

УДК 635.655(470.0)

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА
ФИКСИРОВАННОГО АЗОТА ВОЗДУХА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Г.С. ПОСЫПАНОВ, Т.П. КОБОЗЕВА, И.И. ТАЗИН, Е.В. БЕЛЯЕВ, У.А. ДЕЛАЕВ

(Кафедра растениеводства)

Изложены условия активного бобово-ризобияльного симбиоза. Приведены методы определения количества фиксированного азота воздуха и объемы симбиотической фиксации азота воздуха разными бобовыми культурами, в т. ч. сортами сои северного экотипа.

Условия активного бобово-ризобияльного симбиоза. Биологическая фиксация азота воздуха весьма энергоемкий процесс. Энергетика тройных связей атомов в молекуле азота составляет 225 ккал/г ■ моль. На 1 кг азота воздуха, фиксированного симбиотической системой, растения расходуют около 25 кг продуктов фотосинтеза, поступающих из листьев. Следовательно, если культура за вегетационный период фиксирует 400 кг азота воздуха на 1 га, как это нередко бывает у многолетних бобовых трав, то растения расходуют на этот процесс Ют сухого вещества [7]. Некоторыми учеными [3] было высказано предположение о том, что симбиотическая фиксация азота воздуха идет в ущерб величине урожая. Это предположение было бы справедливым, если бы напряженность физиологических процессов в растении при питании минеральным и симбиотически фиксированным азотом была одинаковой.

Нашими исследованиями установлено [5, 6], что симбиотическая фиксация азота воздуха усиливает аттрагирование углеводов из листьев и этим значительно повышает

интенсивность фотосинтеза. Следовательно, активный симбиоз повышает интенсивность усвоения растениями энергии солнца. Энергия, расходуемая на симбиотическую фиксацию азота воздуха, не может снижать урожай бобовой культуры, а является дополнительно аккумулязированной энергией солнца.

Нами выявлено наличие прямой коррелятивной связи между величиной и активностью симбиотического аппарата, а также уровнем урожая и его качеством. Эти выводы подтверждены многочисленными последующими исследованиями с разными бобовыми культурами в различных экологических условиях [2, 4].

Для активной симбиотической азотфиксации микро- и макросимбионты должны обладать рядом важных биологических признаков, определяемых генотипом.

Один из главных признаков — *специфичность* ризобий. Одни бактерии проникают в корень только одного вида или рода растений, как у сои вид ризобий *Rh. gliciny* или у люпина — *Rh. Lupini*. Другие виды бактерий менее специфичны, как, например, вид *Rh. leguminosarum*.

Этот вид ризобий может сожительствовать с различными видами бобовых культур — с горохом, викой и пелюшкой, кормовыми бобами.

Очень важное свойство видов ризобий — вирулентность. Не все специфичные формы ризобий одного вида могут одинаково успешно проникать в корневую волосок своего растения.

При проникновении бактерий в корень растения клетки его начинают активно делиться и образуют опухоль в паренхиме корня — клубенек. В нем образуется фермент — нитрогеназа, расщепляющий инертную молекулу азота воздуха на атомы.

Не все штаммы одного вида бактерий одинаково способны формировать нитрогеназу и расщеплять молекулы азота на атомы. Некоторые из них активно проникают в корень, но не синтезируют нитрогеназу, а значит и не способны фиксировать азот воздуха. Способность бактерий синтезировать нитрогеназу, расщеплять молекулу азота на атомы и включать их в биологический круговорот называют активностью штамма ризобий.

Атомы азота воздуха — первоисточник белка — включаются в биологический синтез растения. Так, симбиотическая фиксация азота воздуха, увеличивая количество белка, увеличивает количество жизни на земле. Следовательно, для обеспечения растений биологически фиксированным азотом воздуха необходимо инокулировать семена специфичным, вирулентным, активным штаммом ризобий. Для сортов сои северного экотипа это штамм 6346.

В центре происхождения сои как вида, в Китае, и там, где соя возделывается давно, например, в Дальневосточном регионе, в почве сохраняются такие штаммы ризобий. В Центральном Нечерноземье,

где сою не выращивали никогда, соевых клубеньковых бактерий в почве нет. Следовательно, для того чтобы соя использовала азот воздуха, семена перед посевом необходимо «заразить» такими клубеньковыми бактериями. В новых регионах соеосеяния обязательна инокуляция семян специфичным, вирулентным, активным штаммом ризобий — обработка семян ризоторфином. Без инокуляции растения сои будут страдать от азотного голодания и сформируют низкий урожай с минимальным содержанием белка.

Для Центрального Нечерноземья, кроме отсутствия в почве соевых ризобий, одним из главных, ограничивающих активность бобово-ризобиального симбиоза факторов, является повышенная кислотность почвы. При повышенной кислотности резко снижается образование корневых волосков сои, следовательно, ухудшаются условия минерального питания. По этой же причине на кислой почве снижается инфекция корневой системы ризобиями — клубеньковыми бактериями. Обычно бактерии проникают в корень через корневые волоски. На кислой почве образуется меньше корневых волосков и в результате сдерживается формирование симбиотического аппарата.

Как показали наши исследования, оптимальная реакция почвенного раствора для сортов сои северного экотипа — pH_{CO_2} не ниже 5,6. Следовательно, почву севооборота, в котором планируется возделывать сою, необходимо заранее известковать до указанной реакции почвенного раствора. При этом значении pH_{CO_2} растения будут лучше расти и давать выше урожай не только сои, но и большинства возделываемых в этой зоне культур.

Очень важным условием активности симбиоза является оптимальная влагообеспеченность. Известно, что оптимальная влажность почвы для любых полевых культур находится в диапазоне от 100% предельной полевой влагоемкости (ППВ) до влажности разрыва капилляров (ВРК) около 60% ППВ.

В Центральном Нечерноземье, как правило, влагообеспеченность растений бывает лучше, чем в Центральном Черноземном регионе и более южных областях. Однако и здесь нередко в отсутствии осадков влажность пахотного слоя почвы опускается ниже влажности разрыва капилляров.

При недостатке влаги в почве на растущих мелких корнях последнего порядка быстро сменяется зона роста корня и зона всасывания, корневые волоски опадают и постоянно растут новые, растения ищут воду. Фотоассимиляты в первую очередь расходуются на образование новых мелких корней и корневых волосков. В результате в клубеньки поступает меньше углеводов. Симбиотический аппарат испытывает углеводное голодание, леглобин — азотфиксирующий фермент — переходит в холеглобин — неактивный фермент; прекращается симбиотическая фиксация азота воздуха и часть клубеньков отмирает.

Таким образом, при снижении влажности почвы до уровня ниже влажности разрыва капилляров активность симбиотической фиксации азота воздуха снижается или не происходит совсем. Растения испытывают не только водный стресс, но и азотное голодание. Резко снижается величина урожая и содержание в нем белка, ухудшается его качество.

Обеспеченность макро- и микроэлементами оказывает большое влия-

ние на активность симбиоза. На почве, бедной макро- или микроэлементами, симбиоз угнетается или не происходит совсем.

Для расщепления одной грамм-молекулы азота воздуха (28 г азота) на атомы и включения его в биологический синтез затрачивается 225 ккал энергии солнца, аккумулированной растением в процессе фотосинтеза. Энергетический обмен в растении происходит при участии аденозин-трифосфорной кислоты (АТФ) и аденозин-дифосфорной кислоты (АДФ), главным компонентом которых является фосфор. При недостатке фосфора нарушается энергетический обмен, снижается интенсивность фотосинтеза и обеспеченность растений углеводами, и, как следствие, нарушаются ростовые процессы в растении, неизбежно ослабевает приток фотоассимилятов в клубеньки. В результате симбиотический аппарат испытывает недостаток энергетического материала для фиксации азота воздуха. Снижается или прекращается, в зависимости от остроты дефицита, симбиотическая фиксация азота воздуха. Растения, испытывающие недостаток фосфора, неизбежно испытывают недостаток азота, как следствие снижается урожай семян и его качество.

В основном почвы Центрального Нечерноземья бедны обменным калием. Дефицит этого макроэлемента затрудняет передвижение пластических веществ по растению; ослабевает атрагирование, отток фотоассимилятов из листьев, снижается интенсивность фотосинтеза. При этом задерживаются ростовые процессы в растении. Снижается активность симбиоза и обеспеченность растений азотом. Недостаток одного элемента вызывает дефицит другого.

Почвы Нечерноземной зоны бедны гумусом и доступными для растений минеральными формами азота. Однако азотные удобрения под бобовые культуры применять не следует ни в больших, ни в малых нормах. При наличии минеральных форм азота бобовые растения переходят на минеральный тип азотного питания без «услуг клубеньковых бактерий». Но при этом производство белка в растении не увеличивается.

Минеральные азотные удобрения способствуют наращиванию, в первую очередь вегетативной массы растений, но практически не увеличивают урожай семян зерновых бобовых культур, в т. ч. и сои.

Из многочисленных микроэлементов, участвующих в метаболизме растения, для бобовых культур наиболее важными являются бор и молибден. Известно, что бор способствует более активному формированию сосудистопроводящей системы. При недостатке в почве бора затрудняется передвижение пластических веществ из листьев в симбиотический аппарат. Клубеньки на корнях, не получая достаточного количества углеводов, не формируются или образуются мелкие и неактивные. Растения испытывают азотное голодание и резко снижается урожай семян.

Минимально допустимое содержание подвижного бора в почве — 0,5 мг/кг (в водной вытяжке), оптимальное — 0,8 мг/кг и выше. Повысить содержание бора в почве можно внесением перед посевом, под культивацию, буры или борно-дотолитовых удобрений из расчета 1 кг бора на 1 га. Улучшить борное питание растений можно и предпосевной обработкой семян раствором борной кислоты, из расчета 100 г бора на гектарную норму семян.

Молибден — функциональный компонент главного азотфиксирующего фермента — нитрогеназы.

Недостаток молибдена снижает или угнетает симбиотическую фиксацию азота воздуха, исключает возможность получения высокого урожая семян любой бобовой культуры. Оптимальное содержание молибдена в почве не ниже 0,4 мг на 1 кг почвы (в аксалатной вытяжке). При более низком содержании оптимизировать молибденовое питание растений можно предпосевной обработкой семян молибденово-кислым аммонием из расчета 50 г на гектарную норму семян.

Исходя из вышеизложенного следует, что для активного бобово-ризобияльного симбиоза сортов сои северного экотипа на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья необходимо обеспечить следующие условия: гранулометрический состав почвы — средний суглинок, обеспечивающий оптимальную аэрацию; содержание гумуса — не менее 2%; реакция почвенного раствора — pH_{CO_2} , не ниже 5,6; содержание подвижного фосфора не ниже среднего -110 мг/кг (по Кирсанову); содержание обменного калия не ниже среднего — 120 мг/кг почвы (по Кирсанову); содержание подвижного бора в водной вытяжке около 0,8 мг/кг; содержание подвижного молибдена в аксалатной вытяжке не ниже 0,4 мг/кг; семена в день посева инокулировать специфичным, вирулентным, активным штаммом ризобий, предпочтительно 637а; азотные удобрения под сою не применять.

При несоответствии любого из факторов среды требованиям симбиотической системы биологическая фиксация азота воздуха угнетается или не происходит совсем.

Объемы симбиотической фиксации азота воздуха. Вопрос о реальных размерах симбиотической фиксации азота воздуха в полевых условиях представляет исключительно важный практический интерес. Современные представления о размерах фиксации азота воздуха бобовыми культурами чаще всего базируются на данных лабораторно-вегетационных опытов, которые нельзя безоговорочно перенести на полевые условия.

В настоящее время учет биологически фиксированного азота воздуха определяют по сведению баланса азота до и после опыта; по методу меченых атомов; методу сравнения с неинокулированной культурой; методу сравнения с небобовой культурой; по величине активного симбиотического потенциала и удельной активности симбиоза. Все эти методы имеют определенные достоинства и не лишены существенных недостатков. Подробно вышеперечисленные методы описаны в источниках [5, 9].

Метод, разработанный проф. Г.С. Посыпановым в 1973 г., — расчет количества фиксированного азота по величине активного симбиотического потенциала (АСП) и удельной активности симбиоза (УАС) — наиболее достоверен, доступен и лишен недостатков вышеперечисленных методов. Он прост в выполнении, не требует дорогостоящего оборудования и используется на любых почвах и всех бобовых культурах.

Этим методом можно определить количество фиксированного азота воздуха, как за вегетацию, так и за любой межфазный период онтогенеза. Подробно методика определения количества фиксированного азота воздуха любой бобовой куль-

турой за отрезок онтогенеза или за вегетацию в целом, изложена в книге Г.С. Посыпанова [9].

Трудностью использования метода является необходимость анализа симбиотического аппарата у многолетних бобовых трав в течение всей вегетации, а у зерновых бобовых культур, по крайней мере, до полного налива семян. Кроме того, ошибки метода могут быть за счет неполного извлечения и учета клубеньков и при химическом анализе растительных образцов. К недостатку метода можно отнести и то, что необходимо иметь как минимум 2 варианта одной культуры, различающихся по условиям активного симбиоза.

Заключение

Таким образом, из существующих методов определения количества фиксированного азота воздуха наиболее доступным и достаточно точным является метод расчета по величине активного симбиотического потенциала и удельной активности симбиоза. Этим методом можно определить количество усвоенного азота воздуха за любой отдельный период и за вегетацию в целом и поэтому он получил широкое распространение в исследованиях ученых нашей страны и за рубежом.

В отличие от других методов, этот метод позволяет вычлени биологически фиксированный азот даже при применении азотных удобрений. Нами установлено, что при благоприятных условиях симбиоза в Центральном Нечерноземье многолетние бобовые травы — козлятник восточный, люцерна — фиксируют до 300 кг азота воздуха на 1 га за вегетацию. Зерновые бобовые культуры, в частности соя северного экотипа, при урожае 31 ц/га фиксирует более 200 кг азота воздуха на 1 га.

Белковистость семян сои в решающей степени зависит от активности бобово-ризобияльного симбиоза. При оптимизации условий симбиоза и актив-

ной симбиотической фиксации азота воздуха у сортов сои северного экотипа содержание белка в семенах достигает до 48%.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вавилов П.П., Посыпанов Г.С.* Роль бобовых культур в решении проблемы растительного белка. М.: ТСХА, 1981. —
2. *Касымов Д.К., Бухариев Т.А.* Соя в Узбекистане // Изв. ТСХА, 1984. Вып. 3. —
3. *Найдин П.Г.* Удобрение зерновых и зернобобовых культур. М.: Колос, 1963. —
4. *Николаева В.Т., Русаков В.В.* Соя в Примурье. Благовещенск, 1984. —
5. *Посыпанов Г.С., Князева Л.Д.* К методике определения количества симбиотически фиксированного азота воздуха // Изв. ТСХА, 1975. Вып. 6. —
6. *Посыпанов Г.С., Третьяков Н.Н., Моторина М.В. и др.* Энергоемкость симбиотической азотфиксации у сои при разных уровнях освещенности // Изв. ТСХА, 1982. Вып. 2. —
7. *Посыпанов Г.С.* Методические аспекты изучения симбиотического аппарата бобовых культур в полевых условиях // Изв. ТСХА, 1983. Вып. 5. —
8. *Посыпанов Г.С.* Биологические параметры сорта сои для Центрального района Нечерноземной зоны Европейской части РСФСР // Изв. ТСХА, 1984. Вып. 4. —
9. — *Посыпанов Т.С.* Методы изучения биологической фиксации азота воздуха. М.: Агропромиздат, 1991. —
10. *Трепачев Е.П., Хабарова А.И.* Определение активной азотфиксации бобовыми. Вестник с.-х. науки, 12. 1966.

*Статья поступила
29 марта 2005 г.*