



Давайте жить дружно:

№7 (№10) июль 2021



Сограh

симбиоз в природе

Читателю

Жизнь, как таковая, очень часто сложна и непредсказуема. И отдельному, изолированно развивающемуся виду трудно самостоятельно «изобрести» все необходимые механизмы адаптации к подчас быстро изменяющимся условиям. Почти невозможно оптимизировать систему сразу по многим параметрам. Поэтому в ряде случаев организмам выгоднее ослабить конкуренцию и перейти к взаимовыгодному сосуществованию. Исследования, проведенные еще в двадцатом веке, показали, что процессы симбиоза и симбиогенеза, широко распространены в природе и играют огромную роль в эволюции. Ведь в итоге симбионты оказываются более приспособленными, например, к изменениям условий окружающей среды и прочим превратностям судьбы. Так что давайте рассмотрим более детально некоторые из таких примеров.

Главный редактор



Мальцев И. С.

Очень часто в научно-популярной литературе упоминая о симбиозе, подразумевают взаимовыгодное (или выгодное для одного из симбионтов) сотрудничество двух и более видов живых существ. Однако в научной среде термин «симбиоз» трактуется в более широком смысле, подразумевая весь спектр взаимоотношений между видами живых существ (от мутуализма до паразитизма). Но в рамках данного выпуска мы все же рассмотрим именно два первых варианта:

1. взаимовыгодное сотрудничество, или мутуализм;
2. сотрудничество приносит пользу лишь одному, а для других безразлично (комменсализм).

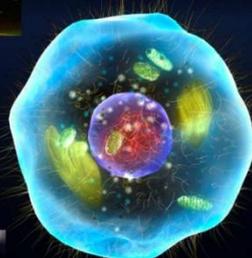
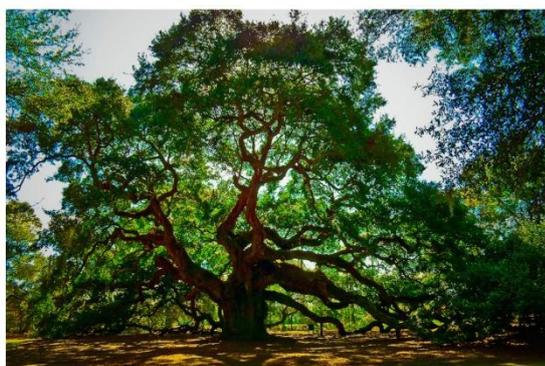
СИМБИОЗ И ЭВОЛЮЦИЯ

Симбиоз очень важен в природе и в процессе эволюции. На нем были основаны многие преобразования в живом мире. Пожалуй, одним из самых значительных следует назвать формирование эукариотической (ядерной) клетки, той основы, из которой в дальнейшем развились все высшие формы жизни (животные, растения, грибы). Эукариотическая клетка сформировалась в результате симбиоза нескольких прокариотических (безъядерных) организмов – бактерий и архей.

Согласно некоторым гипотезам (например, синтрофной гипотезой происхождения эукариот, предложенной еще в 1998 году) вследствие эволюции симбиотического сосуществования таких организмов, как метаногенная архея (ставшей впоследствии ядром эукариотной клетки), дельта-протеобактерий (образовали цитоплазму клетки) и альфа-протеобактерии (ставшей впоследствии митохондрией и сделавший клетку эукариот аэробной) и возникла простейшая клетка эукариот. Существует ряд подобных гипотез, отличающихся рядом особенностей, но в целом большинство исследователей сходятся во мнении, что формирование эукариот происходило в очень плотном многовидовом архейно-бактериальном сообществе, где были все условия для симбиоза и обмена генами.

Но зачем в те далекие времена такие непохожие организмы стали объединяться в своеобразные союзы? Ответ очень прост – для выгоды. Один из сценариев в немного упрощенном виде с взаимодействием двух симбионтов таков:

альфа-протобактерия, питаясь путем брожения, выделяла в качестве конечных продуктов углекислоту и водород, а метаногенная архея, которая живет именно за счет восстановления углекислоты с помощью водорода, с «радостью» эти продукты захватывала. В свою очередь, метаногенная архея делилась с альфа-протеобактерией восстановленными органическими молекулами, которыми бродильщик может питаться. Поскольку такой союз очень выгоден для метаногенной археи, она со всех сторон окружила альфа-протеобактерию своими выростами, чтобы увеличить поверхность контакта между клетками. Со временем альфа-протеобактерия смогла переключиться с брожения на кислородное дыхание и в новоиспеченной клетке стала митохондрией.



Эукариотическая клетка (основа, из которой в дальнейшем развились все высшие формы жизни: животные, растения, грибы) сформировалась в результате симбиоза нескольких прокариотических (безъядерных) организмов – бактерий и архей.

Однако симбиоз играл существенную роль и на более ранних этапах жизни, когда наш мир населяли почти исключительно прокариоты. По общепринятым современным представлениям, в первые два миллиарда лет своего существования Землю населяли микробы. В архейскую и протерозойскую эры основной формой жизни были микробные сообщества, так называемые бактериальные маты. В некоторых экстремальных местах обитания они сохранились до наших дней. Бактериальный мат схематически можно представить в виде многослойного коврика. Его верхний слой образуют фотосинтезирующие бактерии (чаще это цианобактерии), которые выделяют кислород и производят органику. Под ними расположен слой, образуемый пурпурными бактериями (родственницами тех самых альфа-протобактери, участвующих при симбиогенезе эукариот), — они тоже «фотосинтезируют», но используют при фотосинтезе в качестве донора электрона не воду, а сероводород и выделяют не кислород, а серу и сульфаты. Там же живут и аэробные гетеротрофные бактерии, которые используют кислород для разложения органики. Благодаря их деятельности кислород не проникает в нижний слой бактериального мата, где кислорода почти нет.



В архейскую и протерозойскую эры основной формой жизни были микробные сообщества, так называемые бактериальные маты. В некоторых экстремальных местах обитания они сохранились до наших дней.

Этот нижний анаэробный слой черного цвета населен, например, бродилищниками, вызывающими брожение органики. Побочный продукт их обмена веществ — молекулярный водород, который другие обитатели нижнего слоя бактериальных матов — сульфат-редукторы — используют для восстановления сульфатов, выделенных пурпурными бактериями. В результате образуется сероводород, необходимый пурпурным бактериям. Получается замкнутый химический цикл, в котором участвуют как минимум три компонента — три разные группы микроорганизмов.

ГРИБЫ И РАСТЕНИЯ

Насколько важно взаимоотношение между растениями и грибами говорит тот факт, что без него растениям было бы очень сложно выйти из водной среды и освоить сушу. Недавние открытия показывают, что выход растений на сушу произошел именно благодаря их симбиозу с грибами. Дело в том, что у тех первых растений, которые оказались на суше, не было корней с корневыми волосками, а взамен их были так называемые ризоиды — особые нитевидные структуры. Они были годны для закрепления в грунте, чтобы растение не смыло дождем, но абсолютно не подходили для процесса усваивания питательных веществ и даже воды из почвы.

Палеонтологами было установлено, что на ризоидах первых наземных растений обосновались симбиотические грибы и образовывали особую структуру, так называемую микоризу. Да и еще раньше, предки наземных растений, когда они еще были водорослями и жили в море, вступали в симбиоз с морскими грибами. Почвенные же грибы оказались на суше задолго до растений и здесь они образовывали симбиоз с цианобактериями. Поэтому к выходу на сушу растений на ней уже обитали разные микроорганизмы, постепенно формировавшие почву. Это были, прежде всего, цианобактерии и грибы.

Те виды водорослей, которые смогли выбраться на сушу и дать начало первым наземным растениям, сразу начали действовать в симбиозе с грибами. Ныне ботаники полагают, что первичная функция корней состояла именно в образовании симбиоза с микоризными грибами, а способность что-то всасывать самостоятельно из почвы развилась уже позже.

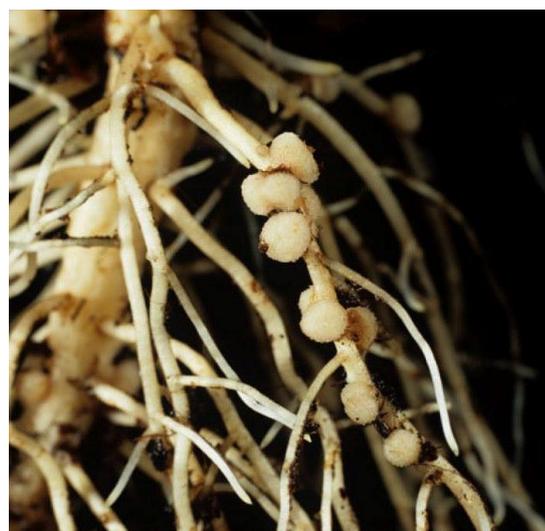


Микориза – дословно означает «грибокорень» - явление взаимовыгодного сосуществования между живыми клетками растений и грибами, заселяющими почву. Недавние открытия показывают, что выход растений на сушу произошел именно благодаря их симбиозу с грибами.

Большая часть всех современных растения (за редкими исключениями) зависят от микоризных грибов, образующих из тонких нитей мицелия грандиозную сеть, которая по своей длине и общей поверхности в сотни тысяч и даже миллионы раз превосходит длину и общую поверхность корней со всеми их корневыми волосками. Всасывание воды, минеральных солей, необходимых микроэлементов для деревьев в основном по-прежнему осуществляют грибы, которые взамен получают от растений органические вещества. По сути, наземные растения — это своего рода сверхорганизмы, симбиоз растения с почвенными грибами.

БОБОВЫЕ И АЗОТФИКСИРУЮЩИЕ БАКТЕРИИ

Другим интересным примером симбиоза в растительном мире является симбиоз бобовых растений и так называемых клубеньковых бактерий. Эти симбиотические азотфиксирующие микроорганизмы открыты в конце XIX века клубеньков (бородавчатых наростов) на корнях бобовых растений. Микроорганизмы назвали клубеньковыми бактериями, и было установлено, что они своей жизнедеятельностью вызывают образование клубеньков, в которых осуществляется фиксация азота из атмосферы. Бактерии в клубеньках питаются органическими соединениями, синтезированными растением, а растение получает из клубеньков связанные соединения азота. Так, между бактериями и растениями устанавливаются симбиотические взаимоотношения.



При симбиозе бобовых растений с азотфиксирующими бактериями, последние образуют на корнях растений небольших наростов – клубеньков. В них осуществляется фиксация азота из атмосферы.

Предполагают, что такой симбиоз возник вследствие перестройки грибной микоризы и состоял из двух этапов. На первом вследствие какого-то изменения условий окружающей среды место грибов-симбионтов заняли схожие с ними актинобактерии, также способные образовывать мицелиальные структуры, схожие с теми, что образуют грибы. То есть образовалась так называемая актинориза – симбиоз растений с актинобактериями. А затем из него путем незначительного генетического

изменения возник симбиоз корней растений с азотфиксирующими (клубеньковыми) бактериями.

Бобовые являются наиболее известными, но далеко не единственными растениями, способными вступать в симбиотические взаимоотношения с фиксирующими азот прокариотами. Корневые клубеньки образуются на корнях некоторых голосеменных, например саговников, гинкговых и хвойных. Растущая в тропиках трава *Digitaria* вступает в слабую ассоциацию с азотфиксирующими бактериями из рода *Spirillum*, бактерии здесь не образуют клубеньков, но располагаются в непосредственной близости от корней и взаимодействуют с ними веществами. В симбиоз с микроорганизмами вступают около двухсот высших растений из различных семейств, в частности ольха, облепиха, толокнянка, некоторые злаки. У многих растений клубеньки образуются не на корнях, а на листьях.

ЛИШАЙНИКИ – СВЕРХОТГАНИЗМЫ

Лишайники – это одни из очень интересных живых организмов и один из ярчайших примеров симбиоза в природе. На сегодняшний день их насчитывается около 26000 видов. Условно их можно разделить на три типа: накипные, листоватые и кустистые. При внимательном рассмотрении лишайника мы увидим, что это не единый организм. Поверхность его, называемая слоевищем (таллом), образовано грибом. Слоевище – это особая структура, внутри которой спрятана водоросль (чаще всего, но не всегда). Таллом служит защитой водоросли от высыхания и опасного воздействия солнечных лучей.

Иногда водоросль в лишайнике может заменять цианобактерия, а иногда симбиоз может возникнуть даже между тремя этими организмами. Раньше считалось, что в одном виде лишайника может быть только один вид гриба. Однако последние исследования открыли то, что в некоторых лишайниках могут присутствовать помимо основного еще и другой гриб, иного семейства и чаще всего одноклеточный.

Вопросы, как и когда, возникли лишайники остаются открытыми. Все дело в бедности палеонтологических находок. Наиболее ранние следы лишайников найдены в девонских отложениях (около 400 миллионов лет назад). В палеонтологической летописи они предстают уже в виде высокоразвитых организмов современного типа. Так что о переходных

формах мы пока можем строить только гипотетические предположения. Предполагают, что первоначально гриб мог быть паразитом водоросли или цианобактерии, и лишь со временем паразитические отношения развились в мутуализм. Возможно, в определенную роль в этом сыграло изменение климатических условий на более засушливые.

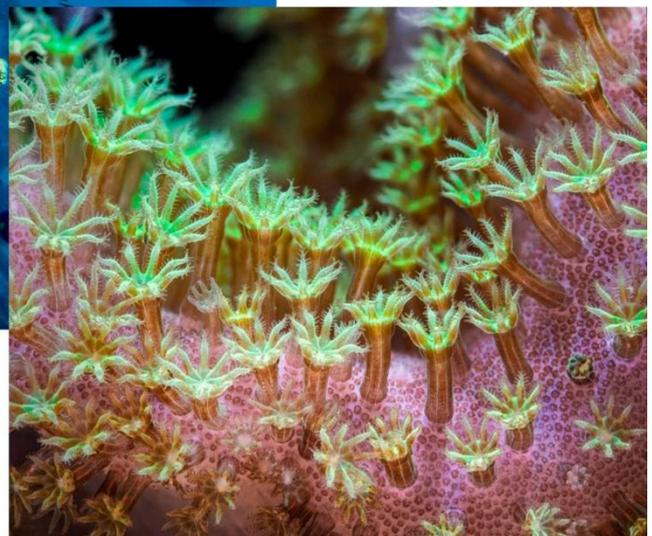
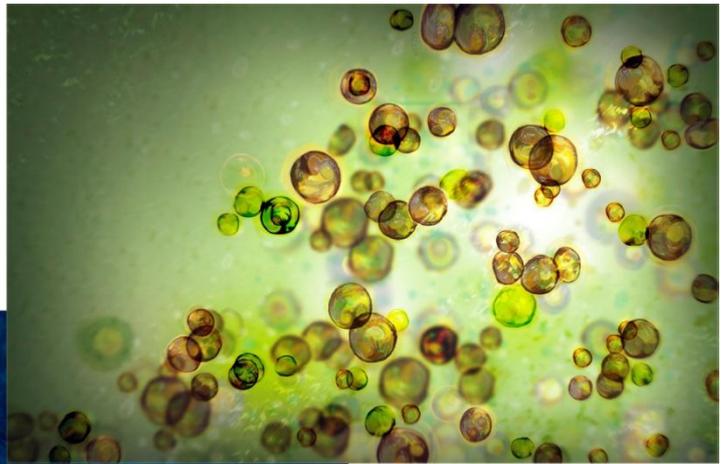


При внимательном рассмотрении лишайника мы увидим, что это не единый организм. Поверхность его, называемая слоевищем (таллом), образовано грибом. Слоевище – это особая структура, внутри которой спрятана водоросль (или, реже, цианобактерия).

КОРАЛОВЫЕ ПОЛИПЫ И ЗООКСАНТЕЛА

Коралловые рифы – поистине удивительные экосистемы мирового океана. Однако в настоящее время наблюдается ухудшение их состояния во всех уголках Земли. Этот процесс получил название «обесцвечивание кораллов». И действительно многообразие красок коралловых рифов уступает серой блеклости. Огромные площади некогда живых кораллов ныне мертвы. А вызван этот процесс тем, что коралловый полип отторгает

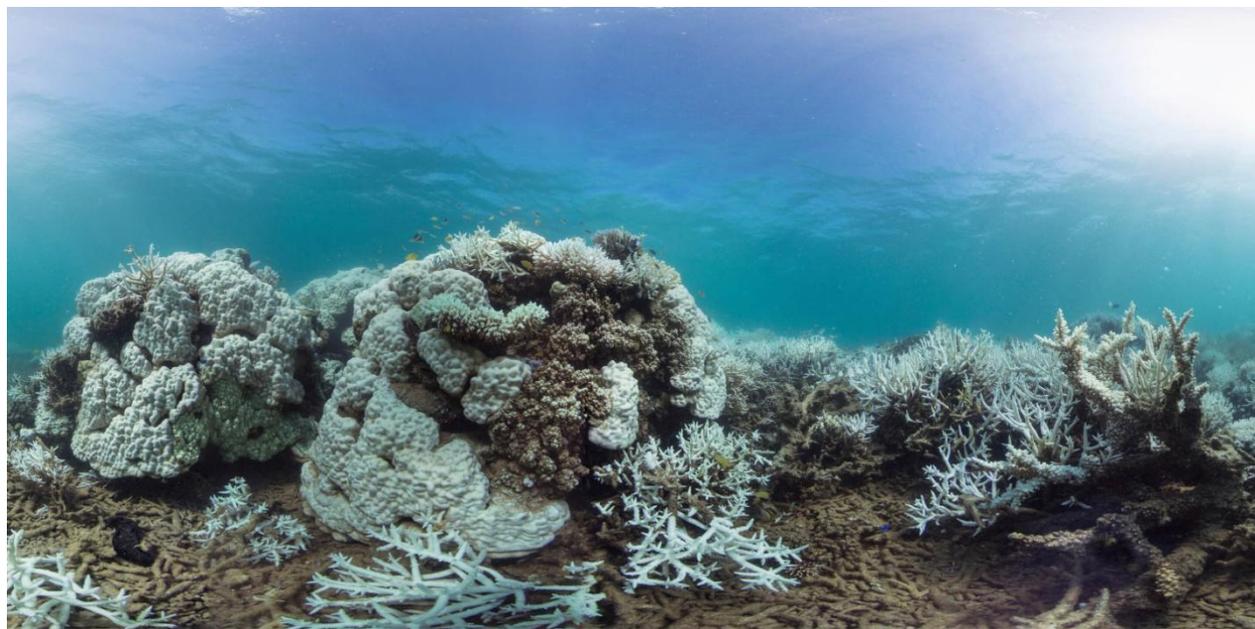
своего симбионта – одноклеточного простейшего зооксантеллу. Зооксантеллы – представляют собой одноклеточные фотосинтезирующие организмы. Они способны жить в симбиозе не только с коралловыми полипами, но и с некоторыми моллюсками, медузами и рядом других морских организмов, однако именно для полипов они являются очень важным симбионтом.



Зооксантеллы (вверху) – микроскопические организмы, живущие в клетках коралловых полипов, поставляют последним львиную долю органического вещества для пищи.

То, что в телах коралловых полипов присутствуют одноклеточные водоросли, было обнаружено еще в конце XIX века, но тогда на них почти не обратили внимания. Более детально их изучением занялись позднее. Зооксантеллы, живущие в разных организмах, имеет ряд отличительных характеристик. И до сих пор нет единого мнения один это вид, имеющий разные штампы, или несколько.

Отдельная клетка зооксантеллы представляет собой округлое тельце диаметром около 0,005 мм. Количество симбионтов в теле коралла довольно большое. Теперь известно, что зооксантеллы играют важную роль в питании коралла. По некоторым оценкам, до 90% пищи полипа приходится на органическое вещество, которое образуется при фотосинтезе его симбионта. Кроме того зооксантелла дает кораллу и дополнительный кислород, а также участвует в процессе образования твердого известкового скелета коралла. За это зооксантелла получает от коралла защиту, такие важные биогенные элементы, как фосфор и азот, а также углекислый газ. Эксперименты, в ходе которых кораллы помещали в темноту, показали, что коралл погибает вскоре после гибели своего симбионта, несмотря на наличие обильного корма в виде планктона.



Обесцвечивание коралловых рифов – неблагоприятное явление, наблюдаемое ныне. Происходит вследствие отторжения полипом своего симбионта.

Находящиеся в тельце зооксантеллы пигменты и придают коралловым рифам их красочное цветовое разнообразие. Однако в последние десятилетия все чаще стало наблюдаться явление нарушения взаимосвязей между организмом кораллового полипа и его симбионтами: коралл буквально может начать выбрасывать здоровые фотосинтезирующие клетки водорослей. Из-за чего теряет свой цвет (обесцвечиваются), значительно снижает темпы своего роста и очень часто погибает. В качестве первопричины обесцвечивания кораллов обычно указывают повышение температуры воды в поверхностных слоях водной толщи. Если это действительно так, то в условиях продолжающегося глобального потепления можно ожидать, что через 20–50 лет коралловые рифы потеряют значительную долю своего биоразнообразия.

АКТИНИЯ, РЫБЫ-КЛОУНЫ И РАК-ОТЩЕЛЬНИК

Актинии (еще их могут называть морскими анемонами) – это животные из класса коралловых полипов, лишенные минерального скелета и обладающие стрекательными клетками. Большинство актинии ведут сидящий одиночный образ жизни. Это хищные животные. Питаются они мелкими беспозвоночными и мелкими рыбами, сперва убивая или парализуя добычу стрекательными клетками, а затем подтягивая ко рту при помощи щупалец. Большинство морских обитателей стремится избегать встреч с актиниями, но есть и исключения.



Рыбы-клоуны – немногие животные, способные жить в тесном контакте с актиниями.

Рыбы-клоуны, обитатели рифов у архипелагов Индийского и Тихого океанов, сумели образовать с актиниями симбиотические отношения. Все рыбы-клоуны, а их насчитывается 30 видов, живут и размножаются в актиниях. Среди их щупалец рыбы находят укрытие от хищников. Стрекательные клетки актинии чутко реагируют на прикосновения других животных, выстреливая специальными нитями-минигарпунами, которые пронзают кожные покровы жертвы. При этом вводятся сложные по составу ядовитые секреты. Однако на прикосновения рыб-клоунов (а также некоторых симбиотических ракообразных) актинии не реагируют.

Почему происходит такая избирательность в отношении рыб-клоунов пока еще не совсем понятно. Ясно только, что дело в каких-то химических компонентах кожной слизи рыб. Причем, для установления мирных отношений рыбы с актинией, когда она впервые в ней поселяется, требуется некоторое время – несколько часов. Первые осторожные прикосновения рыбки к щупальцам актинии, видимо, нужны для стимуляции образования в её коже защитных компонентов слизи.



Раки-отшельники очень часто образуют симбиотические союзы с актиниями.

Рыбы-клоуны устраняют мусор, паразитов, травмированные и пораженные инфекцией ткани анемона. Также они отгоняют хищных рыб, которые могут питаться частями тела актинии (например, рыб-бабочек). Актиниям перепадают остатки трапез рыб. К тому же рыбы улучшают кислородный режим для полипа, вентилируя воду помахиваниями плавников. Это особенно актуально в ночное время, когда симбиотические водоросли актинии прекращают выделять кислород.

Другим симбионтом актинии является рак-отшельник. Раки-отшельники – это надсемейство десятиногих раков, включающих около 450 видов. Большинство видов в качестве укрытий используют пустые раковины моллюсков (а некоторые виды могут специально нападать на моллюсков, для того чтобы завладеть раковиной).

Образ жизни рака-отшельника сильно повлиял на его облик. Обитание в спирально закрученной раковине сказалось на морфологии. Наружу из раковины торчат только три пары ходильных ног, причем первая несет клешни разных размеров. Более крупная клешня используется раком для закрытия входа в раковину. Четвертая и пятая пары ходильных ног развиты слабо и служат для закрепления рака в раковине. Брюшко рака асимметрично и покрыто мягкой кутикулой.

У различных видов раков-отшельников взаимоотношение с актиниями имеет значительную разницу. Некоторые виды стараются найти раковины с уже живущими на них актиниями. Такие взаимоотношения носят временный характер, так как подросший рак бросает свое тесное жилище вместе с прикрепленной к ней актинией, ища более крупную раковину. Однако есть и такие, которые сохраняют «дружбу» на протяжении всей жизни. Такие виды сами находят актинии и переносят их на свои раковины. Существуют также актинии, взрослые особи которых встречаются только на раковинах раков-отшельников. Видимо для их полноценного развития необходимо передвижение, которое обеспечивает ей её симбионт.

Выгода от такого сотрудничества для обоих симбионтов очевидна: рак-отшельник получает дополнительную защиту, также может питаться остатками добычи актинии. А актиния в свою очередь получает мобильность, что дает ей большие шансы на удачную охоту, и при случае, также может питаться остатками трапезы рака.

ТЕРМИТЫ, ЖГУТИКОНОСТЫ И БАКТЕРИИ

Но вернемся из водной среды на сушу. Как известно, термиты питаются древесиной. Однако, для того чтобы её усваивать необходимо уметь разлагать целлюлозу. Термиты не имеют собственных кишечных ферментов для переваривания целлюлозы. Но они нашли выход – это симбиоз с простейшими, которые в свою очередь живут в симбиозе с бактериями. Термиты, лишённые своих симбионтов, погибают от голода.

То есть имеем своего рода матрешку: в кишечнике термита живут жгутиконосцы, а внутри жгутиконосца – бактерии. Термиты находят пищу, различные растительные остатки или деревянные постройки, измельчают древесную массу и доводят ее до состояния, в котором ее могут поглощать жгутиконосцы. Затем за дело берутся живущие внутри жгутиконосца бактерии, которые и проводят основные химические реакции по переработке исходно малосъедобного продукта в форму, которую могут усвоить как простейшие, так и термиты.



Способность термитов питаться древесиной обусловлено их симбиотическими отношениями сразу и с простейшими и с бактериями.

Кроме термитов, кишечные симбионты, участвующие в переработке грубых растительных кормов, обнаружены и у многих других животных. Например, жвачных, грызунов, жуков-точильщиков, тараканов личинок майских жуков и ряда других. Кроме того, виды, питающиеся кровью высших животных (клещи, пиявки и др.), как правило, имеют симбионтов, помогающих переваривать ее.

РАСТИТЕЛЬНОЯДНЫЕ ЖИВОТНЫЕ – СВЕРХООРГАНИЗМЫ

Симбиоз растительноядных животных и бактерий очень распространен. По сути, все фитофаги представляют собой сверхорганизмы: симбиотические комплексы из животного-хозяина и разнообразных бактерий, грибов или простейших (а простейшие, в свою очередь, сами часто имеют бактериальных симбионтов). Например, в одном из отделов сложного желудка жвачных животных, рубце, обитают простейшие – инфузории, которые ферментируют целлюлозу с помощью симбиотических внутриклеточных бактерий. Образованный инфузориями гликоген, а также сами инфузории служат источником питания для организма жвачного животного. У лошадей симбиотические микроорганизмы обитают в слепом кишечнике, и именно здесь происходит расщепление целлюлозы.

КОММЕНСАЛИЗМ

Все приведенные выше случаи относятся к такому типу симбиоза, как мутуализм (причем большая часть к так называемому облигатному мутуализму – когда симбионты не могут существовать друг без друга, и будучи разделенными, погибают). Но симбиотические отношения часто могут носить более простой характер и приносить пользу только одному из симбионтов, а для второго иметь нейтральный характер. Такой тип симбиоза называют комменсализмом. В зависимости от характера взаимоотношений, комменсализм имеет свою собственную форму классификации. Всего таких форм можно насчитать до десятка. Но если говорить простым языком, они сводятся к нахлебничеству, использованию одного другим в качестве транспортного средства или в качестве убежища, использования чужого

жилья. Примеров комменсализма в природе очень много. Поэтому рассмотрим самые яркие из них.



Эпифитные растения тропиков, использующие ветви деревьев в качестве опоры, один из примеров комменсализма.

Примерами поселения одних живых существ на других могут служить мхи и лишайники на деревьях в наших умеренных широтах, а так же растения эпифиты (например, орхидеи) в тропиках. В океанах и морях в качестве примера можно привести усоногих рачков (морские желуди) поселяющихся на теле китов.

Интересно поведение египетских цапель при охоте на насекомых на открытых пространствах. Эти цапли широко распространены в тропической и на юге умеренной зон в Африке, Азии, Европе, Австралии, Южной и Северной Америк. И практически повсюду египетские цапли вступают в так называемые пастбищные ассоциации как с дикими копытными (так же и со слонами) так и с домашними копытными. Цапли используют крупных животных для визуализации своей добычи – попросту говоря, они ловят насекомых, ящериц и других мелких животных, которых вспугиваю крупные травоядные животные. Часто при этом цапли садятся на спины, например, буйволов, носорогов.



Морские желуди или баянусы – морские ракообразные, часто селятся на теле китообразных.

Взаимоотношения между организмами сложны, запутаны и очень интересны. В рамках этого выпуска я сумел показать только малую толику симбиотических отношений. Поэтому приглашаю интересующихся читателей также и к самостоятельным наблюдениям и исследованиям. Ведь мир вокруг нас очень увлекателен. Наблюдайте и познавайте.

Список источников и рекомендованной литературы

1. Марков Александр. Симбиоз – основа растительной жизни.
2. Проворов А. Н. Растительно-микробные симбиозы как эволюционный континуум.
3. Романовская Татьяна. Рыбы-клоуны в актинии (Элементы).
4. Михневич Юлия. Ленивец и его водоросли (Элементы).
5. Гиляров Алексей. Кораллы обесцвечиваются из-за утраты взаимопонимания.
6. Гиляров Алексей. Зооксантелла – невольница кораллов.
7. Метаболическая интеграция организмов в системе симбиоза. Проворов Н. А., Долгих Е. А.
8. Тетиор А. Н. Новая концепция философского осмысления мира и эволюции живой природы.

Иллюстрированный материал взят из свободных источников и адаптирован под издание.

**Электронный познавательный журнал «Corax» распространяется
в свободном доступе и для своего развития нуждается в вашей,
читатели, помощи.**

**Прежде всего – в распространении. Если вам нравится то, что
мы делаем, то поддержите проект лайками, репостами,
комментариями!) Ссылки на группы в социальных сетях
перечислены ниже:**

Instagram - creativecorax

ВК – <https://vk.com/creativecorax>

Фейсбук - <https://www.facebook.com/CreativeCorax>

А поддержать проект материально можно воспользовавшись
электронными платежными системами:

PayPal – igor.maltsev8@gmail.com

Webmoney - Z553707874693

Банковская карта 5168 7520 1105 7695



Соґах

Днепр
2021