическим путем, способные избирательно подавлять жизнедеятельность бактерий, грибов, риккетсий, крупных вирусов, простейших и отдельных гельминтов. Они относятся к разряду «химиотерапевтические средства» и предназначены для избирательного действия на возбудителей заболеваний во внутренних средах организма (кровь, лимфа, межтканевая жидкость), в клетках, тканях и в очагах воспаления.

По происхождению антибиотики можно разделить на 5 групп:

1. *Антибиотики, образуемые грибами и лишайниками.*
2. *Антибиотики, образуемые актиномицетами.* Самое широкое применение в практике нашли антибиотики, образуемые актиномицета-

ми (стрептомицин, гентамицин, эритромицин, леворин, рифамицин, нистатин).

3. *Антибиотики, выделенные из бактерий.* Группа антибиотиков бактериального происхождения менее обширна и имеет меньшее практическое значение, так как эффективность их значительно ниже, чем антибиотиков грибного и актиномицетного происхождения. Продуценты антибиотиков – разнообразные бактерии. В большинстве своем это сапрофиты, обитающие в почве и обладающие ярко выраженной биохимической активностью. К ним относятся грамицидин, колицин, пиоционин, субтилин, полимиксин и др. Большинство этих антибиотиков токсичны при парентеральном введении, поэтому их применяют местно.

4. *Антибиотики животного происхождения.* Биологически активные вещества, выделяемые животными тканями, обладают не только антибиотическим действием, но и активизируют защитные силы макроорганизма. Названные свойства позволяют применять их для профилактики и лечения ряда заболеваний. К ним относится эритроин, выделяемый из эритроцитов различных животных, экмолин, полученный из тканей рыб, лизоцим – полисахарид, полученный из яичного белка. Клетками некоторых тканей продуцируется интерферон, угнетающий жизнедеятельность многих возбудителей вирусных инфекций.

5. *Антибиотики растительного происхождения.* Многие растения выделяют летучие и нелетучие биологически активные вещества – фитонциды, способные обеспечить иммунитет растений к различным болезням. Фитонциды открыты Б.П. Токиным в 1928 г. Наибольшими антибиотическими свойствами обладают фитонциды лука, чеснока, хрена, горчицы, алоэ, плодов можжевельника, почек березы, листьев черемухи, листьев эвкалипта и некоторых других растений. Они инактивируют ряд жизненно важных ферментов и подавляют жизнедеятельность стафилококков, стрептококков, кишечной палочки, протей и других микроорганизмов. Некоторые фитонциды выделены в чистом виде: аллицин получен из чеснока, подавляет рост грамположительных и грамотрицательных бактерий; рафанин добыт из семян редиски, действует на грамположительные и грамотрицательные бактерии в разведении 1:100; иманин получен из зверобоя продырявленного, применяют при лечении инфицированных ран и тяжелых ожогов.

В настоящее время антибиотики, полученные биосинтетическим путем, остаются высокоэффективными и широко применяемыми.

По **антимикробному спектру** антибиотики разделяют на две группы: *узкого* и *широкого* спектра действия. К антибиотикам узкого спектра действия относятся обладающие антимикробным действием только в отношении некоторых бактерий, грибов и простейших.

Антибиотики с широким спектром действия обладают антибактериальной активностью в отношении многих грамположительных и грамотрицательных бактерий. Некоторые из них эффективны в отношении рикетсий, хламидий, микоплазм и др.

По характеру действия на микробы антибиотики делятся на бактерицидные, приводящие к гибели бактерии, и бактериостатические, задерживающие рост и размножение микробов.

По механизму действия на микроорганизмы их можно разделить на несколько основных групп:

1. Антибиотики, ингибирующие синтез бактериальной стенки.
2. Антибиотики, нарушающие функционирование цитоплазматической мембраны.
3. Антибиотики, сдерживающие синтез белка.
4. Антибиотики, избирательно подавляющие синтез нуклеиновых кислот:

- ингибиторы синтеза РНК;
- ингибиторы синтеза ДНК.

Антибиотик наносит лишь первое повреждение возбудителю заболевания. Окончательная ликвидация инфекционного процесса осуществляется макроорганизмом, мобилизующим защитные силы на борьбу с возбудителем болезни.

Не следует слишком увлекаться антибиотикотерапией, так как умеренный прием этих веществ может вызвать развитие суперинфекций – заболеваний, связанных с нарушением нормальных взаимоотношений между обитателями живого организма. В таких случаях угнетается не только возбудитель какой-либо инфекции, но и нормальная микрофлора организма. Зато начинает размножаться нечувствительная к антибиотику микрофлора. Ко многим антибиотикам развивается аллергия.

4.4. Резистентность микроорганизмов и способы ее преодоления

Резистентность микроорганизмов – способность микроорганизма переносить значительно большие концентрации препарата, чем остальные микроорганизмы данного штамма (вида), или развиваться при таких концентрациях, которые превышают достигаемые в макроорганизме при введении антибиотиков в терапевтических дозах.

Резистентные штаммы микроорганизмов возникают при изменении генома бактериальной клетки в результате спонтанных мутаций. Последние не связаны с направленным действием на ДНК бактерии анти-

бактериальных препаратов, которые играют роль лишь селективных агентов. В процессе селекции в результате воздействия химиотерапевтических соединений чувствительные микроорганизмы погибают, а резистентные сохраняются, размножаются и распространяются в окружающей среде. Приобретенная резистентность закрепляется и передается по наследству последующим поколениям бактерий.

Скорость развития и степень выраженности устойчивости связаны с видом и даже штаммом возбудителя. Наиболее быстро и часто резистентность к антибактериальным препаратам возникает у стафилококков, эшерихий, микоплазм, протей, синегнойной палочки. Среди клостридий, стрептококков группы А, сибиреязвенных и гемофильных палочек резистентные штаммы выделяют сравнительно редко.

Наиболее частой генетической основой резистентности служит наличие в бактериях внехромосомных факторов устойчивости к лекарственным веществам – плазмид и транспозонов.

Бактериальные **плазмиды**, связанные с переносом маркеров лекарственной устойчивости в процессе конъюгации клеток, получили название R-факторов.

Транспозонные элементы – это фрагменты ДНК, которые свободно перемещаются от одного репликона к другому. Транспозоны определяют различные фенотипические признаки бактериальной клетки, в частности антибиотикорезистентность, и способствуют переносу детерминант устойчивости к антибиотикам между хромосомой, плазмидами и фагами.

Транспозоны могут перемещаться в пределах одного вида, а также попадать в новые виды и роды микроорганизмов.

Так же часто устойчивость связана со способностью микроорганизмов вырабатывать ферменты, инактивирующие антибактериальные препараты.

Другой важный механизм, обуславливающий антибиотикорезистентность, заключается в нарушении проницаемости микробных клеток для антибиотика.

Модификация чувствительных к антибиотику участков также приводит к развитию резистентности у микроорганизмов. Этот механизм устойчивости обычно обусловлен хромосомными мутациями.

Возможный механизм развития резистентности – это синтез соединений, не инактивирующихся под действием антибактериальных веществ. Так, устойчивость к сульфониламидам и триметоприму связана с выработкой нечувствительных к действию этих препаратов ферментов.

Широкое распространение лекарственно-устойчивых микроорганизмов требует разработки комплекса мероприятий, ограничивающих цирку-

ляцию резистентных. Меры по ограничению распространения лекарственно-устойчивых микроорганизмов должны быть направлены, во-первых, на предупреждение формирования резистентных популяций и, во-вторых, на подавление уже сформировавшихся популяций.

Один из возможных **способов преодоления лекарственной устойчивости микроорганизмов** – химическая трансформация молекул антимикробных веществ, в частности антибиотиков, направленная на создание новых препаратов, активных в отношении антибиотико-устойчивых микроорганизмов.

Практически любая молекула антибиотика может инактивироваться в микробной клетке за счет определенного механизма резистентности, поэтому спустя некоторое время после начала использования нового препарата отмечают распространение детерминант резистентности к этому соединению в плаزمидах и транспозонах. В связи с этим эффективность каждого антибиотика начинает уменьшаться, что обуславливает необходимость синтеза все новых антимикробных препаратов.

Другим подходом к решению проблемы воздействия на лекарственно-устойчивую популяцию микроорганизмов является использование соединений, обеспечивающих элиминацию, т.е. удаление плазмид из резистентных бактерий и действующих на детерминанты лекарственной устойчивости.

Бактериофагами называют вирусы бактерий. Явление бактериофагии изучали Н.Ф. Гамалея (1898), Ф. Творт (1915), Ф. д'Эрель (1917). В результате агент, разрушающий бактерии, был назван бактериофагом (от греч. phagos – пожирающий).

Бактериофаг способен инфицировать бактериальную клетку, репродуцироваться в ней, образуя многочисленное потомство, и вызывать ее лизис, сопровождающийся выходом фаговых частиц в среду обитания бактерий.

Бактериофаги широко распространены в почве, воде, экскрементах больных и здоровых животных, человека и обнаружены более чем у 100 видов бактерий.

Хозяевами бактериофагов являются эшерихии и сальмонеллы, стафилококки и стрептококки, микобактерии, листерии, коринебактерии и другие микроорганизмы. Процесс взаимодействия фага с клеткой протекает по типу продуктивной инфекции, или лизогении. В зависимости от этого различают вирулентные и умеренные фаги. *Вирулентные* фаги при проникновении в клетку бактерий размножаются в ней и вызывают лизис; *умеренные* фаги не вызывают лизиса, а остаются в состоянии лизогении.

По степени специфичности фаги разделяют на три группы: *полифаги* – лизируют родственные бактерии, *монофаги* – бактерии одного вида, *фаговары* – только определенные варианты данного вида бактерий.

При контакте умеренного бактериофага с микробной клеткой последняя не лизируется и становится носителем бактериофага. Это явление получило название *лизогении*, а бактериальные культуры, обладающие этим свойством, называются лизогенными.

Контрольные вопросы

1. Определите влияние факторов среды (питание, дыхание, температура, влажность) на жизнедеятельность микроорганизмов.
2. Перечислите и охарактеризуйте микробиоценозы и взаимоотношения между микроорганизмами.
3. Как классифицируют противомикробные средства по происхождению, антимикробному спектру, механизму действия?
4. Опишите пути преодоления резистентности микроорганизмов.

ТЕМА 5. БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ МИКРООРГАНИЗМАМИ

В результате изучения темы 5 студент овладеет следующими компетенциями:

- 1) сможет оценить роль бактерий в круговороте азота;*
- 2) сможет оценить роль бактерий в круговороте углерода, их значение в природе брожения;*
- 3) научится различать виды брожения, их практическое применение;*
- 4) сможет оценить роль бактерий в круговороте фосфора, железа и серы.*

При самом активном, широком участии микроорганизмов в природе, главным образом в почве и гидросфере, постоянно осуществляются два противоположных процесса: синтез из минеральных веществ сложных органических соединений и, наоборот, разложение органических веществ до минеральных. Единство этих противоположных процессов лежит в основе биологической роли микроорганизмов в круговороте веществ в природе. Среди различных процессов превращения веществ в природе, в которых микроорганизмы принимают активное участие, важнейшее значение для осуществления жизни растений, животных и человека на Земле имеют круговорот азота, углерода, фосфора, серы, железа.

5.1. Круговорот азота

Важнейший элемент, входящий в состав белков, а следовательно, имеющий исключительное значение для жизни – это азот. В живых существах, населяющих планету, содержится примерно 15–20 млрд т азота, в почвах (в 30-сантиметровом слое) на каждом гектаре имеется в среднем 5–15 т азота.

В круговороте азота в природе с участием микроорганизмов различают следующие этапы: усвоение атмосферного азота, аммонификацию, нитрификацию, денитрификацию.

Усвоение азота из атмосферного воздуха азотфиксирующими бактериями. Среди микробов, усваивающих атмосферный азот, различают две группы – свободноживущих и клубеньковых.

Свободноживущие азотфиксаторы живут и фиксируют азот в почве независимо от растений. Основные виды этих микробов: *Azotobacter chroococcum*, *Cl. pasteurianum*. Азотобактер на площади в 1 га в течение года фиксирует от 20 до 50 кг газообразного азота, повышая плодородие почвы. Наиболее интенсивно этот процесс идет при хорошей аэрации почвы.

Клубеньковые бактерии – активные фиксаторы атмосферного азота в симбиозе с бобовыми растениями. Наличие бактерий в клубеньках бобовых растений установлено М. Ворониным. В чистой культуре эти микробы выделены Бейеринком в 1888 г. и названы *Bact. radicum* (современное – род *Rhizobium*).

Аммонификация – это минерализация азотсодержащих органических веществ, протекающая под воздействием аммонифицирующих микробов, выделяющих протеолитические ферменты. Благодаря аммонификации представителей растительного и животного мира и их продуктов жизнедеятельности (мочевины, испражнений) почва обогащается азотом и другими соединениями. Одновременно с этим аммонифицирующие микробы выполняют огромную санитарную роль, очищая почву и гидросферу от разлагающегося органического субстрата. Основными представителями широко распространенных в природе аммонифицирующих микробов являются следующие микроорганизмы, разлагающие мочевину: *Bac. probatus* и *Sporosarcina ureae*

Подсчитано, что весь животный мир земного шара за сутки выделяет 150 тыс. т мочевины. За год это составляет более 50 млн т мочевины, или 20 млн т азота.

Спорообразующие аэробы – это *Bac. mesentericus* (картофельная бактерия), *Bac. megatherium* (капустная бактерия), *Bac. subtilis* (сенная палочка), *Bac. tусoides* (грибовидная бацилла). *Не образующие спор аэробные аммонификаторы* – это *E. coli*, *Proteus vulgaris*, *Ps. fluorescens*.

К анаэробным спорообразующим аммонификаторам относятся *Cl. putrificum* (газообразующая клостридия), *Cl. sporogenes*.

Аммонификацию вызывают также актиномицеты, грибы, триходермы, живущие в почве.

Нитрификация – следующий за аммонификацией этап превращения азота микроорганизмами. Этот процесс представляет собой окисление аммиака, образующегося при разложении органических азотсодержащих соединений.

Денитрификация, протекающая под воздействием микробов, представляет собой восстановление нитратов с образованием в качестве конечного продукта молекулярного азота, возвращающегося из почвы в

атмосферу. Вызывается этот процесс денитрифицирующими бактериями. Наиболее распространенные из них в природе: *Tioloacillus denitrificans* – палочка, не образующая спор, факультативный анаэроб; *Ps. fluorescens* – подвижная палочка, выделяет зеленоватый пигмент, быстро разлагает нитраты; *Ps. aeruginosa* – бактерия сходна с предыдущей; *Ps. Stutzeri* – небольшая палочка, образующая цепочки, разлагает нитраты в анаэробных условиях.

5.2. Роль микроорганизмов в круговороте углерода. Брожение

Важнейшим органогеном, входящим в состав микробов, растений, животных, является углерод. В клеточном веществе этот элемент составляет около 50% сухого вещества.

Автотрофные микробы для превращения углекислоты, не имеющей энергетических свойств, в органические энергетические соединения нуждаются в тепловых источниках, которыми для них служит солнечная энергия или химическая энергия окисления минеральных веществ. Усвоение углерода с использованием солнечной энергии называется фотосинтезом, а с использованием химической энергии – химиосинтезом. К фотоавтотрофам относят цветные бактерии: зеленые содержат в цитоплазме хлорофилл, а пурпурные красный или коричневый пигмент. Наиболее значимы из них нитрифицирующие бактерии, окисляющие аммиак в соли азотистой кислоты. Источником углерода для синтеза клеточного вещества у них служит углекислота. Тионовые бактерии относятся к химиоавтотрофам, они окисляют серу до серной кислоты. Таким образом, автотрофные микробы, используя солнечную или химическую энергию, превращают углекислоту в органическое вещество. Основным процесс, возвращающий углекислоту в атмосферу, – разложение органических соединений под влиянием микроорганизмов. Этот процесс разложения органических безазотистых соединений называется *брожением*. В природе существуют много типов брожений, вызываемых определенными видами микробов. Приведем только имеющие наибольшее значение для круговорота углерода.

Брожение клетчатки. В природе огромные запасы углерода сосредоточены в клетчатке (целлюлозе) растений. После их гибели идет разложение клетчатки с высвобождением углерода в виде углекислоты, возвращающейся в атмосферу. Наиболее интенсивно клетчатка разлагается целлюлозными микробами в пищеварительном аппарате травоядных животных. Различают анаэробное и аэробное брожение клетчатки.

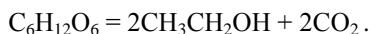
Аэробное брожение клетчатки. В аэробных условиях клетчатку разлагают микроорганизмы, широко распространенные в природе.

Целлюлозные микроорганизмы выполняют огромную санитарную роль, разлагая клетчатку отмерших растений, благодаря чему в почве накапливается гумус, повышающий ее плодородие.

Весьма вредоносный разрушитель одревесневшей клетчатки (древесины) – домовый гриб *Merulium lacrymans*. Этот гриб, разрастаясь в древесине, приводит ее в полную негодность (трухлое состояние), разрушая деревянные постройки, особенно потолки и полы.

Брожение пектиновых веществ. Разрушение отмерших растений происходит при активном участии микроорганизмов, вызывающих брожение пектиновых межклеточных веществ, связывающих растительные клетки. При нагревании пектиновые вещества приобретают студневидную консистенцию (пектис – студень). Возбудители этого брожения – *Cl. pectinovorum* – спорообразующие подвижные крупные палочки. Большое практическое значение пектиновокислое брожение имеет при мочке волокнистых растений (льна, конопли).

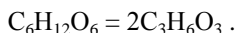
Спиртовое брожение вызывается дрожжевыми грибами, разлагающими сахара ферментом зимазой с образованием этилового спирта и углекислоты, по следующему уравнению:



Дикие дрожжи широко распространены в природе, они живут на цветах, листьях и стеблях растений, особенно в большом количестве на плодах. Культурные дрожжи используются в хлебопечении. Кефир изготавливается также с участием дрожжей. Вся промышленность по изготовлению этилового спирта, различных вин, пива основана на деятельности дрожжей.

Saccharomyces cerevisiae – пекарские, хлебные дрожжи – представляют собой овальные клетки величиной 8–10 мкм. Эти дрожжи вызывают верховое и низовое брожение. Верховое брожение происходит при температуре 14–24°C с обильным выделением газа, при этом дрожжи поднимаются вверх, образуя пленку. Этот вид брожения используется в хлебопечении и виноделии. Низовое брожение протекает при температуре 4–10°C, дрожжи размножаются медленно в нижних слоях, используется в пивоварении.

Молочнокислое брожение. Микробиологический характер этого процесса установил Л. Пастер. В результате молочнокислого брожения, главным образом сахара, а также многоатомные спирты и белки расщепляются до молочной кислоты. Схематически этот процесс можно представить следующим уравнением:



Молочнокислое брожение – анаэробный процесс, протекающий без кислорода. Оно давно и широко используется человеком для изготовления различных молочных продуктов – масла, сыра, кефира, кумыса,

простокваши. Приготовление силоса, квашение и соленье овощей основано также на молочнокислом брожении. Возбудители этого брожения весьма широко распространены в природе, их обнаруживают в почве, воде, воздухе, на растениях, в животноводческих помещениях, на коже животных, в жилых помещениях.

Все молочнокислые бактерии являются антагонистами гнилостных микробов. На этом основано применение диетических молочнокислых продуктов для профилактики и лечения желудочно-кишечных заболеваний, вызванных гнилостными микробами у человека и новорожденных животных.

Уксуснокислое окисление – микробиологический процесс окисления этилового спирта в уксусную кислоту. Природу его впервые установил Л. Пастер, доказав ведущую роль в нем бактерий. Последние широко распространены в природе, их обнаруживают в почве, воздухе, на растениях, в жилых помещениях и на животноводческих фермах.

Род уксуснокислых бактерий – *Acetobacter* – состоит из 11 видов, среди них главной является *Bact. aceti* – уксусная палочка. Это неподвижная, короткая, бесспорная, аэробная палочка, располагается изолированно, но чаще длинными цепочками.

При длительном хранении пива, сухих (не крепленных спиртом) вин на их поверхности появляется морщинистая пленка, носящая название «уксусная матка», или *Mycoderma aceti*. Она состоит из трех наиболее распространенных в природе уксуснокислых бактерий – *Acetobacter aceti*, *A. pasteurianum* и *A. kuringianum*. В промышленности уксус получают с использованием этих бактерий путем размножения их на буковых опилках, обильно увлажненных раствором этилового спирта.

Маслянокислое брожение впервые изучил Л. Пастер, вызывается оно маслянокислыми микробами, разлагающими углеводы с образованием масляной кислоты, по следующему суммарному уравнению:



Маслянокислые микробы в большинстве анаэробы, они широко распространены в природе, их обнаруживают в почве, воде, воздухе, на растениях, продуктах питания и кормах. Одновременно с углеводами они разлагают жиры и белки, при этом вначале образуются промежуточные продукты – пировиноградная кислота, уксусный альдегид, затем масляная кислота и побочные продукты – ацетон, бутиловый спирт, углекислота, водород. Маслянокислое брожение вызывает около 25 видов микроорганизмов.

Основные из них: *Cl. pasteurianum*, *Cl. pectinovorum*, *Cl. felsineum*. Это подвижные крупные палочки с закругленными концами, образуют споры, приобретая характерную веретенообразную форму. В цитоплазме этих микробов содержится гликоген и гранулеза, поэтому они хоро-

шо окрашиваются раствором йода в синий и бурый цвет. Споры микробов весьма устойчивы к теплу и могут переносить стерилизацию при температуре 120°C, оставаясь живыми, например, в мясных и рыбных консервах. Размножаясь в консервах, они образуют газы, вызывающие вздутие банок (бомбаж). Одновременно в этих продуктах накапливаются и ядовитые вещества. Поэтому консервы с бомбажем в пищу непригодны.

5.3. Круговорот фосфора, железа и серы

Фосфор входит в состав белков и липоидов. Особенно много его в ядрах клеток, головном мозге человека и животных. Микроорганизмы, участвующие в превращении фосфора, живут в почве, воде. Их роль сводится к двум процессам: минерализации фосфора, входящего в состав органических веществ, и превращению фосфорнокислых солей из слаборастворимых в хорошо растворимые. Минерализацию фосфора вызывают гнилостные бактерии, в частности *Bac. megatherium*. Образующаяся при этом фосфорная кислота связывается со щелочами почвы и превращается в слаборастворимые соли кальция, железа, магния и, следовательно, малодоступные для растений. В дальнейшем под действием почвенных кислотообразующих бактерий, особенно нитрифицирующих, эти соли превращаются в растворимые соединения фосфорной кислоты, доступные для растений.

Железо входит в состав белка гемоглобина, содержащегося в эритроцитах. Этим объясняется его важная роль в процессе дыхания человека и животных.

Основные представители железобактерий – нитчатые бактерии родов *Crenotrix*, *Chlamydothrix*, *Cladothrix*. Эти бактерии представляют длинные нити, покрытые общим слизистым влагалищем, в котором отлагается гидрат окиси железа. После отмирания бактерий образуется болотная и озерная железная руда, залегающая островами в десятки и сотни квадратных метров. Железобактериям принадлежит важная роль в образовании железомарганцевых отложений в природе.

В состав белка растительного и животного происхождения входит и сера, этим объясняется важность этого элемента в круговороте веществ.

Бактерии, усваивающие соединения серы, называют серобактериями. Живут они в почве, воде, навозе. При разложении в почве органических серосодержащих веществ, а также при восстановлении солей серной, сернистой и серноватистой кислот образуется сероводород, ядовитый для растений и животных. Этот газ превращается в безвредные, доступные для растений соединения серобактериями.

5.4. Практическое значение биохимических процессов, вызываемых микроорганизмами

Все среды биосферы буквально пронизаны микроорганизмами: они есть в почве, воде, воздухе, их можно обнаружить на дне глубочайших океанов и на пиках горных вершин, в песках жарких пустынь и в антарктических льдах. Они есть в зловонных канализационных стоках и в сбросах химических предприятий, радиорезистентные бактерии существуют в системах ядерных реакторов. Вездесущность микробов объясняется их уникальной способностью находить и утилизировать самые ничтожные источники энергии, углерода и азота для своей жизнедеятельности. Колоссальное генетическое разнообразие обуславливает удивительную адаптацию микробов к условиям обитания, губительным для любых других живых существ. Исключительно интенсивная жизнедеятельность огромного числа разнообразных микроорганизмов является важнейшим фактором обеспечения динамического равновесия земной биосферы.

Основные среды обитания микроорганизмов в природе – почва, вода, воздух, животные и растительные организмы.

Только благодаря активной деятельности бактерий реализуется замкнутый характер круговорота азота и углерода как обязательных конструктивных элементов биосферы. Если на Земле исчезнут прокариотические клетки (бактерии) и останутся только эукариотические организмы (растения и животные), то биосферная жизнь вскоре прекратится. К счастью, это никогда не произойдет, ибо микробы исключительно быстро адаптируются к негативным последствиям производственной и иной жизнедеятельности человека, вырабатывая резистентность даже к тем химическим соединениям, которых нет в природе.

Полагают, что формирование биосферы произошло около 3 млрд лет тому назад, когда единственными обитателями Земли были прокариотические бактерии. Они активно участвовали в формировании биосферы планеты в сочетании с геологическими и атмосферными явлениями.

В нынешнюю эпоху Земля заселена разнообразными видами растений, животных, грибов, водорослей. Однако по-прежнему микроорганизмы играют доминирующую роль в функционировании биосферы. Они активно участвуют в обеспечении биогеохимических циклов круговорота веществ и энергии.

Как известно, животные и растения синтезируют значительно больше органических веществ, чем они могут минерализовать сами или при содействии абиогенных факторов. Возникает потенциальность «эффекта складирования» таких биогенных элементов, как азот, углерод, сера,

фосфор, с уменьшением их оборота. *Теоретически жизнь на Земле могла бы исчезнуть из-за дефицита конструктивного материала, если бы не было микроорганизмов, которые способны расщеплять все органические вещества, в том числе синтезируемые животными и растениями.* Более того, микробы самостоятельно осуществляют синтез и разложение собственной биомассы до исходных элементов. По-видимому, в природе нет органических веществ, которые не разрушались бы микроорганизмами.

Как видно из вышеизложенных материалов, микроорганизмы населяют всю биосферу, едва ли можно найти такие ее участки, где была бы жизнь, но не было бактерий. Вместе с тем в условиях, которые мы определяем как экстремальные, нередко обитают только бактерии, например, при экстремальных значениях температуры, солености, pH. Огромному разнообразию условий, представляемых биосферой, микроорганизмам соответствует разнообразие их свойств и адаптаций. Обладая огромной численностью популяций и выработанными эволюцией механизмами изменчивости и диффузии генетических детерминант, большинство бактериальных видов находится в состоянии постоянного адаптационного движения в соответствии с изменяющимися условиями среды, будь то организмы или элементы неживой природы.

Контрольные вопросы

1. Опишите роль бактерий в круговороте азота.
2. Опишите роль бактерий в круговороте углерода, их значение в природе брожения.
3. Проанализируйте виды брожения, дайте характеристику их практическому применению.
4. Оцените роль бактерий в круговороте фосфора, железа и серы.
5. Проанализируйте практическое значение биохимических процессов, вызываемых микроорганизмами. Чем грозит биосфере их остановка или замедление?

Тема 6.

ПАТОГЕННЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ

В результате изучения темы 6 студент овладеет следующими компетенциями:

1) овладеет закономерностями взаимодействия макроорганизма с патогенными микроорганизмами;

2) научится отличать заболевания инфекционной природы от неинфекционных;

3) определит свойства возбудителя, способствующие возникновению инфекции;

4) научится классифицировать возбудителей инфекций человека, овладеет мерами первичной профилактики инфекционных заболеваний.

6.1. Закономерности взаимодействий макроорганизма с возбудителями инфекционных заболеваний

В глубокой древности люди замечали заразительность таких болезней, как оспа, холера, чума, и даже использовали искусственное заражение с целью легкого переболевания и формирования невосприимчивости в дальнейшем. Гиппократ (470–380 гг. до н.э.) важную роль в возникновении заразных болезней отводил особым испарениям – «миазмам». Его теория заражения загнившей дождевой водой господствовала около полутора тысячелетий. В 1546 г. Фрокасторо выдвинул учение о контагии (заразе). Это учение гласило, что заразные болезни распространяются путем передачи «контагии» от больного к здоровому организму при соприкосновении или через воду, корм, воздух. Гипотеза Фрокасторо подтверждена после открытия микроскопа, затем микроорганизмов и, наконец, после открытия болезнетворных микроорганизмов Пастером, Кохом.

В конце XIX века бурное развитие микробиологии и возможность в большинстве случаев выделить живого возбудителя привели к признанию микроба безусловной и единственной причиной инфекции. Возникло научное направление «монокаузализм». В дальнейшем под действием новых данных выяснилось, что не всякое заражение вызывает

заболевание. Зародилось и получило признание новое учение «кондиционализм». Подтверждением жизненности этого учения служит факт бессимптомного носительства патогенных микробов при многих инфекциях.

Причина заболевания – взаимодействие многих слагаемых, но, прежде всего, двух: патогенного микроорганизма и реактивной системы макроорганизма. Это взаимодействие протекает в условиях внутренней среды. Крайней степенью проявления взаимодействия является инфекционное заболевание.

Для конкретного и объективного понимания сущности возникновения инфекционных болезней необходимо рассмотреть свойства микроба вызывать заболевание и способности макроорганизма противостоять заражению во взаимодействии.

Типы взаимодействий микробов и хозяина неоднозначны. Различают мутуализм, или сожитительство, организмов. Примером может служить сообщество клубеньковых бактерий и бобовых растений, тело лишайника.

Комменсализм – это нахлебничество, в том числе условно патогенной микрофлоры в организме хозяина.

Паразитизм – это существование одного вида за счет другого. Паразитизм может привести хозяина в состояние инфекции.

Инфекция (лат. *Infecere*) означает «отравлять, заражать», или *inficere* – «вдвываяю, вношу что-либо извне, заражаю». Смысл слова «инфекция» различен. Под инфекцией понимают заразное начало, т.е. возбудителя в одном случае, а в другом случае это слово употребляется как синоним понятия «заражение, или заразная болезнь». Чаще всего слово «инфекция» употребляется для обозначения заражения и инфекционной болезни.

Инфекция – эволюционно сложившееся взаимодействие паразита и хозяина, проявляющееся в форме заболевания или бактерионосительства в конкретных условиях окружающей среды. Инфекция – частный случай паразитизма, широко распространенный в мире растений, животных, микроорганизмов.

Инфекционные болезни имеют следующие **отличительные особенности**:

- 1) причина – живой возбудитель;
- 2) наличие инкубационного периода, который зависит от вида микроба, вирулентности, дозы, чувствительности макроорганизма. Это период времени от проникновения возбудителя в организм хозяина, его размножение и накопление до предела, обуславливающего болезнетворное действие на его организм (длится от нескольких часов до нескольких месяцев);

3) заразительность, т.е. способность возбудителя передаваться от больного животного здоровому (есть и исключения – столбняк, злокачественный отек);

4) специфические реакции организма, т.е. образование антител или толерантность (отсутствие иммунного ответа);

5) невосприимчивость после переболевания.

Существенным вкладом в учение о происхождении заразных болезней является теория о природной очаговости трансмиссивных болезней, разработанная советским ученым Е.Н. Павловским. По определению Павловского, «природная очаговость трансмиссивных болезней – это явление, когда возбудитель, специфический его переносчик и животные (резервуар возбудителя) в течение смены своих поколений неограниченно долгое время существуют в природных условиях в составе различных биоценозов, независимо от человека как по ходу своей уже прошедшей эволюции, так и в настоящий ее период». Эта теория позволила решить проблемы эпизоотологии и эпидемиологии ряда болезней: чумы, туляремии, вирусных энцефалитов и др.

Одним из перспективных теоретических подходов к решению проблемы инфекционных заболеваний является экологический подход. Ф.М. Бернет пишет: «Чтобы понять и в конечном счете успешно бороться с инфекционными болезнями, гораздо полезнее изучать, каким образом патогенный вид выживает в природе, чем понимать процесс инфицирования. Можно до бесконечности выявлять, обнаруживать инфицированных и больных животных, оставляя без внимания возбудителя во внешней среде. Однако меры, приводящие к гибели возбудителя во внешней среде, прекращают цепь перезаражений».

6.2. Свойства возбудителя, способствующие возникновению инфекции

Патогенность и вирулентность

Потенциальную способность микроорганизма паразитировать в организме животных и вызывать инфекцию (инфекционный процесс) называют патогенностью, болезнетворностью.

Патогенность – качественная характеристика вида, определяемая его генотипом, это потенциальная способность возбудителя вызывать инфекционный процесс. Факторы патогенности связаны со структурными элементами микробной клетки, ее метаболизмом. Они позволяют патогенному микроорганизму не только проникнуть и сохраниться, но и размножиться, распространиться в тканях и органах животного, активно воздействовать на его функции.

Все микроорганизмы – паразиты, очевидно, происходят от свободноживущих сапрофитов, которые использовали для питания мертвые органические остатки.

В мире микроорганизмов можно выделить **облигатных паразитов**, которые утратили способность к сапрофитическому образу жизни (вирусы, некоторые простейшие, риккетсии, микоплазмы, хламидии – внутриклеточные паразиты). У них утрачиваются ферментные системы, и исключается возможность сапрофитного образа жизни.

Другая группа патогенных микроорганизмов – **факультативные паразиты** (возбудители ботулизма, столбняка, злокачественного отека), способные существовать и даже размножаться во внешней среде. Предполагается, что все известные виды облигатных паразитов прошли этап факультативного паразитизма. Не всегда можно провести четкую грань между сапрофитами и паразитами. При изменении условий среды может измениться обмен веществ; у микроорганизмов вырабатываются адаптивные ферменты, с помощью которых они приспосабливаются к другому типу питания.

Взаимоотношения организма животных и микроорганизмов многих видов (облигатных и факультативных паразитов), прошедшие длительный путь эволюции, продолжают непрерывно изменяться. Изменяются свойства паразита и иммунологическая реактивность их хозяев.

Патогенность, таким образом, является эволюционно закрепленной характеристикой вида. Например, среди обширного рода **Bacillus** патогенным для млекопитающих является лишь **Bacillus anthracis** (возбудитель сибирской язвы).

Каждый вид болезнетворных микробов характеризуется специфическим набором факторов патогенности. Этот набор определяет характер патогенного действия, т.е. способность вызывать определенный инфекционный процесс. Например, ящуром болеют парнокопытные, а сапом – однокопытные, кошачьи; инфекционной анемией – лошади, чумой свиней – свиньи. Однако и в пределах вида патогенность микроорганизмов может колебаться.

Степень патогенности, индивидуальная особенность каждого варианта и штамма микроорганизмов называется вирулентностью.

Это качественная характеристика штамма микроорганизмов, характеристика его патогенности для животных определенного вида в определенных неменяющихся условиях. В процессе эволюции болезнетворные микроорганизмы приобрели разнообразные способности проникать в макроорганизм, преодолевая его защитные барьеры, противостоять защитным силам организма, подавлять их и вызывать изменения морфологии и функции клеток, тканей и органов.

Вирулентность какого-либо штамма данного патогенного вида измеряют двумя факторами: **токсигенностью** (способность продуцировать

токсины – вещества, повреждающие ткани) и **инвазивностью** (способность проникать в ткани организма, размножаться в них и распространяться). Инвазивность и токсигенность имеют собственный генетический контроль в клетке бактерии.

6.3. Возбудители инфекций человека

Ботулизм

Ботулизм – болезнь, возникающая в результате отравления токсинами бактерий ботулизма и характеризующаяся тяжелым поражением центральной и вегетативной нервных систем.

Этиология. Возбудитель – *Clostridium botulinum* – широко распространен в природе с постоянным местом обитания в почве. Анаэроб, образует споры, чрезвычайно устойчив к воздействию физических и химических факторов. Споры выдерживают кипячение 5 ч. и лишь при температуре 120°C погибают через 30 мин. В анаэробных условиях споры превращаются в вегетативные формы, которые размножаются и образуют токсин. Вегетативные формы возбудителей погибают при кипячении через 2–5 мин, токсин частично разрушается при нагревании до 70–80°C, при кипячении в течение 5–15 мин разрушается полностью. Ботулотоксин – один из сильнейших известных в природе ядов, его смертельная доза для человека составляет около 0,3 мкг. Известны 8 сероваров *Cl. botulinum* – А, В, С1(а), С2(б), D, E, F и G. Патогенными для человека являются серовары А, В, E и F, но чаще ботулизм у людей вызывают бактерии типов А, В и E.

Эпидемиология. Резервуаром возбудителей ботулизма в природе являются теплокровные и, реже, холоднокровные животные, в кишечнике которых находятся *Cl. botulinum*, выделяющиеся с фекалиями во внешнюю среду, где образуют споры. Сам возбудитель не вызывает заболевание человека. Для возникновения отравления необходимо размножение возбудителя в анаэробных условиях с накоплением ботулотоксина (ветчина, колбасы, консервы, соленая рыба), а также в консервированных овощах, фруктах, грибах. В последние годы возросла роль консервированных грибов в возникновении ботулизма. Прорастание спор и накопление токсинов происходят особенно интенсивно при температуре 28–35°C. Человек заболевает, употребляя в пищу продукты, содержащие ботулотоксин. Больной человек не опасен для окружающих.

Профилактика. Поскольку основной причиной возникновения заболевания является употребление различных продуктов домашнего приготовления (консервированные, маринованные, копченые, вяленые и др.), то в профилактике ботулизма большое значение имеет разъясни-

тельная работа с населением. Знание оптимальных условий прорастания спор, токсинообразования, устойчивости к термическому воздействию спор и токсинов позволяет определить адекватные технологические условия обработки пищевых продуктов, исключая накопление ботулинического токсина. Перед употреблением консервированных продуктов обязательна их тепловая обработка.

Пищевые токсикоинфекции

Пищевые токсикоинфекции (ПТИ) – острые, самоограничивающиеся заболевания, вызываемые условно-патогенными бактериями, способными продуцировать экзотоксины вне организма человека; в пищевых продуктах, и протекающие с симптомами поражения верхних отделов желудочно-кишечного тракта (гастрит, гастроэнтерит) и нарушениями водно-солевого обмена. Микробные пищевые отравления подразделяют на токсикоинфекции и токсикозы (интоксикации). К последним относятся заболевания, вызываемые *C1. botulinum* и энтеротоксигенными штаммами *St. aureus*. Из-за выраженного отличия в механизме действия токсина (нейроплегический эффект), выделяемого *C1. botulinum*, и своеобразия клинической картины ботулизм описан отдельно. Стафилококковая интоксикация, близкая по клинике к пищевым токсикоинфекциям, представлена в данном разделе.

Этиология. Возбудителями пищевых токсикоинфекций являются различные условно-патогенные бактерии (УПБ), отдельные штаммы которых способны продуцировать экзотоксины вне организма человека, на пищевых продуктах. К числу экзотоксинов, образуемых УПБ, относятся энтеротоксины (термолабильный и термостабильный), усиливающие секрецию жидкости и солей в просвет желудка и кишки, и цитотоксин, повреждающий мембраны эпителиальных клеток и нарушающий в них белковосинтетические процессы. Наиболее частыми возбудителями болезни, способными продуцировать энтеротоксины, являются *Clostridium perfringens*, *Proteus vulgaris*, *Proteus mirabilis*, *Bacillus cereus*. Энтеротоксины образуются также возбудителями, принадлежащими к родам: *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Serratia*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Edwardsiella*, *Vibrio*. Большинство энтеротоксинов возбудителей являются термолабильными. Выраженными термостабильными свойствами отличается энтеротоксин *Staph. aureus*. Он не инактивируется при кипячении до 30 мин и сохраняет способность в отсутствии самих микробов вызывать клиническую картину заболевания. Способностью продуцировать цитотоксин обладают *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Aeromonas hydrophila*, *Clostridium perfringens* типа С и *Clostridium difficile*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Staph. aureus* и ряд других микробов.

Эпидемиология. Источниками пищевых токсикоинфекций могут быть лица, работающие в пищевой промышленности и страдающие раз-

личными гнойничковыми инфекциями кожи, ангинами, заболеваниями верхних дыхательных путей, пневмониями и др. Среди зоонозных источников ПТИ могут быть больные маститом животные – коровы, козы и др. Однако широкое распространение УПБ во внешней среде часто не позволяет установить источник заболевания. Путь распространения ПТИ алиментарный. Среди факторов передачи – твердые (колбасы, студни, яйца, мясные, рыбные консервы и др.) и жидкие (суп, молоко, соки, компоты, кисели, квас, лимонад, пиво, коктейли и др.) пищевые продукты, являющиеся для бактерий питательной средой. Стафилококковая интоксикация чаще связана с употреблением в пищу инфицированных кондитерских кремов, мясных, рыбных и овощных блюд, молочных продуктов. Протей и клостридии хорошо размножаются на белковых продуктах (мясо, рыба, в том числе консервированные, колбаса, молоко). *Vac. segeus* весьма неприхотлива, бурно размножается в различных пищевых продуктах: овощных салатах и супах, пудингах, мясных и рыбных блюдах. Восприимчивость к этой группе заболеваний высока. Нередко заболевают 90–100% людей, употреблявших инфицированный продукт. Характерным для ПТИ является не только групповой, но и эксплозивный (взрывной) характер заболеваемости, при котором в короткое время (за несколько часов) заболевают все участники вспышки. Заболеваемость ПТИ регистрируется на протяжении всего года, но чаще – в теплое время.

Профилактика. В общегосударственном масштабе – создание современных механизированных и автоматизированных предприятий пищевой промышленности, разработка и внедрение в практику новых методов обработки и хранения продуктов. На пищевых предприятиях – тщательный санитарный контроль за производством, хранением, транспортировкой и реализацией пищевой продукции. Недопущение к работе лиц с признаками инфекционных заболеваний, гнойничковыми поражениями кожи и слизистых оболочек. Необходим также санитарный и ветеринарный контроль на молочных фермах и других животноводческих предприятиях.

Сальмонеллез

Сальмонеллез – кишечный зооноз, вызываемый многочисленными возбудителями из рода сальмонелл, характеризующийся при манифестном течении отчетливо выраженной интоксикационной и гастроинтестинальной симптоматикой, а также возможностью развития в некоторых случаях генерализованной формы.

Этиология. Род сальмонелл, входящий в семейство энтеробактерий, включает более 2200 сероваров. Для менее половины из них установлена способность вызвать заболевания у человека. На основании различий в строении соматического О-антигена их делят на серологиче-

ские группы А, В, С, D, Е и т.д. По особенностям жгутикового Н-антигена внутри каждой группы выделяют различные сероварианты. К наиболее часто высеваемым от человека сальмонеллам относятся: *S. enteritidis*, *S. typhi murium*, *S. heidelberg*, *S. panama*, *S. infantis*, *S. newport*, *S. agona*, *S. derby*, *S. london* и др. Сальмонеллы хорошо переносят замораживание, высушивание, выживают в воде до 2 мес., накапливаются в молочных и мясных продуктах, устойчивы к солению, копчению, маринадам. При кипячении быстро разрушаются.

Эпидемиология. Основными источниками инфекции, вызываемой так называемыми «дикими» штаммами сальмонелл, являются животные с манифестным или бессимптомным течением заболевания, изредка люди. Длительность бессимптомного течения сальмонеллеза у животных может продолжаться годами. Бессимптомное течение заболевания установлено у многих видов сельскохозяйственных животных, кошек, собак, грызунов, птиц. Источниками «госпитальных» штаммов являются люди – медперсонал и пациенты, находящиеся в медицинских стационарах, имеющие манифестное или бессимптомное течение заболевания.

Основной путь заражения – алиментарный, при этом факторами передачи инфекции могут быть различные пищевые продукты – мясо млекопитающих, птиц, рыб, яйца и яичные продукты, молоко и молочные продукты и др. Это продукты или не подвергнутые достаточной термической обработке, или обсемененные сальмонеллами на этапе приготовления готовых блюд лицами, выделяющими сальмонеллы во внешнюю среду. Второй путь передачи инфекции – водный, где фактором передачи является вода открытых водоемов или водопроводная вода в условиях аварийных ситуаций.

Важной проблемой медицины в настоящее время стала внутрибольничная инфекция. В этом случае могут реализоваться контактно-бытовой и пылевой пути передачи. При внутрибольничной инфекции посуда, медицинский инвентарь, инструментарий, соски, игрушки и другие предметы обихода могут быть контаминированы сальмонеллами. Очагам внутрибольничного сальмонеллеза свойственны постепенное развитие, длительное существование и вовлечение в эпидемический процесс преимущественно иммунокомпрометированных лиц и детей первого года жизни.

Наиболее восприимчивы к данной инфекции лица с иммунодефицитами, имеющие гипо- и ахлоргидрию. Относительно чаще она встречается и у «пищевиков». Сальмонеллез в настоящее время является широко распространенной инфекцией во многих странах мира. У нас в стране встречается как спорадическая заболеваемость, так и крупные эпидемические вспышки, обусловленные поступлением в торговую сеть продуктов, обсемененных сальмонеллами.

Профилактика сальмонеллеза направлена на предупреждение распространения сальмонеллеза среди домашних животных, соблюдение санитарного режима на предприятиях пищевой промышленности и общественного питания. Решающее значение при этом имеет механизация и автоматизация технологических процессов на предприятиях, изготавливающих продукты питания.

Холера

Холера – острая антропонозная фекально-оральная инфекция, вызываемая холерными вибрионами, протекающая с симптомами водянистой диареи, рвоты с возможным развитием дегидратационного шока. Из-за тяжелого течения и возможности быстрого эпидемического и пандемического распространения холера согласно «Международным медико-санитарным правилам» относится к особо опасным инфекциям.

Пандемии холеры с древнейших времен приводили к большим человеческим жертвам. Известно семь пандемий холеры. Последняя началась в 1961 г. Ее особенность – смена возбудителя с истинно холерного классического на вибрион Эль-Тор, характеризующаяся относительно доброкачественным течением болезни с большой частотой вибрионосительства. В настоящее время заболевания холерой регистрируются в десятках стран третьего мира, откуда ежегодно происходят завозы этой инфекции в экономически более развитые страны, в том числе и в Россию.

Этиология. Возбудитель холеры – холерный вибрион, представлен двумя биоварами: биовар собственно холеры и Эль-Тор. Оба биовара сходны по морфологическим и тинкториальным свойствам, высокоподвижны благодаря наличию жгутика, спор не образуют, грамотрицательны, культивируются на щелочных питательных средах. По антигенным свойствам возбудители холеры относятся к серогруппе 01. В последние годы доказано, что вибрионы 0139 обладают способностью выделять идентичный известным биоварам холерных вибрионов экзотоксин и вызывать сходное по клинике заболевание, так называемую холеру Бенгал.

Профилактика. Согласно международным правилам за всеми лицами, прибывающими из неблагополучных по холере стран, устанавливается пятидневное наблюдение с однократным бактериологическим обследованием.

В очаге холеры реализуется комплексный план противоэпидемических мероприятий, включающий госпитализацию заболевших и вибрионосителей, изоляцию контактных лиц и медицинское наблюдение за ними в течение 5 дней с 3-кратным бактериологическим обследованием. Проводят текущую и заключительную дезинфекцию. При осуществлении эпиднадзора за холерой выделяют 3 типа очагов: 1 – с интен-

сивной циркуляцией вибриона и эпидемическими вспышками болезни, преимущественно вирулентными штаммами; 2 – с небольшим числом заболевших, которые нередко выделяют невирулентный возбудитель; 3 – с единичным вибриононосительством нетоксигенных штаммов. В очагах первых двух типов обязательна госпитализация больных, носителей, контактных с 3-кратным обследованием и с превентивным лечением. В очагах 3 типа изоляция контактных и медицинское наблюдение может осуществляться на дому с однократным исследованием кала на холерный вибрион.

Грипп

Этиология. Возбудители гриппа относятся к семейству ортомиксовирусов и включают 3 вида вирусов гриппа: А, В, С. Геном вирусов гриппа содержит одностороннюю сегментированную РНК. Антигенная характеристика внутреннего нуклеопротеида является основой для разделения вирусов гриппа на типы А, В, С. Липидная оболочка вирусов включает поверхностные гликопротеины – гемагглютинин и нейраминидазу, обладающие выраженными антигенными свойствами. Вирусы гриппа А, в отличие от других типов, характеризуются высокой антигенной вариативностью поверхностных гликопротеинов – гемагглютинина и нейраминидазы. Это обуславливает появление новых сероваров, а иногда – новых подтипов вируса, которые вызывают обычно более тяжелые и более массовые заболевания. У вирусов гриппа А, выделенных от человека, установлено наличие 3 антигенно-различных типов гемагглютинина (Н1, Н2, Н3) и 2 типов нейраминидаз (N1, N2). В соответствии с международной номенклатурой вирусы гриппа А, циркулировавшие среди населения до 1957 г., имеют общую антигенную формулу А (Н1N1), выделенные в 1957 г. – А (Н2N2), а в 1968 г. – А (Н3N2). Вирусы гриппа устойчивы к низким температурам и замораживанию, медленно погибают при нагревании, ультрафиолетовом облучении и действии дезинфектантов.

Эпидемиология. Источник инфекции – больной человек, в том числе и с атипичными формами без выраженной лихорадки и интоксикации. Заражение происходит воздушно-капельным путем. Наиболее восприимчивы к заболеванию иммунокомпрометированные и не имеющие специфического иммунитета лица. Грипп протекает в виде эпидемий (от небольших вспышек до пандемий). Ведущую роль в эпидемическом процессе играет антигенная изменчивость вируса (как правило, вируса А) и снижение уровня коллективного иммунитета. К новому антигенному варианту возбудителя у населения отсутствует иммунитет, что является причиной быстрого распространения инфекции. С вирусами типа А связывают пандемии гриппа. Вирусы гриппа В, более стабильные по антигенной структуре, не вызывают пандемий, но локальные «волны» подъема заболеваемости могут захватить одну или несколько

стран. Вирусы гриппа С вызывают спорадические случаи заболевания. В межэпидемический период вирусы сохраняются в организме человека, определяя спорадическую заболеваемость, а также в организме животных и птиц.

Профилактика. В целях профилактики проводится массовая вакцинация населения в предэпидемический период. Используется живая вакцина интраназально или инактивированная – подкожно, внутривенно. В последние годы все большее значение приобретает концепция защиты населения от гриппа и других ОРВИ, базирующаяся на следующих принципах: общегигиенические мероприятия, направленные на оздоровление условий труда и быта; формирование здорового образа жизни, закаливание; применение средств, повышающих неспецифическую защиту организма; экстренная химиопрофилактика.

Бешенство

Бешенство (*гидрофобия*) – острый вирусный контактный зооноз, характеризующийся продолжительным инкубационным периодом и развитием тяжелого прогрессирующего энцефалита со смертельным исходом.

Этиология. Возбудитель бешенства относится к семейству рабдовирусов (*Rhabdoviridae*) роду *Lyssavirus*. Содержит РНК, нейротропен. Существует в двух вариантах: «уличный» («дикий»), который циркулирует в естественных условиях среди животных, высоко патогенен для млекопитающих, и «фиксированный», применяется для получения вакцин, непатогенен. Вирус бешенства не стоек во внешней среде. Кипячение убивает вирус в течение 2 мин., он быстро погибает под действием различных дезинфицирующих средств.

Эпидемиология. Основными резервуарами и источниками бешенства являются плотоядные дикие животные: лисицы (наиболее значимый вид животных в настоящее время), енотовидные собаки, волки, шакалы и др., а также домашние – собаки, кошки, выделяющие вирус со слюной в последние 7–10 дней инкубационного периода и на протяжении всего заболевания. Эпизоотические очаги рабической инфекции рукокрылых животных (летучие мыши) имеют несравненно меньшее эпидемиологическое значение.

Передача инфекции от животных к человеку происходит при укусах бешеным животным или ослонении им поврежденной кожи и слизистых оболочек. От человека вирус, как правило, не передается. Наиболее опасны укусы в области головы, шеи и кистей рук.

Восприимчивость к бешенству всеобщая.

Профилактика. Поскольку лечение бешенства неэффективно, большое значение имеет борьба с этим заболеванием у животных и предупреждение его развития у людей.

При всех случаях укусов животными рекомендуется промыть рану водой с мылом, затем обработать ее перекисью водорода, спиртом или настойкой йода. Если животное бешеное или подозрительное на бешенство, ввести антирабический иммуноглобулин под кожу вокруг раны. Отложить на время наложение повязки, если же повязка необходима – следует использовать иммуноглобулин местно. Затем приступают к антирабическим прививкам, которые относятся к методам экстренной профилактики заболевания. Различают антирабические прививки по безусловным и условным показаниям. Безусловными показаниями являются укусы бешеных животных, а также животных, оставшихся неизвестными. Прививки по условным показаниям проводят при укусе животными без признаков бешенства и при карантинизации этих животных в течение 10 дней. Антитела после введения вакцины появляются только через 12–14 дней, поэтому при безусловных показаниях, укусах опасной локализации (голова, шея, пальцы рук) начинают профилактику с введения антирабического иммуноглобулина. Детальные сведения о дозах, продолжительности вакцинации в зависимости от ее вида, поведения животного, локализации укусов изложены в инструкции Минздрава РФ.

Столбняк

Столбняк – острое инфекционное заболевание, возникающее при проникновении возбудителя через поврежденную кожу и слизистые оболочки и характеризующееся поражением нервной системы токсином микроба, что клинически проявляется тоническими судорогами.

Этиология. Возбудитель столбняка – анаэробная, спорообразующая палочка (*Clostridium tetani*), во внешней среде существует в виде спор, не способных к выделению токсина и размножению. Споры высокоустойчивы к неблагоприятным факторам и сохраняются в почве годами и десятилетиями. При благоприятных анаэробных условиях споры прорастают в вегетативные формы, продуцирующие экзотоксин и гемолизин.

Эпидемиология. Возбудитель столбняка является безвредным обитателем кишечника многих животных (коровы, лошади, козы, мыши, крысы и др.) и человека, где паразитирует в вегетативной форме, выделяя токсин, который кишечной стенкой не всасывается. Из кишечника животных и человека вегетативные формы микроба попадают во внешнюю среду, преимущественно в почву. Заражение человека происходит при попадании спор через поврежденные кожные покровы или слизистые оболочки.

Патогенез. Входными воротами могут служить травмы различной локализации – это ранения, ожоги, операции, роды, инъекции, но чаще столбняк возникает после кажущихся незначительными мелких быто-

вых травм, особенно нижних конечностей. В анаэробных условиях, создаваемых при травматизации, споры превращаются в вегетативные формы, продуцирующие экзотоксин, состоящий из трех фракций. Основой, определяющей патологические изменения, является нейротоксин – тетаноспазмин, который из раны по двигательным волокнам периферических нервов, через кровь и лимфу поступает в спинной и продолговатый мозг, фиксируясь в синапсах, передающих возбуждение мышцам. Нейротоксин избирательно блокирует тормозящее действие вставочных нейронов на мотонейроны. В результате этого происходит непрерывное поступление возбуждающих импульсов в мышцы, которые приходят в состояние тонического напряжения. При столбняке могут поражаться и жизненно важные центры (дыхательный и др.).

Причины смерти при столбняке – асфиксия, паралич сердечной деятельности, дыхания, пневмония, сепсис.

Профилактика столбняка проводится в двух направлениях – профилактика травм и специфическая профилактика. Для создания иммунитета против столбняка проводят плановую иммунизацию ассоциированной вакциной АКДС или столбнячным анатоксином. При угрозе развития столбняка проводят экстренную профилактику противостолбнячной сывороткой в дозе 3000 МЕ или противостолбнячным иммуноглобулином в дозе 300 МЕ, содержащими антитела к токсину. Пассивная иммунизация не всегда предохраняет от заболевания, поэтому вводят столбнячный анатоксин – 10–20 МЕ. Сыворотку и анатоксин необходимо вводить в разные участки тела.

ВИЧ-инфекция

ВИЧ-инфекция – прогрессирующее антропонозное заболевание с гемоперкутантным механизмом заражения, характеризующееся специфическим поражением иммунной системы с развитием тяжелого иммунодефицита, который проявляется оппортунистическими инфекциями, злокачественными новообразованиями и аутоиммунными процессами.

Этиология. Возбудители – вирусы иммунодефицита человека 1-го, 2-го типов (ВИЧ-1, ВИЧ-2), относятся к семейству ретровирусов (Retrovirus), подсемейству медленных вирусов (Lentivirus). Вирионы являются сферическими частицами диаметром 100–140 нм. В их структуре различают пулевидный нуклеокапсид и оболочку (суперкапсид). В нуклеокапсиде находятся геном вируса в виде двухцепочечной РНК и обратная транскриптаза, заключенные в двухслойный белковый футляр. Оболочка состоит из фосфолипидов и гликопротеинов, структура последних определяет тропность вируса к различным клеткам хозяина.

Структурные компоненты вирусов, обладая антигенными свойствами, вызывают синтез специфических иммуноглобулинов, определение которых используется для диагностики инфекции и типа вирусов.

ВИЧ обладает выраженной антигенной изменчивостью, значительно превышающей таковую у вируса гриппа, что является одним из факторов, затрудняющих разработку методов специфической профилактики болезни.

В организме зараженного человека ВИЧ с наибольшим постоянством и в наибольшем количестве обнаруживается в крови, цереброспинальной жидкости, лимфоидной ткани, в головном мозге и внутренних органах, сперме, влагалищном секрете, грудном молоке, в меньшей концентрации – в слезной жидкости, слюне, секрете потовых желез, что определяет особенности распространения возбудителя.

ВИЧ нестойк во внешней среде. Он инактивируется при нагревании до 56°C в течение 30 мин. и при кипячении в течение 1–5 мин., при резком изменении рН среды (менее 1 и более 13), под воздействием дезинфектантов в рабочих концентрациях, обычно используемых в лабораторной практике (3% раствор перекиси водорода, 5% раствор лизола, 0,2% раствор гипохлорита натрия, 1% глютар-альдегид, 70% этанол, эфир, ацетон и др.), однако устойчив к ультрафиолетовому облучению и ионизирующей радиации.

Эпидемиология. Источник инфекции – зараженный ВИЧ человек, находящийся в любой из стадий болезни.

Основной механизм передачи инфекции – гемоперкутанный (кровоконтактный). Пути передачи могут быть естественными, благодаря которым ВИЧ сохраняется в природе, и искусственными. К естественным путям передачи относятся:

- 1) половой – при половых контактах, особенно гомосексуальных;
- 2) вертикальный – от матери к плоду (ребенку), реализуемый как трансплацентарно, так и интранатально и постнатально (в процессе грудного вскармливания); с другой стороны существует и угроза инфицирования здоровой матери при грудном вскармливании от зараженного в лечебном учреждении ВИЧ-инфекцией ребенка;
- 3) не исключается (но значительно менее вероятно, чем при вирусном гепатите В) бытовое парентеральное инфицирование через бритвенные приборы и другие колюще-режущие предметы, зубные щетки и т.п.

Искусственный путь передачи – парентеральный – реализуется при проникновении вируса через поврежденную кожу, слизистые оболочки при лечебно-диагностических манипуляциях (трансфузии крови и ее препаратов, трансплантации органов и тканей, инъекции, операции, эндоскопические процедуры и т.п.), искусственном оплодотворении, при внутривенном введении наркотических веществ, выполнении различного рода татуировок и обрядовых манипуляциях.

Восприимчивость к ВИЧ всеобщая. В настоящее время особенно велик риск инфицирования у наркоманов, повторно использующих для парентерального введения наркотиков необеззараженные иглы и шприцы. Контингентами высокого риска заражения ВИЧ являются также лица, склонные к гомосексуализму, промискуитету;

дети, рожденные от ВИЧ-инфицированных матерей; реципиенты донорской крови, тканей и органов, особенно больные гемофилией;

медицинский персонал, имеющий профессиональный контакт с кровью и другими биологическими жидкостями ВИЧ-инфицированных пациентов.

В странах Северной Америки, Западной и Центральной Европы, в Австралии преобладает инфицирование гомо- и бисексуальных партнеров и наркоманов. В африканском регионе, странах Южной Америки, Карибского бассейна, в Азии преобладают гетеросексуальная и вертикальная передача возбудителя, при этом наибольшая пораженность населения отмечена в странах Центральной и Восточной Африки, где маркеры ВИЧ-инфекции обнаружены у 5–20% сексуально активной популяции в городах, а зараженность проституток колеблется от 27 (в Заире) до 88% (в Руанде).

На территории нашей страны резкий рост в последние годы числа инфицированных ВИЧ обусловлен усилением передачи вируса среди внутривенных потребителей наркотиков и контактировавших с ними лиц.

Профилактика. В связи с отсутствием средств для специфической профилактики ВИЧ-инфекции основное значение в ограничении распространения болезни имеет максимально раннее выявление инфицированных лиц, строгий контроль за донорской кровью и ее препаратами, контроль трансплантатов, санитарно-просветительная деятельность.

Решающее значение приобретает правильное сексуальное и нравственное воспитание населения. Эффективным средством предупреждения ВИЧ-инфекции являются мембранные контрацептивы, особенно в сочетании со спермицидами; парентеральная передача ВИЧ может быть сведена до минимального уровня при использовании инструментов одноразового применения или тщательной дезинфекции приборов многократного применения; при использовании медицинским персоналом, контактирующим с кровью и другими биосубстратами от больных, защитных перчаток.

Несоблюдение правил предупреждения распространения ВИЧ инфицированными пациентами влечет за собой уголовную ответственность.

Продолжаются интенсивные исследования по созданию вакцины на основе достижений молекулярной биологии и генной инженерии.

Контрольные вопросы

1. Опишите закономерности взаимодействия макроорганизма с патогенными микроорганизмами.
2. Чем отличаются заболевания инфекционной природы от неинфекционных?
3. Определите свойства возбудителя, способствующие возникновению инфекции.
4. Опишите причины, эпидемиологию и меры первичной профилактики ботулизма.
5. Опишите причины, эпидемиологию и меры первичной профилактики пищевых токсикоинфекций.
6. Опишите причины, эпидемиологию и меры первичной профилактики сальмонеллеза.
7. Опишите причины, эпидемиологию и меры первичной профилактики холеры.
8. Опишите причины, эпидемиологию и меры первичной профилактики гриппа.
9. Опишите причины, эпидемиологию и меры первичной профилактики бешенства и столбняка.
10. Опишите причины, эпидемиологию и меры первичной профилактики ВИЧ.

Тема 7. ГИГИЕНА И САНИТАРИЯ

В результате изучения темы 7 студент овладеет следующими компетенциями:

- 1) сможет охарактеризовать основные разделы гигиены;*
- 2) сможет охарактеризовать антропогенное воздействие на природу и проанализировать его последствия;*
- 3) научится различать принципы биотической регуляции окружающей среды;*
- 4) проведет анализ основных нормативных документов РФ в области санитарного законодательства.*

7.1. Разделы гигиены

Гигиена – от греч. *Hygieinos* – здоровье. Гигиена – наука, изучающая влияние на здоровье человека условий жизни и труда и разрабатывающая меры профилактики заболеваний.

Гигиена, как и любая другая наука, прошла долгий путь развития. Важную роль в развитии гигиены сыграли основоположники отечественной гигиенической науки Федор Федорович Эрисман и Григорий Витальевич Хлопин. Постепенно из общей гигиены, в которой рассматривались фактически все санитарно-гигиенические проблемы, выделились ее разделы: коммунальная гигиена, гигиена питания, гигиена труда, гигиена детей и подростков, военная гигиена, а в дальнейшем радиационная гигиена, космическая гигиена и т.д.

Коммунальная гигиена – раздел гигиены, изучающий влияние факторов окружающей среды на здоровье и санитарные условия жизни населения. На основе изучения этих факторов разрабатываются гигиенические нормативы и санитарные мероприятия, необходимые для обеспечения здоровых и благоприятных условий жизни населения.

Исследования в области коммунальной гигиены направлены на изучение неблагоприятных химических, физических и биологических факторов окружающей среды и разработку санитарных правил, гигиенических положений и нормативов по гигиене атмосферного воздуха, гигиене воды и водоснабжения, санитарной охране водоемов, гигиене почвы и санитарной очистке населенных мест, гигиене жилых и обще-

ственных зданий, гигиене планировки и застройки населенных мест. Контроль за соблюдением санитарных правил, гигиенических рекомендаций и нормативов осуществляет служба санитарно-эпидемиологического надзора РФ через санитарно-эпидемиологические станции.

Строительство, реконструкция и пуск в эксплуатацию коммунальных объектов, очистных и других сооружений допускаются только с разрешения органов санитарного надзора. К решению задач коммунальной гигиены привлекаются также инженеры по сан. технике, строители, архитекторы.

Гигиена питания – раздел гигиены, изучающий проблемы полноценного и рационального питания здорового человека. Вопросы питания больных и принципы лечебного питания разрабатываются диетологией.

Исследования по гигиене питания направлены на обоснование оптимального режима и характера питания населения, а также предупреждение заболеваний, возникающих при недостатке в продуктах питания тех или иных пищевых веществ или вследствие попадания в организм с пищей микроорганизмов, способных вызвать заболевание, токсинов и различных химических веществ.

Изучение питания здорового человека производится с учетом возраста, профессии, физической и нервно-психической нагрузки в процессе труда, условий быта и коммунального обеспечения, а также национальных и климатографических особенностей. Гигиена питания разрабатывает нормы питания, меры профилактики авитаминозов и гиповитаминозов. Важной проблемой гигиены питания является изучение энергетических затрат организма и его потребности в белках, жирах, углеводах, минеральных солях, витаминах у различных проф. групп населения, например, у рабочих промышленных предприятий с различной степенью механизации и автоматизации труда, лиц умственного труда и др. Увеличение количества людей пожилого возраста выдвинуло перед гигиеной питания задачу научного обоснования питания пожилых людей. Гигиена питания занимается разработкой методов контроля качества продуктов на предприятиях общественного питания, пищевой промышленности и в торговой сети, направленных на своевременное предупреждение проникновения или внесения в продукты питания посторонних, в том числе вредных веществ, а также разработкой мероприятий по профилактике пищевых отравлений, токсикоинфекций, интоксикаций. Гигиена питания занимается изучением биологической ценности, химического состава и калорийности как традиционных, так и новых пищевых продуктов. Результаты этих исследований издаются в виде официальных таблиц калорийности и химического состава продуктов. В задачи отделов гигиены питания органов санэпиднадзора входит предупредительный и текущий санитарный надзор за

проектированием, строительством и эксплуатацией предприятий пищевой промышленности, торговли, общественного питания.

Гигиена труда или профессиональная гигиена – раздел гигиены, изучающий воздействие трудового процесса и окружающей производственной среды на организм работающих с целью разработки санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических нормативов и мероприятий, направленных на создание более благоприятных условий труда, обеспечение здоровья и высокого уровня трудоспособности человека.

В условиях промышленного производства на человека нередко воздействуют низкая и высокая температура воздуха, сильное тепловое излучение, пыль, вредные химические вещества, шум, вибрация, электромагнитные волны, а также самые разнообразные сочетания этих факторов, которые могут привести к тем или иным нарушениям в состоянии здоровья, к снижению работоспособности. Для предупреждения и устранения этих неблагоприятных воздействий и их последствий проводится изучение особенностей производственных процессов, оборудования и обрабатываемых материалов (сырье, вспомогательные, промежуточные, побочные продукты, отходы производства) с точки зрения их влияния на организм работающих; санитарных условий труда (метеорологические факторы, загрязнение воздуха пылью и газами, шум, вибрация, ультразвук и др.); характера и организации трудовых процессов, изменений физиологических функций в процессе работы. Детально исследуется состояние здоровья работающих (общая и профзаболеваемость), а также состояние и гигиеническая эффективность санитарно-технических устройств и установок (вентиляционных, осветительных), санитарно-бытового оборудования, средств индивидуальной защиты.

В России, а также в некоторых других странах (США, Англия и др.) широко используется система гигиенического нормирования предельно допустимых концентраций неблагоприятных химических веществ в воздухе рабочей зоны и некоторых физических факторов (температура воздуха, влажность, шум, вибрация и т.д.). Гигиенические нормативы, установленные в России, гарантируют сохранение здоровья работающих. Выполнение этих нормативов является обязательным для администрации предприятий, хозяйств и учреждений, что закреплено законодательством.

Внедренные поточные и конвейерно-сборочные линии, механизация и автоматизация трудовых процессов, освобождая работающего от тяжелого физического напряжения, предъявляют повышенные требования прежде всего к состоянию нервной системы и зрению. При выполнении подобных работ крайне важно установить такой режим труда и отдыха, чтобы он обеспечивал высокую производительность труда, не

нарушая физиологических реакций организма на протяжении всей рабочей смены.

К решению задач гигиены труда привлекаются также специалисты по промышленной вентиляции и по промышленному освещению, конструкторы машин и инструментов, технологи-строители и организаторы производства.

Гигиена детей и подростков – раздел гигиены, изучающий проблемы охраны и укрепления здоровья детей и подростков, разрабатывающий гигиенические рекомендации для постановки учебно-воспитательного и трудового процесса в школах, профтехучилищах и детских учреждениях.

Геогигиена – научная дисциплина, исследующая медицинские аспекты глобальных последствий деятельности человека: прямые и опосредованные через изменения экосистем воздействия на здоровье человека.

В Российской Федерации создан **Информационный фонд социально-гигиенического мониторинга**. Он включает:

- 1) систематизированные в определенном порядке многолетние данные наблюдений;
- 2) нормативно-справочные материалы, сведенные в статистические регистры и базы данных, обеспеченные комплексом программно-технологических и технических средств для выявления характера и связей изменения состояния санитарно-эпидемиологического благополучия населения, здоровья человека и среды его обитания.

Социально-гигиенический мониторинг – государственная система наблюдений за состоянием здоровья населения и среды обитания, их анализа, оценки и прогноза, а также определения причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием факторов среды обитания.

7.2. Санитария. Антропогенное воздействие на природу. Биотическая регуляция окружающей среды

Санитария (*от лат. Sanitas – здоровье*) – применение на практике мероприятий, разработанных гигиеной и направленных на улучшение здоровья населения, оздоровление окружающей среды и продление жизни человека. В РФ санитарный контроль осуществляют санитарно-эпидемиологические станции.

Санитарные правила – нормативные акты, устанавливающие критерии безопасности и/или безвредности для человека, факторов среды его обитания и требования к обеспечению благоприятных условий его жизнедеятельности.

Антропогенное воздействие на природу – прямое осознанное или косвенное и неосознанное воздействие человека и результатов его деятельности, вызывающее изменение природной среды и естественных ландшафтов.

Антропогенный фактор – непосредственное воздействие человека на организмы или воздействие на организмы через изменение человеком их среды обитания. Различают четыре основных антропогенных фактора:

- изменение структуры земной поверхности;
- изменение состава биосферы, круговорота и баланса входящего в нее вещества;
- изменение энергетического и теплового баланса отдельных участков и регионов;
- изменения, вносимые в биоту.

Биота (от греч. *biote* – жизнь) – совокупность видов растений, животных и микроорганизмов, объединенных общей областью распространения. В отличие от биоценоза, может характеризоваться отсутствием экологических связей между видами.

Биотическая регуляция окружающей среды

В настоящее время существуют две концепции взаимодействия человека с природой в локальных и глобальных масштабах.

I. Согласно **первой концепции** – традиционной – окружающая среда оказывается пригодной для жизни в силу уникальных физических условий на земной поверхности, определяемых исключительно удачным расположением Земли на околосолнечной орбите. Биота – естественная фауна и флора биосферы – приспосабливается к любой окружающей ее среде. Существенные изменения окружающей среды могут происходить и за счет воздействия самой биоты. К этим изменениям биота также приспосабливается за счет эволюционного видообразования. Так, например, биота в прошлом вызвала переход от восстановительной (бескислородной) к окислительной (содержащей кислород) атмосфере. Это привело к появлению дышащих кислородом организмов и вымиранию многих видов, для которых кислород является ядом, или переходу некоторых из них в бескислородную локальную окружающую среду.

Главным свойством жизни считается способность к эволюции и непрерывной адаптации к меняющимся внешним условиям. Оптимальных для жизни внешних условий не существует. Генетическая адаптация обеспечивается внутривидовой изменчивостью геномов. Любые генотипы, обладатели которых производят наибольшее количество выживающих в окружающей их среде потомков, закрепляются в популяции. Любые виды организмов, способные адаптироваться к окружаю-

щей среде и производить наибольшее количество потомков, могут составлять земную биоту. Все эволюционные изменения объясняются непрерывной адаптацией видов и индивидуальным отбором.

Единственная экологическая проблема, которую предстоит решить человеку, – это ликвидация загрязнений, изменяющих окружающую человека среду в неблагоприятном для него направлении. Естественным процессом считается также и освоение всей глобальной биоты человеком и превращение биосферы в новую глобальную биосистему, обслуживающую исключительно нужды человека – ноосферу.

Природное биоразнообразие рассматривается как генетический ресурс человека, который может быть использован при дальнейшем развитии биотехнологии и генной инженерии.

Безостановочный экономический рост, базирующийся на непрерывном расширении использования ресурсов биосферы, рассматривается как единственная возможность обеспечить удовлетворение растущих потребностей увеличивающейся глобальной человеческой популяции.

В традиционной концепции фактически игнорируются экологические ограничения на численность популяции биологических видов, причины образования естественных сообществ видов и устойчивость сообществ и их среды обитания – экосистем.

II. Во второй, противоположной, концепции принимается во внимание физическая неустойчивость земной окружающей среды и возможность ее быстрого перехода в устойчивые состояния типа Марса или Венеры, в которых никакая жизнь невозможна. Биота Земли рассматривается как единственный механизм поддержания пригодных для жизни условий окружающей среды в локальных и глобальных масштабах.

В этой концепции главным свойством жизни является способность видов к выполнению определенной работы по поддержанию выделенных пригодных для жизни условий окружающей среды. Сложное взаимодействие с окружающей средой приводит к необходимости образования сообществ видов и экологических систем определенного набора видов, скоррелированно взаимодействующих между собой и окружающей их средой. Такая скоррелированность подобна скоррелированности клеток и органов внутри одного многоклеточного организма. Только те виды, которые обеспечивают необходимую работу по поддержанию окружающей среды, могут образовывать сообщества и составлять земную биоту. Эти виды поддерживают оптимальную численность и производят оптимальное, а не максимальное, количество потомков.

В этой концепции все виды биоты должны сохранять генетическое постоянство и устойчивость в течение геологических периодов времени. Все виды биоты должны быть не только жизнеспособны, но и скоррелированно взаимодействовать с другими видами сообщества, обеспечивая управление окружающей средой.

Эволюционные переходы к новым видам ограничены и происходят только при сохранении способности к стабилизации окружающей среды в составе экологического сообщества. Эволюция на больших периодах времени порядка миллиардов лет может, однако, происходить с переходом окружающей среды в различные, пригодные для жизни, состояния, например, с изменением восстановительной атмосферы на окислительную, сопровождающуюся существенной перестройкой биоты без потери ее способности к предотвращению перехода среды в непригодное для любой биоты состояние. Это связано с существованием «вырожденных уровней» условий окружающей среды, пригодных для жизни. Эволюционные изменения биоты могут приводить к перебору всех приемлемых для жизни вырожденных уровней.

Таким образом, при действии биотической регуляции окружающей среды жизнь – это не совокупность произвольных видов, приспосабливающихся к произвольным условиям окружающей среды, а механизм управления окружающей средой, основанный на отобранных в процессе эволюции видах, содержащих необходимую для управления средой генетическую информацию.

Общее количество организмов биосферы, в основном одноклеточных, имеет порядок 10^{28} . Биотическая регуляция окружающей среды основана на функционировании десятков живых организмов на каждом квадратном микрометре земной поверхности. Каждая клетка этих организмов перерабатывает потоки информации об окружающей среде в количестве, сравнимом с потоками информации в современных персональных компьютерах. Невозможно заменить работу 10^{28} организмов биоты или улучшить биотическую регуляцию никакими техническими средствами.

Величина биотической регуляции достаточна для компенсации современных антропогенных возмущений при условии восстановления естественной биоты на больших территориях. Возможность выживания человечества состоит в восстановлении естественной биоты на большей части территории планеты в масштабах, достаточных для сохранения ее способности к регуляции окружающей среды в глобальных масштабах. Главной экологической задачей человечества должно считаться не сокращение антропогенных загрязняющих выбросов, а сохранение естественной биоты Земли. Это сохранение должно сопровождаться полным прекращением дальнейшего освоения естественной биоты, в частности, биоты открытого океана и восстановлением естественной биоты на значительной освоенной части суши.

7.3. Социальная экология

Социальная экология – наука, изучающая условия и закономерности взаимодействия общества и природы. Социальная экология под-

разделяется на экономическую, демографическую, урбанистическую, футурологическую и правовую экологии.

Экологические преступления – в уголовном праве РФ – преступления, посягающие на здоровую окружающую среду и ее отдельные элементы. К экологическим преступлениям относятся:

- нарушение правил охраны окружающей среды при производстве работ;
- нарушение правил обращения экологически опасных веществ и отходов;
- нарушение правил безопасности при обращении с микробиологическими либо другими биологическими агентами или токсинами;
- нарушение ветеринарных правил и правил, установленных для борьбы с болезнями и вредителями растений;
- загрязнение вод – экологическое преступление, объективную основу которого составляют загрязнение, засорение, истощение поверхностных или подземных вод, источников питьевого водоснабжения либо иное изменение их природных свойств, если эти деяния повлекли причинение существенного вреда животному или растительному миру, рыбным запасам, лесному или сельскому хозяйству;
- загрязнение атмосферы – экологическое преступление, связанное с нарушением правил выброса в атмосферу загрязняющих веществ или нарушение эксплуатации установок, сооружений и иных объектов, если эти деяния повлекли загрязнение или иное изменение природных свойств воздуха;

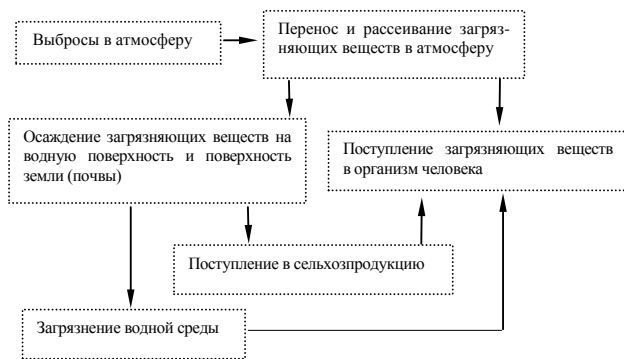


Рис. Воздействие атмосферных загрязнений на организм человека

- загрязнение морской среды – экологическое преступление, заключающееся в загрязнении морской среды из находящихся на суше источников либо вследствие нарушения правил захоронения или сброса с транспортных средств или возведенных в море искусственных соору-

жений веществ и материалов, вредных для здоровья человека и живых ресурсов моря либо препятствующих правомерному использованию морской среды;

- нарушение законодательства РФ о континентальном шельфе и об исключительной экономической зоне РФ;

- порча земли – экологическое преступление, объективную основу которого составляют отравление, загрязнение или иная порча земли вредными продуктами хозяйственной или иной деятельности вследствие нарушения правил обращения с удобрениями, стимуляторами роста растений, ядохимикатами и иными опасными химическими или биологическими веществами при их хранении, использовании и транспортировке, повлекшие причинение вреда здоровью человека или окружающей среде;

- нарушение правил охраны и использования недр;

- незаконная добыча водных животных и растений;

- нарушение правил охраны рыбных запасов;

- незаконная охота;

- уничтожение критических местообитаний для организмов, занесенных в Красную книгу РФ;

- незаконная порубка деревьев и кустарников;

- уничтожение или повреждение лесов;

- нарушение режима особо охраняемых природных территорий и природных объектов.

Экологическая война – нанесение ущерба противнику путем воздействия на среду его обитания:

- загрязнение или заражение воздуха, воды, почвы;

- истребление флоры и фауны и др.

Экоцид – массовое уничтожение растительного или животного мира, отравление атмосферы или водных ресурсов, а также совершение иных действий, способных вызвать экологическую катастрофу. Экоцид, в уголовном праве РФ, преступление против мира и безопасности человечества.

7.4. Государственный санитарно-эпидемиологический надзор. Основные нормативные документы РФ по санитарии, гигиене и охране окружающей среды

История государственного санитарно-эпидемиологического надзора, как системы мер, направленных на предупреждение инфекционных заболеваний и улучшение санитарного состояния страны, началась с

Декрета Совета Народных Комиссаров РСФСР от «О санитарных органах Республики» 15 сентября 1922 г.

С этого времени в стране началось создание сети специализированных санитарно-профилактических учреждений – санитарно-эпидемиологических станций.

В 1933 году произошло разделение функций санитарно-эпидемиологической службы – при сохранении санитарно-эпидемиологических станций была организована Государственная санитарная инспекция, осуществлявшая общее руководство санитарно-эпидемиологической работой, а также предупредительный санитарный надзор. В начале 50-х годов Государственная санитарная инспекция была ликвидирована.

Дальнейшее развитие санитарно-эпидемиологической службы получила в 1963 году, когда постановлением Совета Министров СССР было утверждено новое «Положение о Государственном санитарном надзоре в СССР».

В 1991 году с принятием Закона РСФСР «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» начался качественно новый этап развития санитарно-эпидемиологической службы. Впервые в истории страны на законодательном уровне было введено правовое регулирование деятельности в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Федеральная служба является уполномоченным федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации, защиты прав потребителей на потребительском рынке.

Федеральная служба осуществляет свою деятельность непосредственно и через свои территориальные органы во взаимодействии с другими федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации и иными организациями.

В Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека образовано 89 территориальных управлений и 90 центров гигиены и эпидемиологии в субъектах Российской Федерации.

В соответствии с Конституцией Российской Федерации каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам, которые являются основой устойчивого развития, жизни и деятельности народов, проживающих на территории Российской Федерации.

Это право обеспечивается нижеперечисленными федеральными законами.

1. ФЗ № 7 от 10.01.2002 «Об охране окружающей среды» (с изменениями от 22 августа, 29 декабря 2004 г., 9 мая, 31 декабря 2005 г.) – определяет правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды, обеспечивающие сбалансированное решение социально-экономических задач, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности, регулирует отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду как важнейшую составляющую окружающей среды, являющуюся основой жизни на Земле, в пределах территории Российской Федерации, а также на континентальном шельфе и в исключительной экономической зоне Российской Федерации.

2. ФЗ № 52 от 30.03.1999 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (с изменениями от 30 декабря 2001 г., 10 января, 30 июня 2003 г., 22 августа 2004 г., 9 мая, 31 декабря 2005 г.) – направлен на обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения как одного из основных условий реализации конституционных прав граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду.

3. ФЗ N 174 от 23 ноября 1995 г. «Об экологической экспертизе» (с изм. от 15.04.1998; 22.08., 21.12.2004) – регулирует отношения в области экологической экспертизы, направлен на реализацию конституционного права граждан Российской Федерации на благоприятную окружающую среду посредством предупреждения негативных воздействий хозяйственной и иной деятельности на окружающую природную среду.

4. ФЗ № от 3 09.01.1996 – «О радиационной безопасности населения» (с изменениями от 22 августа 2004 г. – определяет правовые основы обеспечения радиационной безопасности населения в целях охраны его здоровья.

5. ФЗ № 109 от 19.07.1997 «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» (с изменениями от 10 января 2003 г., 29 июня 2004 г.) – устанавливает правовые основы обеспечения безопасного обращения с пестицидами, в том числе с их действующими веществами, а также с агрохимикатами в целях охраны здоровья людей и окружающей природной среды.

За нарушение санитарного законодательства устанавливается дисциплинарная, административная и уголовная ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение гигиены, перечислите ее основные разделы.
2. Дайте определение санитарии, охарактеризуйте антропогенное воздействие на природу.
3. Опишите принципы биотической регуляции окружающей среды.
4. Дайте определение социальной экологии, охарактеризуйте виды экологических преступлений.
5. Проведите анализ основных нормативных документов РФ в области санитарного законодательства.
6. Охарактеризуйте принципы государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Воробьев, Анатолий Андреевич. Медицинская и санитарная микробиология [Текст]: учеб. пособие для студ. мед. вузов / А.А. Воробьев, Ю.С. Кривошеин, В.П. Ширококов. – М.: Академия, 2003. – 464 с.: 8 л. цв. ил.

Жарикова, Галина Григорьевна. Микробиология продовольственных товаров. Санитария и гигиена: учебник для студ. вузов, обуч. по специальности «Товароведение и экспертиза товаров» / Г.Г. Жарикова, – 2-е изд., стереотип. – М.: Академия, 2007. – 304 с.: ил.

Мудрицова-Висс, Клавдия Алексеевна. Микробиология, санитария и гигиена: учебник для студ. вузов / К.А. Мудрицова-Висс, В.П. Дедюхина. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2008. – 400 с.: ил.

Нетрусов, Александр Иванович. Микробиология: учебник для студ. вузов, обуч. по подготовки бакалавра «Биология» и биол. спец. / А.И. Нетрусов, И.Б. Котова. – М.: Академия, 2006. – 352 с.: ил.

Никитина, Елена Владимировна. Микробиология: учебник для студ. вузов / Е.В. Никитина, С.Н. Киямова, О.А. Решетник. – СПб.: ГИОРД, 2008. – 368 с.: ил.

Практикум по микробиологии пищевых продуктов / Рос. экон. акад. им. Г.В. Плеханова; сост. Г.Г. Жарикова, А.О. Козьмина, И.Б. Леонова. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2000. – 36 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
Тема 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИИ И МИКРООРГАНИЗМОВ. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МИКРОБИОЛОГИИ. ПОЛОЖЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В СИСТЕМЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ	4
Тема 2. МОРФОЛОГИЯ И СИСТЕМАТИКА МИКРООРГАНИЗМОВ	27
Тема 3. ФИЗИОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ	45
Тема 4. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ	55
Тема 5. БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ МИКРООРГАНИЗМАМИ	67
Тема 6. ПАТОГЕННЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ	75
Тема 7. ГИГИЕНА И САНИТАРИЯ	91
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	103

Учебное издание

Татьяна Юрьевна Гарцман

ОСНОВЫ МИКРОБИОЛОГИИ

Учебное пособие

Редактор С.Г. Масленникова
Компьютерная верстка Н.А. Игнатьевой

Лицензия на издательскую деятельность ИД № 03816 от 22.01.2001

Подписано в печать 16.02.2009. Формат 60×84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,0.
Уч.-изд. л. 7,0. Тираж 300 экз. Заказ

Издательство Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса

690600, Владивосток, ул. Гоголя, 41
Отпечатано в типографии ВГУЭС
690600, Владивосток, ул. Державина, 57