



ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ ПОЧВЫ НА РОСТ РАСТЕНИЙ

Иванова Анна Сергеевна

Студент, кафедра почвоведения и агрохимии Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
г. Москва, Россия

Павлов Дмитрий Викторович

Кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
г. Москва, Россия

Аннотация

Статья посвящена комплексному рассмотрению роли почвенных микроорганизмов в росте и развитии растений, а также анализу современных подходов к изучению микробиоты почвы в контексте устойчивого земледелия. Рассматриваются основные функциональные группы микроорганизмов, влияющих на питание, иммунитет и адаптацию растений к стрессовым условиям, включая ризосферные бактерии, микоризные грибы, азотфиксирующие и фосфатмобилизующие микроорганизмы. Анализируются механизмы воздействия микробиоты на корневое питание, гормональный статус, структуру корневой системы, устойчивость к патогенам и абиотическим стрессам. Особое внимание уделяется понятию ризосферы как зоны интенсивного биологического взаимодействия, структурной организации микробных сообществ и их связи с физико-химическими свойствами почвы. Описаны классические и молекулярно-генетические методы изучения почвенных микроорганизмов, включая культуральные подходы, микроскопию, методы ПЦР, секвенирование нового поколения и метагеномный анализ. Рассматриваются перспективы использования микробных консорциумов и биопрепаратов для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, восстановления деградированных почв и формирования устойчивых агроэкосистем.

Ключевые слова: почвенные микроорганизмы, ризосфера, рост растений, микориза, азотфиксация, фосфатмобилизация, микробиом почвы, устойчивое земледелие.

Введение

Почва традиционно рассматривается как основная среда обитания растений, обеспечивающая их водой, элементами питания и опорой для корневой системы. Однако современная наука всё более отчётливо показывает, что почва является не просто физико-химической матрицей, а сложной живой системой, в которой микроорганизмы играют ключевую роль в регулировании биологических процессов. Миллиарды бактерий, архей, грибов и простейших, населяющих единицу объёма почвы, формируют тонко сбалансированную сеть взаимодействий, от которой напрямую зависит рост, развитие и устойчивость растений.

Интерес к почвенной микробиоте существенно возрос в последние десятилетия на фоне необходимости перехода к устойчивому земледелию, сокращения использования минеральных удобрений и пестицидов, восстановления плодородия и смягчения последствий антропогенной нагрузки на экосистемы. Понимание того, как микроорганизмы влияют на корневое питание, формирование иммунной защиты, адаптацию к засухе, засолению или уплотнению почв, становится стратегически важным для разработки новых агротехнологий.

Целью данной статьи является систематизация сведений о влиянии почвенных микроорганизмов на рост растений, раскрытие основных механизмов этого влияния, характеристика ключевых групп микробиоты и анализ современных методов её изучения. Особое внимание уделено взаимосвязи структуры микробных сообществ и продуктивности растений, а также возможностям целенаправленного управления почвенной микробиотой в интересах сельского хозяйства.

Теоретические основы взаимодействия растений и почвенных микроорганизмов

Взаимодействие растений и микроорганизмов основано на обмене веществами и сигналами, формирующем сложную систему биологической коммуникации. Растения, выделяя в почву корневые экссудаты, создают вокруг корней особую зону — ризосферу, в которой концентрация органических соединений, включая сахара, аминокислоты, органические кислоты и вторичные метаболиты, значительно выше, чем в окружающей почве. Эти соединения служат источником энергии и сигнальными стимуляторами для микроорганизмов, которые, в свою очередь, оказывают многостороннее влияние на растения.

Почвенная микробиота участвует в трансформации органического вещества, минерализации остатков, образовании гумуса, мобилизации элементов питания и их переводе в формы, доступные растениям. Кроме того, микроорганизмы синтезируют широкий спектр биологически активных веществ, включая фитогормоны, витамины, сидерофоры, антимикробные соединения, которые

регулируют рост растений, стимулируют развитие корней и одновременно подавляют патогенную микрофлору.

Важным теоретическим аспектом является представление о растении и его микробиоте как о единой функциональной системе — растении-холобионте. В этом подходе рост и продуктивность культуры рассматриваются не только как результат её генетического потенциала и условий среды, но и как следствие взаимодействия с микробным сообществом, выполняющим вспомогательные и регулирующие функции.

Роль ризосферных микроорганизмов в росте растений

Ризосфера является наиболее активной зоной почвенной биоты. В непосредственной близости к корням концентрируются микроорганизмы, способные эффективно использовать корневые выделения и вступать с растениями в взаимовыгодные отношения. Ризосферные бактерии и грибы влияют на рост растений несколькими основными путями.

Во-первых, они участвуют в мобилизации питательных веществ. Многие бактерии способны растворять труднорастворимые фосфаты, высвобождать калий и микроэлементы из минералов, переводить их в доступные для корней формы. Благодаря этому растение получает расширенный доступ к питательным ресурсам, которые в противном случае оставались бы недоступными.

Во-вторых, ризосферные микроорганизмы синтезируют фитогормоны, такие как ауксины, цитокинины, гиббереллины и производные этилена, которые прямо регулируют рост корней, формирование боковых отростков, длину корневых волосков и общую морфологию корневой системы. Усиленное развитие корневой системы, в свою очередь, улучшает способность растения поглощать воду и элементы питания, что способствует повышению биомассы и урожайности.

В-третьих, микроорганизмы в ризосфере конкурируют с патогенными формами за пространство и ресурсы, производят антибиотические вещества, а также индуцируют системную устойчивость растений к болезням. Это означает, что присутствие определённых полезных бактерий способно повысить устойчивость растений к широкому спектру патогенов, снижая необходимость применения химических средств защиты.

Микоризные ассоциации и их влияние на рост растений

Микориза представляет собой симбиотическую ассоциацию между корнями растений и грибами. Микоризные грибы проникают в корневую систему или образуют внешнюю сеть гиф, значительно увеличивая площадь контакта растительных корней с почвой. Это расширяет зону поглощения воды и элементов питания, особенно фосфора, мало подвижного в почвенной среде.

Микоризные растения демонстрируют более высокий уровень устойчивости к дефициту влаги, повышенной солёности и токсичности тяжелых металлов. Гифы грибов способны проникать в микропоры почвы, недоступные для корней, и переносить оттуда питательные вещества. В обмен растение снабжает гриб углеводами, синтезируемыми в процессе фотосинтеза.

Помимо улучшения питания, микориза оказывает иммуномодулирующее действие. Микоризные грибы могут индуцировать у растения защитные реакции, усиливать синтез фенольных соединений и других защитных метаболитов. Таким образом, микоризные ассоциации выполняют многофункциональную роль, соединяя в себе питательный, защитный и адаптационный компоненты.

Азотфиксирующие и фосфатмобилизующие микроорганизмы

Азот является одним из ключевых элементов питания растений, однако большинство культур не способно усваивать молекулярный азот атмосферы. Эту функцию выполняют азотфиксирующие микроорганизмы, объединённые в различные группы. Симбиотические бактерии рода *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* формируют клубеньки на корнях бобовых растений и превращают атмосферный азот в аммоний, который затем включается в азотный обмен.

Ассоциативные и свободноживущие азотфиксаторы, обитающие в ризосфере или в толще почвы, также вносят вклад в азотный баланс. Их активность особенно важна в системах с пониженным применением минеральных удобрений. За счёт формирования симбиозов и ассоциаций растения получают дополнительный источник азота, что позволяет сократить дозы внесения удобрений, уменьшить потери нитратов и снизить нагрузку на окружающую среду.

Фосфор в почве часто находится в форме труднорастворимых соединений. Фосфатмобилизующие бактерии и грибы выделяют органические кислоты и ферменты, способствующие растворению фосфатов и переводу их в доступные для корней формы. Усиление активности таких микроорганизмов напрямую отражается на развитии корневой системы, скорости роста растений и формировании урожая.

Структура микробных сообществ и её связь с ростом растений

Почвенное микробное сообщество представляет собой сложную сеть взаимодействующих популяций. Его структура определяется типом почвы, содержанием органического вещества, влажностью, рН, агротехническими приёмами и характером растительности. Монокультурное земледелие, интенсивная обработка почвы и высокие дозы минеральных удобрений зачастую приводят к снижению разнообразия микробиоты, доминированию узкой группы микроорганизмов и увеличению доли потенциально патогенных форм.

В то же время разнообразные по составу растительные сообщества, включающие несколько видов культур и сидератов, способствуют формированию более устойчивого микробного контура. Высокое разнообразие микроорганизмов связано с устойчивостью к стрессам, стабильностью процессов разложения органического вещества, улучшением структуры почвы и устойчивым обеспечением растений элементами питания.

Микробное сообщество может рассматриваться как скрытый фактор плодородия, который определяет, насколько эффективно растение реализует свой генетический потенциал в конкретной почвенной среде. Нарушение этого сообщества, например, вследствие чрезмерного применения пестицидов, ведёт к деградации почвенных экосистем и снижению продуктивности в долгосрочной перспективе.

Методы изучения почвенных микроорганизмов

Исторически изучение почвенной микрофлоры опиралось на культуральные методы, включающие высевы на питательные среды, выделение чистых культур и их последующую идентификацию. Эти методы позволили описать множество видов бактерий и грибов, однако они отражают только небольшую часть реального разнообразия, поскольку значительная доля микроорганизмов не культивируется стандартными методами.

Современный этап развития микробиологии почвы характеризуется активным использованием молекулярно-генетических подходов. Методы полимеразной цепной реакции, секвенирование генов рибосомальной РНК, метагеномный анализ, высокопроизводительное секвенирование нового поколения позволяют выявлять состав микробных сообществ без необходимости их культивирования. Эти методы дают возможность анализировать структуру микробиома, его изменчивость под влиянием агротехнических практик, климатических факторов и типов растительности.

Дополнительно используются методы флуоресцентной микроскопии, гибридизации *in situ*, изотопного маркирования, позволяющие проследить участие микроорганизмов в конкретных биогеохимических процессах. Интеграция молекулярных данных с измерением физиологических параметров растений даёт возможность устанавливать причинно-следственные связи между изменениями в микробиоте и показателями роста растений.

Экспериментальные подходы к оценке влияния микробиоты на рост растений

Для оценки влияния почвенных микроорганизмов на рост растений используются как лабораторные, так и полевые эксперименты. В лабораторных условиях часто применяют стерильные субстраты, в которые вводят определённые микробные штаммы или консорциумы, после чего оценивают параметры роста растений,

морфологию корней, содержание хлорофилла, показатели фотосинтеза и поглощение элементов питания.

В полевых опытах исследуется влияние биопрепаратов, сидеральных культур, органических удобрений и различных систем обработки почвы на структуру микробного сообщества и продуктивность растений. Сравнение вариантов с активной микробиотой и вариантов с её подавлением позволяет количественно оценивать вклад микробных процессов в урожайность.

Сложность таких исследований заключается в многокомпонентности почвенной среды. На рост растений одновременно влияют физические свойства почвы, её химический состав, климат, агротехника и микробиота. Поэтому современный подход строится на использовании комплексных моделей, включающих как биологические, так и физико-химические параметры.

Биопрепараты и микробные консорциумы в сельском хозяйстве

Понимание роли микроорганизмов в росте растений привело к активному развитию биопрепаратов, основанных на живых микробных культурах или их метаболитах. Такие препараты включают азотфиксирующие бактерии, фосфатмобилизующие и калиймобилизующие микроорганизмы, стимуляторы роста, биофунгициды и биоинсектициды. Их использование позволяет укрепить корневую систему, улучшить питание растений, снизить поражённость болезнями и увеличить устойчивость к стрессам.

Современная тенденция заключается в создании микробных консорциумов, включающих несколько взаимодополняющих видов микроорганизмов. Такие комплексы более устойчивы в почве, лучше адаптируются к различным условиям и обеспечивают многокомпонентное воздействие на растения. Вместо узконаправленного эффекта они формируют устойчивую микробную сеть, которая поддерживает рост растений на протяжении всего вегетационного периода.

Биопрепараты рассматриваются не только как средство повышения урожайности, но и как инструмент восстановления деградированных почв, увеличения содержания органического вещества и улучшения структуры. Их применение особенно перспективно в органическом земледелии и в системах с минимальным использованием минеральных удобрений.

Микроорганизмы почвы в контексте устойчивого земледелия

Устойчивое земледелие предполагает сохранение или улучшение природных ресурсов при одновременном обеспечении стабильной продуктивности. Почвенные микроорганизмы являются фундаментом такой системы, поскольку именно они обеспечивают круговорот веществ, поддержку структуры почвы, разложение органического вещества и формирование гумуса.

Сокращение применения агрохимикатов, внедрение сидеральных культур, использование органических удобрений, защита почвы от эрозии и минимальная обработка способствуют восстановлению микробного разнообразия. Богатая и сбалансированная микробиота повышает устойчивость почвы к засолению, переуплотнению и потере структуры, а также снижает риски деградации.

Понимание влияния микроорганизмов на рост растений позволяет по-новому взглянуть на концепцию плодородия. Плодородие перестаёт восприниматься только как содержание элементов питания и физические свойства, а рассматривается как интегральное свойство, включающее биологическую активность и устойчивость микробных сообществ.

Заключение

Почвенные микроорганизмы играют ключевую роль в росте и развитии растений, определяя эффективность использования элементов питания, формирование корневой системы, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам и общую продуктивность агроценозов. Растение и его микробиом образуют единую функциональную систему, в которой микробиота выступает скрытым, но чрезвычайно важным компонентом плодородия.

Современные методы исследования почвенных микроорганизмов позволяют значительно расширить представления об их разнообразии, структуре и функциях. Интеграция классических микробиологических подходов с молекулярной генетикой, метагеномикой и системной биологией открывает новые возможности для управления микробным сообществом в интересах сельского хозяйства.

Переход к устойчивому земледелию невозможен без осознания фундаментальной роли микробиоты. Сокращение химической нагрузки, развитие биопрепаратов, использование сидератов и органических удобрений, поддержание разнообразия культур и снижение деградации почв создают условия для восстановления и укрепления микробных экосистем.

Литература

1. Алексеев В. А. Почвенная микробиология и плодородие. М.: Наука, 2018.
2. Звягинцев Д. Г. Микроорганизмы и плодородие почвы. М.: МГУ, 2015.
3. Тихонович И. А., Кожемяков А. П. Ризосферные микроорганизмы и устойчивое земледелие. СПб.: Наука, 2019.
4. Морозова Л. Н. Микориза и рост растений: теория и практика. Казань: КГУ, 2020.
5. Павлов Д. В. Биопрепараты в растениеводстве: опыт и перспективы. М.: Колос, 2021.