فلسروهای نو

تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، چشم‌اندازی برای کشاورزی پایدار*

ترجمه: دکتر قدرت‌الله فتحی و مهندس کوروش رضایی‌مقدم**

چکیده

زیانهای اقتصادی و زیستمحیطی برگرفته از کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی ازته در کشاورزی سبب بروز نگرانیهایی در سطح جهان شده است. ملاحظات پایداری ایجاب می‌کند که هر چه سریعتر جایگزینهایی برای این کودها پیدا شود. تثبیت بیولوژیکی نیتروژن (Biological Nitrogen Fixation = BNF) به عنوان یک فرایند که طی آن نیتروژن جوّ به شکل قابل استفادهٔ گیاه در می‌آید به عنوان یک گزیدار مطرح است. سیستمهای تثبیت نیتروژن

---

* مأخذ: Plant and soil, No: 141 - printed in the Netherlands

** به ترتیب استادیار مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی کشاورزی رامین، دانشگاه شهید چمران اهواز و کارشناس ارشد ترویج و آموزش کشاورزی.

روشهای جذاب و مورد توجهی از لحاظ خلأ اقتصادی و بومشناختی برای کاهش نهاده‌های خارجی و بهبود منابع داخلی در سطح مزرعه مطرح می‌کنند. سیستمهای همزیستی همچون همزیستی بین گیاهان گروه بقولات و باکتریهای ریزوبیوم می‌توانند به عنوان یک منبع عمده تأمین نیتروژن در بیشتر سیستمهای زراعی باشند. همچنین آزولا و آنابنا نیز می‌توانند ارزش ویژه‌ای برای شالیزارهای غرقابی داشته باشند. تثبیت نیتروژن به وسیله میکروارگانیسمهای آزاد و غیر همزیست نیز اهمیت خاص خود را دارد. با این حال محدودیتهای علمی و اجتماعی - فرهنگی استفاده از سیستمهای BNF را در کشاورزی محدود می‌کند. هر چند که تعدادی از عوامل محیطی که روی BNF اثر می‌گذارند مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند با این حال هنوز ابهاماتی در مورد واکنشهای میکروارگانیسمها نسبت به شرایط محیطی معین وجود دارد. در مورد بقولات، الگوهای بومشناختی پیشبینی کننده احتمال و میزان واکنش نسبت به تلقیح ریزوبیومی در دسترس است. زیست‌شناسی مولکولی موفق شده است که صفتهای برگزیده‌ای را در ارگانیسمهای تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن نشان دهد، ولی نبود اطلاع کافی در زمینه چگونگی اثر متقابل آنها با محیط به عنوان یک مشکل مطرح است. مشکل تشخیص ارگانیسمهای معرفی شده در سطح مزرعه، هنوز یک مانع اساسی بر سر راه ارزیابی موفقیت یا شکست تلقیح محسوب می‌شود. مشکلات در سطح تولید و عوامل اجتماعی - فرهنگی نیز به نوبهٔ خود محدودکنندهٔ به کارگیری سیستمهای BNF در شرایط واقعی مزرعه‌اند. بهترین نتیجه وقتی به دست می‌آید که محدودیتهای عمده کاربرد BNF در سطح مزرعه و همراه پذیرش و کاربرد این فن‌آوری از سوی کشاورزان، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

مقدمه

تأثیر کودهای شیمیایی در افزایش تولید مواد غذایی بر کسی پوشیده نیست به طوری که امروزه جزء جانشین ناپذیر کشاورزی نوین شده است. انقلاب سبز در نیمه دوم سده کنونی که با فن‌آوری آمیخته شده است به طور وصف ناپذیری به کودهای مصنوعی بستگی دارد. روسل و

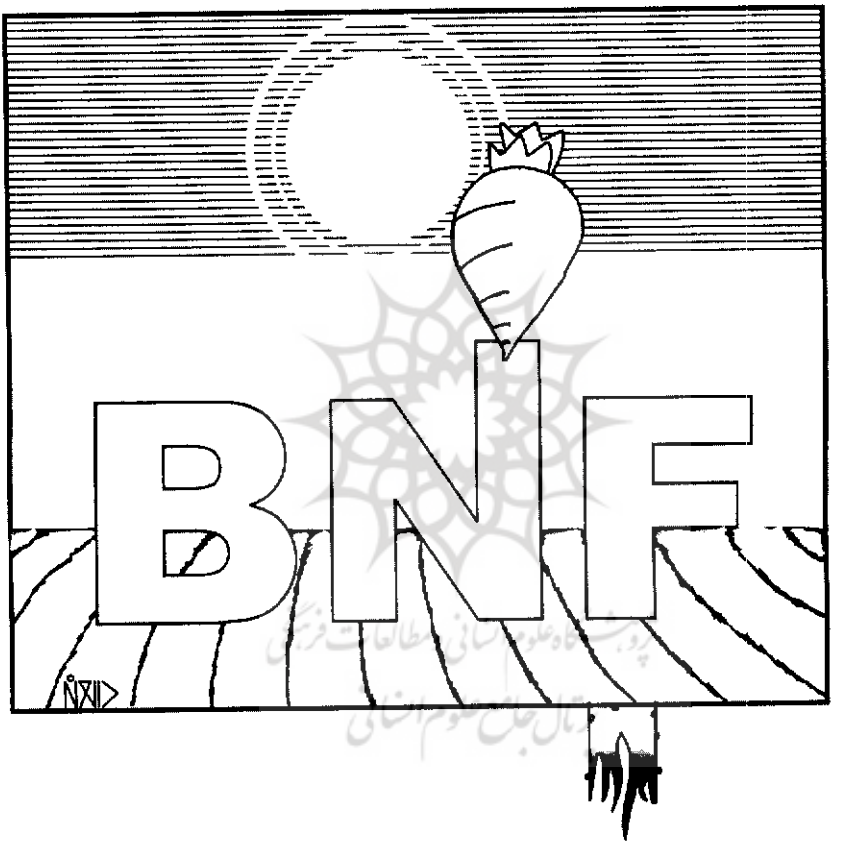
همکاران (Russell et al. 1989) براورد کرده‌اند که در سال ۱۹۸۵ در سطح جهان با مصرف ۳۸/۸ میلیون تن کود ازته در غلات بیش از ۵۰ درصد به تولید آنها در همان سال (تولید ۹۳۸ میلیون تن) افزوده شده است. آنها رابطه‌ای را بین مصرف کود ازته در غلات (x) و متوسط تولید (y) در سطح جهانی در فاصله سالهای ۱۹۵۶ و ۱۹۸۵ پیدا کرده‌اند که معادلهٔ آن چنین است:

$$y = ۱۲۰۲ + ۱۳/۳x \qquad \text{با} \qquad R^۲ = ۰/۹۸۳$$

که بیانگر تأکید و اهمیت بر نقش کودهای ازته در تولید مواد غذایی در حال حاضر است. از سوی دیگر، مناطق وسیعی از جهان در حال توسعه وجود دارند که دسترسی و امکان تهیه کودهای ازته برای آنها مقدور نیست. افزون بر آن در بیشتر این کشورها حذف یارانه در مورد کودهای ازته به سبب وجود مشکلات تراز پرداختی (مالی) باعث افزایش قیمت و کاهش عرضه شده است. حتی در کشورهای ثروتمندتر، ملاحظات اقتصادی و زیستمحیطی ایجاب می‌کند که راه حلهای زیستشناختی (بیولوژیکی) جایگزین روش جاری تأمین کود ازته شود. فرایند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن (BNF) یکی از این راه حلهاست. در این نوشتار، موضوعات پایداری در زمینه افزایش استفاده از BNF و محدودیتهای استفاده مناسب BNF در کشاورزی بیان می‌شود.

پایداری در کشاورزی

مدیریت همراه با موفقیت منابع، به منظور براورده کردن نیازهای در حال تغییر بشر که در آن حفظ یا افزایش کیفیت محیط و نگهداری منابع ملحوظ باشد، به عنوان پایداری تعریف می‌شود (TAC, CGIAR, 1978). از نظر اقتصاددانان نسبت بازده به نهاده (خروجی به ورودی) با توجه به محدودیت منابع (موجودی) سنجشی از پایداری را به دست می‌دهد. منابع موجود در کشاورزی در برگیرنده خاک، آب، منابع انرژی تجدیدناپذیر و کیفیت محیط زیست است.


BNF

کشاورزی نوین بر پایه حداکثر بازدهی در کوتاهمدت، بدون توجه به کارایی نهاده یا نگهداری از منابع موجود استوار است (Odum,1989). کود ازته در بین نهاده‌های بیرونی برای حداکثر کردن بازدهی کشاورزی نقش نخست را دارد. با توجه به پایین بودن کارایی کودهای ازته نسبت به دیگر مواد غذایی گیاهی، آلودگی محیط پس آیند کارایی پایین چنین کودهایی است. استفاده دائم و رو به فزونی از کودهای ازته باعث کاهش منابع انرژی تجدیدناپذیر مورد استفاده در تولید کودهای شیمیایی می‌شود. برداشت مقدار زیادی از تولید گیاهی از مزرعه، خاک را با کمبود ذخایر اولیه نیتروژن روبه‌رو می‌سازد. از طرف دیگر BNF به عنوان یک فرایند میکروبیولوژیکی در بیوسفر N_2 موجود در جوّ را با کمک آنزیم میکروبی نیتروژن (نیتروژناز) به شکل در خور بهره‌برداری گیاه در می‌آورد. این مسئله هم به ذخیره نیتروژن خاک کمک کرده و هم به عنوان جایگزینی برای کود ازته جهت به دست آوردن تولید انبوه خواهد بود (Pecoples and Craswell, 1992).

موضوع دیگری که باید به آن توجه ویژه‌ای داشت، کاهش تولید در اثر استفاده مکرر از کودهای ازته است. این مسئله هم در کشورهای توسعه نیافته (Barker and Chapman, 1988; Byrlee 1987) و هم در کشورهای پیشرفته (Plucknett and Smith, 1986) صادق است. بنا به گفته اودم (Odum, 1989) در ایالت جورجیای امریکا به ازای ۱۱ واحد افزایش کود ازته، افزایشی ۴ واحدی در تولیدات زراعی در فاصله دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ به دست داده است. تجزیه و تحلیل اطلاعات چندین ساله در شرایط آزمایشگاهی در مورد برنج در فیلیپین، اندونزی و تایلند به وسیله پینگالی و همکاران (Pingali ۱۹۹۰ et al) چنین روند کاهشی را نشان می‌دهد.

ملاحظات اقتصادی: چشم‌انداز سوخت فسیلی

بحران نفت دهه ۱۹۷۰ و مشکلات جاری خاورمیانه بیانگر آسیب‌پذیری سیستمهای تولید غذایی و کشاورزی وابسته به سوختهای فسیلی است. همان طوری که قیمت نفت بالا می‌رود، قیمت نهاده‌های کشاورزی بویژه کودهای ازته نیز افزایش پیدا می‌کند.

فرایندهای صنعتی برای تولید کود ازته به نحو چشمگیری وابسته به سوخت فسیلی بوده، به طوری که بخش عمده‌ای از منابع انرژی ما را به خود اختصاص می‌دهد. ساختن ترکیبات نیتروژنه از گاز N_2 (فرایند Haber - Bosch) نیاز به مقدار زیادی هیدروژن که از گازهای طبیعی بدست می‌آید، دارد. افزون بر آن، مقادیر در خور توجهی انرژی برای استقرار و نگهداری شرایط درجه حرارت و فشار بالا لازم است تا نیتروژن و هیدروژن با هم ترکیب شده و تولید آمونیاک کنند. در ضمن افزون بر هزینه‌های تولید، مقدار زیادی انرژی برای حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی و کاربرد کود ازته نیز مصرف می‌شود. این مقدار انرژی برای هر کیلوگرم کود ازته حدود ۲۲۰۰۰ کیلو کالری براورده شده است که تولید، توزیع و مصرف آن را در بردارد (به Evans, 1975 مراجعه کنید).

هزینه‌های سرمایه‌ای برای احداث یک کارخانه متوسط تولید کود ازته به تنهایی بیش از ۱۰۰ میلیون دلار است. افزون بر اینکه بیشتر قطعات و معلومات خاص ساخت کارخانه باید از کشورهای صنعتی وارد شوند. پس گسترش چنین واحدهایی در کشورهای در حال توسعه مشکل‌زاست.

ملاحظات در مورد کیفیت زیستمحیطی: آثار بهداشتی و بومشناختی

زیانهای زیستمحیطی و بهداشتی برگرفته از کاربرد کودهای ازته بسیار بیشتر از منافع اقتصادی آن است. وجود نیترات در آبهای زیرزمینی مناطق ذرت خیز ایالات متحد و دیگر مناطق دارای کشت فشرده به عنوان یک نگرانی عمده مطرح است. به نحوی که نیتروژن در رواناب و آبهای سطحی منجر به آلودگی زیاد و ایوتروفیکاسیون (Eutrophication) رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌شود. اکسیدهای گازی شکل نیتروژن که از کودهای ازته متصاعد می‌شوند واکنش شدیدی داشته و به عنوان یک خطر عمده برای دوام لایهٔ اوزن قلمداد می‌شوند. جدول شماره ۱ آثار زیانبار و بالقوه کاربرد زیاد کود ازته را خلاصه کرده است (Keeney, 1982)

پایداری تولید: مدیریت منابع داخلی

نظامهای درازمدت پایدار کشاورزی باید تا سر حد امکان بر پایه استفاده و مدیریت مؤثر منابع داخلی باشند. گیاهان تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن روشهای مورد توجهی از نظر اقتصادی و بومشناختی را مطرح می‌کنند که باعث کاهش نهاده‌های خارجی (خارج از مزرعه) و بهبود کیفیت و کمیت منابع داخلی می‌شوند. تثبیت بیولوژیکی نیتروژن وقتی که سیستمهای تثبیت N_2 (به صورت همزیست) مورد استفاده قرار گیرند می‌تواند به عنوان یک منبع مهم تولید نیتروژن در کشاورزی باشد وقتی که سیستمهای تثبیت N_2 (به صورت همزیست) مورد استفاده قرار گیرند. مقدار نیتروژن مصرفی در یک هکتار حدود $Kg\ Nha^{-1}$ ۳۶۰، گزارش شده است (جدول شماره ۲). بنابراین با توجه به پایین بودن مقدار نیتروژن تثبیت شده از طریق میکروارگانیسمهای غیر همزیست (به صورت کلنی یا آزاد) جهت رفع این کمبود نیاز به کود نیتروژن تکمیلی است.

در میان روشهای همزیستی تثبیت نیتروژن، بقولات غده‌دار (Nodul Legums) طی قرنها در نظامهای کشاورزی کاربرد داشته است. این گیاهان می‌توانند به هدفهای زیادی در کشاورزی پایدار کمک کنند. برای نمونه می‌توان از آنها به عنوان منابع اولیه غذا، سوخت، کود، غنی‌کردن خاک، حفظ رطوبت و جلوگیری از فرسایش خاک استفاده کرد. از موارد کاربرد دیگر می‌توان به ایجاد بادشکن، پرچین، سایه، تولید رزین، صمغ و رنگ اشاره کرد. تعدادی از گیاهان زمینی گلدار در مناطق گرمسیری در گروه بقولات قرار دارند (برای جزئیات بیشتر به NAS, 1979 مراجعه کنید).

بعضی از گیاهان غده‌دار غیر از بقولات، به طور مشخص گونه‌های Casuarina که از گیاهان مقاوم و تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن بوده و تولید چوب با کیفیت بالای سوختی می‌کنند در تثبیت تپه‌های شنی و دیگر تپه‌های فرسایش‌پذیر، اصلاح و آباد کردن اراضی باتلاق که زیر تأثیر نوسانهای آبهای شور و شیرین‌اند مورد استفاده قرار می‌گیرند. این درختان همچنین برای ایجاد سایه پرچین و بادشکن مفیدند (برای جزئیات بیشتر به NRC, 1984 مراجعه کنید).

یکی از مواردی که ارزش عملی ویژه‌ای در سیستمهای تولید برنج دارد تثبیت نیتروژن به

روش همزیست در سرخس آبی یا آزولاست. آزولا از طریق همزیستی با نوعی سیانوباکتریوم (Anabaena azolla) می‌تواند در هر روز ۴Kg - ۲ نیتروژن در هکتار را تثبیت کند (Lumpkin and Plucknett, 1982) به تازگی فواید دیگری نیز برای آزولا تشخیص داده شده است که عبارت است از: جلوگیری از رشد علفهای هرز، مصرف پتاسیم داخل سیلابها (جذب پتاسیم)، تغذیه دام، تغذیه ماهی، جذب فسفر از گیاهان در فاضلاب و جلوگیری از تبخیر آمونیاک (Watanabe and Li, 1992)

باور بر این است که میکروارگانیسمهایی که به صورت آزاد یا کلنی زندگی می‌کنند به پایداری تولید در روشهای غرقابی تولید برنج کمک می‌کنند. (Roger and Land, 1992). به تقریب حدود ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز برنج به روش غرقابی از خاک تأمین می‌شود (Bouldin, 1986) و چنین تصور می‌شود که این مقدار از طریق BNF به وسیله میکروارگانیسمهای آزاد و کلنی به دست می‌آید، (Koyama and App, 1.979) سهم روشهای غیر همزیست برای تثبیت نیتروژن در زمینهای مرتفع در خور توجه نیست (kennedy and Tohan, 1992). گرچه حدود ۱۶۰ Kg در مورد نیشکر گزارش شده است (جدول شماره ۲).

موانع کاربرد سیستمهای تثبیت نیتروژن

هنوز مسائل ناشناخته بسیاری در زمینهٔ درک علمی تثبیت نیتروژن وجود دارد. تحقیق در مورد ساز و کارهای اصلی فرایند (چگونگی تثبیت نیتروژن) یک هدف مهم برای گسترش سیستم تثبیت نیتروژن در آینده است (Ishizuka, 1992)، که محدودیتهای کاربرد فن‌آوریهای BNF موجود نیز یکی از این موارد است. بنابراین به سبب آن که از معلومات موجود بویژه در کشورهای در حال توسعه استفاده نمی‌شود، پس باید تلاشهای بیشتری برای پذیرش معلومات موجود انجام گیرد.

موانع فنی، اجتماعی - اقتصادی و انسانی عمده از دیگر موارد نبود اجرای کاملتر فنون BNF در سیستمهای BNF است.

جدول شماره ۱. تأثیر زیانبار بالقوه بهداشتی و زیستمحیطی برگرفته از کاربرد نیتروژن اضافی (Keeney ،۱۹۸۲)

تأثیر	علت
بهداشت بشر	
مت‌هموگلوبینمیا Methemoglobinemiaدر کودکان	NO_2 و NO_3 اضافی در آب و غذا، بیماری نیتروزامین
سرطان	ناشی از NO_2، آمینهای ثانویه، نیتراتهای پراکسی آسیل، نیتراتهای الکیل و ذرات NO_3 در هوا وجود بخار
بیماریهای تنفسی	NO_2 و HNO_3 در اتمسفر مناطق شهری
بهداشت محیط زیست	
ایوتروفیکاسیون (Eutrophication)	NO_3 اضافی در آب و غذا، وجود
زیانهای اکوسیستمی	ازت آلی و معدنی در آبهای سطحی
مسمومیت گیاهی	وجود ذرات HNO_3 در باران
رشد اضافی گیاهان	وجود NO_2 بیش از اندازه در خاکها
رقیق کردن یا از بین بردن لایهٔ اوزن	وجود نیتروژن اضافی در دسترس
دنیتروفیکاسیون و Stack emissions	اکسیدهای نیتروژن، برگرفته از نیتروفیکاسیون،

موانع فنی، می‌تواند از راه برنامه‌های جامع پژوهشی کاربردی و پایه برطرف شود. موانع انسانی با آموزش، تربیت نیروی ماهر و توسعه تشکیلات خصوصی در این زمینه، برداشته می‌شود.

بهترین نتیجه از سیستمهای BNF تنها وقتی به دست می‌آید که موانع به کارگیری مطلوب آنها در مزرعه و همچنین موانع پذیرش و کاربرد آنها از سوی کشاورزان تجزیه و تحلیل شده و راه حلهای لازم ارائه شوند. این موانع را می‌توان به موانع محیطی، بیولوژیکی، روش‌شناسی، میزان تولید و اجتماعی - فرهنگی تقسیم‌بندی کرد.

موانع محیطی

زیست‌شناسی مولکولی جدید، تغییر در ترکیبات ژنتیکی موجودات زنده و پدیدآوردن صفتهای مطلوب برای بشر را امکانپذیر کرده است. به هر حال، با توجه به نبود شناخت ما از اینکه موجودات زنده چگونه با محیطشان واکنش نشان می‌دهند، نحوه تنظیم آنها را مشکل کرده است. در حال حاضر پرسش این نیست که ما این موجودات را چگونه از لحاظ ژنتیکی طراحی کرده یا به چه منظور آنها را تولید و تکثیر کنیم، بلکه چالش اصلی بر سر پیوند دادن پتانسیل ژنتیکی سیستمهای زنده با پارامترهای محیطی است. درک چگونگی واکنش سیستمهای تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن نسبت به شرایط متغیر محیط خاک برای ایجاد این سیستمها ضروری است. شناخت کامل اکولوژی سیستمهای مختلف تثبیت نیتروژن برای پذیرش و کاربرد موفق فن‌آوریهای BNF برای تولید پایدار نیز ضروری و قطعی است.

قانون حداقل (Law of the Minimum) بیان می‌دارد که تولید گیاهی می‌تواند به وسیله یک عامل محدودکنندهٔ منفرد در سیستم تعریف شود. رفع این عامل محدودکننده تا زمانی که عامل رشد ضروری دیگری محدودیت ایجاد نکند باعث افزایش تولید خواهد شد. بنابراین از لحاظ شیمیایی و زیستشناختی تا هنگامی که عامل دیگری در سیستم ایجاد محدودیت می‌کند، تثبیت نیتروژن به افزایش محصول کمکی نخواهد کرد. چند عامل محیطی که بر عملکرد همزیستی لگوم - ریزوبیا (Alexander, 1985; Atkins, 1986) و همزیستی آکتینوریزال (Frankia) (Tjepkema et al., 1986; Torrey, 1978) تأثیر می‌گذارند مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. گیبسون (Gibson, 1977)، مونز و فرانکپ (Munns and Francop, 1982)، فریر (Freire, 1984)، ولادها و همکارانش (Ladha et al,1992) موانع خاک بر عملکرد همزیستی را بررسی کرده‌اند. ملاحظات عمده مؤثر بر میکروب، میزبان و واکنش متقابل همزیستی در برگیرنده اسیدیته خاک (Munns. 1977)، دیگر عوامل وابسته به اسیدیته مانند سمیت آلومینیم و منگنز و کمبود کلسیم (Singer and Munns, 1987)، فسفر (Almendras and Bottonmley, 1988; Cassman et al., 1981; Helyar and Munns 1975 Keyser and Munns, 1979; Leung

(Beck and کـــــلسیم and Bottomley, 1987; Munns, 1979; Singleton et al., 1985، Munns 1984, 1985) شوری (Singleton and Bohlool, 1983) و سـیلاب (Ladha et al., 1992)، هستند. فعالیت همزیستی در جامعه گیاهی در گرو میزان معدنی شدن نیتروژن از منابع آلی است (George et al., 1988).

واتاناب و لیوو (Watanabe and Liu, 1992) موانع محیطی شدیدی که عملکرد مناسب آزولا را محدود می‌کند، مورد بحث قرار دادند. این موانع کمبود در برگیرنده فسفر، حساسیت به خشکی و حرارت بالاست.

یکی از موانع عمده استقرار و فعالیت مؤثر سیستمهای تثبیت نیتروژن، رقابت از سوی موجودات زنده بومی (موجود در مزرعه) است. این مسئله بویژه در مورد تلقیح کننده لگومها درست بوده و می‌تواند به عنوان یک مشکل جدی برای دیگر موجودات زنده بیگانه در محیط جدید باشد.

پیچیدگیهای رقابت برای غدهٔ بقولات زیاد است، کـه در آخـرین بـررسی دولیـنگ و بروقتون (Dowling and Broghton, 1986) آمده است. تأثیرات محیطی همانند درجه حـرارت خاک (Weber and Miller, 1972) یا فسفر و پتاسیم اضافی (Almendras and Bottomley, 1988) می‌توانند الگوهای رقابت را تغییر دهند.

انـــدازه جمـــعیت طـــبیعی ریـــزوبیا (rhizobia) بـــه احـــتمال اسـتقرار تـلقیح‌کننده (Bohlool and Schmidt, 1973; Weaver and Frederick, 1974 a, b) و میزان واکنش گیاه لگوم را به ریزوبیای کاربردی (Singleton and Tavares, 1986) تحت تأثیر قرار می‌دهد. تولید و غده‌سازی در گیاه میزبان نخود گاوی (Vigna Unguiculata Walp) (Cow Pea) می‌تواند با تلقیح افزایش پیدا کند و کمتر تحت تأثیر اندازه جمعیت و قدرت رقابت گونه‌های بومی بـرادی ریزوبیوم (Brady-rhizobium) در خاکهای گرمسیری واقـع شـود (Danso and Owiredu, 1988) به هر حال اینکه لگومهای گرمسیری به قدرت تلقیح ریزوبیومی پاسخ نمی‌دهند تصوری نادرست بر پایه فرضیه‌های ناقص و اطلاعات خیلی کم است (Singleton et al., 1991). سویا که

نیازهای ویژه ریزوبیومی دارد نسبت به تلقیح با برادی - ریزوبیوم ریزوبیا (Brady - rhizobium rhizobia) زمانی که نخستین‌بار در یک منطقه معرفی شده، واکنش نشان داد (Thies et al., 1991a). وقتی این نوع ریزوبیوم حالت طبیعی به خود گرفت (بومی شد) واکنش محصول به تلقیح در گیاهان زراعی بعدی برای مدت طولانی مشاهده نمی‌شود (Dunigan et al., 1984; Ellis et al., 1984). تیز و همکارانش (Thies et al., 1991b) به تازگی برای توسعه الگوهای بومشناختی برای پیشبینی احتمال و میزان واکنش لگوم به تلقیح ریزوبیومی از شاخصهای اندازه جمعیت بومی ریزوبیوم و موقعیت ازت خاک استفاده کرده‌اند.

موانع بیولوژیکی

آنچه که در نهایت تعیین‌کنندهٔ موفقیت BNF است پتانسیل ژنتیکی و چگونگی تأثیر متقابل با شرایط محیطی است. شکل ۱ اطلاعات مربوط به تلقیح لگوم از سوی تیز و همکارانش را خلاصه می‌کند (Thies et al., 1991a). در این آزمایش ۲۹ ترکیب مختلف از ۹ لگوم در ۵ منطقه مختلف، که در آن بقولات تلقیح شده و تلقیح نشده با بقولاتی که به آنها در هر هکتار ۱۰۰۰ کیلوگرم ازت داده شده بود مقایسه شد (هر هفته ۱۰۰ کیلوگرم). مقدار N برای هر گونه با پتانسیل تولید ۱۰۰٪ در نظر گرفته شده است. تفاوت میان بقولات تلقیح شده و تلقیح نشده بیانگر وجود فرصتهایی برای افزایش تولید با استفاده از اطلاعات موجود و فن‌آوری BNF است. تفاوت بین بقولات تلقیح شده و گیاهان کود داده شده (N) بیانگر وجود فرصتهایی است که به منظور بهبود همزیستی با استفاده از دستکاریهای ژنتیکی (پتانسیل ژنتیکی)، مدیریت محیطی و یا هر دو است.

عوامل زیستشناختی گوناگون ممکن است BNF را در تمام سیستمهای تثبیت نیتروژن تحت تأثیر قرار دهند. در جوامع همزیست هر دو شریک در برابر موانع زیستشناختی مانند بیماری یا شکار قرار می‌گیرند که به طور مستقیم و غیرمستقیم مقدار نیتروژن تثبیت شده و مقدار در خور استفاده برای اجزای سیستم زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

به طور کلی، بویژه در بقولات مقدار نیتروژن تثبیت شده بستگی مستقیم به پتانسیل رشد

میزبان در یک سیستم خاص دارد. وقتی رشد برای مثال، بر اثر بیماری محدود می‌شود، نیتروژن تثبیت شده به میزان در خور توجهی کاهش پیدا می‌کند.

موانع روش‌شناسی

مشکل تشخیص میکروارگانیسمهای معرفی شده در شرایط مزرعه‌ای یکی از موانع عمده ارزیابی موفقیت یا شکست فن‌آوری در زمینهٔ BNF است. این مسئله در ارتباط با بقولات هزیست به نسبت ساده‌تر است زیرا در بیشتر سیستمها می‌توان با کاربرد روشهای سرولوژیکی (سرمشناسی) نسبت به تشخیص موفقیت‌آمیز ریزوبیا اقدام کرد (برای بررسی بیشتر به Bohlool and Schmidt, 1980; Bohlool, 1987 مراجعه کنید). با بررسیهای بیشتر بر روی DNA در سطح خصوصیت نژادی (Holben et al., 1988) این احتمال وجود دارد که این مانع نیز در آیندهٔ نزدیک برای بیشتر سیستمهای BNF برطرف شود.

فن‌آوری تولید تلقیح‌کننده‌ها در مورد لگومها پیشرفت خوبی داشته است وی در ارتباط با آکتینوریزال (Actinorhizal) و دیگر سیستمهای BNF این پیشرفت مراحل اولیهٔ خود را می‌گذارند، (Terrey, 1978). اگرچه در زمینهٔ رشد و پرورش فرانکیا (Frankia) به صورت خالص موفقیتهایی به دست آمده ولی هنوز تلقیح در مقیاس بزرگ یک مشکل است. حتی در ارتباط با بقولات، میزان تولید، فراهم بودن روشهای مناسب انتقال، نگهداری ژرم پلاسم و زمان مصرف تولیدات از موانع عمده کاربرد تلقیح‌کننده‌ها بویژه در کشورهای در حال توسعه است.

یکی از موانع عمده روش‌شناسی بر سر راه کاربرد BNF، نبودن روشهای مطمئن اندازه‌گیری نیتروژن تثبیت شده در داخل مزرعه است. وقتی ایزولاینهای تثبیت‌کنندهٔ غیر ژنتیکی در دسترس باشند روش تعیین تفاوت نیتروژن می‌تواند برآورد به نسبت خوبی از نیتروژن تثبیت شده ارائه دهد. متأسفانه تا این زمان، تنها در مورد سویا و تا حدودی نخود، ایزولاینهای مشخص شده nod - nod گزارش شده‌اند. گزارشهایی در مورد

Peanuts, nod - nod alfafa و Chick peas وجود دارد اما در سطح وسیع مطالعه نشده‌اند. چندین فصل از این گزارشها، روش‌شناسی‌های اندازه‌گیری BNF و بحث در مورد نقطه‌های قوت و محدودیتهای فنون مختلف اندازه‌گیری را بیان می‌کند.

موانع سطح یا میزان تولید

توسعه یک سیستم BNF مؤثر و کارا به طور قطعی بـه مـعنای تـرکیب مـوفق آن بـا سیستمهای زراعی رایج نیست. زیرا موانع تولیدی چندی در سطح مزرعه‌ای وجود دارند که ترکیب سیستم یادشده را با سیستمهای زراعی محدود می‌کنند.

غلات، دورنمای کشاورزی در شرایط حاره‌ای و گرمسیری را تعیین می‌کنند. قرار دادن بقولات در بین غلات با توجه به سودمندیهای BNF یک وظیفه است. شواهد بیشتری در مورد بقولات در درون سیستمهای زراعی باید شناخته شـده و محـدودیتهای اگـرونومیکی جـهت بهره‌برداری مستقیم و غیرمستقیم از سیستمهای BNF نیز بررسی و برطرف شوند.

تولید گیاهان بقولات در سطح گسترده بویژه در مناطق حاره‌ای مرطوب محدود شده است. (Khama - Ghopra and Sinha, 1989). بارش و رطوبت زیاد در طی فصل بارندگی سبب شیوع حشرات و بیماریها می‌شود که کنترل آنها مشکل است، بنابراین سبب دوام نداشتن محصول می‌شود. غلاف بقولات دانه‌دار به علت داشتن خاصیت جذب آب در شرایط رطوبتی زیاد، باعث پوسیدگی و از بین رفتن دانه می‌شود (Shanmugasundaram, 1988). پس در مقایسه با غلات باید تدابیر ویژه‌ای گرفته شود. در بیشتر بقولات به دلیل داشتن خـصوصیتهای نـامشخص و نامعین، نسبت دانه به بیوماس در شرایط پرباران و آب و هوای ابری در آنها کم است.

به دلیل موانع پیشگفته، بیشتر تولیدات بقولات در یک دوره انتقالی از شرایط رطوبتی به خشکی در پایان فصل رشد یا در طول یک دوره خشکی به مرطوب در اول فصل رشد به دست می‌آیند. این فصلها چون در برابر تغییرات بارندگی قرار دارند به تناوب تنش رطوبتی یا رطوبت اضافی را به دنبال خواهند داشت (George et. al 1992). ثبات تولید در شرایط رطوبتی متغیر با

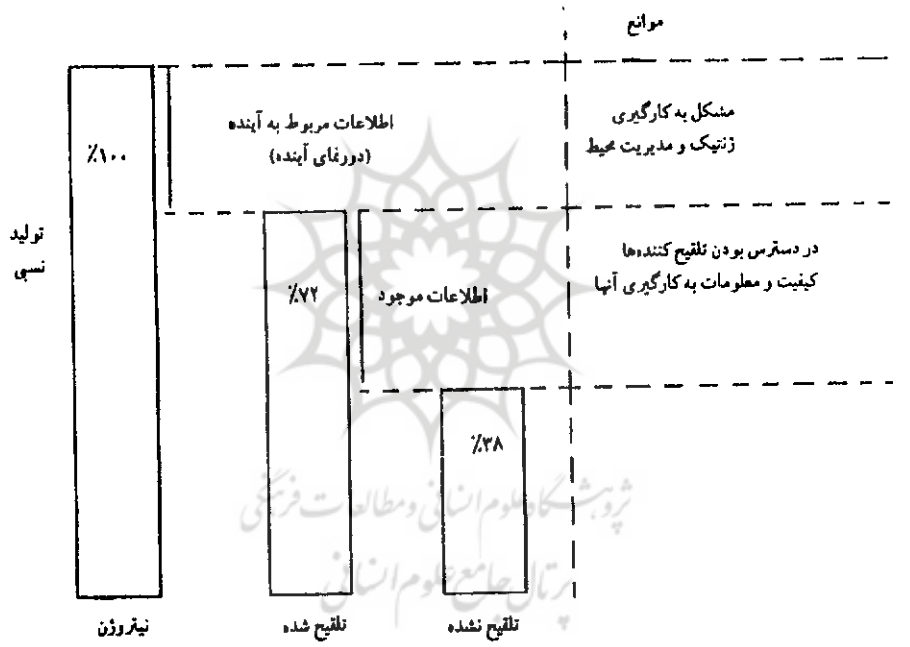
مشکل روبه‌رو بوده و در نتیجه تولید دانه و اثر BNF نامطمئن است.

جدول شماره ۲. برآورد دی نیتروژن تثبیت شده به وسیله سیستمهای مختلف تثبیت N_2 در کشاورزی

سیستم تثبیت N_2	N_2 تثبیت شده (کیلوگرم در هکتار)	منابع
سیستمهای غیرهمزیست (کلنیهای آزاد)		
جلبکهای سبز - آبی در برنج	۱۰ - ۸۰ $crop^{-1}$	Roger and ladha (1992)
کلنیهای باکتریایی در برنج	۱۰ - ۳۰ $crop^{-1}$	Roger and ladha (1992)
کلنیهای باکتریایی در نیشکر	۲۰ - ۱۶۰ $crop^{-1}$	Urquiaga et al.,(1989)
سیستمهای همزیست		
برنج - آزولا	۲۰ - ۱۰۰ $crop^{-1}$	Roger and ladha (1992)
لگوم - ریزوبیوم		
Leucaena Leucoephala	۱۰۰ - ۳۰۰ yr^{-1}	Danso et al.,(1992)
Glycine max	۰ - ۲۳۷ $crop^{-1}$	Keyser and Li (1992)
Trifolium repens(شبدر)	۱۳ - ۲۸۰ $crop^{-1}$	Ledgard and steel (1992)
Sesbania rostrata	۳۲۰ - ۳۶۰ $crop^{-1}$	Ladha et.al (1990)
Frankia Casuarina (غیر لگوم)	۴۰ - ۶۰ yr^{-1}	Gauthier et al (1985)

در اراضی مرتفع و مرطوب که انواع خاکهای آلتیسول (Ultisols) و آگزیسول (Oxisols) در سه منطقه گرمسیری نقش بارز را دارند، اسیدتیه زیاد و کمبود فسفر از مشکلات عمده است (Sanchez, 1980). اگر آنها با منابع غذایی خارج از مزرعه تقویت نشوند تولید متداول دانهٔ لگوم رضایتبخش نخواهد بود. سهم BNF در چنین خاکهایی به علت اینکه نیتروژن عنصر غذایی محدودکننده اولیه نیست مشخص نمی‌شود. در حال حاضر، رهیافت سیستمهای نامتعارف و در حال توسعه BNF برای خاکهای بسیار اسیدی توجه زیادی را به خود جلب کرده

است. بـرای پـایداری تـولیدات گسـترده، تأکـید ویـژه بـر سـیستمهای کشت راهـرویی (alley - Cropping) با بهره‌گیری از درخـتان یـا گـیاهان عـلوفه‌ای خـانواده بـقولات است (Kang, 1990). در مورد سیستمهای آیش – تناوب که در نواحی وسیعی استفاده می‌شوند، آیش منظم گیاهان بقولات در حال توسعه است. ولی تا چندی پیش، توجه پژوهشی کمی به این فعالیتها اختصاص داده شده است.



شکل شماره ۱. مقایسه مزایای تلقیح ریزوبیومی و کاربرد ازت. آزمایش در مورد ۹ گونهٔ لگوم و در ۵ منطقه انجام شده است (Thies et al., 1991a)

در سیستمهای تولید برنج در زمینهای مرطوب نواحی حاره‌ای، کودهای سبز از خانواده

بقولات علوفه‌ای و حبوبات بـه صـورت سـنتی نـقش مـهم و حـیاتی BNF را ایـفا مـی‌کنند (King, 1911). در چند دهه پیش اثر کاهش هر دو بر کاربرد کود ازتـه گسـترده بـوده است. پژوهشها در مورد گونه‌های جدید برای بهره‌برداری بهتر از آشیانه‌های سیستمهای زراعی در حال گسترش است. یک نمونه در این مورد، معرفی گونه‌های کود سبز از ساقه‌های غده‌دار است (Ladha et al., 1992) که بهتر با شرایط پرآب سازگاری دارند. به هر حال، موانع معمول و نمونه زراعی در مورد تمام کودهای سبز به عنوان موانع واقعی پذیرش به قوت خود باقی مـی‌مانند. (Garrily, 1990. در مـورد بـیشتر گـونه‌ها، تـولید پـایدار دانـه یک هـدف اولیـه است (Garrity, 1990) اما انجام موفقیت‌آمیز تولید و ترکیب آن با خاک در خلال آماده‌کردن زمین برای برنج، باید به طور حتم با کمترین هزینه انجام گیرد (Pradhan, 1988). البته توجه بسیار کمی به این موضوعات حیاتی زراعی می‌شود.

اگرچه آزولا می‌تواند شرایط BNF را برای اراضی مرطوب و غرقابی پـدید آورد ولی فن‌آوری به کارگیری آن در سطح مزرعه با موانعی روبه‌روست که کاربرد گسـترده آن را از سوی کشاورزان محدود می‌کند. موانع عمده چنین است: مشکـل نگـهداری، تـوزیع و پـخش تلقیح‌کننده در طول سال و حساسیت به آفات و بیماریها.

در مناطق گرمسیری نیمه خشک نقش بقولات نسبت به مناطق گرمسیر مرطوب بارزتر است (Willeg, 1979) زیـرا آنهـا بـه صـورت مـیانه کـاری بـا غـلات کشت مـی‌شوند (Fujita et al., 1992). برای نمونه در هندوستان لوبیا با سورگوم و در غرب افریقا نخود گاوی با سورگوم یا ذرت کشت می‌شوند. برتری میانه کاری لگوم با غلات بخوبی و در مدت طولانی در این مناطق مشاهده شده است. هر چند که دوام درازمدت این سیستمها هنوز قطعی نیست مگر اینکه پیشرفتهای مداومی در کارایی زراعی آنها دیده شود.

در مناطق معتدله، بقولات روغنی بویژه سویا (Keyser and Li, 1992) و یـا بـقولات علوفه‌ای (Ledard and Steek, 1992) اهمیت بیشتری دارند. پژوهشهای زراعی گسـترده‌ای نشان می‌دهند که محصول تولیدی آنها بسیار با ارزش است. همچنین نقش غیرمستقیم آنهـا در

BNF به عنوان گیاهان بعدی در تناوبها برای کشاورزان روشن شده ولی در عمل مورد توجه قرار نگرفته است. دلیل این امر نامشخص بودن مقدار مطمئن و واقعی نیتروژن از فصلی به فصل دیگر در سطح مزرعه است. در نتیجه کشاورزان سهم نیتروژن لگوم پیشین را در هنگام به کارگیری کود ازته برای کشت غلات بعدی فراموش می‌کنند. تا زمانی که ابزار بهتر برای براورد نیتروژن لگوم پدید نیامده، بقولات ممکن است سبب شستشوی نیترات شده و پیرو آن پیامدهای منفی زیستمحیطی را به دنبال داشته باشد.

موانع اجتماعی - فرهنگی

تأکید این نکته مهم است که موانع پذیرش کاملتر فنون BNF تنها علمی نیستند بلکه عوامل فرهنگی، آموزشی، اقتصادی و سیاسی را نیز در بر می‌گیرند. یک برنامه موفق بر پایه BNF باید افزون بر پژوهشهای علمی، تلاشهایی برای آموزش، تربیت نیروهای ماهر و کمکهای فنی را نیز در بر داشته باشد. ارزیابی موانع اجتماعی - اقتصادی برای آگاه کردن همگان از مزایای BNF و بیان خطرات بالقوه کاربرد زیاد از کودهای تسهیل‌کننده از سر راه برداشتن این موانع خواهد بود.

بسیاری از کشاورزان در کشورهای در حال توسعه نمی‌دانند که بقولات در غدهٔ ریشه‌های خود نیتروژن تثبیت می‌کنند. تاکنون کشت و کار لگوم در سیستمهای زراعی سنتی و نوین مرسوم بوده است. همچنین کشت لگوم از سوی کشاورزان قرنها با این باور که آنها اجزای باارزش سیستمهای زراعی‌اند بیش از بهره‌برداری تعمدی، مستقیم از تثبیت بیولوژیکی نیتروژن ادامه داشته است.

هزینه خرید میکروارگانیسمهای تلقیح‌کننده به طور معمول مانعی بر سر راه کاربرد آن از سوی کشاورزانی که اقدام به خرید بذر می‌کنند نیست. زیرا این هزینه از یک درصد هزینه بذر تجاوز نمی‌کند. برای کشاورزانی که به طور معمول، بذر را از خارج مزرعه نمی‌خرند،

مبلغ هزینه شده برای تلقیح‌کننده‌ها هرچند ناچیز هم باشد، ممکن است سبب بی‌رغبتی در به

کارگیری تلقیح‌کننده‌ها از سوی کشاورز شود. مسئله هزینه وقتی با اهمیت است که تلقیح‌کننده‌ها به صورت گرانوله مورد استفاده قرار گیرند (به دلیل دامنه کاربرد آنها).

نشر و گسترش فنون BNF از طریق ساز و کارهای ترویجی معمولی به سادگی امکانپذیر نیست. بنابراین نبود دستنامه‌های آموزشی توضیحی و گویا و کمکهای دیگر برای رسیدن به این هدف هم برای مروجان و هم کشاورزان مورد تماس، یکی از موانع کاربرد فن‌آوری BNF در سطح مزرعه است.

افزون بر آن، تعداد کمی از مدیران ارشد و تصمیمگیرانی که سیاستهای کشاورزی در کشورهای در حال توسعه را تعیین می‌کنند، به طور کامل از فرصتهای مناسب برای فن‌آوری BNF بر پایه لگوم، در بخش کشاورزی این کشورها آگاهند. بیشتر کارگزاران از بعضی ویژگیهای بقولات آگاهی دارند ولی ارزش به نسبت کمی برای نقش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن به وسیله آنها قائل‌اند. از میان اینها نیز تعداد کمتری به ضرورت کاربرد فن‌آوریهای خاصی برای اطمینان از تثبیت نیتروژن آشنایی دارند. بنابراین برای این گروه مواد آموزشی ویژه و مناسب نیاز است تا توجه آنها را به سازگار بودن فن‌آوری در خور استفاده همراه موقعیتهای خاصی که در آن کشورها باید به کار رود، به عنوان یک نیاز واقعی جلب کند.

وظیفه آموزش و تربیت افراد برای انتقال اطلاعات و مواد BNF با توجه به کمبود متخصصان با دانش و علاقه‌مند به جنبه‌های عملی و کاربردی این فن‌آوری یک مشکل مهم است. تغییر جهت گسترده میکروبیولوژیستها و بیولوژیستها از جنبه‌های عملی BNF به سمت زیشت‌شناسی مولکولی و ژنتیک، یک خلاء جدی در برنامه‌هایی که نیازهای BNF را برای نظامهای کشاورزی پایدار کشورهای در حال توسعه در نظر داشته، پدید آورده است.

پرداخت یارانه‌های ملی و بین‌المللی در زمینه کودهای ازته در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه سبب پدید آمدن بی‌رغبتی در به کارگیری سیستم BNF در این مجموعه‌ها شده است. به هر حال با افزایش قرضهای ملی و حذف یارانه‌ها، روشهای BNF بیش از پیش مورد پذیرش و اقبال واقع می‌شود. در حالی که موضوعهای پایداری و محیطی گزیدارهای

زیستشناختی برای به کارگیری کودهای مصنوعی طلب می‌کند، بنگاههای وام‌دهنده باید کارکنانی را در داخل کشور آموزش داده و تربیت کنند که بتوانند به نیازهای فزاینده BNF پاسخ دهند.

کمکهای زراعی و برنامه‌های حمایتی در بعضی کشورها به غلات محدود شده است. آمریکا نمونه عمده این مورد است. این وضعیت باعث آشفتگی کل کشاورزی می‌شود. برای نمونه سبب تغییر جهت از تناوب زراعی لگوم - غلات به سمت کشت غلات شده است (تک‌کشتی). در کشورهایی که برنامه‌های حمایتی برای محصولات به نسبت یکسان است، مانند استرالیا، بهره‌برداری از سیستمهای غلات - لگوم ویژگی بارز کشاورزی است.

نتیجه گیری

کودهای شیمیایی ازته به یکی از نهاده‌های اصلی در تولید محصولات کشاورزی در سطح جهان تبدیل شده است. کشاورزان به مقدار زیادی به منابع خارج از مزرعه که نیاز به وجه نقد داشته و ممکن است همیشه هم در دسترس نباشند، متکی شده‌اند. آثار زیان‌آور برگرفته از کاربرد بی‌رویه کود ازته بیش از پیش در حال آشکار شدن است. سوختهای فسیلی که در تولید کودهای ازته کاربرد دارند روز به روز کمیابتر و گرانتر می‌شوند. در ضمن با افزایش جمعیت، تقاضا برای مواد غذایی در حال افزایش است. بنابراین ضروری است که در مورد همه راههای ممکن برای بهبود تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و به کارگیری آن از سوی کشاورزان تحقیق شود. همچنین نیاز به کشاورزی پایدار است که حاصلخیزی خاک را با به کارگیری منابع تجدید شوند. به راحتی و ارزانی در داخل مزرعه امکانپذیر می‌سازد. برای نمونه تناوب غلات با بقولات، برگرداندن کود سبز و دیگر ضایعات مواد آلی و به کارگیری کودهای شیمیایی در حد اعتدال ولی به طور مؤثر از روشهای در خور توصیه در این زمینه است.

شناخت کمی عوامل بومشناختی که سرنوشت و عملکرد تمام سیستمهای BNF در مزرعه را کنترل می‌کند، برای ترویج و پذیرش موفقیت‌آمیز چنین فنونی ضروری است. در شرایط

کنونی دیگر نمی‌توان وقت و سرمایه خود را برروی آزمون و خطای آزمایش یا آزمایشهایی گذاشت که رنگ یا نشان علوم تجربی کشاورزی در گذشته را به همراه دارند. تحقیقات آینده باید به طور مستقیم به سمت روشهایی هدایت شوند که رهنمون به کسب اطلاعاتی شوند که انتقال‌پذیر از نقطه‌ای به نقطه دیگر باشند. دانشمندان متخصص در زمینه‌های بیوفیزیک و اجتماعی - اقتصادی باید با همکاری یکدیگر نسبت به تعیین و حذف موانع کاربرد BNF از سوی کشاورزان اقدام کنند.

به تازگی تلاشهای پژوهشی بر روی جنبه‌های بیوشیمیایی و ژنتیکی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن به شیوه در خور توجهی افزایش پیدا کرده است. به گونه‌ای که امیدواریهای زیادی وجود دارد که موفقیتهای شایانی در انتقال ژن تثبیت نیتروژن (nif) از گیاهان لگوم به غیر لگوم به دست آید. در این مورد هنوز پژوهشهای پایه‌ای بیشتری مورد نیاز است. به هر حال، در این راستا، باید پرسید که آیا پژوهشهای پایه با وجود هزینه پژوهشهای کاربردی، پیگیری می‌شوند؟ پژوهشهای پایه‌ای مناسب باید ادامه یابد ولی هم‌تراز یا حتی مهمتر از آن پژوهشهای کاربردی در سطح مزرعه است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی