



ОТ АВТОРОВ

Продолжаем цикл статей, посвященных теме здоровья почвы. Исследования, которые легли в основу публикаций, успешно проводятся на протяжении последних лет на территории США, а также непосредственно в Вард лаборатории (Ward Laboratories, Inc., Ag Testing – Consulting, Kearney, Nebraska, USA)



Ценность и типы почвенных бактерий



Олег Маслов,
ведущий специалист по анализу почв аналитической лаборатории «Агротест»

Микробы в почве являются ключом к переработке углерода и азота. Чайная ложка плодородной почвы может содержать от 100 млн и до 1 млрд бактерий. Бактерии – это крошечные одноклеточные организмы шириной около 0,2-2 мкм (в среднем – 1 мкм) и длиной около 1-10 мкм. По размеру бактерии сопоставимы с частичками глины (<2 мкм) и ила (2-50 мкм). Они растут и живут в тонких водных пленках вокруг частиц почвы и корней растений в области, называемой ризосферой. Небольшой размер бактерий позволяет им расти и

адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды быстрее, чем более крупным и сложным микроорганизмам. Большинство почв являются своего рода кладбищем для мертвых бактерий. Так как большинство бактерий живут в условиях постоянного голодания или водного стресса, то они научились быстро адаптироваться к условиям окружающей среды и мгновенно репродуцировать, когда вода и пища находятся в изобилии. Популяцию бактерий можно легко удвоить за 30 минут. Бактерии так просты по структуре, что иногда их называют «мешок ферментов».

Классификация бактерий

Бактерии в основном подразделяются на типы. Для упрощения бактерии могут быть объединены в следующие группы:

а) бактерии в зависимости от их формы

До появления секвенирования ДНК бактерии были классифицированы на основе их форм и биохимических свойств. Большинство бактерий принадлежат к трем основным формам: стержень (стержневые бактерии называются бациллы), сфера (сферические бактерии называются кокки) и спираль (спиральные бактерии называются спириллы). Также существуют тонкие

разветвленные нити, называемые актиномицетами. Некоторые бактерии принадлежат к разным формам, которые являются более сложными, чем вышеуказанные;

б) аэробные и анаэробные бактерии

Бактерии, которые нуждаются в кислороде для выживания, называются аэробные. Бактерии, которые не требуют кислорода для выживания, называются анаэробными. Данные бактерии могут погибнуть, если находятся в окисленной среде;

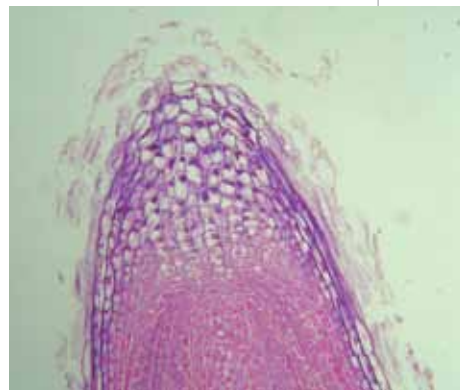
в) грамположительные и грамотрицательные бактерии

Деление бактерий на грамположительные и грамотрицательные основывается на результатах метода Грама. Грамотрицательные бактерии являются самыми

маленькими и имеют тенденцию быть более чувствительными к водному стрессу, в то время как грамположительные бактерии больше по размеру, имеют более толстую клеточную стенку, отрицательный заряд на внешней поверхности и, как правило, противостоят водному стрессу;

г) автотрофные и гетеротрофные бактерии

Это один из самых важных видов классификации. Он учитывает наиболее важный аспект роста бактерий и их размножения. Автотрофные бактерии, также известные как автотрофы, получают необходимый им углерод из углекислого газа. Некоторые автотрофы непосредственно используют солнечный свет для получения сахаров из углекислого газа, тогда как для других это зависит от



Корень и ризосфера в пределах 50 мкм от поверхности корня

различных химических реакций. Гетеротрофные бактерии получают углеводы и/или сахара из окружающей среды, в которой они находятся;

д) классификация основана на филах

На основе морфологии секвенирования ДНК, необходимых условий и

биохимии ученые классифицировали бактерии в 12 фил. Каждая фила соответствует числу видов и родов бактерий. Эта классификация включает бактерии, которые могут находиться в различных типах сред, например:

- бактерии, которые могут выживать в экстремальных



температурах – экстремальные холода и жара;

- бактерий, которые могут выживать в различных средах – сильно кислая и сильно щелочная среды;
- аэробные бактерии в сравнении с анаэробными бактериями;
- автотрофные бактерии в сравнении с гетеротрофными и т. д.

Функции почвенных бактерий

Бактерии выполняют важные функции в почве, разлагая органические остатки из ферментов, секретируемых в почве. Есть четыре основные функциональные группы почвенных бактерий.

1. **Decomposers** (деструкторы) – бактерии, которые потребляют простые сахара и соединения углерода, такие как корневые выделения и свежие растительные остатки.
2. **Mutualists** – бактерии, формирующие партнерские отношения с растениями; пример: ризобии – азотфиксирующие бактерии.
3. **Lithotrophs** (хемоавтотрофы) – бактерии, которые получают энергию из соединений азота, серы, железа или водорода, а не из углеродных соединений.
4. Бактерии также могут быть патогенами для растений.

Бактерии в почве преобразовывают энергию органического вещества в формы, полезные для остальных организмов. Ряд бактерий деструкторов (*Decomposers*) могут разрушать остатки пестицидов и некоторые другие загрязняющие вещества в почве. Эти бактерии особенно важны для иммобилизации или сохранения питательных веществ, тем самым предотвращая потери питательных веществ, таких как



Почвенные бактерии



Почвенная бактерия *Pseudomonas aeruginosa*

азот из корневой зоны. Бактерии всех четырех групп выполняют важные функции, связанные с динамикой воды, круговоротом питательных веществ и противостоянием болезням. Некоторые бактерии производят вещества, которые помогают связывать частицы почвы в микроагрегаты (2-200 мкм). Стабильные агрегаты улучшают инфильтрацию воды и повышают водоудерживающую способность почвы. Также популяции бактерий конкурируют с болезнетворными организмами в корнях и на поверхности растений. Азотфиксирующие бактерии (ризобии) образуют симбиотические ассоциации с корнями бобовых. Ризобии являются граммотрицательными бактериями. Создаются видимые глазу узелки в местах, где бактерии заражают растущий корень растения. Растение поставляет простые сахара к бактериям, а бактерии преобразовывают атмосферный азот из воздуха в нитратную и аммонийную формы, которые растение может использовать. Когда листья или корни растения разлагаются, коли-



Узелки образуются там, где ризобии инфицируют корни сои

чество азота в почве увеличивается. Для фиксации бактериями атмосферного азота нужны анаэробные условия. Нитрифицирующие бактерии сначала превращают аммоний в нитрит, а затем в нитрат, который является предпочтительной формой азота для большинства пропашных культур. Нитрифицирующие бактерии нужны почвам с чрезмерной аэрацией. Нитрат легко выщелачивается из почвы, поэтому некоторые фермеры используют ингибиторы нитрификации для понижения активности нитрифицирующих бактерий. Денитрифицирующие бактерии превращают нитраты в атмосферный азот или закись азота. Денитрификаторы являются анаэробными бактериями, то есть они активны при отсутствии кислорода, например в уплотненных почвах или внутри почвенных микроагрегатов. В тяжелых глинистых почвах до 40-60% азота может быть потеряно при денитрификации. Хотя существует множество бактерий в почве, только небольшая специализированная группа азотфиксиру-

ющих бактерий может фиксировать атмосферный азот. Фиксация азота не может происходить без участия специальных нитрогеназных ферментов конкретных бактерий. Азотфиксирующие бактерии присутствуют в большинстве типов почв как симбиотические виды, однако они, как правило, составляют очень небольшой процент от общего количества популяций микроорганизмов и имеют низкую способность фиксации азота. Сера, как и многие другие питательные вещества, трансформируется в почве таким же образом, как азот. Специальные бактерии в анаэробных условиях делают серу менее доступной для растений путем ее преобразования в сероводород в водонасыщенных почвах, осажая серу из почвы в виде нерастворимых сульфидов различных металлов. В хорошо аэрируемых условиях бактерии преобразуют серу из сульфидов металлов в сульфатную форму через промежуточные стадии с образованием элементарной серы и тиосульфата. Актиномицеты – большая группа бактерий, которые

растут как грибы и аналогичны грибам функционально. Актиномицеты по размеру (1-2 мкм) меньше грибов (10-50 мкм) и довольно чувствительны к антибактериальным агентам. Когда фермеры пахут почву, именно актиномицеты ответственны за специфический «земляной» запах, источником которого являются стрептомицеты. Ряд антибиотиков производится из актиномицетов, в том числе стрептомицин. Актиномицеты разлагают многие вещества и являются более активными при высоких значениях pH. Актиномицеты особенно важны в деградации трудно разлагающихся соединений, таких как хитин, лигнин, кератин, грибковая целлюлоза и животные полимеры. При низком значении pH более активными в деградации подобных соединений являются грибы. Актиномицеты важны при формировании стабильного гумуса, что повышает структуру почвы, улучшает запас питательных веществ в ней и повышает ее способность удерживать воду.

Преимущества грунтовых бактерий

Многие виды бактерий процветают на различных источниках пищи и в разных микросредах. В общем, бактерии являются более конкурентоспособными, когда в ризосфере присутствуют легко усваиваемые (лабильные) субстраты (простые сахара). Это свежие остатки растений и соединения, которые содержатся рядом с живыми корнями. Бактерии, особенно стержневые и грамотрицательные, и актиномицеты сконцентрированы в ризосфере вокруг корней. Актиномицеты могут составлять от 10 до 30% от общего объема микроорганизмов в ризосфере почвы в зависимости от питательной доступности. Некоторые растения производят определенные типы корневых выделений, чтобы стимулировать рост защитных бактерий. Многие бактерии вырабатывают слой из полисахаридов и гликопротеинов, которые покрывают поверхность клетки. Одни образуют слизистый слой, а другие – густую гелеобразную капсулу, которая уменьшает потерю воды из клетки бактерии.

Эти вещества играют важную роль в цементировании песка, ила и глинистых частиц почвы в стабильные микроагрегаты, которые улучшают структуру почвы. Для того чтобы бактерии могли выжить в почве, они должны адаптироваться к разным микросредам. Концентрации кислорода в почве могут широко варьироваться. Большие поры, заполненные воздухом, обеспечивают высокий уровень кислорода, что способствует образованию аэробных условий. В то же время мелкие микропоры могут быть анаэробной средой, где не хватает кислорода. Это разнообразие в почвенных микросредах позволяет бактериям процветать при различных уровнях влажности почвы и содержании кислорода, потому что даже после наводнения (насыщение почвы, недостаток кислорода) или обработки почвы (диффузия кислорода) существуют небольшие микросреды, где различные виды бактерий и микроорганизмов могут существовать. Как естественная преемственность происходит в растительном сообществе,

так же преемственность происходит и в почве. Бактерии обладают способностью изменять почвенные среды в пользу определенных растительных сообществ. На свежих отложениях фотосинтезирующие бактерии, фиксирующие атмосферный азот и углерод, производят органические и другие питательные вещества, чтобы инициировать процессы круговорота питательных элементов в молодой почве. Бактерии доминируют в пропашных или разрушенных почвах, почвах с высоким значением pH и с высокой доступностью нитратного азота, который является идеальным местом для сорняков. Поскольку почва разрушается меньше, а разнообразие растений увеличивается, почвенная пища становится сбалансированной и разнообразной, что делает питательные вещества почвы более доступными для высших растений. Разнообразные микробные популяции и грибы, простейшие организмы и нематоды поддерживают утилизацию питательных веществ и болезнетворные организмы под контролем. □