

**ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ**  
**Факультет ветеринарной медицины**  
**Кафедра эпизоотологии и микробиологии**

**Экология патогенных бактерий**  
**Учебно-методическое пособие**

Новосибирск 2022

УДК 579.26(075)

ББК 52.64-8, я 73

Э 40

Составитель к.б.н, доц. О.А.Колганова, ст. преп. Юдина Н.В.

Рецензент

Экология патогенных бактерий: учебно-методическое пособие пособие.

Новосиб. гос.аграрный ун-т; сост. О.А.Колганова, Юдина Н.В. - Новосибирск, 2022.- с.57

Учебно-методическое пособие содержит сведения о взаимоотношениях патогенных микроорганизмов с животными, в том числе простейшими организмами, о влиянии физических и химических факторов на микроорганизмы. Подробно изложены адаптивные реакции патогенных микроорганизмов на действие стресс факторов и генетико-биохимические механизмы сохранения видов в окружающей среде. Также дана подробная экологическая характеристика ряда возбудителей инфекционных болезней.

Пособие предназначено в помощь студентам очного и заочного отделения по специальности "Ветеринария" различных направлений подготовки: специалитета, бакалавриата и магистратуры, ВСЭ. Для самостоятельного изучения обозначенного курса и может быть полезным для микробиологов и ветеринарных врачей.

Учебное пособие утверждено и рекомендовано к изданию учебно-методическим советом ФВМ НГАУ протокол № от 21.04.2022 г.

Новосибирский государственный аграрный университет

## ВВЕДЕНИЕ

**Экология изучает взаимоотношения между живыми организмами и живых организмов с окружающей средой.**

Ветеринарному специалисту изучать микробиологию весьма важно. Так как микроорганизмы, присутствуя повсеместно, активно участвуют в круговороте веществ в природе, являются неотъемлемой частью любой экологической системы, поэтому знание их морфологии, физиологии, генетики необходимо для формирования целостного представления о биосфере.

Микроорганизмы широко используются в народном хозяйстве (в сельском хозяйстве, пищевой, медицинской, перерабатывающей и других отраслях), что требует глубоких теоретических знаний в этой области. Таким образом, чтобы понимать, реально оценивать и решать общебиологические или частные (медицинские, экологические, сельскохозяйственные и др.) проблемы, необходимо знать морфологию, физиологию, генетику и экологию микроорганизмов.

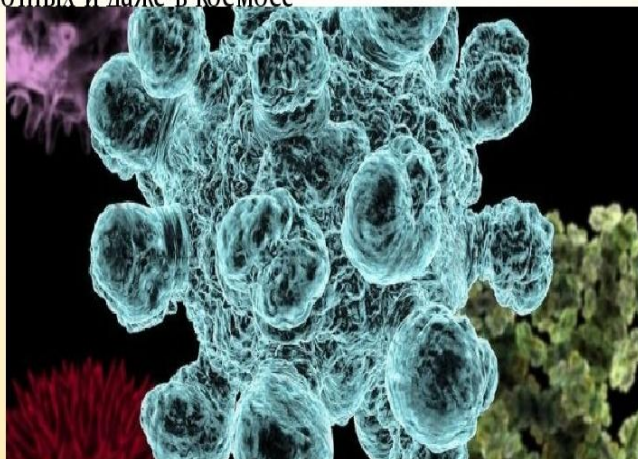
Микробиология (от греч. *micros* - малый, *bios* - жизнь, *logos* - учение) - наука, изучающая строение, жизнедеятельность и экологию микроорганизмов - мельчайших форм жизни растительного или животного происхождения, невидимых невооруженным глазом. Она изучает всех представителей микромира (бактерии, грибы, простейшие, вирусы). По своей сути микробиология является фундаментальной биологической наукой. Для изучения микроорганизмов она использует методы других наук, прежде всего физики, биологии, биоорганической химии, молекулярной биологии, генетики, цитологии, иммунологии. Как и всякая наука, микробиология подразделяется на общую и частную. Общая микробиология изучает закономерности строения и жизнедеятельности микроорганизмов на всех уровнях: молекулярном, клеточном, популяционном; генетику и взаимоотношения их с окружающей средой.

Предметом изучения частной микробиологии являются отдельные представители микромира в зависимости от их проявления и влияния на окружающую среду, живую природу, в том числе человека. К частным разделам микробиологии относятся медицинская, ветеринарная, сельскохозяйственная, техническая (раздел биотехнологии), морская, космическая микробиология. Медицинская и ветеринарная микробиология изучают патогенные для человека и животных микроорганизмы: бактерии, вирусы, грибы, простейшие. В зависимости от природы изучаемых патогенных микроорганизмов медицинская и ветеринарная микробиология делятся на бактериологию, вирусологию, микологию, протозоологию. Каждая из этих дисциплин рассматривает морфологию и физиологию патогенных микроорганизмов, то есть осуществляет микроскопические и другие виды исследований, изучает обмен веществ, питание, дыхание, условия роста и размножения, генетические особенности; роль микроорганизмов в этиологии и патогенезе инфекционных болезней; основные клинические проявления и распространенность вызываемых заболеваний; специфическую диагностику, профилактику и лечение инфекционных заболеваний; экологию патогенных микроорганизмов. К этим видам микробиологии относят также санитарную, клиническую и фармацевтическую микробиологию. Санитарная микробиология изучает микрофлору окружающей среды, взаимоотношения микрофлоры с организмом, влияние ее и продуктов ее жизнедеятельности на состояние здоровья человека и животных, разрабатывает мероприятия, предупреждающие неблагоприятное воздействие микроорганизмов на живой организм. Фармацевтическая микробиология исследует инфекционные болезни лекарственных растений, порчу лекарственных растений и сырья под действием микроорганизмов, обсемененность лекарственных средств в процессе приготовления, а также готовых лекарственных форм. Ветеринарная микробиология изучает те же вопросы, что и медицинская микробиология, но применительно к микроорганизмам, вызывающим болезни животных. Почвенная микробиология изучает влияние микроорганизмов на процессы почвообразования, на плодородие, состав почвы, инфекционные заболевания растений и т.д., то есть

вопросы, которые находятся в центре внимания сельскохозяйственной микробиологии. Морская и космическая микробиология изучают соответственно микрофлору морей и водоемов, космического пространства и других планет. Техническая микробиология, являющаяся частью биотехнологии, разрабатывает технологию получения из микроорганизмов разнообразных продуктов для народного хозяйства и медицины (антибиотики, вакцины, ферменты, белки, витамины). Основа современной биотехнологии - генетическая инженерия. Многочисленные открытия в области микробиологии, изучение взаимоотношений между макро- и микроорганизмами во второй половине XIX в. способствовали началу бурного развития иммунологии. Вначале иммунология рассматривалась как наука о невосприимчивости организма к инфекционным заболеваниям. В настоящее время она стала общемедицинской и общебиологической наукой. Доказано, что иммунная система служит для защиты организма не только от микробных агентов, но и от любых генетически чужеродных организму веществ с целью сохранения постоянства внутренней среды организма, то есть гомеостаза.

**Экология микроорганизмов изучает взаимоотношения микроорганизмов друг с другом и окружающей средой.**

Микроорганизмы обнаруживаются в почве, воде, воздухе, на растениях, в организме человека и животных и даже в космосе



## **2. Значение бактерий в природе и жизни человека**

Бактерии играют важную роль на Земле. Они принимают самое активное участие в круговороте веществ в природе. Все органические соединения и значительная часть неорганических подвергаются с помощью бактерий существенным изменениям. Эта их роль в природе по переработке любых органических веществ в неорганические имеет глобальное значение. Появившись на Земле раньше всех организмов (более 3,5 млрд лет назад), они создали живую оболочку Земли и продолжают активно перерабатывать живое и мертвое органическое вещество, вовлекая продукты своего обмена в круговорот веществ. Круговорот веществ в природе является основой существования жизни на Земле.

Распад всех растительных и животных остатков и образование перегноя и гумуса производится в основном бактериями. Бактерии — мощный биотический фактор в природе.

Огромное значение имеет почвообразовательная работа бактерий. Первая почва на нашей планете была создана бактериями. Однако и в наше время состояние и качество почвы зависит от функционирования почвенных бактерий. Особенно важны для плодородия почвы так называемые азотфиксирующие клубеньковые бактерии-симбионты бобовых растений. Они насыщают почву ценными азотными соединениями.

Бактерии выполняют функцию санитаров. Они очищают грязные сточные воды, расщепляя органические вещества и превращая их в безвредные неорганические. Это свойство бактерий широко используется в работе очистных сооружений.

Деятельность некоторых бактерий используется человеком в производстве лекарств, разнообразных органических веществ, новых пищевых продуктов. Специальные виды бактерий вырабатывают сильные антибиотики (стрептомицин, тетрациклин и т. п.) — вещества, убивающие или подавляющие развитие болезнетворных организмов.

Бактерии широко используются человеком при производстве различных кисломолочных продуктов, сыров, вина, уксуса, закваске овощей.

В современной пищевой промышленности используются строго определенные, часто специально выведенные виды бактерий. Разные сорта кисломолочных продуктов (кефир, ацидофилин, ряженка, йогурт) получают введением в молоко сквашивающих бактерий разных видов.

Во многих случаях бактерии могут быть и вредны для человека. Так, сапрофитные бактерии портят пищевые продукты. Чтобы уберечь продукты от

порчи, их подвергают специальной обработке (кипячение, стерилизация, замораживание, высушивание, химическая очистка и т. д.). Если этого не делать, могут произойти пищевые отравления.

Ботулинические бациллы вызывают опасное пищевое отравление — ботулизм, часто приводящее к смерти человека. Бактерия, вызывающая ботулизм, попадает с плохо промытыми продуктами в консервы и активно развивается в бескислородных условиях при обилии белка. В результате ее жизнедеятельности в мясных или грибных консервах накапливается страшный яд ботулин.

Болезнетворные бактерии. Среди бактерий имеется много болезнетворных (патогенных) видов, вызывающих заболевания у людей, животных или растений. Тяжелое заболевание брюшной тиф вызывает бактерия сальмонелла, дизентерию — бактерия шигелла. Болезнетворные бактерии разносятся по воздуху с капельками слюны больного человека при чихании, кашле и даже при обычном разговоре (дифтерия, коклюш). Некоторые болезнетворные бактерии очень устойчивы к высушиванию и долго сохраняются в пыли (туберкулезная палочка). В пыли и почве живут бактерии рода клостридий — возбудители газовой гангрены и столбняка. Некоторые бактериальные заболевания передаются при физическом контакте с больным человеком (венерические болезни, проказа). Часто болезнетворные бактерии передаются человеку с помощью так называемых переносчиков. Например, мухи, ползая по нечистотам, переносят на своих лапках тысячи болезнетворных бактерий, а затем оставляют их на продуктах, потребляемых человеком.

Болезни могут быть связаны с проникновением бактерий в раны. В глубоких ранах, загрязненных почвой, развиваются бактерии, вызывающие газovou гангрену и столбняк. Эти заболевания очень опасны и часто заканчиваются смертельным исходом.



Поверхностные раны и ожоги легко инфицируются стафилококками и стрептококками, которые вызывают гнойные воспаления.

Открытие болезнетворных бактерий позволило найти средства борьбы со многими болезнями. Однако бактерии быстро приспосабливаются к лекарствам, и ученым приходится разрабатывать все новые и все более сильно действующие препараты.

### 3. Общая характеристика патогенных микроорганизмов

Патогенные, или болезнетворные, микроорганизмы — это микроорганизмы, способные вызывать заболевания макроорганизмов — людей, животных и растений. Патогенными могут быть бактерии, плесневые грибы, вирусы и даже простейшие. Во внешней среде патогены могут оставаться в жизнеспособном состоянии длительное время. Они могут передаваться при контакте макроорганизмов и через посредников, например насекомых, через объекты окружающей среды, в том числе различные товары.

**Патогенность** — это способность патогенного микроорганизма вызывать заболевание (от греч. pathos — болезнь, страдание + genes — рождающий). Патогенные микроорганизмы способны оказывать на макроорганизмы вредное воздействие, которое проявляется в нарушении деятельности различных органов, тканей и систем организма, возникновении воспалений. В процессе развития в макроорганизме патогенные микроорганизмы могут размножаться и вырабатывать ядовитые вещества — токсины (от греч. toxikon — яд).

Всемирная организация здравоохранения предложила вариант классификации микроорганизмов по уровню патогенности. Выделены четыре основные группы патогенности микроорганизмов:

**первая группа патогенности.** Это бактерии, которые создают невысокую индивидуальную и общественную опасность. Считается, что эта группа микроорганизмов не может вызывать заболевания или они маловероятны для людей и животных.

**вторая группа патогенности.** Это бактерии, которые могут представлять умеренную индивидуальную и ограниченную общественную опасность.

Данные микроорганизмы не представляют особой опасности для жизни и здоровья человека и животных, однако могут вызывать некоторые отдельные заболевания (связано в основном с нарушениями иммунитета). Риск распространения патогенов данной категории может быть связан только с отсутствием необходимых средств лечения. При наличии эффективных профилактических методов риск заболеваний ограничен. Примеры возможных заболеваний: туберкулез, коклюш, холецистит, язвенная болезнь 12-перстной кишки и желудка, ботулизм, столбняк, энтерит, гастрит, септицемия, проказа, дифтерия, листериоз, лептоспироз и др.

**третья группа патогенности.** Микроорганизмы, отнесенные к данной группе, представляют довольно высокую индивидуальную опасность, но низкую общественную. Бактерии данного класса способны вызвать тяжелые формы заболеваний, однако не способны распространяться от одного организма к другому, поддаются эффективным методам лечения и профилактики, медицинские препараты в данном случае оказывают значительную эффективность.

**четвертая группа патогенности.** Это микроорганизмы, которые представляют наибольшую опасность, как общественную, так и индивидуальную. Они вызывают тяжелые формы заболеваний, часто не поддающиеся даже глобальному лечению, легко распространяются среди людей и животных, вызывают эпидемии, плохо реагируют на эффективные профилактические меры, обладают высокой вирулентностью и способны к мутагенезу с образованием новых устойчивых форм.

Воздействие продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и их токсинов приводит к заболеванию растения, животного или человека. Возникновение болезни — это результат взаимодействия возбудителя и объекта его воздействия. Важны не только свойства микроорганизма, но и восприимчивость и состояние макроорганизма. Естественно, большое значение имеют количество микробов, их активность и место попадания в макроорганизм. Например, опасно попадание столбнячных палочек (*Clostridium tetani*) в рану, а дизентерийных (бактерии из рода *Shigella*) — в желудочно-кишечный тракт; если будет наоборот — заболевание не возникнет.

Необходимо отметить, что среди возбудителей заболеваний выделяют три группы:

**зоонозы** (от греч. zoo — животное + nosos — болезнь), **антропонозы** (от греч. anthropos — человек) и **сапронозы**. Возбудители антропонозов передаются от больных людей, которые выделяют их в окружающую среду, могут передаваться при контактах между здоровым человеком и больным. Примерами антропонозов являются брюшной тиф, полиомиелит, краснуха, дифтерия и др. Источником зоонозной инфекции является больное животное. Зоонозы преимущественно не передаются от человека человеку и животному. Человек не является источником зоонозов, попадая в организм человека, эти возбудители не выделяются им во внешнюю среду.

В настоящее время известно около 100 наиболее распространенных видов возбудителей инфекционных болезней, к которым восприимчив человек. Из них

около 35% возбудителей относится к группе зоонозов. К зоонозам относятся бруцеллез, ящур, бешенство и др. Для возбудителей сапронозов главным естественным местом обитания являются различные объекты окружающей среды, например: почва, вода. Для возникновения заболевания в объектах окружающей среды должна накопиться масса микробов в количестве заражающей дозы, т.е. столько, чтобы преодолеть защитные барьеры макроорганизма.

Примером почвенного сапроноза является клостридиоз, водного сапроноза — холера.

Выделяют еще группу сапрозоонозов, представителями являются возбудители сибирской язвы, иерсиниоза, листериоза, столбняка и других заболеваний. Говоря о возбудителях инфекций, необходимо отметить оппортунистические возбудители, ослабленным иммунитетом.

Для характеристики распространенности инфекционных заболеваний используют различные термины:

- эндемия — заболевание на низком уровне в определенных зонах;
- эпидемия — заболевания, охватывающие определенные области;
- пандемия — инфекция, имеющая место в обширных зонах земного шара.

Обычно выделяют четыре стадии заболевания (преимущественно инфекционного):

1. Инкубационный период. Признаки заболевания часто проявляются не сразу после заражения (т.е. попадания микроорганизма в макроорганизм), а через некоторый период времени, который называется инкубационным (скрытым). В течение этого времени возбудители болезни размножаются, но признаков заболевания в инфицированном организме не наблюдается.

- 2. Продромальный период. Следующий за инкубационным период характеризуется появлением клинических признаков (симптомов) — неспецифических, общих для многих заболеваний, таких как слабость, отсутствие аппетита, повышенная температура.
- 3. Основной период болезни. В этот период проявляются характерные для каждого конкретного признаки и симптомы.
- 4. Период восстановления. Признаки болезни постепенно проходят, и наступает выздоровление.

Степень патогенности микроорганизмов называется **вирулентность** ("от лат. virulentus — ядовитый). Вирулентность может быть изменена: усилена или ослаблена путем воздействия на микроорганизмы различными способами. Токсины, вырабатываемые патогенными микроорганизмами, бывают двух типов: экзотоксины и эндотоксины.

**Экзотоксины** представляют собой высокотоксичные вещества белковой природы, выделяемые микроорганизмами в окружающую среду в процессе жизнедеятельности. Они малоустойчивы к высоким температурам, при кипячении быстро разрушаются, хотя ботулинический и стафилококковый экзотоксины выдерживают кипячение в течение нескольких минут. Экзотоксины синтезируют как грамположительные, так и грамотрицательные бактерии. Они способны разрушать элементы крови (эритроциты, тромбоциты, лейкоциты) и клетки тканей и органов. Некоторые экзотоксины подавляют жизненно важные процессы в клетке: синтез белка (например, дифтерийный токсин), перенос электронов по

цепи и др.

**Эндотоксины** при жизни микроорганизма не выделяются и высвобождаются только при разрушении клетки. Они менее ядовиты, чем экзотоксины, но более термоустойчивы, выдерживают нагревание до 100°C и выше. Эндотоксины образуются грамотрицательными бактериями. Они представляют собой липополисахариды, расположенные на мембране бактерий. Эндотоксины являются воспалительными агентами, способны увеличивать проницаемость сосудов, вызывать повышение температуры.

Заболевания, возникающие в макроорганизме при воздействии патогенных микроорганизмов и их токсинов, делятся на инфекции и отравления.

**Инфекция** (от лат. infection — заражение) — это заболевание, возникающие в макроорганизме в результате проникновения в него и размножения в нем возбудителей.

**Отравление** — это заболевание организма, вызванное попаданием в него большого количества чужеродных веществ, в том числе и микроорганизмов.

Отравление может быть биологического и небиологического характера.

Причиной заболевания могут стать ядовитые вещества и продукты (ягоды, грибы и др.) немикробной природы.

Также выделяют **токсикоинфекции** — заболевания, возбудители которых способны размножаться в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) и вызывать отравление не только продуктами жизнедеятельности, но и составными элементами микробных клеток, в том числе эндотоксинами.

Токсикоинфекции возникают при попадании в организм большого количества живых клеток микроорганизмов и их токсинов: естественно, что попадают они с пищей. Микробные клетки погибают и высвобождается эндотоксин, который поражает желудочно-кишечный тракт и является причиной заболевания. К микроорганизмам, способным вызывать токсикоинфекции, относят бактерии родов *Salmonella*, *Escherichia*, *Proteus*, *Clostridium* и др. Пищевые токсикоинфекции могут возникнуть, когда в пищевых продуктах содержатся только токсины микроорганизмов, а живые микробы, выделяющие экзотоксины, могут отсутствовать. Пищевые токсикоинфекции — это острые желудочно-кишечные заболевания с очень коротким инкубационным периодом (обычно несколько часов).

Патогенные микроорганизмы могут попадать в организм потребителей через товары, в или на которые микробы попадают из воздуха, с пылью, водой и льдом, при контакте с больными людьми и бактерионосителями, зараженной тарой, при производстве из контаминированного сырья и др.

Существуют три основных источника инфекции: люди, животные и объекты окружающей среды, являющиеся средой обитания некоторых патогенных микроорганизмов. Чаще всего источником инфекции являются макроорганизмы, выделяющие патогенные микроорганизмы в окружающую среду.

Макроорганизмы могут быть больными и являться бактерионосителями

**Бактерионоситель** — это макроорганизм, имеющий в своем организме патогенные микроорганизмы и выделяющий их в окружающую среду. Бактерионосителями



могут являться переболевшие особи, в организме которых остались жизнеспособные патогенные микроорганизмы, и особи не болевшие, но имеющие в организме живых возбудителей и выделяющие их в окружающую среду.

Заболевания, причиной которых служат пищевые продукты, инфицированные патогенами, называют пищевыми. Любой продовольственный товар может стать источником пищевого заболевания. Естественно, что чем менее длительный период хранения имеет товар и чем большую роль играет человеческий фактор в процессе его создания (например, товары общественного питания), тем более опасным может быть этот товар для потребителя.

Инфекция может возникнуть, если в продукте будет содержаться даже небольшое количество патогенных микроорганизмов. Они смогут размножиться в организме человека и вызвать соответствующее заболевание. Для возникновения отравления необходимо, чтобы в макроорганизм попало большое количество микробных клеток и (или) их токсинов.

Пищевые инфекции протекают как типичные заразные болезни, с характерными клиническими признаками для каждого заболевания. На товарах, особенно продовольственных, возбудители инфекций могут сохраняться вирулентными в жизнеспособном состоянии долгое время. Многие патогенные микроорганизмы устойчивы к действию низких температур и могут выживать даже в замороженных продуктах и из них попадать к потребителям. Кроме прямого попадания возбудителей, продукты питания могут быть изначально контаминированы патогенными микроорганизмами, когда их готовят из мяса больных животных или

бактерионосителей.

#### **4. Взаимоотношения бактерий с другими организмами**

Исследование взаимоотношений между организмами в сообществах является важнейшим направлением экологии. Период бурного развития бактериологии в конце прошлого – начале нынешнего столетий совпал с периодом формирования основных направлений дарвинизма и развитием эволюционной теории. Однако в течение длительного времени бактериологи не уделяли внимания общебиологическим проблемам, а эволюционисты игнорировали существование царства бактерий. Это объясняется главным образом тем, что при изучении взаимодействия популяций организмов необходимо знать их генетические особенности, а генетика бактерий возникла недавно.

Существенное общебиологическое значение приобрели выполненные в 30–е годы работы отечественного микробиолога Георгия Францевича Гаузе (1910–1986), опубликовавшего в 1934 г. монографии «Борьба за существование». Эта книга стала классической. Им же был сформулирован один из важнейших законов экологии – закон Гаузе, или принцип конкурентного исключения. Этот закон утверждает, что два вида не могут устойчиво существовать в ограниченном пространстве, если рост численности обоих лимитирован одним и тем же жизненно важным ресурсом, количество и доступность которого ограничены. Впоследствии эта формулировка была несколько расширена в том отношении, что речь может идти не только о питательных ресурсах, но и о любых других факторах среды, лимитирующих развитие организмов. Поэтому принцип Гаузе иногда формулируют следующим образом: два вида не могут сосуществовать, если они занимают одну экологическую нишу. Г.Ф.Гаузе в опытах с простейшими показал, как происходит конкурентное исключение одного вида другим и как, изменяя условия опыта, можно изменить исход этой борьбы. При этом Г.Ф.Гаузе широко использовал математические модели динамики численности двух популяций, конкурирующих за один и тот же пищевой

ресурс, предложенные в 1926 г. В. Вольтеррой. Поэтому иногда говорят о принципе Вольтерры–Гаузе.

Как уже говорилось, Г.Ф.Гаузе работал с простейшими. Исследования конкурентных взаимоотношений бактериальных популяций были начаты значительно позже. В последние годы регулярно появляются работы на эту тему как за рубежом, так и в нашей стране. Особенно интенсивно разрабатываются математические модели конкурентных взаимоотношений микроорганизмов учеными Института биофизики СО АН в Красноярске.

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. В 1899 г. Р. Эммерих и Д. Лоу сообщили о способности *Pseudomonas pyocyanea* образовывать антибиотическое вещество, они называли его пиоцианазой. Пиоцианазу использовали как местный антисептик. Позже стали появляться сообщения об антибиотических веществах, продуцируемых различными бактериями. Однако в течение многих лет эти работы велись не очень интенсивно и не приводили к практически важным результатам.

Изучение микробного антагонизма, начиная с 30 –х. годов, является важным направлением в отечественной микробиологии. Большинство отечественных ученых, в том числе Н.А. Красильников, А.А.Имшенецкий, Г.Ф. Гаузе, Д.М.

Новогрудский, считали, что антибиотики являются оружием микроорганизмов в борьбе за существование.

Исходя из подобных представлений, Г.Ф. Гаузе создал оригинальное эколого-географическое направление в изыскании продуцентов антибиотиков, позволяющее проводить направленные поиски продуцентов новых антибиотиков.

В то же время многие зарубежные исследователи отрицали биологическое значение антибиотиков для выживания продуцентов. Так, один из зачинателей работ по изучению антибиотиков американский ученый З.А. Ваксман отрицал роль этих веществ в борьбе микроорганизмов за существование. Следует подчеркнуть, что эта дискуссия продолжается и в наши дни.

Кроме теоретического интереса эти работы постепенно приобрели и исключительно большое практическое значение. С начала 40 –х. годов медицина переживает эру антибиотиков, теперь трудно представить себе жизнь человека без использования антибиотиков в тех или иных целях. Накопленные к этому времени наукой сведения об антагонизме микробов были обобщены в опубликованной в 1947 г. монографии З.А. Ваксмана «Антагонизм микробов и антибиотические вещества». Первый оригинальный антибиотик грамицидин С, нашедший широкое применение в медицине, был у нас получен в 1942 г. Г.Ф.Гаузе совместно с М.Г.Бражниковой.

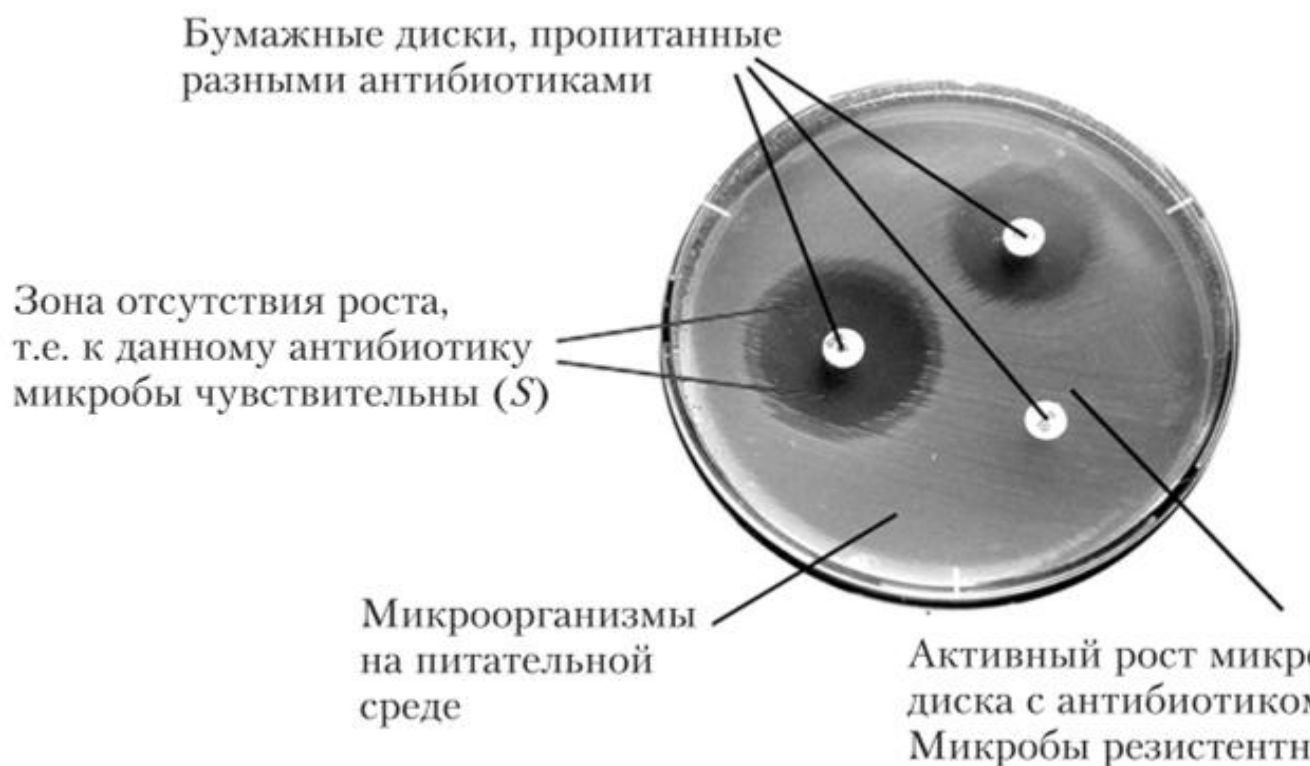
Большое внимание ученых в наше время привлекают также исследования тесных симбиотических взаимоотношений между микроорганизмами.

**Микроорганизмы**, выделяющие антибиотики, широко распространены в природе. Этой способностью, позволяющей некоторым микроорганизмам выживать в естественной среде, защищаться, обладают многие грибы, бактерии, особенно актиномицеты. Некоторые микроорганизмы образуют не один, а несколько антибиотиков.

Антагонизм в мире микробов нередко определяет состав микробного сообщества субстратов. Известно, что молочнокислые бактерии являются антагонистами гнилостных, так как молочная кислота тормозит их развитие.

Антагонистические взаимоотношения между этими группами микроорганизмов используют при переработке ряда пищевых продуктов (при квашении овощей, изготовлении кисломолочных продуктов и др.). Идея использования антагонизма между молочнокислыми и гнилостными бактериями принадлежит И. И. Мечникову.

Наглядно увидеть действие антибиотиков можно при культивировании микробов на искусственных средах. Вокруг колонии микроба-антагониста образуется стерильная зона — зона отсутствия роста микроорганизма, чувствительного к данному антагонисту (рис. 4.4). Диаметр стерильной зоны менее 10 мм свидетельствует об отсутствии активности данного антибиотика, 10—15 мм — активность слабая, более 20 мм — высокая.



Выделено и изучено большое количество антибиотиков, каждый из которых характеризуется своим антимикробным спектром действия. Характерным свойством антибиотиков является их избирательное действие — каждый действует только на определенные микроорганизмы, т.е. характеризуется специфическим

антимикробным спектром действия. Одни антибиотики активно действуют на грибы, другие — на бактерии.

Имеются антибиотики, действующие на многие микроорганизмы, так называемого широкого спектра действия.

Механизм повреждения антибиотиками микробных клеток разнообразен и полностью не изучен. Известно, что они разрушают клеточные структуры, инактивируют ферменты, подавляют синтез нуклеиновых кислот и др. Некоторые антибиотики способны лизировать (растворять) микробные клетки. Активность антибиотиков очень высока, она в десятки тысяч раз превышает активность самых сильнодействующих антисептиков. Эффективность действия зависит от концентрации, температуры и состава среды и др.

Антимикробное действие антибиотиков проявляется в очень малых концентрациях, но микроорганизмы способны адаптироваться к антибиотикам, в результате чего возникают нечувствительные, резистентные (от лат. *resistentia* — противодействие) к ним виды.

Промышленное производство антибиотиков открыло эру антибиотикотерапии. Антибиотики достаточно успешно используются в борьбе со многими опасными микроорганизмами, но, к сожалению, оказывают негативное действие на макроорганизмы. Кроме гибели возбудителей заболевания, могут погибать и представители нормальной микробиоты. Могут возникать дисбактериозы, токсические реакции вплоть до шокового состояния, может происходить поражение печени, почек, слухового аппарата и др. Применение антибиотиков может приводить к снижению иммунитета.

Антибиотики используются в сельском хозяйстве для борьбы с возбудителями заболеваний растений и животных, в качестве стимуляторов их роста, для сохранения продовольственных и непродовольственных товаров. Однако при этом возникают определенные проблемы, связанные с неконтролируемым воздействием

антибиотиков на макроорганизмы, особенно из-за их малых доз. Это направление использования нуждается в серьезных исследованиях, прежде чем будет активно развиваться.

Многократное поступление в организм человека даже малых количеств антибиотиков приводит к появлению устойчивых форм патогенных микроорганизмов. С одной стороны, это ведет к потере лечебного действия данного антибиотика, с другой — антибиотики вытесняют полезные микроорганизмы из нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта человека. Поэтому постоянно ведется изучение действия на макроорганизмы все новых антибиотиков перед началом их широкого использования.

В настоящее время в пищевой промышленности разрешается использование таких антибиотиков, как нистатин и биомицин. Они используются при транспортировании в холодных условиях сырых мясных и рыбных продуктов при условии их полного разрушения в процессе обычной тепловой кулинарной обработки.

Широкое использование находит низин, вырабатываемый молочнокислыми стрептококками. Он является ингибитором роста патогенных стафилококков, стрептококков и анаэробных спорообразующих термофилов - частых возбудителей порчи консервов и пресервов. Низин используется в консервной промышленности, при изготовлении сгущенного молока и плавленых сыров. Низин воздействует на споры бактерий, задерживая их прорастание. Наиболее активно действие этого антибиотика проявляется в кислых субстратах.

Но антибиотики — это не только продукты жизнедеятельности микроорганизмов. Они также вырабатываются растениями и животными.

Фитонциды (от греч. *fiton* — растение + лат. *caedo* — убиваю) — антибиотические вещества растительного происхождения. Были открыты в 1928 г.

советским ученым-биологом Б. П. Токиным, который обнаружил, что некоторые растения вызывают гибель определенных микроорганизмов.

Фитонциды широко распространены в мире растений, они природой предназначены в качестве средства борьбы макроорганизмов с микробами. Действие фитонцидов на микроорганизмы избирательно: сок того или иного растения губителен для одних микробов и безвреден для других. Антимикробным действием обладают многие вещества, находящиеся в чесноке, луке, эфирных маслах, многих лекарственных растениях и пряностях.

Химическая природа фитонцидов разнообразна: это гликозиды, антоцианы, дубильные вещества и др. Примером фитонцидов является аллицин — фитонцид чеснока. Это очень неустойчивое соединение, которое при комнатной температуре разрушается за нескольких дней. Но в чесноке аллицин содержится не в виде свободного вещества, а в виде соединения, переходящего в антибиотик, и чеснок сохраняет антибиотическую активность до года. Аллицин подавляет развитие многих микроорганизмов, в том числе патогенных.

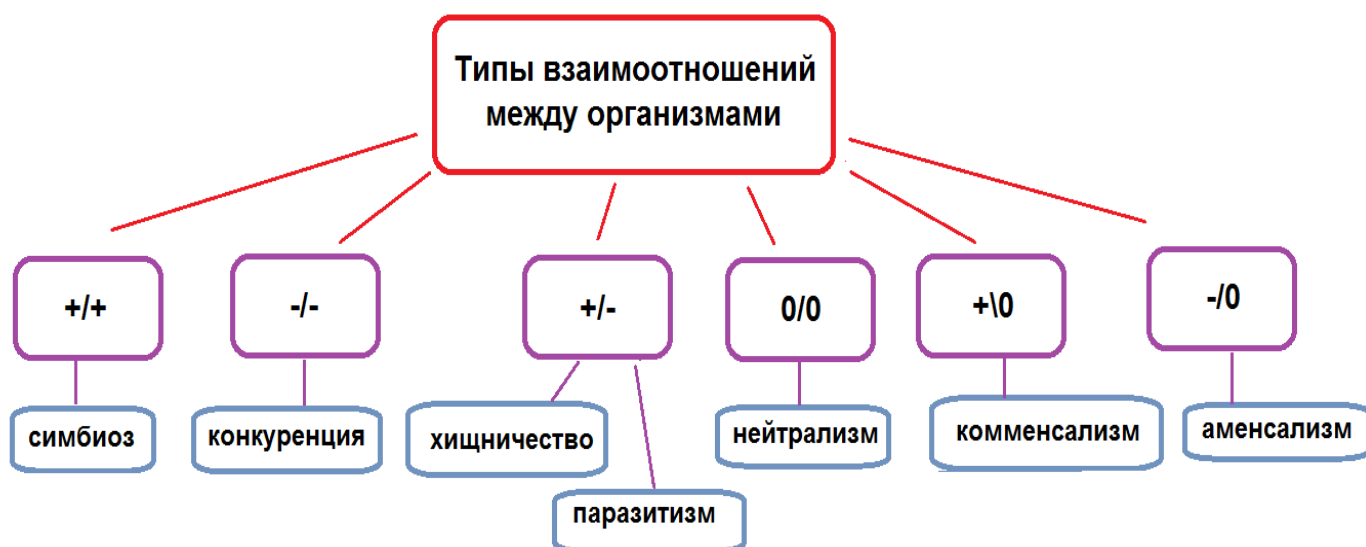
Ведутся исследования по использованию фитонцидов (в виде препаратов или измельченной растительной массы) в практике хранения продовольственных товаров, прежде всего плодоовощных. Так, пересыпка в хранилище клубней картофеля измельченной растительной массой (полыню, коноплей, чешуями луковиц репчатого лука, хвоей пихты и др.) снижает поражение клубней фомозом и сухой гнилью.

Примерами антибиотиков животного происхождения являются такие соединения, как лизоцим, эритроин и экмолип. Лизоцим (от греч. *lisis* — растворение) растворяет клетки микроорганизмов. Он имеет белковую природу, вырабатывается различными тканями и органами животных и человека, содержится в слезах, слюне, присутствует в яичном белке, рыбной икре. Эритроин (от греч. *erythros* — красный) — вещество, получаемое из эритроцитов животных. Эритроин активен против стафилококков и стрептококков. Экмолин (белковый



антибиотик) выделен из молок осетровых рыб, губительно действует на патогенные бактерии, особенно кишечные.

## 5. Формы взаимоотношений микроорганизмов



**Нейтрализм** (лат. *neutralis* — не принадлежащий ни тому, ни другому)

— взаимоотношения, при которых микроорганизмы, развиваясь в составе одного ценоза, не оказывают друг на друга непосредственного влияния. Косвенная взаимозависимость организмов при этом неизбежна, поскольку они являются элементами одного сообщества.

**Конкуренция** (лат. *сопсиггеге*—сталкиваться) — взаимоотношения между организмами одного или разных видов, соревнующихся за одни и те же ресурсы внешней среды при недостатке последних.

Конкуренция может быть пассивной — потребление ресурсов внешней

среды, необходимых обоим организмам или активной — подавление одного другим в результате образования определенных продуктов обмена. В микробиологии понятие конкуренции обычно распространяют лишь на взаимоотношения между микроорганизмами, хотя возможны конкурентные отношения между микро и макроорганизмами, например почвенные микроорганизмы конкурируют с высшими растениями за элементы минерального питания. В результате конкурентных отношений реализуется принцип Вольтерры— Гаузе, в соответствии с которым два вида не могут сосуществовать, если они занимают одну и ту же экологическую нишу.

**Синтрофия** (греч. *syn*—вместе, *trophe*—пища, питание) — способность двух или более видов бактерий осуществлять такой процесс, который ни один из них не может осуществлять по отдельности.

Синтрофия является частным случаем симбиотических взаимоотношений между бактериями.

**Симбиоз** (греч. *symbiosis*—совместная жизнь) — различные формы совместного существования разноименных организмов, составляющих симбиотическую систему. В этих системах один из партнеров или оба, в определенной степени возлагают на другого (или друг на друга) задачу регуляции своих отношений с внешней средой.

Основой для возникновения симбиоза могут быть трофические, пространственные и другие типы взаимоотношений. Один из партнеров системы или оба вместе приобретают возможность выигрыша в борьбе за существование.

Симбиоз бывает факультативным, когда каждый из организмов при отсутствии партнера может жить самостоятельно, и облигатным, когда один из организмов (или оба) оказывается в такой зависимости от другого, что самостоятельное существование невозможно.

По характеру взаимоотношений между партнерами выделяют несколько типов симбиоза: комменсализм, паразитизм и мутуализм.

**Комменсализм** (лат. *com*—с, вместе и *mensa*—стол, трапеза), т. е. сотрапезничество, форма симбиоза, при которой один из партнеров системы

(комменсал) возлагает на другого (хозяина) регуляцию своих отношений с внешней средой, но не вступает с ним в тесные отношения.

Основой для комменсальных отношений могут быть общее пространство, субстрат, кров, пища. Присутствие комменсала для хозяина остается обычно безразличным, т. е. понятие комменсализм сейчас понимается шире, чем сотрапезничество.

**Паразитизм** (греч.parasitos—нахлебник) — форма антагонистических взаимоотношений двух различных организмов, при которой один из них (паразит) использует другого (хозяина) в качестве среды обитания (среда 1-го порядка) или источника пищи, возлагая на него регуляцию своих отношений с внешней средой (среда 2-го порядка).

Наблюдается различная степень специализации паразитов (приуроченность к различным органам и тканям) и специфичность паразитов (приуроченность определенного вида паразита к определенным видам хозяина). Считают, что узкая специфичность указывает на давнее происхождение системы. В процессе эволюции паразитической системы наблюдается тенденция к сглаживанию антагонистических отношений между партнерами. Однако даже в самых стабильных системах паразит—хозяин отношения между партнерами построены по принципу неустойчивого равновесия, нарушения которого могут привести к распаду системы и гибели одного или обоих партнеров. Паразиты принимают участие в регуляции численности популяций хозяев, а иногда определяют направленность микроэволюционных процессов.

Паразиты подразделяются на облигатные (обязательные) и факультативные (необязательные).

**Мутуализм** (лат.mutuus—взаимный) — форма симбиоза, при которой отношения между партнерами характеризуются взаимовыгодностью и ни один из них не может существовать без другого.

**Хищничество**—такое отношение двух групп организмов, при котором одна использует другую в пищу.

**Антагонизм** (гр. antagonisma—спор, борьба) — термин, применяемый к таким взаимоотношениям между микроорганизмами, когда один вид задерживает или полностью подавляет рост другого. Если угнетение взаимно, говорят об **аменсализме** (лат. a—удаление, отказ и mensa—стол, кушание).

В зависимости от условий получают преимущество организмы, следующие той или иной стратегии, причем имеют значение изменения среды как в пространстве, так и во времени.

Большое количество грамотрицательных бактерий неизвестной систематической принадлежности содержится в тканях губки *Verongia*, бактерии передаются дочерним губкам, их масса иногда достигает 33% массы хозяина.

Интересен пример совместного «разбоя» представителей двух различных царств природы — бактерии и нематод. Родственные кишечным бактериям представители рода *Xenorhabdus* являются симбионтами различных видов нематод, патогенных для личинок насекомых. *X.luminescens* живет в личинках нематоды *Heterorhabditis bacteriophora*.

На третьей стадии развития личинок нематоды бактерии находятся в чистой культуре в замкнутом пищеварительном тракте животного. Проникнув в тело насекомого через пищеварительный тракт или трахейную систему, личинки нематоды внедряются в гемоцель. Бактерии выделяются в гемолимфу и, быстро в ней размножаясь, через 1—3 суток приводят насекомого к гибели. В останках насекомого нематоды проходят последующие стадии развития, размножаются и достигают инфекционной фазы. Мертвое насекомое содержит к этому времени множество нематод и светится от присутствия массы бактериальных клеток. Бактерии *X.luminescens* образуют антибиотическое вещество, препятствующее размножению других бактерий, поэтому труп насекомого не гниет. Нематоды содержат бактерий в кишечнике и тоже светятся, хотя слабее, чем труп насекомого.

#### Взаимоотношения бактерий с позвоночными

Тело более или менее крупного животного представляет для бактерий целый мир с множеством экологических ниш. В естественных условиях организм любого животного населен множеством бактерий. Среди них могут быть случайные формы, но для многих видов тело животного является основным или единственным местом их обитания. Характер и механизмы взаимодействий микроорганизмов с макроорганизмом многообразны и играют решающую роль в жизни и эволюции многих видов бактерий. Для животного бактерии также важный экологический фактор, определяющие многие стороны его эволюционных изменений.

Только некоторые беспозвоночные не могут существовать без бактерий. Организм позвоночных животных всегда населен разнообразными бактериями, но можно искусственно получить экземпляры животных, лишенные микроорганизмов. Получены подобные мыши, куры, свиньи и др. Заражая их определенными микроорганизмами, получают гнотобиотов — животных, содержащих известную микрофлору. Животные, лишенные бактерий, нормально растут и размножаются, если получают полноценную пищу. У них не функционируют нормально системы иммунитета, и они могут погибнуть от бактерии, совершенно безопасных для обычных организмов. Во многих случаях нормальное питание макроорганизма также не может осуществляться без помощи бактерии.

Между бактериями и макроорганизмом иногда складываются взаимоотношения, которые можно охарактеризовать как комменсализм, симбиоз, паразитизм, нередко напоминающий хищничество.

Микроорганизмы, населяющие организм здорового животного, образуют его нормальную микрофлору.

По вполне понятным причинам лучше всего изучена нормальная микрофлора человека.

Кожный покров тела имеет свои области, свои рельеф, свою «географию». Клетки эпидермиса кожи постоянно отмирают и пластинки рогового слоя слущиваются. Поверхность кожи постоянно «удобряется» продуктами выделения сальных и потовых желез. Потовые железы обеспечивают бактерии

солями и органическими соединениями, в том числе азотсодержащими.

Выделения сальных желез богаты жирами.

Микроорганизмы заселяют главным образом участки кожи, покрытые волосами и увлажненные потом. На участках кожи, покрытых волосами, находится около  $1,5-10^6$  клеток/см.

Некоторые виды приурочены к строго определенным участкам. Обычно на коже преобладают грамположительные бактерии. Типичными обитателями кожи являются различные виды *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Propionibacterium*, *Corynebacterium*, *Brevibacterium*, *Acinetobacter*.

Для нормальной микрофлоры кожи характерны такие виды *Staphylococcus*, как *St. Hominis* и *St. epidermidis*, но не упомянутый *St. aureus*, развитие которого здесь свидетельствует о неблагоприятных изменениях микрофлоры организма. Представители рода *Corynebacterium* иногда составляют до 70% всей кожной микрофлоры.

Некоторые виды являются липофильными, т. е. образуют липазы, разрушающие выделения жировых желез. Стерильный пот не имеет запаха, запах поту придают продукты метаболизма бактерии, и прежде всего рода *Corynebacterium*.

Большинство бактерии, населяющих кожу, не представляют какой-либо опасности для хозяина, но некоторые, и прежде всего *St. aureus*, условно патогенны.

Нарушение нормального сообщества бактерии кожи может иметь неблагоприятные последствия для макроорганизма.

**Кишечный тракт животных**— обычное место обитания разнообразных бактерий, преимущественно анаэробных. Характер взаимоотношений этих бактерий с хозяином может быть различным и в первую очередь зависит от особенностей его питания.

Наиболее активная жизнедеятельность бактерий всегда происходит в толстой кишке. Анаэробы здесь развиваются, осуществляя брожения, при которых образуются органические кислоты—преимущественно уксусная, пропионовая и масляная. При ограниченном поступлении углеводов образование этих кислот

энергетически выгоднее, чем образование этанола и молочной кислоты.

Происходящее здесь же разрушение белков приводит к снижению кислотности среды. Накапливающиеся кислоты могут быть использованы животным. Поскольку богатая ценным белком масса бактерии выносятся из организма, понятна склонность некоторых животных к копрофагии.

**Содержимое кишечника**—благоприятная среда обитания бактерий. Однако здесь действует и ряд неблагоприятных факторов, способствующих адаптации и специализации кишечных микроорганизмов. Так, в толстом кишечнике накапливаются желчные кислоты до концентрации, уже угнетающих рост некоторых бактерий. Масляная и уксусная кислоты также обладают бактерицидными свойствами.

В состав кишечной микрофлоры различных животных входит ряд видов бактерий, способных разрушать целлюлозу, гемицеллюлозы, пектины. У многих млекопитающих в кишечнике обитают представители родов *Bacteroides* и *Ruminococcus*. *B.succinogenes* был обнаружен в кишечнике людей, лошадей, коров, баранов, антилоп, крыс, обезьян. *R.albus* и *R. lavelaciens*, активно разрушающие клетчатку, обитают в кишечнике людей, лошадей, коров, кроликов. К сбраживающим клетчатку кишечным бактериям относятся также *Butyrivibrio fibrisolvens* и *Eubacterium cellulosolvens*. Роды *Bacteroides* и *Eubacterium* представлены в кишечнике млекопитающих рядом видов, некоторые из которых разрушают также белковые субстраты.

В составе кишечной микрофлоры разных животных обнаруживаются характерные различия. Так, у собак относительно много стрептококков и клостридий. В составе нормальной микрофлоры кишечника человека насчитывается до 60 видов бактерий.

Здесь преобладают неспорообразующие анаэробы, в том числе представители рода *Bifidobacterium*, которым приписывают благоприятное влияние на организм хозяина благодаря образованию витаминов и антибиотиков. Для кишечной микрофлоры человека характерны стрептококки и кишечная палочка. В фекалиях количество *E.coli* составляет около  $10^8$  клеток/г при общем содержании бактерии

около  $10^{11}$  клеток/г. Таким образом, кишечная палочка отнюдь не является доминирующим в кишечнике, рубце жвачных животных и других органах представители нормальной микрофлоры распределены определенным образом. Часть форм приурочена к поверхности клеток, другие находятся на некотором удалении от ткани. Состав прикрепленных форм может изменяться при ослаблении или заболевании хозяина, и даже при стрессе. При нервных стрессах, например, за счет активизации протеаз происходит разрушение белка на поверхности глоточного эпителия, что позволяет прикрепляться клеткам условно патогенной бактерии *Pseudomonas aeruginosa*, которые начинают здесь активно размножаться вместо безвредных представителей нормальной микрофлоры. Образовавшаяся популяция *Ps. Aeruginosa* в дальнейшем может вызвать поражение легких.



## **6. Популяционно-экологические взаимоотношения бактерий и животных**

Открытие бактерий – возбудителей инфекционных болезней, в конце прошлого столетия дало мощный толчок бурному развитию микробиологии как медицинской, так и ветеринарной. История развития микробиологии описана в многочисленных научных и научно-популярных изданиях. В последние годы большое внимание уделялось изучению болезнетворных бактерий. В медицинской бактериологии под экологическими исследованиями обычно понимают изучение механизмов, при помощи которых патогенный вид выживает в природе.

Менее интенсивно велись исследования симбиотических связей бактерий с животными. Тем не менее, постепенно накапливались данные, свидетельствующие о широком распространении бактерий–симбионтов животных – прежде всего простейших и членистоногих.

В 1890 г. ученик И.И. Мечникова доктор В.М. Хавкин описал бактерии, развивающиеся в клетках инфузории парамеции. В дальнейшем появились только отдельные сообщения о бактериях – симбионтах различных простейших.

Современный интерес к внутриклеточному симбиозу бактерий в значительной степени определяется популярностью гипотезы симбиогенеза, в соответствии с которой эукариотическая клетка возникла как симбиотический комплекс, образованный несколькими прокариотами. Гипотеза симбиогенеза была выдвинута на основе умозрительных соображений и сразу же была подвергнута суровой критике, также основанной на отвлеченных предположениях. Было обнаружено существенное сходство многих структурных и функциональных макромолекулярных особенностей клеточных органелл и бактерий. Наиболее настойчивым пропагандистом идей симбиогенеза в наши дни является американская исследовательница Л. Маргелис, перевод одной из ее книг «Роль симбиогенеза в эволюции клетки» был опубликован у нас в 1983 г. Но следует иметь в виду, что и сейчас идея симбиогенеза остается гипотезой.

## Регуляция численности патогенных микроорганизмов в естественных экосистемах

Можно говорить о двух типах регуляции численности патогенных микроорганизмов – естественной (независимой от деятельности человека) и антропогенной (вызванной деятельностью человека), которые в современных условиях нередко взаимосвязаны.

Следует выделить следующие уровни регуляции численности патогенных микроорганизмов:

1. Внутрипопуляционная регуляция.
2. Регуляция организмом хозяина.
3. Регуляция популяцией хозяина.
4. Экосистемная регуляция.
5. Геокосмическая регуляция.

### Социальная регуляция

Нетрудно заметить, что первые три уровня составляют регуляторные процессы, действующие внутри паразитарной системы, тогда как остальные уровни регуляции обеспечиваются факторами, внешними по отношению к паразитарной системе.

Рассматриваемые механизмы регуляции численности возбудителей складываются из процессов саморегуляции в популяциях микроорганизмов, непосредственных воздействий тех или иных факторов на популяцию возбудителя, а также косвенных воздействий, однократно или многократно опосредованных через другие уровни регуляции.

Строго говоря, биологическая регуляция есть всегда саморегуляция, представляя собой замкнутый цикл взаимодействий с отрицательной обратной связью.

### Внутрипопуляционная регуляция

Речь идет об эндогенных механизмах, ускоряющих или замедляющих темпы роста популяции возбудителя. Эти механизмы могут быть неспецифическими и специфическими. К первым относится комплекс трофических и физико-

химических факторов среды, действие которых обусловлено состоянием самой микробной популяции.

Специфические механизмы (аутометаболическая регуляция), в свою очередь, реализуются через среду обитания, так что оба типа регуляции тесно взаимосвязаны.

#### Регуляция организмом хозяина

На этом уровне можно выделить три основных механизма воздействия на популяцию возбудителя: иммунные реакции, микрофлора хозяина и выведение возбудителя из организма.

Общеизвестно значение естественной резистентности и специфического иммунного ответа для снижения численности и даже полного подавления возбудителей различной природы в организме хозяина. Весьма существенное и неоднозначное влияние на численность возбудителя оказывают клетки мононуклеарной фагоцитирующей системы. При завершённом фагоцитозе макрофаги могут заметно снижать численность возбудителя (переваривание в макрофагах), тогда как незавершённый фагоцитоз, сопровождаясь размножением возбудителя в макрофагах, может способствовать росту его численности в организме хозяина. Известна значительная роль специфических иммуноглобулинов в элиминации возбудителей различных инфекций.

Столь же хорошо известно, что высокая концентрация возбудителя в крови приводит к угнетению иммунных реакций, вплоть до иммунологического паралича, способствуя дальнейшему росту численности возбудителя. Описана и селективная роль иммунитета, приводящая к формированию устойчивых антигенных вариантов возбудителя, способных в какой-то мере избежать контроля иммунной системы. Это иллюстрирует сложность и неоднозначность регулирующих эффектов иммунологических механизмов.

Регулирующую функцию выполняет и постинфекционный иммунитет у млекопитающих, который ограничивает распространение возбудителя в популяциях хозяев и тем самым тормозит рост его численности.

Роль микрофлоры хозяина в регуляции численности возбудителей не менее сложна и многообразна. Хорошо известна антагонистическая роль индигенной микрофлоры, которую сводят к конкуренции за источники энергии, продукции метаболитов, подавляющих рост патогенных бактерий, и выделению бактериоцинов. В микробном сообществе возможна плазмидная передача генов, контролирующих бактериоциногенность бактерий и устойчивость к «чужим» бактериоцинам, благодаря чему активность бактериоцинов может проявляться в отношении бактерий разных родов и даже семейств.

Популяция возбудителя находится под воздействием не только нормальной микрофлоры хозяина, но и других паразитов (бактерий, вирусов, грибов, простейших, гельминтов). Достаточно вспомнить неоднократно описанные изменения характера инфекционного процесса в условиях смешанных инфекций.

Учение о паразитоценозах было разработано Е. Н. Павловским, который указал на важное значение паразитоценозов для инфекционной патологии. Сегодня известно, что сочлены паразитоценоза не просто независимо влияют друг на друга, но составляют в организме хозяина экологогенетическое единство.

Третий механизм, изменяющий численность возбудителя на данном уровне регуляции, выведение возбудителя из организма хозяина. Есть основания полагать, что выведение ряда возбудителей из организма хозяина может регулярно и существенно снижать численность гостальной части популяции. Например, среднее число лептоспир, выводящихся с мочой у полевок - экономок, - около 100 млн. за сутки, что составляет 10-20% общей их численности в организме.

Чтобы компенсировать такие потери, популяция возбудителя, понятно, должна иметь очень высокую скорость репродукции.

#### Регуляция популяцией хозяина

Можно представить два взаимозависимых механизма регуляции численности возбудителя на этом уровне, один из которых непосредственно связан с колебаниями численности хозяина, а другой – с изменениями зараженности в его популяции.

Для многих инфекций показана зависимость между уровнем численности хозяев и интенсивностью эпизоотического процесса (значит, численностью возбудителя), хотя часто она не носит закономерного и абсолютного характера. Значительные изменения численности возбудителя могут происходить и в результате смены хозяев, если новые хозяева отличаются от прежних восприимчивостью и чувствительностью к возбудителю. По преимуществу все это – косвенные воздействия, отражающие определенные сдвиги в экосистеме, так что первичные регуляторные механизмы принадлежат следующему уровню.

Изменение зараженности хозяев реализуется через механизм передачи возбудителя, поэтому его эффективность («коэффициент передачи») служит действенным инструментом регуляции численности возбудителя в процессе циркуляции. Передача от одной особи хозяина к другой – самый критический момент для популяции паразита, ибо она обычно предполагает резкую смену среды его обитания. В данной связи можно полагать, что популяция возбудителя относительно стабильна в стадии резервации (в любой среде обитания и на любом количественном уровне) и испытывает наиболее резкие колебания в активной циркуляции. В последнем случае этому способствует выраженная гетерогенность популяции. В наибольшей мере, по-видимому, такие колебания численности могут проявляться при циркуляции возбудителя в открытых паразитарных системах, где он имеет сапрофитическую фазу существования. Напротив, исключением служит «вертикальная передача» возбудителей (трансплантарная у носителей, трансвариальная и трансфазовая у переносчиков), в процессе которой условия существования паразита практически не меняются.

### Экосистемная регуляция

Если на предыдущих уровнях регуляция численности возбудителя осуществлялась непосредственно – факторами, действующими внутри паразитарной системы, то, начиная с этого уровня, кроме них вступают в действие внешние по отношению к паразитарной системе и все более сложно

опосредованные компонентами экосистемы, действие которых может быть как непосредственным, так и косвенным.

Непосредственные воздействия биотических факторов реализуются, например, через трофические цепи в почвенных или водных сообществах, где патогенные микроорганизмы активно выедаются мезо- и микрофауной, а также через конкурентные или симбиотические отношения в таких ценозах.

Абиотические факторы среды – температура, влажность, состав субстрата и пр. – оказывают непосредственное лимитирующее влияние на численность возбудителя. Описано воздействие температуры и на облигатных паразитов в процессе их трансмиссивной передачи хозяину.

Косвенно численность возбудителей регулируется воздействием биотических и абиотических факторов, определяющих условия существования и численность популяции хозяев. Примером косвенной роли биотического фактора может служить избирательная элиминация хищниками зараженных особей популяции грызунов, вызывающая заметные сокращения численности лептоспир в природном очаге. Хорошо известны разнообразные воздействия абиотических факторов климатических, погодных и др.) на популяции носителей и далее – на популяцию возбудителя, вызывая ее сокращение или увеличение. Описано и влияние некоторых метеорологических факторов (температура воздуха, количество осадков) на эпидемический процесс при лептоспирозе .

Экосистемная регуляция косвенно реализуется и через другой уровень – посредством изменения инфекционной чувствительности организма хозяина. Известно влияние температуры среды на характер инфекционного процесса, ярко выраженное, например, у зимоспящих грызунов.

Экспериментально показано, что температура воздуха, особенно в сочетании с ветром, способна заметно изменять чувствительность больших песчанок к чумному микробу, а также темпы его репродукции и, следовательно, роста численности в организме хозяина. В ряде случаев выявлены достоверные корреляции между интенсивностью эпизоотий чумы (значит, численность возбудителя) и некоторыми метеорологическими факторами – повторяемость

румбов ветров, суммой месячных температур, суммой осадков, влажностью воздуха, так что эти показатели имеют прогностическую ценность. Поэтому около 20% изменений численности сочленов паразитарной системы при чуме можно отнести за счет различных внешних влияний. Установлено изменение чувствительности к туляремийному микробу у различных грызунов под воздействием низких температур.

Наглядным интегрированным проявлением экосистемных механизмов регуляции служит тесная связь распространения природных очагов водной лихорадки с низинными болотами, чумы – с изолиниями гидротермического коэффициента, сибирской язвы – с определенными типами почв и количеством осадков, ареалов ряда арбовирусов – с изолиниями суммы эффективных температур.

#### Геокосмическая регуляция

На этом уровне в качестве регулирующих могут выступать некоторые геофизические (геомагнитное поле, атмосферная циркуляция) и космические (солнечная активность) факторы среды, так или иначе влияющие на различные компоненты экосистем. Ввиду крайней сложности как самого действия этих факторов, так и строгого, адекватного их анализа, фактическая основа для уверенных заключений слаба. Все же есть некоторые данные, позволяющие в принципе ставить вопрос о существовании такой регуляции и даже представить возможные косвенные его механизмы. Так, при вероятном непараметрическом прогнозировании эпизоотий чумы оказались информативными признаками типы атмосферной циркуляции, геомагнитная активность, солнечная активность (числа Вольфа). В отношении геомагнитного поля предполагается и другой механизм воздействия – через изменение вязкости крови у грызунов, которая различна у зараженных чумой и здоровых зверьков. Наконец, известны работы по непосредственному воздействию магнитных полей на микроорганизмы, в том числе вызывающему стимуляцию или ингибцию их роста, однако искусственность подобных экспериментов, в частности

неестественно высокие показатели напряженности магнитного поля, заставляют осторожно относиться к их результатам.

Специально разбирая возможный механизм влияния солнечной активности через возмущение магнитосферы и изменение спектра электромагнитных полей, установлено, что корреляционные связи между солнечной активностью и биологическими явлениями надо рассматривать как причинные.

Применительно к эпизоотическим процессам точками приложения этих процессов считаются колебания уровня иммунитета хозяина, циклические изменения жизнеспособности и вирулентности возбудителя, колебания численности переносчиков.

Объективная оценка «вклада» этих механизмов в регуляцию численности возбудителей весьма затруднена из-за сложной, «многоэтажной» их опосредованности и крайне слабой изученности;

## **7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПАТОГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ**

Фактические данные свидетельствуют о том, что различные патогенные микроорганизмы, филогенетически далекие друг от друга и предъявляющие разные требования к конкретным условиям существования, обладают выраженным конвергентным сходством: это способность к более или менее автономному сапрофитическому существованию, что и объединяет их в экологически своеобразную, хотя обширную и неоднородную группу. В нее входят, кроме типичных случайных паразитов - возбудителей истинных сапронозов, некоторые микроорганизмы, занимающие промежуточное положение между случайными и факультативными паразитами, а по ряду экологических особенностей стоящие ближе к последним (лептоспиры, псевдотуберкулезный микроб).

К типичным сапронозам относятся инфекции, возбудители которых отличаются тем, что их связь с хозяевами носит эпизодический, необязательный и даже случайный характер и потому несущественна для существования микроба как вида (ботулизм, столбняк, легионеллез, мелиоидоз, синегнойная инфекция и др.).



Возбудители других инфекций также имеют обязательную сапрофитическую фазу, но характеризуются более тесными и регулярными связями с теплокровными хозяевами, хотя круг последних обычно весьма широк, а вовлечение тех или иных видов в циркуляцию возбудителя незакономерно. Паразитизм таких микроорганизмов уже не столь случаен, в нем прослеживаются отдельные черты, сближающие их с факультативными паразитами. Такие инфекции не являются типичными сапронозами: они имеют определенное сходство с зоонозами, что дает основание рассматривать их как особую промежуточную группу инфекций так называемых «сапрозоонозов».

Любые объекты внешней среды - почва, вода, растительные субстраты резко отличны от организма по многим показателям, в том числе по гидротермическому режиму - одному из главных лимитирующих факторов для микроорганизмов. К тому же абиотические факторы внешней среды в отличие от организма испытывают сильные суточные, сезонные и непериодические колебания. К примеру, суточные колебания температуры в почвах умеренного пояса могут превышать 15°C, а сезонные еще выше. Важно подчеркнуть, что в сапрофитической фазе возбудители испытывают непосредственное воздействие факторов внешней среды, находясь под прямым и жестким их контролем, что отличает их от паразитов, обитающих в организме хозяина. Естественно, первая черта совершенно необходима для сапрофитического существования возбудителей - широкий диапазон экологической толерантности, т.е. сохранение жизнеспособности при больших колебаниях температуры, влажности, активной реакции среды, содержания органических веществ и пр.

Можно констатировать существование 2 различных молекулярногенетических механизмов низкотемпературной адаптации микробных популяций. Первый из них происходит с участием температурно- индуцибельных «холодовых» изоферментов. Низкая температура, по- видимому, включает в работу сильные регуляторные локусы ДНК, что и приводит к усиленной экспрессии генома. Этот механизм обеспечивает ответ всей популяции при резкой смене температуры. Второй механизм реализует преимущество части популяции.

Существование различных не конкурирующих адаптивных механизмов, закрепленных в ходе эволюции, по-видимому, позволяет различным видам микроорганизмов иметь широкий температурный диапазон роста и тем самым успешно конкурировать за новую экологическую нишу и обеспечивать их выживаемость в ней.

Мезофилы и факультативные термофилы (термотрофы) - легионеллы, клостридии, мелиоидозный микроб - имеют иную температурную зону - иногда до 50.. 60°C, но плохо растут при низких температурах.

Определенный температурный диапазон обуславливает специфические закономерности сезонных колебаний численности различных возбудителей во внешней среде зараженности животных и эпизоотического проявления инфекций. Так, иерсиниозы и листериозы имеют выраженную зимне-весеннюю или осеннюю сезонность, тогда как кистридозы - летнюю. Температурный режим в значительной степени определяет и закономерности географического распространения этих инфекций. В разных ландшафтных зонах, различающихся по гидротермическому режиму почв, наблюдается различная концентрация возбудителей в почве и связанное с этим эпизоотическое проявление инфекций, что хорошо известно для ряда клостридий.

К числу важнейших факторов внешней среды, определяющих условия существования патогенных микроорганизмов, относится и влажность субстрата. Длительное питание и активное размножение многих из них как в почве, так и в воде неудивительно: эти среды обитания чрезвычайно сходны по многим показателям. Обитая в почве, микроорганизмы населяют микроскопические водоемы между частицами почвы, поэтому существенное значение имеет механический состав и физические свойства почвы. Установлена выраженная приуроченность различных возбудителей к пойменным биотопам (депрессиям рельефа) с повышенной увлажненностью почвы. О большом значении влажности почвы свидетельствуют и многие лабораторные эксперименты с различными патогенными бактериями. Температура и влажность - тесно взаимосвязанные факторы среды, их изолированное воздействие можно рассматривать условно. Эту взаимосвязь

отражает известное понятие «гидротермический коэффициент». При обитании во внешней среде патогенные бактерии, по-видимому, экологически близки к сапрофитическим, для существования которых благоприятны сходные показатели гидротермического режима, хотя по ряду причин те и другие изучаются независимо.

Другие важные факторы внешней среды - активная реакция среды (рН), осмотическое давление, содержание неорганических веществ, в том числе микроэлементов, наличие различных органических субстратов. Особый интерес с точки зрения механизмов адаптации патогенных бактерий к обитанию вне организма хозяина представляет снижение питательных потребностей, олигонитрофильных и олигокарбофильных свойств, обуславливающих возможность прототрофного типа питания некоторых возбудителей во внешней среде, особенно при понижении температуры. К сожалению, работ, посвященных особенностям питания, потребностям в аминокислотах и факторах роста при обитании патогенных бактерий во внешней среде, очень мало.

Закономерности распространения и численности патогенных микроорганизмов во внешней среде определяются, очевидно, не только абиотическими, но и биотическими факторами. Вопросы биоценологических взаимоотношений в почвенных и водных ценозах активно разрабатываются для сапрофитических бактерий. Они представляют несомненный интерес и в отношении к возбудителям сапронозов. Например, спектр микрофлоры почв, специфичный для разных ландшафтных зон и типов почв, в большей мере формируются под селективным воздействием почвенной фауны на микробные сообщества. Показано также, что водоросли - благоприятная среда обитания различных микроорганизмов благодаря большому количеству воды в их оболочках и выделению органических веществ. Например, за 2 часа совместного культивирования синезеленых водорослей с симбиотическими бактериями последние ассимилировали 20% меченых по  $^{14}\text{C}$  органических веществ. Неоднократно описаны ассоциативные отношения сапрофитических бактерий с простейшими, внутри которых они успешно размножаются. Возбудители инфекций изучены в этих отношениях гораздо слабее, хотя отдельные сведения подобного

рода известны для них. На фоне широкого изучения закономерностей зонального распространения и симбиотических отношений анаэробных почвенных бактерий, в том числе различных клостридий, известны попытки такого анализа для столбнячного микроба и возбудителя газовой гангрены. Детально изучаются зональное распространение, особенности экологии в разных типах почв, сезонная динамика популяции и некоторых псевдомонад, однако подобных исследований для убикувитарно распространенной синегнойной палочки крайне мало. Причина такого отставания экологии патогенных микроорганизмов во внешней среде - идейная и методическая оторванность ветеринарной и медицинской микробиологии от общих исследований по экологии микроорганизмов.

Резкие различия организма и внешней среды по многим условиям существования для паразита обуславливают неизбежность адаптивной изменчивости ряда важнейших свойств патогенных микроорганизмов - вирулентности, ферментативной активности, антигенного строения и др. Иными словами, переход от паразитического существования к сапрофитическому и обратно требует физиологической перестройки, которая может осуществляться как на уровне отдельного микроорганизма, так и на популяционном уровне.

Первый механизм адаптации возбудителей к разным средам обитания можно назвать индивидуальным. Он предполагает потенциальное наличие у каждой микробной клетки смешанного набора изоферментов, работающих при разных температурах, либо температурозависимую экспрессию генов, кодирующих синтез изоферментов. В конкретных температурных условиях среды функционирует определенный из них, тогда как при сильном изменении температуры активность проявляет уже другой. На данный механизм, обеспечивающий широкие термоадаптационные возможности псевдотуберкулезного микроба, указывалось сразу после открытия у него изоферментов.

Второй возможный механизм адаптации возбудителей к разным средам обитания - популяционный, который предполагает селективное изменение

гетерогенной популяции. В основе обратимой «фазовой» изменчивости и популяции бактерий лежит исходная гетерогенность популяции по любому признаку.

Селективные процессы в новой среде обитания не уничтожают такую гетерогенность, а как бы «смещают» ее в соответствующем направлении - путем изменения процентного соотношения особей с данными свойствами. В качестве примера можно привести гетерогенность гостальной части популяции лептоспир по признаку вирулентности: характеризуясь в целом высокой вирулентностью, она содержит немало негомологичных, но авирулентных микробных клеток, причем это соотношение в организме другого хозяина может быть обратным.

Нельзя исключить, что в процессах изменчивости патогенных бактерий во внешней среде определенную роль играет и обмен бактериальными плазмидами, генетическая информация которых может оказаться спасительной для бактерий при изменении условий существования. На принципиальную возможность этого указывает, к примеру, случай передачи термочувствительной плазмиды группы несовместимости H<sub>2</sub>, детерминирующей устойчивость к стрептомицину и тетрациклину, от сальмонелл кишечной палочке, причем передача плазмиды происходила именно во внешней среде, а не в организме хозяина. Ученые указывают на возможную генетическую трансформацию у бактерий в естественных сообществах, демонстрируя ее конкретно у мелиоидозного микроба в стерильной почве, а также межвидовую трансформацию у возбудителя сапа. Трансформация у бактерий не более удивительное приспособление, чем рассеивание пыльцы у растений.

Возможно при переходе от свободноживущего к паразитическому образу жизни возбудители типичных сапронозов оказываются способными использовать организм как среду обитания именно в силу своих широких экологических возможностей и физиологической универсальности, а не благодаря глубокой специализации к паразитическому образу жизни. Иными словами, диапазон их экологической толерантности включает в себя и условия в паразитической фазе.

Так, ферменты, обеспечивающие проникновение и распространение в организме патогенных бактерий (гиолуранидаза, нейраминидаза, некоторые протеиназы), известны и у типичных сапрофитов, которым необходимы деполимеризации структур отмерших тканей. Универсальна и вторая группа факторов патогенности, обеспечивающих в организме защиту от фагоцитоза (многие сапрофигические бактерии также образуют капсулы и капсулоподобные структуры для защиты от различных неблагоприятных факторов внешней среды), указывает, что легионеллы адаптированы к существованию внутри амёб, и при взаимодействии с макрофагами и моноцитами в организме человека они используют те же механизмы, что и в амёбах, в частности блокирование фагосомно-лизосомного аппарата. Значение рН амёб и макрофагов одинаково (6,9), будучи оптимальным для размножения возбудителя. Третья группа факторов патогенности - токсины - как будто строго специфична для паразитических форм, однако нельзя исключить, по-видимому, что токсины могут быть одним из факторов антагонизма бактерий. Показано, что энтеротоксин холерного вибриона оказывал ингибирующее действие на ряд бактерий, что приводит к заключению о его антагонистической активности в отношении микрофлоры. Это, однако, нуждается в подтверждении. С другой стороны, есть мнение, что токсичность для организма человека не является признаком, необходимым для существования холерного вибриона как биологического вида. Известна бактериальная токсичность почвы и воды, которую не удастся нейтрализовать известными антитоксическими сыворотками и которая, вероятно, обусловлена сапрофитическими почвенными бактериями. К этому можно добавить следующее. Не исключено, что токсигенность не является постоянным свойством данного возбудителя. Синтез многих энтеротоксинов кодируется генами, локализованными в плазмидах, что позволяет предполагать возможность передачи генов токсигенности как в популяции конкретного вида, так и между разными видами в микробном сообществе.

Все изложенное дает основание усомниться в уникальности адаптивных приспособлений, которые в медицинской и ветеринарной микробиологии принято

называть «факторами патогенности». В принципе те же механизмы необходимы микроорганизмам и при свободнодвижущем образе жизни: они должны прикрепляться к субстрату, проникать внутрь клеток, расщеплять органические соединения, защищаться от губительных факторов среды, успешно конкурировать с другими микроорганизмами и т.п. Понятно, что чем шире диапазон таких возможностей у микроба, тем шире и экологическая ниша, занимаемая им в природе.

Характерная черта возбудителей сапронозов и сапрозоонозов - возможность автономного существования во внешней среде, что убедительно доказано для многих из них. Разумеется, у разных видов возбудителей или у одного вида в разных условиях соотношение темпов размножения и отмирания микробных клеток во внешней среде может варьировать, так что тип динамики популяции и уровень численности в субстратах внешней среды могут быть разными. Вопрос здесь заключается не столько в том, размножается ли тот или иной возбудитель во внешней среде, сколько в том, достаточны ли темпы размножения для компенсации его гибели на любом уровне численности и, значит, обеспечения существования популяции возбудителя во внешней среде.

Как уже указывалось, только в этих случаях внешнюю среду можно признать полноправной средой обитания возбудителя.

Закономерное обитание возбудителей сапронозов и сапрозоонозов в почве и воде, разнообразные симбиотические связи с почвенными и водными организмами наряду с циркуляцией среди наземных животных делают их полноправными и самостоятельными сочленами естественных экосистем, так что они отвечают главному критерию природноочаговых инфекций. Хорошо известно, что единственным резервуаром возбудителей природноочаговых инфекций традиционно считаются животные. Это существенно расширяет как общие положения концепции природной очаговости болезней человека, позволяя считать природным очагом любую естественную экосистему, включающую популяцию возбудителя, так и конкретные представления о «жизненных схемах» возбудителей инфекций - путях

их циркуляции (как эстафетной, последовательной, так и веерообразной - эпизодической и тупиковой) и резервации в природных очагах.

Вместе с тем, очевидно, что в арсенале традиционных подходов и средств изучения природных очагов практически нет методических приемов, позволяющих проводить современный популяционно-экологический анализ возбудителей в сапрофитической фазе существования.

В почве в зависимости от ее типа и структуры под влиянием многообразных факторов одни патогенные микроорганизмы быстро погибают, для других почва является той промежуточной средой, через которую возбудители могут попадать в воду, воздух, на корма, другие объекты внешней среды и, достигая тем или иным путем организма хозяина, обеспечивают непрерывность циркуляции в природе, несмотря на разную степень взаимодействия с почвой. Следовательно, эпизоотологическая роль почвы при различных инфекциях неравнозначна, что обусловлено выживаемостью в ней патогенных микроорганизмов. Наибольшее эпизоотологическое значение почва имеет при таких заболеваниях, как сибирская язва, столбняк, лептоспирозы, геогельминтозы и т.д.

Относительно выживаемости возбудителей этих инфекций в почве в литературе имеется множество сообщений. Интенсивность воздействия на микроорганизмы разных структур почвы, имеющегося в ней гумуса, различных микроэлементов, влаги, температуры, инсоляции, разными авторами определяется неодинаково. Одни из них считают, что характер почвы во многом зависит от предпосылок, способствующих или препятствующих жизнедеятельности патогенных бактерий, а механический состав, структура, органические вещества определяют интенсивность и характер жизненных процессов в почве. Другие отдают предпочтение реакции почвы и изменению значения рН. Очевидно, что в почвах патогенные микроорганизмы развиваются или длительно живут только при определенных температурных условиях, соответствующей влажности, реакции среды, наличии органических веществ, оказывающих на них комплексное влияние.



В каждом конкретном случае трудно бывает отдать предпочтение какому-либо одному фактору.

Эпизоотическое проявление сапронозных инфекций в конечном счете обусловлено механизмами и формами существования возбудителей как сочленов почвенных или водных экосистем. Разные стороны деятельности человека и соответственно те или иные социальные факторы активно влияют на эпизоотические ситуации: они способны менять популяционные параметры патогенного потенциала микроорганизмов и иммунного статуса животного, определить реализацию механизма передачи возбудителей, а также создавать новые, вторичные резервуары и пути циркуляции патогенных микроорганизмов.

Длительно господствовавшие представления о невозможности автономного существования возбудителей инфекций в окружающей среде (вне организма человека или теплокровных животных) базировались на тезисе об однозначно губительном воздействии на паразитов факторов внешней среды как абиотических (неблагоприятная температура, дефицит питательных веществ и пр.), так и биотических (микробная конкуренция, хищничество простейших и пр.). У патогенных бактерий, способных к обитанию в почвах и водоемах, выявлены психрофильные свойства, «холодовые» изоферменты, а также миксотрофия с хемолитоавготрофным типом питания во внешней среде. Исследования показывают, что разные компоненты биоты способны поддерживать популяции патогенных бактерий в почвенных и водных экосистемах, выполняя роль их естественных хозяев. При этом циркуляция возбудителей инфекций не ограничивается пределами видовой популяции хозяина на одном трофическом уровне (к примеру, простейшими): они могут мигрировать и «по вертикали» - по пищевым цепям сообщества от низших трофических уровней к высшим. Циркуляция возбудителей в почвенных и водных сообществах обеспечивает показатели численности и гетерогенности бактериальной популяции, адекватные конкретным условиям среды, а также необходимый уровень вирулентности, связанный с интенсивностью пассирования патогенных бактерий в популяциях естественных хозяев. Один из

возможных путей «выноса» патогенных бактерий в наземные экосистемы - проникновение из почвы в растения через корневую систему с дальнейшей передачей зеленоядным млекопитающим при поедании инфицированных побегов растений. Столь неожиданная резервуарная функция растений для возбудителей болезней человека впервые установлена в экспериментах с иерсиниями и листериями, которые эпизоотологически связаны с продуктами животноводства.

Качественно новая информация, полученная в последнее десятилетие, характеризует яркое экологическое своеобразие патогенных микроорганизмов - обитателей почв и водоемов, паразитизм которых у млекопитающих эпизодичен (случаен), не будучи обязательным условием их существования в природе. Важными следствиями этого являются и особенности организации паразитарных систем открытого типа, и выраженное своеобразие сапронозов среди прочих природноочаговых инфекций, и специфические закономерности их эпизоотологии, выходящие за рамки привычных трактовок резервуара, источника, механизма передачи возбудителей и характера эпидемического процесса.

В последние годы коренным образом меняются взгляды на процессы, традиционно толковавшиеся как «отмирание» патогенных микроорганизмов во внешней среде: вскрыты причины редкости и непродолжительности выделения культур из почв или водоемов. Речь идет о переходе многих патогенных бактерий в некультивируемое состояние при обитании в почве (воде), что с применением полимеразной цепной реакции удалось доказать как в экспериментах (иерсинии, листерии, сальмонеллы), так и обнаружением некультивируемых форм возбудителей псевдотуберкулеза, чумы и холеры в естественных почвах и водоемах очагов инфекций. Параллельно получены первые данные о генетических механизмах, обеспечивающих переход неспорообразующих бактерий в покоящееся (некультивируемое) состояние, и идентифицированы гены, контролирующие этот процесс у сальмонелл.

Одно из центральных мест в инфектологии занимают представления о факторах патогенности микроорганизмов. Экологические и молекулярно-генетические аспекты этой проблемы, хотя и обсуждаются независимо в разных главах и под разным углом зрения, концептуально сходятся в едином фокусе, и не случайно. Многие факторы, определяющие патогенность бактерий для млекопитающих, играют вместе с тем различную адаптивную роль и в других средах обитания - почве, воде, гидробионтах, растениях. Многообразие функции и универсальность обеспечиваются регуляторными механизмами молекулярно-генетической природы. Общая их схема сводится к наличию в бактериальной клетке сенсорного трансмембранного белка, передающего сигналы о параметрах окружающей среды на белок - регулятор экспрессии генов, кодирующих ряд признаков, которые, в частности, определяют и патогенность. «Включение» тех или иных функций (синтез определенных продуктов), таким образом, вызвано непосредственным воздействием факторов окружающей среды, и реакция бактериальной клетки, адекватная их изменениям, носит адаптивный характер в любой среде обитания.

Процессы циркуляции возбудителей инфекций в почвенных или водных сообществах при благоприятных условиях и их резервации в покоящихся формах (споровой или некультивируемой) для переживания неблагоприятных периодов в совокупности составляют основу экологических механизмов энзоотий и эндемий сапронозной природы.

В заключение особо подчеркнем высокую продуктивность экологических и молекулярно-генетических исследований для решения коренных, нетривиальных вопросов эпизоотологии сапронозных инфекций. Экологическая эпизоотология и молекулярная эпизоотология - это новые, параллельно развивающиеся ветви древней науки - при интеграции их идей, объектов, подходов и методов способны поднять эпизотологию на качественно новый уровень.

Целенаправленные исследования по экологии во внешней среде выполнены для псевдотуберкулезного микроба и в меньшем объеме для лептоспир, листерий, сибиреязвенного микроба и патогенных микобактерий.

Оптимальной стратегией исследований по экологии патогенных бактерий во внешней среде, по-видимому, могут быть полевые эксперименты в естественной обстановке. Их число пока крайне незначительно, что объясняется серьезными, часто непреодолимыми методическими трудностями и отсутствием общих подходов к таким экологическим исследованиям.

### **7. Экологические особенности некоторых видов патогенных микроорганизмов**

*Leptospira interrogans* - возбудители лептоспирозов - один из немногих видов патогенных бактерий, сапрофитическое существование которых целенаправленно изучалось в естественных условиях природного очага в ходе многолетних полевых экспериментов.

Лабораторные опыты D.Smith и H.Self показали, что лептоспиры серогруппы Australis выживали в почве с сахарных плантаций (температура 20...29°C, влажность 34 - 37%, рН - 6,1 - 6,2) до 43 суток при заражении почвы культурой и до 15 суток при внесении инфицированной мочи крыс. Лептоспиры ряда серогрупп обнаруживались в почве до 152 суток, причем несколько дольше они сохранялись при слабощелочной реакции среды. Лабораторные эксперименты других исследователей, как правило, демонстрировали сравнительно небольшие сроки существования лептоспир в почве или воде. Эти сроки могут отличаться у лептоспир серогрупп.

Не выявлено зависимости между длительностью выживания лептоспир в почве и исходной их концентрацией при внесении.

Возможность длительного существования лептоспир в почве подтверждается другими полевыми исследованиями в данном очаге. Периодическая микроскопия случайных (взятых наугад) образцов почвы и сочетании их с их биопробой на хомяках выявила наличие патогенных лептоспир в 12% образцов. Исследования проводились в период глубокой депрессии численности носителей инфекции - полевков-экономок. Результаты показали возможность постоянного (неопределенно длительного) обитания лептоспир в почве природного очага, даже при отсутствии хозяев, а также резервации возбудителя в почве на протяжении межэпизоотических сезонов.

Таким образом, полевые исследования дали основание отнести главную роль в сохранении лептоспир в природном очаге их экологии во внешней среде. Почва как среда обитания лептоспир выполняет важную селективную функцию при обоих способах существования популяции возбудителя - циркуляции и резервации.

Взаимодействие бактерий с окружающей средой осуществляется не только на уровне отдельных клеток, но и на популяционном уровне. При этом реакцией популяции на изменение условия среды может быть изменение их структуры, количественного соотношения клеток различного типа или возникновение качественно новых признаков, т. е. микроэволюция.

Бактерии населяют всю биосферу, едва ли можно найти такие ее участки, где была бы жизнь, но не было бактерий.

Нередко обитают только бактерии, например при экстремальных значениях температуры, солености, pH. Огромному разнообразию условий, представляемых биосферой бактериям, соответствует разнообразие их свойств и адаптации. 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 не живой природы.

В результате успехов молекулярной биологии и молекулярной генетики в последние годы успешно развивается направление исследований, которое можно определить как молекулярную экологию.

Как выясняется, несмотря на относительную простоту организации бактериальной клетки и ее незначительный объем, она обладает весьма сложными и совершенными механизмами молекулярных адаптации, существование которых еще относительно недавно невозможно было даже предположить. Это, например, относится к системе белков теплового шока, плазмидным системам патогенности и устойчивости.

Рассматривая экологию бактерий, необходимо иметь в виду, что они являются не только обитателями, но и создателями современной биосферы, а в настоящее время сами являются экологическим фактором практически для всех живых организмов, с которыми они взаимодействуют как косвенно, через процессы круговорота элементов, так и непосредственно, являясь комменсалами, симбионтами или паразитами.

Экология микроорганизмов - бурно развивающаяся наука, ее прогресс определяется не только интенсивностью проведения специальных экологических исследований, но и успехами во всех других областях микробиологии, а также в соответствующих разделах генетики и молекулярной биологии.

Крайняя недостаточность имеющихся к настоящему времени знаний о практически неисчерпаемом разнообразии взаимодействий бактерий со средой и организмами несомненна. Это позволяет с уверенностью утверждать, что в скором будущем предстоят увлекательные открытия в области экологической микробиологии, в том числе патогенных микроорганизмов.

Сведения по экологии патогенных бактерий во внешней среде немногочисленные, разрозненные, часто не поддаются однозначной трактовке. Из огромного числа работ, констатирующих факты обнаружения тех или иных патогенных бактерий в объектах внешней среды, трудно сделать определенные выводы о закономерностях их сапрофитического образа жизни. Во многих

работах содержатся прямые (инфицированность почвы, воды) или косвенные (заболеваемость людей и животных) данные, свидетельствующие о длительном существовании возбудителей во внешней среде, при отсутствии экспериментальных доказательств. В иных случаях, напротив, этому вопросу посвящены специальные лабораторные эксперименты, однако адекватность естественным условиям нередко весьма сомнительна.

Целенаправленные исследования по экологии во внешней среде выполнены для псевдотуберкулезного микроба и, в меньшем объеме, для лептоспир, листерий, сибиреязвенного микроба и патогенных микобактерий.

Оптимальной стратегией исследований по экологии патогенных бактерий во внешней среде, по-видимому, могут быть полевые эксперименты в естественной обстановке. Их число пока крайне незначительно, что объясняется серьезными, часто непреодолимыми методическими трудностями и отсутствием общих подходов к таким экологическим исследованиям.

Обобщая сведения о закономерностях обитания некоторых патогенных бактерий во внешней среде, мы не преследовали цель дать исчерпывающе полный обзор литературы – ни в отношении круга рассматриваемых возбудителей, ни в отношении сведений по каждому.

## Оглавление

1. Введение
2. Значение бактерий в природе и жизни человека
3. Общая характеристика патогенных микроорганизмов
4. Взаимоотношения бактерий с другими организмами
5. Формы взаимоотношений микроорганизмов
6. Популяционно-экономические взаимоотношения бактерий и животных
7. Экологические особенности некоторых видов патогенных микроорганизмов

а. Библиография

2. Л.В. Ивина, В.А. Воронцов. Терминология венчурного финансирования. Учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект, 2002. – 256 с.
3. Рыночные методы управления окружающей средой. Учебное пособие. – М.: ГУ ВШЭ, 2002. – 288 с.
4. М.И. Яндиев. Теория финансов. Трансформация финансов органов власти. Учебное пособие. – М.: ТЕИС, 2001. – 240 с.
5. В.Э. Керимов, А.А. Епифанов, П.В. Селиванов, М.С. Крятов. Управленческий учет снабженческо-заготовительной деятельности. Учебное пособие. – М.: Экзамен, 2002. – 128 с.
6. Г.С. Абрамова. Общая психология. Учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект, 2003. – 496 с.
7. Ф.С. Капица, Т.М. Колядич. Русский детский фольклор. Учебное пособие для студентов и преподавателей-филологов. – М.: Флинта, Наука, 2002. – 320 с.
8. В.Ф. Шаповалов. Россиеведение. Учебное пособие. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2001. – 576 с.
9. Г.А. Дубинина, И.Ф. Драчинская. Английский язык. Практикум для развития навыков профессионально ориентированного речевого общения. Учебное пособие для вузов. – М.: Экзамен, 2002. – 192 с.



10. В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. Экология в вопросах и ответах. Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. – 384 с.
11. Ю.Л. Хотунцев. Экология и экологическая безопасность. Учебное пособие для студентов высших педагогических учебных заведений. – М.: Академия, 2004. – 480 с.
12. Г.Г. Ишимбаева. Русская фаустиана XX века. Учебное пособие. – М.: Флинта, Наука, 2002. – 128 с.
13. Ю.А. Быстров. Оптоэлектронные приборы и устройства. Учебное пособие. – М.: РадиоСофт, 2001. – 256 с.
14. Ю.И. Чуньков. Экономическая теория. Учебное пособие. В 3 частях (комплект из 3 книг). – М.: ИТРК, 2013. – 1808 с.
15. Сравнительное богословие. Учебное пособие (комплект из 6 книг). – М.: Концептуал, 2016. – 2992 с.
16. В.Н. Кисленко. Экология патогенных микроорганизмов. Учебное пособие. – М.: Инфра-М, 2016. – 228 с.
17. Козлов А.И. Экология человека. Питание. Учебное пособие для академического бакалавриата. – М.: , 2016. – 187 с.
18. Н.Г. Веселовская, Ю.В. Ефтина. Английский язык для направления "Экология и природопользование". Учебное пособие / English for specialization "Environmental problems of nature resources use". – СПб.: Лань, 2017. – 216 с.



## **Экология патогенных бактерий**

Учебно-методическое пособие

Составители:

Колганова Ольга Арсентьевна  
Юдина Наталья Владимировна

В авторской редакции