

Биологическая фиксация азота бобовыми культурами

Понимание процесса

Anelia Iantcheva и Galina Naydenova



В природе биологическая фиксация азота (БФА) обеспечивает большую часть реактивного азота, необходимого для образования белков и роста растений. Учитывая, что бобовые культуры фиксируют азот в почве, понимание процесса БФА является основой для принятия решений в выращивании бобовых культур.

Бобовые являются наиболее важными хозяевами БФА в наземных экосистемах, особенно в сельскохозяйственных экосистемах. Азот, фиксированный бобовыми культурами, является альтернативой синтетически фиксированному азоту в удобрениях. Благодаря БФА, введение бобовых в системы земледелия снижает некоторые вредные выбросы от сельскохозяйственного азотного цикла, особенно закиси азота (N_2O), который является мощным парниковым газом.



Фотография 1. Фотография крупным планом разделенного узелка с характерным розовым цветом. Это свидетельствует об успешном закреплении ризобия и активной биологической азотной фиксации. Фотография: www.gartensoja.de

Применимость

Тема: Питание растений азотом

Для: Фермеров

Где: Все пахотные земли

Период: В течение всего цикла выращивания сельскохозяйственных культур

Воздействие: Лучшие бобовые культуры

Результат

Прямым результатом улучшения БФА является более высокая урожайность культур, часто связанная с более высоким содержанием белка. Около 800 000 тонн ди-азота (N_2) из воздуха ежегодно фиксируется БФА в культивируемых зерновых и кормовых бобовых культурах в Европейском Союзе. На долю основных зернобобовых культур (соя, горох и бобы) приходится около одной трети этого объема. Высокий уровень БФА является основой успешного и устойчивого производства. Агрономический успех зернобобовых культур в значительной степени зависит от количества азота, фиксированного в клубеньках их корневой системы. Это означает, что необходимо уделять внимание установлению и поддержанию симбиоза между растением-хозяином и бактериями рода *Rhizobium* и *Bradyrhizobium*. Общее количество фиксированного азота обычно составляет от 100 до 300 кг N/га в зависимости от таких факторов, как вид бобовых (и сорт), продолжительность вегетационного периода и условия окружающей среды.

Симбиоз между бактериями почвы и бобовыми растениями способствует поглощению азота самими растениями и обогащает почву азотом через корневые экссудаты и остатки, что делает бобовые культуры предпочтительным

предшественником для многих других культур. Выращивание бобовых - это дешёвый и доступный способ обогащения почвы азотом. Включение их в севообороты создает благоприятные условия для выращивания последующих культур с меньшим использованием синтетических азотных удобрений.

Роль леггемоглобина и практические последствия

Биологическая фиксация азота - удивительный процесс. Ризобиум проникает в корни совместимых бобовых растений-хозяев, что приводит к развитию специализированных корневых структур, которые мы знаем как клубеньки. В клубеньках, бактерии сокращают N_2 до аммиака с помощью ферментного комплекса нитрогеназы, который вырабатывается внутри бактерии. Чтобы процесс азотификации прогрессировал, нитрогеназа должна быть защищена от кислорода. Корневые клубеньки защищают процесс, основанный на нитрогеназе, от кислорода с помощью железосвязанного белка, называемого леггемоглобином. Леггемоглобин контролирует концентрацию свободного кислорода в цитоплазме инфицированных клеток растений, защищая нитрогеназу от кислорода и в то же время обеспечивая поступление кислорода для дыхания в ткани корня для обеспечения необходимой энергии. Удивительная часть этого, что леггемоглобин тесно взаимосвязан с гемоглобином в крови и выполняет аналогичную функцию по транспорту кислорода. Как и гемоглобин, леггемоглобин красный, когда насыщен кислородом. Это объясняет, почему здоровые корневые клубеньки имеют розовый цвет. Наличие большого количества узелков розового цвета при вскрытии является надежным показателем успешного БФА в бобовых культурах (рис. 1).

Биологическая фиксация азота требует энергии

Для БФА, преобразование каждой молекулы N_2 в два иона аммония NH_4^+ требует 16 молекул АТФ. В итоге это преобразование требует энергии от бобового растения-хозяина. Симбиотическая азотфиксация использует около 4–16 % фотосинтата растения-хозяина,

например, у бобов и сои. Эти энергетические затраты являются одной из причин, почему зернобобовые культуры менее урожайны, чем аналогичные зерновые культуры. Однако при хороших условиях выращивания бобы и соя компенсируют энергозатраты на БФА за счет дальнейшего ускорения развития.

Установление симбиоза

Установление симбиоза начинается с удаления бактерией флавоноидов из бобового растения-хозяина. Это стимулирует синтез специфических сигнальных молекул в бактериях, называемых „узловой фактор“. Узловые факторы необходимы как для бактериальной инвазии, так и для формирования клубеньков. Молекулярная структура узловых факторов специфична для различных видов *Rhizobium*.

Клубеньковые бактерии рода ризобий прикрепляются к кончикам корневых волосков, заставляя их скручиваться, образуя структуру „инфекционной нити“, которая позволяет бактериям достичь клеток корня растения-хозяина. Инфекционная нить растет к центру корня, и бактерии попадают в клетки вновь образованного корневого узла, где происходит фиксация азота. Бактерии стимулируют клетки растения-хозяина к выработке леггемоглобина. Фиксированный азот становится доступным для всего растения-хозяина, в результате чего высокоурожайные бобовые культуры не нуждаются в азотных удобрениях.

Бобовые растения образуют два типа узелков: индетерминантные, яйцевидной формы и детерминантные, круглой формы (Рисунок 2).

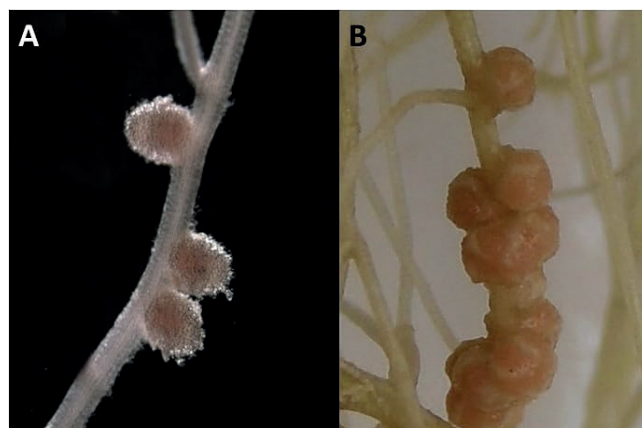


Рис 2. Форма узелков у бобовых растений. А индетерминантные; В-детерминантные

Клубеньки богаты железом и белком, являясь богатым источником пищи для личинок некоторых долгоносиков (*Sitona lineatus* и других видов *Sitona*). Леггемоглобин также настолько похож на кровь млекопитающих, что его используют в заменителях мясных продуктов.

Важно иметь правильные бактерии

Специфичность узловых факторов означает, что для каждого бобового растения существует определенный вид симбиотических бактерий семейства *Rhizobiaceae*: *Rhizobium leguminosarum* для гороха, фасоли, вики и чечевицы; *Rhizobium phaseoli* для фасоли обыкновенной; *Rhizobium ciceri* для нута; *Sinorhizobium meliloti* для люцерны и других лекарственных растений, желтого мелилота и пажитника; *Rhizobium trifolii* для клевера; *Bradyrhizobium lupini* для люпина; *Mesorhizobium loti* для суллы и трилистника; *Rhizobium vigna* для коровьего гороха и других видов *Vigna*, арахиса; *Rhizobium simplex* для эспарцета; *Bradyrhizobium japonicum* для сои (Рисунок 3).

Ключевые практические аспекты

Установление симбиоза между азотфиксирующими бактериями и бобовым растением-хозяином является ключевой задачей для каждого фермера, выращивающего бобовые культуры. В дополнение к естественному пути, значительное количество БФА может быть получено путем инокуляции семян соответствующим штаммом азотфиксирующих бактерий. Инокуляция необходима для сои, поскольку европейские почвы не содержат необходимых видов. Напротив, европейские почвы содержат штаммы, инфицирующие горох, конские бобы, фасоль обыкновенную и клевер, поэтому реакция на инокуляцию очень разнообразна. В некоторых ситуациях, естественные местные штаммы азотфиксирующих бактерий в почве отсутствуют или обладают низкой азотфиксирующей активностью. Для этого необходимо внести в почву отобранные штаммы азотфиксирующих бактерий, отличающихся высокой азотфиксирующей активностью. Как это делается для сои, подробно описано в Практической заметке 1 Legumes Translated.



Фотография 3. Корневые клубеньки сои в поле. Фотография: Leopold Rittler (Donau Soja)

Другие практические моменты, вытекающие из этих биологических процессов, включают необходимость защиты корневых клубеньков. Взрослые особи горохового и бобового долгоносика (*Sitona spp.*) поедают листья, но это мало влияет на урожайность. Более значительный ущерб наносят личинки, питающиеся клубеньками. Борьба с ними важна там, где их численность высока. В некоторых ситуациях требуется интегрированная борьба с вредителями *Sitona spp.*, включая использование биоконтроля и ловушек с феромонной приманкой. Это должно осуществляться в соответствии с местной передовой практикой и правилами.

В связи с энергетическими потребностями процесса, обеспечение хорошего роста культуры является основой для высоких показателей БФА. Этот положительный цикл объясняет, как при хороших условиях выращивания, без какого-либо другого источника азота получают высокоурожайные бобовые культуры.

Дополнительная информация

АгроБиоИнститут, Сельскохозяйственная Академия, Болгария, поставляет инокулянты для сои, люцерны и птичьего трилистника. Другие

подразделения Сельскохозяйственной Академии поставляют основные семена болгарских сортов сои, люцерны, фасоли, чечевицы и садового и кормового гороха.

Pommeresche, R. and Hansen, S., 2017. Examining root nodule activity on legumes. FertilCrop Technical Note. Research Institut of Organic Agriculture (FiBL) and Norwegian Centre for Organic Agriculture (NORSØK), Frick and Tingvoll. Available at <https://orgprints.org/31344/>

Von Beesten, F., Miersch, M. and Recknagel, J., 2019. Inoculation of soybean seed. Legumes Translated Practice Note 1. www.legumestranslated.eu

Источники

Murphy-Bokern, D., Peeters, A. and Westhoek, H., 2017. The role of legumes in bringing protein to the table. In: Murphy-Bokern, D., Stoddard, F., and Watson, C. (Eds.). Legumes in cropping systems. CABI.

Wagner, S. C., 2011 Biological Nitrogen Fixation. *Nature Education Knowledge* 3(10):15.

Об этой практической заметке и Legumes Translated

Авторы: Anelia Iantcheva и Galina Naydenova

Издатель: АгроБиоИнститут, Болгария

Производство: Donau Soja

Постоянная ссылка: www.zenodo.org/record/5728732

Авторские права: © Авторы, 2022. Воспроизведение и распространение разрешены в некоммерческих целях при условии полного признания авторов и источника.

Перевод данной статьи на румынский и русский языки был осуществлен при поддержке проекта DevRAM, финансируемого Европейским Союзом и реализуемого Австрийским Агентством Развития в партнерстве с Pro Didactica и Donau Soja. Номер Гранта Проекта 6541-01/2017.

Ссылки: Iantcheva A. и Naydenova G., 2022. Биологическая фиксация азота бобовыми культурами. Legumes Translated Practice Note 40. АгроБиоИнститут. www.legumestranslated.eu

Авторы несут полную ответственность за содержание. Нет никаких гарантий, явных или подразумеваемых, в отношении предоставленной информации. Информация об использовании средств защиты растений (пестицидов) должна быть проверена в соответствии с этикеткой продукта или другими источниками информации о регистрации продукта.

