На сайт!

**Агрономически полезная микрофлора. Как это работает? Часть 1.**

2 АВГУСТА 2018



В настоящее время население планеты составляет около 7 млрд человек, при этом до 2020 года ожидается его стремительное увеличение до 8 млрд. Значительный рост количества людей приведет к быстрой индустриали­зации планеты и, соответственно, ухудшению экологических условий. ПО мнению многих ученых, чтобы накормить мир, необходимо пересмотреть многие из существующих подходов к ведению сельского хозяйства, в частности использование химических удобрений и пестицидов.

Глобальное повышение продуктивности сельхозкультур, достигнутое в последнее десятилетия, также привело к значительному повышению (в 15–20 раз) количества используемых синтетических пестицидов, которые применяют для борьбы с вредителями культурных растений, однако эффект от применения увеличенных доз становится менее устойчивым – почвы активно теряют свое плодородие. И, если даже завтра остановить использование химических препаратов, для восстановления плодородия почв и улучшения экологической ситуации нужно будет не один десяток лет. Поэтому ближайшие 20 лет мировая тенденция развития сельского хозяйства будет направлена на существенное повышение производительности культурных растений путем использования экологически безопасных технологий, среди которых и применение агрономически полезных микроорганизмов – PGPB (Plant-Grows Promotion Bacteria). Рынок коммерческих биоудобрений и биопестицидов, как ожидается, превысит 7 млрд долларов США до 2019 года, демонстрируя двукратное темпы годового прироста в период между 2013 и 2019 годами.

**Что такое PGPB?**

Грунт заселен микроскопическими формами жизни, которые включают бактерии, грибы, актиномицеты, простейшие и водоросли. Их основную роль можно охарактеризовать практически одним предложением – сохранить плодородие почвы, обеспечивая растения всеми необходимыми элементами питания. Количество и тип микроорганизмов в различных почвах отличаются и находятся под влиянием температуры, влажности, наличия солей и других химических веществ, а также зависят от разнообразия растений, которые растут на данных почвах. При этом воздействие конкретной бактерии на растение, может изменяться в зависимости от условий. Например, микроорганизмы, которые способствуют росту растений путем обеспечения ее фиксированным азотом или мобилизованными соединениями фосфора теряют свою эффективность при внесении значительных количеств химических удобрений.

По типу взаимодействия с растениями PGP-бактерии разделяют на свободноживущие, ассоциативные (обитают в прикорневой зоне растения-хозяина), симбионты (формируют взаимовыгодные отношения с растениями) и эндофиты (колонизируют некоторые растения либо части их внутренних тканей). Несмотря на различия между этими бактериями, все они используют одни и те же механизмы для влияния на развитие растений – увеличивая доступность питательных соединений и модулируя фитогормональную активность (прямые), либо уменьшая ингибирующее действие различных биотических и абиотических факторов, то есть выполняя роль биопестицидов и иммуно­модуляторов (косвенные).

**Прямые механизмы воздействия полезных бактерий на растения**

Наиболее изученные механизмы стимулирования роста растений бактериями включают обеспечение растений дефицитными или труднодоступными питательными веществами: азотом, фосфором, калием, железом. Многие сельскохозяйственные почвы не имеют достаточного количества одного и более из упомянутых соединений, что приводит к снижению продуктивности растений. Чтобы устранить эту проблему и получить более высокие урожаи, фермеры становятся все более зависимыми от химических источников азота либо фосфора. Кроме того, химические удобрения достаточно дорогостоящие, а на их производство используются невосстанавливаемые источники энергии, поэтому выгода от биологических средств обеспечения растений азотом и фосфором, которые могли бы заменить часть химических удобрений, очевидна.

Наиболее известным примером использования бактерий, конечно же, является обработ­ка семян бобовых штаммами бактерий вида Rhizobium. Этот подход обеспечивает быструю колонизацию, нодуляцию и фиксацию атмосферного азота (N2) с помощью соответствующего штамма. В настоящее время эффективность инокуляции бобовых является общепризнанным фактом, что привело к значительному распространению в мире широкого спектра препаратов, а инокулянты для бобовых можно считать историей успеха прикладной почвенной микробиологии.

Не менее значительный вклад в обеспечение растений различными формами азота вносят ассоциативные и свободноживущие микро­организмы- азотфиксаторы. Среди них наиболее распространенными микроорганизмами являются различные штаммы Azospirillum, Azotobacter, Acetobacter и др.

Несмотря на гораздо меньшую их эффективность по сравнению с ризобиями (в среднем 30 кг азота против 220 кг), в мировых масштабах их глобальный вклад в обеспечение растений данным элементом составляет более 70%.

Количество соединений фосфора в почве, как правило, достаточно высоко, но большая его часть недоступна для питания растений. Нерастворимые соединения фосфора присутствуют в виде или неорганических минералов, таких как апатиты, или в качестве органических форм, включая инозитфосфат (почвенный фитат), фосфомоноефиры и фосфотриефиры. Кроме того, значительная часть растворимых соединений неорганического фосфора, кото­рый используется в качестве химических удобрений, в течение короткого времени иммобилизуется и становится недоступной для растений, что лимитирует получение высоких урожаев. Таким образом, солюбилизация и минерализация фосфора фосфатмобилизирующими бактериями является важной чертой PGPB, таких как Bacillus, Pseudomonas, а также грибов Aspergillus, Trichoderma, Penicillium и микоризных.

Железо является четвертым самым распространенным элементом на земле. В аэробных почвах оно плохо усваивается бактериями или растениями, поскольку ионы трехвалентного железа или Fe³⁺, которые преобладают в природе, слаборастворимы, так что его количество, доступное для усвоения живыми организмами, крайне низкое. И микроорганизмам, и растениям необходим высокий уровень железа. В связи с этим получить его достаточное количество в ризосфере еще более проблематично, поскольку и растения, и бактерии, и грибы конкурируют за данный элемент. Для того чтобы выжить в условиях с ограниченными запасами доступного железа, бактерии синтезируют низкомолекулярные сидерофоры – молекулы с исключительно высоким сродством к Fe³⁺, а также мембранные рецепторы, способные связываться с железо-сидерофорными комплексами, тем самым облегчая поглощение железа микро­организмами.

Обеспечение бактериальным железом растений особенно важно в условиях воздействия на растения стрессовых факторов, в частности тяжелых металлов.

**Модуляция уровня фитогормонов**

Растительные гормоны играют ключевую роль в росте и развитии растений и в его ответе на воздействие факторов окружающей среды. Кроме того, в течение всего периода вегетации растение часто подвергается влиянию стрессовых факторов, которые могут ограничивать его рост. Когда растения сталкиваются с негативным воздействием окружающей среды, они часто пытаются его нивелировать, путем изменения уровней эндогенных фитогормонов. Поскольку эта стратегия является достаточно успешной и ризосферные микроорганизмы в лабораторных условиях также выделяют фито­гормоны, то считается, что многие PGP-бактерии могут влиять на гормональный баланс растений и, соответственно, его реакцию на стресс.

Например, в ряде исследований было показано, что значительное количество почвенных бактерий могут продуцировать соединения ауксиновой, цитокининовой или гиббереллиновой природы или несколько видов одновременно. Однако в настоящее время нет детального понимания роли бактериальных фитогормонов, поскольку значительная часть исследований, указывающая на положительную роль этих веществ, основана на теории и интерполяции эффектов, которые мы наблюдаем при экзогенной обработке данными гормонами. Кроме того, значительная часть фитопатогенов синтезирует значительно большее количество стимулирующих гормональных веществ, по сравнению с PGP бактериями, и при этом их действие является ингибирующим.
Синтез в растениях гормона стресса – этилена – увеличивается в ответ на действие экстремальных температур, наводнения, засухи, наличие токсичных металлов и органических загрязнителей, ранений, засолений, действие хищных насекомых, различных болезнетворных микроорганизмов, включая вирусы, бактерии и грибы. Некоторые почвенные бактерии положительно влияют на рост и развитие растений, синтезируя фермент ACC-дезаминазу, которая блокирует чрезмерное выделение данного стрессового гормона.

**ИТОГ: уменьшение использования химпрепаратов**

Исходя из представленных данных, выгода от использования биологических препаратов очевидна: они могут заменить часть азота и фосфора, которые мы привыкли вносить в качестве химических удобрений, за счет повышения доступности элементов питания для растений и модуляции уровня фитогормонов, что в результате положительно влияет на развитие сельскохозяйственных культур. Однако наиболее выраженная выгода от использования биологических препаратов наступает при их интеграции в комплексные системы защиты растений, предусматривающие умеренное применение химических средств питания и защитыкультур.

Источник: [infoindustria.com.ua](http://infoindustria.com.ua/agronomicheski-poleznaya-mikroflora-kak-eto-rabotaet/)

1. Агрономически полезная микрофлора: косвенное воздействие. Часть 2.

4 АВГУСТА 2018



*Применение микроорганизмов в сельском хозяйстве становится жизненно необходимым. Продолжаем цикл материалов об агрономической полезной микрофлоре, которую так же называют PGPB (plant growth promoting bacteria). Речь пойдет о благотворном влиянии, которое оказывают различные штаммы бактерий и грибов на сельскохозяйственные культуры посредством косвенных механизмов.*

Способность биоконтролирующих бактерий косвенно способствовать развитию растений представляет значительный интерес не только с научной точки зрения, но и с практической. Поскольку развитие понимания основных механизмов, используемых биоконтролирующими бактериями, расширяет возможности их эффективного коммерческого использования в качестве аналогов химических пестицидов.

**Антибиотики и литические ферменты**

В первую очередь полезные бактерии ассоциируются со способностью предотвращать распространение возбудителей болезней растений, поскольку PGPB синтезируют целый ряд различных антибиотиков. Правда, существует одна из проблем использования антибиотиков в качестве агентов биоконтроля: постепенно фитопатогены становятся устойчивыми к этим антибиотикам. Исследователи решили данную проблему благодаря использованию биоконтролирующих штаммов, синтезирующих цианистый водород, а также применению одного или несколько антибиотиков одновременно.

Некоторые биоконтролирующие бактерии вырабатывают ферменты, такие как: хитиназы, целлюлазы, глюканазы, протеазы и липазы. Они могут расщеплять часть клеточных стенок многих патогенных грибов. Соответственно, PGP бактерии, которые синтезируют один или несколько из этих ферментов, проявляют мощную биоконтролирующие активность против патогенных грибов.

**Сидерофоры**

Некоторые бактериальные штаммы могут применять в качестве агентов биоконтроля собственные сидерофоры. Этот эффект достигается благодаря снижению содержания доступного железа, что ограничивает способность патогенов к размножению. Биоконтролирующие PGP бактерии производят сидерофоры, которые имеют значительно большее сродство к железу, чем те, что выделяются грибковыми патогенами, поэтому грибы не могут размножаться в ризосфере корней растения-хозяина из-за недостатка железа.

**Биопестициды**

Биологические пестициды разделяют на: биофунгициды, биоинсектициды, бионематоциды, биогербициды.

**Биофунгициды**

Чтобы избежать потерь урожая, вызванных патогенными грибами на семенах растений или в грунте, часто необходима обработка фунгицидами. Обработка семян микробными антагонистами грунтовых патогенов является идеальной системой их доставки. Поскольку инокулюм вводится в ризосферу, где возбудители болезней растений активно действуют, вызывая гниение семян.

Конкуренция между возбудителями болезней и PGPB может значительно снизить заболеваемость растений. Ведь питательна среда для большинства форм микрофлоры одна.

И значительное содержание непатогенных микроорганизмов в почве приводит к быстрой колонизации ими поверхности растений. И это, соответственно, ведет к использованию большинства доступных питательных веществ, что автоматически тормозит развитие патогенных микроорганизмов. Штаммы Bacillus больше всего подходят для разработки стабильных и эффективных биологических препаратов. Их способность образовывать термостойкие споры позволяет им лучше выживать в условиях стресса по сравнению с видами, не способными к спорообразованию.

Также для обработки семян часто используют грибы Trichoderma. Они способны контролировать патогенные грибы аскомицеты, базидиомицеты и оомицеты, а также проявляют активность против нематод. Trichoderma также улучшает рост растений путем многочисленных дополнительных механизмов, в том числе, за счет повышения системной устойчивости культур и усиления корневой пролиферации.

Однако нужно понимать, что эффективность биопрепаратов во многом зависит от свойств биологического агента и способа их применения – инокуляция семян или внесение в почву. Имеет значение даже сам метод инокуляции – это инкрустация или пленочное покрытие.

Необходимо также отметить, что один и тот же микробный агент может эффективно защищать семена от патогенов, но при этом тормозить развитие самих растений. В каждом отдельном случае необходим свой индивидуальный подход. Поэтому помощь специалистов никогда не будет лишней.

Популярность биофунгицидов стремительно растет. Первый препараты был зарегистрирован в ЕС в 1997 году. И сегодня биофунгициды используются на площадях более двух миллионов гектар.

**Биоинсектициды**

Многие грунтовые насекомые-вредители привлекаются соединениями, которые выделяют в почву прорастающие семена. Несмотря на это, микробная инокуляция семян для защиты культур от насекомых проводится нечасто, хотя среди всех способов введения микробных агентов в корневую зону, обработка семян является наиболее эффективной, поскольку именно там вероятность контакта корней с вредителями очень высока. Открытие энтомопатогенной активности у гриба Metarhizium anisopliae, который является эффективным колонизатором ризосферы растений, указывает на целесообразность его применения при обработке семян. Этот гриб используется для защиты семян кукурузы от проволочника Agriotes obscures и пастбищных (газонных) трав от жука Adoryphorus couloni. Причем внесение спор этого гриба для защиты растений в почву менее эффективно, чем инокуляция семян. Правильность концепции внесения биоинсектицидов путем обработки семян была продемонстрирована на моркови, пшенице и райграсе. Важно отметить, что уровень защиты, обеспеченный микробным препаратом, часто аналогичен тому, который достигается при применении химических инсектицидов для протравливания семян.

**Бионематоциды**

Нематоды — это микроскопические черви, развивающиеся во влажной среде, которые паразитируют на растении, вызывая сильные изменения в их развитии и приводящие к гибели растений. Нематоцидная бактерия Bacillus firmus является наиболее эффективным микроорганизмом для борьбы с этим вредителем и основным биологическим агентом многих коммерческих препаратов. Основное преимущество этим микроорганизмам обеспечивает их способность формировать споры. На данный момент некоторые компании используют данную бактерию совместно с химическим инсектицидом, что значительно повышает эффективность борьбы с вредителем и при этом существенно снижает количество применяемого химического агента. Этот продукт используется для борьбы с насекомыми-вредителями и растительными нематодами ряда сельскохозяйственных культур, таких как: кукуруза, хлопок, сорго, соя и сахарная свекла.

Спорообразующие бактерии Pasteuria spp. также хорошо известны как эндопаразиты нематод растений. Однако их применение возможно лишь в форме гранулированных препаратов, что снижает эффективность их доставки к корневой системе растения.

**Биогербициды**

В ряде опытов было показано, что злаковый сорняк костром кровельный (Bromus tectorum) вызывает значительное снижение урожайности пшеницы. Некоторые штаммы ризосферных микроорганизмов, такие как Pseudomonas putida, Stentotrophomonas maltophilia, Entero­bacter taylori способны подавлять развитие этого сорняка, влияя на развитие его корневой сис­темы и всхожесть семян. После нанесения на семена пшеницы, эти бактериальные штаммы успешно колонизировали ризосферу сорняка и снижали его способность к поглощению питательных веществ.

**Индуцирование системной устойчивости**

PGP бактерии могут вызвать в растениях явление, известное как индуцированная системная устойчивость (ИСС). ИСС-положительные растения быстрее и активнее реагируют на влияние патогена, благодаря быстрой индукции защитных механизмов. ИСС не ориентирована на конкретные патогены и эффективна при воздействии стрессовых факторов различной природы.

Индуцирование системной устойчивости растений не предполагает прямой контакт между PGPB и патогеном, а воздействие идет непосредственно на само растение. В качестве сигналов для индукции системной устойчивости выступают так называемые нетрадиционные гормональные вещества такие как: жасмонаты, ингибиторы етилена, липополисахариды и глюканы, аминокислоты и полипептиды, хитин и его производные, циклические карбоновые кислоты, салициловая кислота и многие другие.

**Модулирование эффекта стрессовых факторов окружающей среды**

В идеальных условиях, большая часть роста и развития растений протекает более или менее равномерно. Но развитие растений может быть заторможено воздействием различных биотических и абиотических стрессовых факторов. Это могут быть: перепады температур, интенсивность освещения, засуха, засоление, наличие токсичных металлов и органических загрязнителей, радиация, физические повреждения, хищные насекомые и нематоды, вирусы, бактерии и грибы. Кроме того, во время вегетации, растение может быть подвержено ряду не летальных стрессов, которые, в свою очередь, ограничивают его развитие либо до ликвидации стрессового фактора либо до адаптации метаболизма для преодоления стресса. Таким образом, на практике, развитие растений, как правило, состоит из периодов максимального развития с периодами ингибирования роста различного уровня. PGP бактерии применяют одновременно несколько механизмов для преодоления ингибирования развития растений.

Засуха является ключевым стрессовым фактором, ограничивающим производство сельскохозяйственных культур и станет еще более серьезной проблемой при текущих прогнозах изменения климата. Поэтому возрождается интерес к микроорганизмам, способным улучшать устойчивость растений к стрессу с помощью широкого спектра механизмов, включающих изменение уровней фитогормонов или производство бактериальных экзополисахаридов. Например, штамм Pseudomonas putida, колонизируя ризоплану подсолнечника, адгезирует частицы почвы к корням, увеличивая при этом процент стабильных агрегатов почвы, поддерживая, тем самым, более высокий водный потенциал вокруг корней. Адгезия почвы и образование агрегатов происходит за счет выделения данным микроорганизмом полисахарида, который способен удерживать влагу.

Солевой стресс является еще одним ключевым абиотическим фактором, ограничивающим производство сельскохозяйственных культур. Обработка семян солеустойчивыми или засухоустойчивыми изолятами гриба Trichoderma снижает воздействие стресса на растения пшеницы за счет выделения антиоксидантных веществ и деактивации активных форм кислорода.

**Изменение гормонального баланса растений**

Большинство из вышеупомянутых стрессов приводит к образованию подавляющих развитие растений уровней этилена. Снизить чрезмерный уровень этилена можно за счет использования PGPB, синтезирующих фермент AЦК-дезаминазу. Проведенные по всему миру исследования, показывают, что множество различных PGPB с АЦК-дезаминазной активностью могут обеспечить существенную защиту растений от целого ряда абиотических стрессов.

В современной научной литературе было высказано предположение, что некоторые PGP бактерии могут помочь растениям преодолеть абиотические стрессы за счет обеспечения их ауксином в концентрации, стимулирующей рост растений, даже при наличии блокаторов синтеза этого гормона.

Необходимо добавить, что наиболее эффективно защищают растения от широкого спектра различных стрессов бактерии, которые способны одновременно синтезировать как ауксины, так и AЦК-дезаминазы.

Целый ряд почвенных бактерий и грибов способны синтезировать цитокинины. Во многих исследованиях было показано, что трансгенные растения-гиперпродуценты цитокининов существенно защищены от вредного воздействия абиотических стрессовых факторов. Однако, на данный момент нет никаких результатов, подтверждающих способность бактериальных цитокининов влиять на устойчивость растений к стрессам.

**Синтез трегалозы и антифризовых белков**

Трегалоза является широко распространенным в природе не возобновляемым дисахаридом. Она встречается в бактериях, дрожжах, грибах, растениях, насекомых и беспозвоночных животных. Высокий уровень трегалозы может выступать в качестве защиты от нескольких различных абиотических стрессов. Трега­лоза – высокостабильная молекула, которая устойчива к кислотам и высоким температурам и способна связывать воду в клетках, образуя гелевую фазу и, как следствие, снижать ущерб от засухи и засоления. Кроме того, трегалоза может предотвращать частичную деградацию и агрегацию белков, происходящую при высоких и низких температурах.

Одним из способов повышения толерантности растений является обработка растений PGP бактериями, синтезирующими большое количество трегалозы. Обработка бобовых растений симбиотическими бактериями Rhizobium etli, которые с помощью генной инженерии приобрели способность активно синтезировать трегалозу, приводила к большему формированию клубеньков и увеличению азотфиксирующей активности. Она также повышала устойчивость растений к засухе, в сравнении с растениями, инфицированными исходным штаммом. При обработке кукурузы штаммом-суперпродуцентом трегалозы Azospirillum brasilense, обработанные растения были более устойчивыми к засухе и формировали большую биомассу, чем растения, обработанные исходным штаммом.

Почти двадцать лет назад, впервые появилось несколько сообщений, о том, что некоторые психрофильные и психотропные бактерии, в том числе PGPB, секретируют в окружающую среду антифризовые белки, что позволяет им расти при низких температурах. Бактериальные антифризовые белки, также регулируют образование льда за пределами бактерии, защищая таким образом стенки и мембраны растительных клеток от потенциально летальных повреждений (прокалывания) крупными кристаллами льда, которые могут возникнуть при минусовых температурах.

Природа не перестает удивлять нас своим совершенством. Человек только относительно недавно изобрел средства защиты растений и удобрения, которыми природа, как оказалось, владела с незапамятных времен. Нам необходимо только “приручить” полезные бактерии и грибы, которые смогут решить за нас если не все, то очень многие задачи в сельском хозяйстве. При этом, не навредив ни почве, ни растению.

*Павел Маменко*
*канд. биол. наук*

Источник: [infoindustria.com.ua](http://infoindustria.com.ua/agronomicheski-poleznaya-mikroflora-kosvennoe-vozdeystvie/)