

МИКОРИЗА: ✓

ВЗАИМОВЫГОДНОЕ СОСЕДСТВО

О том, что для роста и развития голубики необходима микориза, знают многие садоводы. Но симбиоз мицелия гриба и корней высших растений характерен не только для представителей семейства вересковых – микоризу образуют около 90 % растений на планете. О типах микоризы, ее влиянии на качество почвы и роли в жизни растений рассказала Светлана Зимич, младший научный сотрудник лаборатории экологической физиологии и химии растений, разработчик и соавтор микробных удобрений для овощных и ягодных культур. Лекция «Микориза на грядке» прошла в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси.

Виктория ГОРКАВЧУК



КАК РАБОТАЕТ СИМБИОЗ

Микориза — результат взаимодействия высших растений с грибами, симбиотическая ассоциация, «участники» которой получают взаимную пользу от совместного существования. Растение отдает грибу органические вещества (углеводы), которые образуются в результате фотосинтеза, а грибы помогают растению поглощать из почвы минеральные вещества и воду. Например, посредством выделения ферментов и/или органических кислот грибы переводят азот- и фосфорсодержащие органические соединения в доступную для растения форму. Оплетая корни и проникая в них, грибы-микоризообразователи защищают корневую систему растения от атаки грибов-паразитов. Гифы грибов намного тоньше и длиннее корня и могут уходить в глубину почвы на 3–5 м и доставать влагу там, где она недоступна для растения. Это важно, например, для растений с поверхностной корневой системой, как голубика, у которой гифы также заменяют отсутствующие корневые волоски. Суммарная длина гиф гриба может на пять порядков превосходить суммарную длину корней растения. И растению такое положение дел выгодно: при одинаковом объеме питания гифа вырастет длиннее, чем корень, и лучше обеспечит растение необходимыми элементами. Важно понимать, что микоризу образует не один вид грибов. Например, в результате исследований Центрального ботанического сада было выявлено, что голубика с обработками микоризными препаратами за 5 лет обзавелась «соседями» из 250 видов грибов-микоризообразователей. По данным ученых, у сосны в возрасте 15 лет отмечено 5 видов микоризных грибов, к 40 годам эти хвойные образуют микоризу уже с грибами 34–37 видов, а старые сосны 215 лет — с 78 видами.

Гифа — нитевидное образование, с помощью которого гриб поглощает воду и питательные вещества.

НЕ ГОТОВЫ К СОСЕДСТВУ

Чтобы прокормить гриб-микоризообразователь, растению придется потрудиться: 20–30 % органических веществ, образующихся в процессе фотосинтеза, направлено на то, чтобы обеспечить соседа поставки сахаров. На это нужно время. Когда жизненный цикл высшего растения короткий, оно обходится без подобного взаимодействия. Но полезного соседства лишены немногие высшие растения. Только 10 % из них никогда не образуют микоризу: паразиты, полупаразиты, насекомоядные (получают питание от растений-хозяев или из пойманных насекомых), первичноводные (обитают в условиях, где микориза не образуется), а также растения семейств крестоцветные, гвоздичные, гречишные и маковые. Представители этих семейств растений (все виды капусты, рапс, редис, редька, гречиха посевная, декоративный и посевной мак и др.) выделяют вторичные метаболиты (в том числе и летучие соединения), которые подавляют рост грибов-микоризообразователей и могут препятствовать развитию микоризы у высаженных рядом растений, которым такой симбиоз жизненно необходим. Корневая система бобовых культур образует клубеньки и имеет низкий процент свободных корней, на которых могла бы образоваться микориза. У злаковых корневая система мочковатая, корни расположены очень близко друг к другу, и гифам грибов очень сложно проникнуть между ними. В этих случаях симбиоз растений с грибами возможен, но будет выражен в меньшей степени.

Микориза не будет образовываться и у других растений при неблагоприятных условиях:

- неоптимальные структура и агрохимические характеристики почвы (уровень pH, засоление почвы и др.). Экстремальное или нарушенное место обитания будет постепенно заселяться растениями, но на начальном этапе микориза образовываться не сможет;
- затопляемые участки, а также участки с повышенной влажностью. Для совместной работы корневой системы высшего растения и гриба необходим их тесный контакт, которого не происходит в водной или переувлажненной среде;
- биохимические факторы: вторичные метаболиты, которые подавляют рост грибов-микоризообразователей.

ТИПЫ МИКОРИЗЫ

1. Эктомикориза. Грибы, которые питают растение, контактируют с ним, но находятся вне корня. При формировании микоризы такого типа гифы соприкасаются с клетками корня либо проникают в межклеточное пространство, окружают корень, образуя мощный «чехол», и тем самым защищают растение от проникновения вредоносных микроорганизмов. Если вы увидели плодовые тела гриба, которые в обиходе мы называем просто грибами (боровики, подосиновики, подберезовики и т. д.), значит, здесь сформирована эктомикориза. Но образующие ее грибы не всегда формируют плодовые тела. Эктомикориза характерна для многих деревьев и кустарников.

2. Эндомикориза. Гриб проникает внутрь некоторых клеток корня и может образовывать определенные структуры — арбускулы, везикулы, клубочки. Бывает арбускулярная, либо еще ее называют арбускулярно-везикулярной, орхидная, эрикоидная и арбутоидная. **Арбускулярная микориза** характерна для примерно 300 тыс. видов, преимущественно травянистой формы, ее отличительный признак — формирование арбускул (гиф с густым ветвлением) и везикул (округлые вздутия мицелия). **Эрикоидная микориза** образуется только у растений семейства вересковых (рододендрон, голубика, клюква, брусника, эрика, вереск). Грибы, которые образуют микоризу с вересковыми, способны расти без растений, питаясь органическим веществом почвы. **Орхидная микориза** характерна только для растений семейства орхидных, которые на начальном этапе лишены хлорофилла и не могут прокормить ни себя, ни гриб. Взаимовыгодный обмен начинается позже, когда у орхидеи появятся листья. Грибы-микоризообразователи этой группы также могут существовать без растений. Кстати, когда растения семейства орхидных начинали вводить в культуру, прорастить семена не удавалось. Успех пришел лишь после того, как ученые выяснили, что для развития орхидных необходимы грибы, образующие микоризу с этими растениями. **Арбутоидная микориза** часто считается переходным типом между эрикоидной и эктомикоризой. Образуется у растений подсемейства

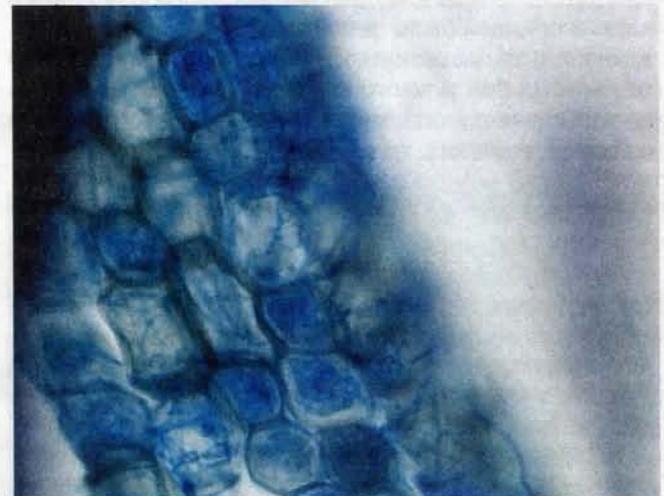


Эктомикориза

Arbutioideae и семейства *Pyrolaceae*. Арбутоидная микориза способствует восстановлению хвойных пород после пожара и других нарушений. **Монотропидная микориза** — это симбиоз зеленого древесного растения, гриба-микоризообразователя и растения семейства подъяльниковых. Представители данного семейства бесхлорофилльные и, следовательно, не способны к фотосинтезу. В таком симбиозе подъяльник получает от гриба минеральные вещества, а от дерева — углеводы. Это показано в экспериментах с мечеными атомами углерода, где продукты фотосинтеза от дерева попадали в гифы микоризного гриба, а затем в корневую систему подъяльника.

3. Эктоэндомикориза. Гриб образует эктомикоризу, но при определенных условиях (старое или ослабленное растение) проникает внутрь клеток корня, формируя эндомикоризу.

В природе наиболее распространены эктомикориза, а также арбускулярная и эрикоидная эндомикоризы.



Микориза голубики под микроскопом, фото сделано в рамках исследований Центрального ботанического сада НАН Беларуси



Капуста, как и все растения семейства крестоцветные, не образует микоризу

Определенные типы микоризы образуются только у определенных растений. Отсюда очевидно, что универсальной микоризы, способной формироваться на любых растениях, не существует. Например, подберезовик — гриб, который взаимодействует только с березой, и его бесполезно сажать под соснами. Доказанный факт, что деревья с эктомикоризой часто не могут развиваться на участках, занятых деревьями и кустарниками с эрикоидной микоризой. В том числе и потому, что им необходима разная кислотность почвы. Однако в процессе эволюции медленно, но все же происходят изменения и в плане формирования типов микоризы. Например, последние данные говорят о том, что голубика способна незначительно формировать не только эрикоидную, но и арбускулярную микоризу. Но в любом случае у растения будет фиксироваться образование доминантного типа микоризы. Ученые экспериментировали и обрабатывали растения семейства орхидных грибами, которые образуют другой, не орхидный тип микоризы. В результате в корнях орхидей было зафиксировано накопление соединений, защищающих корневую систему растения от таких грибов. А вот грибы типа орхидной микоризы не только не способствовали разрастанию растений из других семейств, но и убивали проростки.

Гифы грибов намного тоньше корней или корневых волосков, располагаются хаотично, а вот корешки — равномерно, вдоль корня. Увидеть гифы с эндомикоризой без мацерации корней и последующего микроскопирования невозможно. Ведь речь идет об определенных структурах внутри клетки корня. Признаки наличия эктомикоризы заметны глазу: белый налет в почве, немного увеличенный корень (порой черный или уходящего в оранжевый цвета), еле видный белый пушок на корнях, корни лишены корневых волосков. Но все-таки подтвердить присутствие эктомикоризы с уверенностью можно, лишь вооружившись хотя бы бинокляром.

ВЛИЯНИЕ НА ПОЧВУ

— На гифах и спорах грибов, чаще порядка гломеральные (*Glomerales*), образующих арбускулярную микоризу, вырабатывается большое количество гломалина — двухкомпонентного белка, который связывает минеральные частицы почвы и тем самым улучшает ее структуру, — рассказывает Светлана Зимич. — Почва становится более пористой, устойчивой, менее уплотненной, в нее легче проникают корни. Существенно снижается степень эрозии почвы, зато увеличивается задержка воды в месте обитания корней. Грибы выделяют ферменты и органические кислоты, которые переводят соединения минеральных веществ в доступную для растений форму, растения всасывают элементы питания и таким образом, благодаря грибам, происходит биологическое выветривание минералов из почвы. Вдоль гиф всегда отмечается наличие большого числа бактерий, которые также вступают в симбиоз с грибами и работают на улучшение качества почвы. Места скопления грибов и бактерий называют гифосферой. Именно в гифосфере скорость разложения хвойного опада в разы больше, чем на тех участках леса, где гифосфера отсутствует. Грибы, растения и бактерии образуют микоризосферу, которая способствует перемещению питательных веществ и воды по почвенному профилю. Арбускулярная микориза влияет на численность листогрызущих насекомых. Грибы выделяют в окружающую среду определенные вещества, пагубно влияющие на личинок фитофагов. Смертность личинок увеличивается — снижается и численность взрослых особей. По данным исследований за 2022 год, обработка растений грибами-микоризообразователями стимулирует и рост корней, и плодоношение. Например, при увеличении микоризы на корнях голубики увеличивались и выработка нектара, и объем урожая.

Привлечь на участок грибы-микоризообразователи кажется очевидным решением. Главное — выбрать и внести правильный биопрепарат. Травянистым растениям нужна арбускулярная микориза, древесным — эктомикориза, а для вересковых подойдут только препараты с эрикоидной микоризой. Однако все не так просто: производители далеко не всегда указывают тип микоризы или род гриба, мицелий или споры которого содержатся в препарате. Более того, часто в продаже можно увидеть средство для всего — якобы универсальную микоризу. Хорошо, если в составе указан хотя бы род грибов, обычно это *Glomus*. Тогда можно понять, что под «универсальной» подразумевается арбускулярная микориза. Конечно, больше доверия вызывают препараты, где указаны род грибов и их количественный состав в титрах или процентах. В качестве положительного примера можно привести препарат «Бактолин» (разработка Института микробиологии НАН Беларуси), где, помимо состава, четко прописаны условия хранения и способы применения средства.

Чтобы микориза образовалась, необходимо создать условия для инфицирования растения грибом. Практически для всех типов микоризы оптимум pH 6 и 7. Для эрикоидной микоризы оптимальная кислотность среды находится в диапазоне pH 3–5,5. Как уточняет Светлана Зимич, согласно исследованиям специалистов ботанического сада, а также зарубежных ученых, внесение минерального удобрения снижает интенсивность развития микоризы на корнях голубики. Почему так происходит, четко ответить пока нет. Есть вероятность, что избыток питания снижает потребность растения в симбиозе. Положительно на формирование эрикоидной и эктомикоризы влияет наличие неразложившихся растительных остатков в почве, поскольку способствует развитию грибов-микоризообразователей.

— Наши исследования в Центральном ботаническом саду связаны с голубикой, — рассказывает специалист. — И такой прием — посадка голубики «на дрова» — действительно работает. На дно ямы укладывается не только торф, но и ветки, щепа. В этом случае микоризы образовывалось больше, ведь у грибов появлялось дополнительное питание.

Препарат с микоризой вносят в почву весной. Трех-четыре месяца достаточно, чтобы образовался симбиоз грибов и растений.

МИКОРИЗА И ТРИХОДЕРМА

Логичный вопрос, который возникает у садоводов: как уживаются вместе грибы рода триходерма и грибы-микоризообразователи? Триходерма не образует микоризу. Будучи сапротрофами (деструкторами растительных остатков), грибы этого рода живут отдельно и выделяют метаболиты, подавляющие другие грибы. Триходерма выделяет определенные вещества с выраженными антибиотическими и фунгицидными свойствами: глиотоксин, виридины, триходермины — и способна подавлять 60 видов патогенов. «Выбирать», какой гриб атаковать, триходерма не способна. Так что, если ей не хватит места для развития или питания, грибам-микоризообразователям придется потесниться. Насколько сильно, зависит от конкретного случая. В некоторых исследованиях было показано, что в системе *in vitro* триходерма атаковала мицелий гриба рода *Glomus*. Но при проведении аналогичного эксперимента в почве подобного поведения не наблюдалось. Много зависит от штамма как триходермы, так и гриба-микоризообразователя.

Чтобы не выбросить деньги на ветер, лучше покупать биопрепараты, где в составе будут и грибы-микоризообразователи, и триходерма. Развитая микориза с большей вероятностью сохранится, даже если ее развитие в определенной степени окажется подавлено триходермой. Все-таки польза от применения этого рода грибов также доказана. Триходерма, как и грибы-микоризообразователи, может переводить труднодоступные для растений фосфорные соединения в легкодоступную форму, способна разлагать пестициды,

УСЛОВИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ТРИХОДЕРМЕ ДЛЯ ЖИЗНИ И РАЗВИТИЯ:

- влажность (при влажности почвы 20 % рост триходермы невозможен);
- температура среды — 24–30 °С;
- кислотность среды — pH 2–6 (оптимум 4);
- органический субстрат для питания.

которые используются в сельском хозяйстве, увеличивать содержание хлорофилла в листьях, защищать растение от грибов-патогенов.

Кстати, для вешенок и шампиньонов триходерма выступает паразитом и образует на них зеленую плесень.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНГИЦИДОВ

Вполне логично предположить, что фунгициды, которые подавляют рост грибов — возбудителей заболеваний, негативно повлияют и на развитие грибов-микоризообразователей при попадании такого средства в почву. Но сказать точно, будет ли выбранный фунгицидный препарат, рассчитанный на борьбу с грибными заболеваниями растений, обладать ингибирующим воздействием на микоризу, сложно. Для этого нужны масштабные исследования по каждому действующему веществу, его дозировке в отношении различных видов грибов. Например, на глаз не определить, сколько препарата попадет в почву напрямую или посредством всасывания растением при опрыскивании кроны плодовых растений системным фунгицидом. Равно как нельзя сказать, какая доза станет губительной для полезных грибов. Как страховка — использование микоризных и противогрибных препаратов хотя бы с интервалом в несколько недель.

В целом же подход к выращиванию садовых растений с использованием микоризы подразумевает упор на экологическое земледелие, где больше внимания уделяют своевременному проведению агротехнических мероприятий (полив, обрезка, сбалансированная подкормка) и применяют биопрепараты для снижения пестицидной нагрузки в саду. Если почва истощена, микориза в ней образовываться не будет. Стоит сначала повысить плодородие почвы, снизить активность в ней патогенной микрофлоры, а уже затем заселять полезными грибами-микоризообразователями. В этом поможет посадка сидератов, применение микроорганизмов-антагонистов (сенная палочка, триходерма). В последующем отказ от регулярного глубокого перекапывания огорода в пользу неглубокого рыхления позволит сохранить естественную почвенную среду. В глобальном смысле цель подобной работы — создать в саду сбалансированную систему жизнедеятельности растений и других организмов, которую можно регулировать природными методами и средствами.