

مروری بر پژوهش‌ها و کاربرد کودهای زیستی در زراعت گندم در ایران

هوشنگ خسروی^۱

دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

hkhosravi@areeo.ac.ir

دریافت: تیر ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

گندم ماده اصلی در سبد غذایی مردم ایران بوده و تقریباً یک‌سوم از سطح زیر کشت محصولات زراعی در کشور به این محصول مهم اختصاص دارد. مهم‌ترین روش تغذیه گندم، کاربرد کودهای شیمیایی است. با این حال، مصرف نامتعادل و بیش از نیاز گیاه به این کودها، موجب مشکلات زیست‌محیطی می‌شود. یکی از روش‌های مبتنی بر کشاورزی پایدار برای این حل مسئله، استفاده از کودهای زیستی است. کودهای زیستی از طریق تثبیت نیتروژن مولکولی، حل‌کنندگی عناصر نامحلول مانند فسفر و روی، آزادسازی پتاسیم از خاک، تولید سیدروفور و افزایش قابلیت دسترسی آهن، اکسیداسیون گوگرد و تولید مواد محرک رشد، موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند. پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده از کودهای زیستی باعث افزایش رشد و عملکرد گندم می‌شود. کودهای زیستی همچنین از طریق تولید آنزیم ACC-دآمیناز، ترکیبات اسمولیت و پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی قادر هستند که در شرایط تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری اثرات تنشی در گندم را کاهش دهند. تولید کودهای زیستی به‌ویژه در کشورهای پیشرفته رونق قابل توجهی یافته است. در ایران نیز انواعی از کودهای زیستی برای محصولات مختلف از جمله گندم معرفی شده است. برای کنترل کیفی کودهای زیستی، در برخی کشورها از جمله ایران دستورالعمل‌هایی تدوین شده است. روش مؤثر و اقتصادی مصرف کودهای زیستی برای گندم به‌صورت بذر مال است. وجود متخصصین ماهر، دانش‌های فنی و زیرساخت‌های لازم در بخش خصوصی از پتانسیل‌ها و فرصت‌های مناسب برای رونق تولید کودهای زیستی در زراعت گندم در ایران است. از محدودیت‌های مصرف کودهای زیستی می‌توان به کم بودن مقدار ماده آلی در خاک‌های ایران و هتروتروف بودن باکتری‌های مورد استفاده، فراوانی کودهای شیمیایی، نیاز به تجهیزات و ملاحظات خاص و عدم ارتباط مناسب بین بخش پژوهش، تولید و ترویج کودهای زیستی اشاره نمود. برای توسعه پژوهش، تولید و مصرف کودهای زیستی پیشنهاد می‌شود که استعداد اراضی مختلف در پاسخ‌دهی به کودهای زیستی ویژه گندم مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، انجام تحقیقات بنیادی و مولکولی در مورد خصوصیات محرک رشدی ریزجانداران پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مایه تلقیح، تثبیت نیتروژن، ریزجانداران، محرک رشد

گندم از محصولات کشاورزی مهم و نان گندم از اصلی‌ترین منابع تغذیه در سبد غذایی خانوارهای ایرانی است که نقش ویژه‌ای در الگوی تغذیه‌ای مردم ایفا می‌کند بطوری‌که ۶۵-۶۰ درصد پروتئین و کالری، ۸۰ درصد آهن و ۴۰ درصد کلسیم موردنیاز روزانه موردنیاز بدن یک فرد بزرگسال را تأمین می‌کند (رجب‌زاده، ۱۳۸۷). سطح زیر کشت گندم در ایران حدود ۵/۹ میلیون هکتار با تولید ۱۳/۷ میلیون تن برآورد شده است. متوسط عملکرد گندم آبی ۴/۲ و گندم دیم ۱/۴ تن در هکتار است. (بی‌نام، ۱۳۹۹)؛ بنابراین با توجه به اهمیت گندم و سطح کشت قابل‌توجه آن، ارائه راهکارهای مبتنی بر کشاورزی پایدار برای افزایش عملکرد گندم، لازم و ضروری است. در این راستا اقدامات زیادی از جمله مبارزه با عوامل بیماری‌زا، آفات گیاهی، علف‌های هرز و اجرای برنامه‌های به‌زراعی و به نژادی و تغذیه گیاه از طریق کودهای شیمیایی صورت گرفته است. یکی از راهکارهایی که در این زمینه مدنظر است استفاده از پتانسیل بالقوه ریزجانداران خاک و کاربرد کودهای زیستی است. در این مقاله به پژوهش‌های انجام‌شده در رابطه با کودهای زیستی و مصرف آن‌ها در زراعت گندم در ایران، پرداخته می‌شود.

کودهای زیستی و سازوکارهای تأثیر آن‌ها بر رشد گیاهان

کود زیستی، ماده‌ای حاوی ریزجانداران یا متابولیت‌های حاصل از فعالیت آن‌ها است که هنگامی‌که بر روی بذر، سطح ریشه و یا در خاک استفاده می‌شود موجب تحریک و افزایش رشد گیاه شود. هر کود زیستی متشکل از دو بخش ریزجانداران و حامل هست. حامل عبارت از ماده یا ترکیبی از مواد مختلف که بتواند ریزجانداران موردنظر را در یک جمعیت معین به دست مصرف‌کننده برساند. بر این اساس، حامل می‌بایستی شرایط تنفسی، اسیدیته، میزان رطوبت و سایر شرایط برای رشد ریزجاندار را در طول مدت از تولید تا مصرف فراهم

خاک یکی از اجزای مهم منابع پایه است که به عنوان بستر اصلی رشد گیاه و نیز محیطی منحصربه‌فرد برای رشد و فعالیت انواع موجودات زنده محسوب می‌شود. شناخت توان تولیدی منابع خاک و آب، مدیریت درست و بهره‌برداری اصولی از این منابع، در راستای تولید پایدار بوده و امنیت غذایی و سلامت جامعه را فراهم خواهد نمود. متأسفانه استفاده ناصحیح از منابع خاک و آب سبب بروز اختلال در شرایط تعادلی و متعارف این منابع پایه شده که موجب پدیدار شدن انواع ناهنجاری‌ها و بحران‌های زیست‌محیطی شده است. کودهای شیمیایی، به دلایل مختلف از جمله وفور، نحوه کاربرد و استفاده راحت و همچنین سودآوری بیشتر در کوتاه مدت، مورد استقبال کشاورزان قرار گرفته‌اند. مصرف متعادل کود یکی از راهکارهای تغذیه بهینه گیاهان است، با این حال کشاورزان در عمل به این مسئله توجه نداشته و یا امکانات لازم برای انجام این کار را ندارند. با توجه به پتانسیل آلوده‌سازی کودهای شیمیایی، ارائه راهکارهای جایگزین و مناسب در این مورد لازم و ضروری است. خاک به واسطه ریزجاندارانی که در آن وجود دارد به عنوان پیکره‌ای زنده محسوب می‌شود. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، موجب اثرات سوء بر جامعه زنده خاک، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و تجمع مواد شیمیایی در محصولات کشاورزی می‌شود؛ بنابراین در پاسخگویی به تقاضای روزافزون برای مواد غذایی، ارائه راه‌حل‌های هماهنگ با ملاحظات زیست‌محیطی و اتخاذ سیاست‌های مبتنی بر توسعه پایدار ضروری است. در این راستا مدیریت بیولوژیک ناحیه ریزوسفر و ایجاد شرایط لازم و بهینه برای رشد و فعالیت ریزجانداران مفید، موردنظر است. افزودن ریزجانداران مفید و مؤثر در ناحیه ریشه که بتواند موجبات رشد بهتر گیاه را فراهم نماید یکی از مؤلفه‌های این مدیریت بیولوژیک است.

یکی دیگر از سازوکارهای مهم و منحصر به فرد برخی از ریزجانداران خاک، تثبیت نیتروژن^۴ است. بیش از ۷۸ درصد حجمی جو زمین را نیتروژن مولکولی (N_2) تشکیل می‌دهد که به این شکل برای گیاهان قابل جذب نبوده و این در حالی است که نیتروژن یکی از عناصر پر نیاز و مهم برای رشد گیاهان بوده و مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در جهان است. مقدار نیتروژن در گیاهان مختلف بین یک تا ۱۰ و در گندم بین سه تا پنج درصد است. برای اینکه نیتروژن، قابلیت استفاده توسط موجودات زنده را داشته باشد باید چرخه آن پویا باشد تا اکوسیستم‌های مختلف کره زمین به فعالیت طبیعی خود ادامه دهند (شکل ۲). فرآیندهای مهم تغییرات نیتروژن در خاک عمدتاً توسط ریزجانداران خاک انجام می‌شود.

کودهای شیمیایی نیتروژنی از مهم‌ترین نهاده‌های کشاورزی مؤثر در افزایش تولید هستند با این حال پتانسیل آلوده‌کنندگی زیادی دارند. مصرف بی‌رویه و نامتعادل کودهای شیمیایی نیتروژنی باعث آلودگی نیتراتی آب‌های سطحی و زیرزمینی و افزایش نیترات‌زدایی^۵ و در نتیجه تولید بیشتر گازهای گلخانه‌ای N_2O و NO می‌شوند؛ بنابراین فراهم‌سازی شرایط برای استفاده بیشتر از فرآیندهای مفید طبیعی مانند تثبیت زیستی نیتروژن برای تولید محصولات کشاورزی ضرورت دارد. تثبیت زیستی نیتروژن فقط توسط انواعی از پروکاریوت‌ها انجام می‌شود که توانایی تولید آنزیم نیتروژناز را دارند. آنزیم نیتروژناز، نقش یک کاتالیزور در احیای N_2 به NH_3 را بر عهده داشته و در دما و فشار معمولی عمل تثبیت نیتروژن را انجام می‌دهد.

نماید. حامل بایستی قابلیت استریل شدن به وسیله یکی از روش‌های اتوکلاو، اشعه گاما و تدخین^۲ (گاز تولیدی از موادی مانند اکسید اتیلن و برمیدمتیل) را داشته باشد. حامل می‌تواند به شکل مایع یا جامد شامل پودری، ژله‌ای و یا گرانول باشد. از رایج‌ترین مواد حامل یا نگهدارنده طبیعی برای تولید کود زیستی، انواع خاصی از تورب یا پیت است. به دلیل فقدان تورب مناسب در ایران، مواد گوناگونی همچون پرلیت، بتونیت، زغال چوب، کمپوست، خاکاره و چوب بلال ذرت مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. در ایران، پرلیت به علت وفور و ارزان بودن به عنوان یک حامل مناسب برای تهیه کود زیستی توصیه شده است (خاوازی و رجالی، ۱۳۷۹).

مهم‌ترین سازوکارهایی که ریزجانداران به واسطه آن‌ها بر رشد گیاهان مؤثر واقع می‌شوند شامل تثبیت نیتروژن مولکولی، توانایی حل‌کنندگی فسفر و روی نامحلول، تولید سیدروفور و افزایش قابلیت جذب آهن، اکسایش بیولوژیک گوگرد و کاهش pH تجزیه سیلیکات‌ها و آزادسازی عناصری همچون پتاسیم است. ریزجانداران همچنین به واسطه تولید اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها از طریق تأثیر بر مورفولوژی ریشه، بر رشد گیاهان اثر می‌گذارند (شکل ۱).

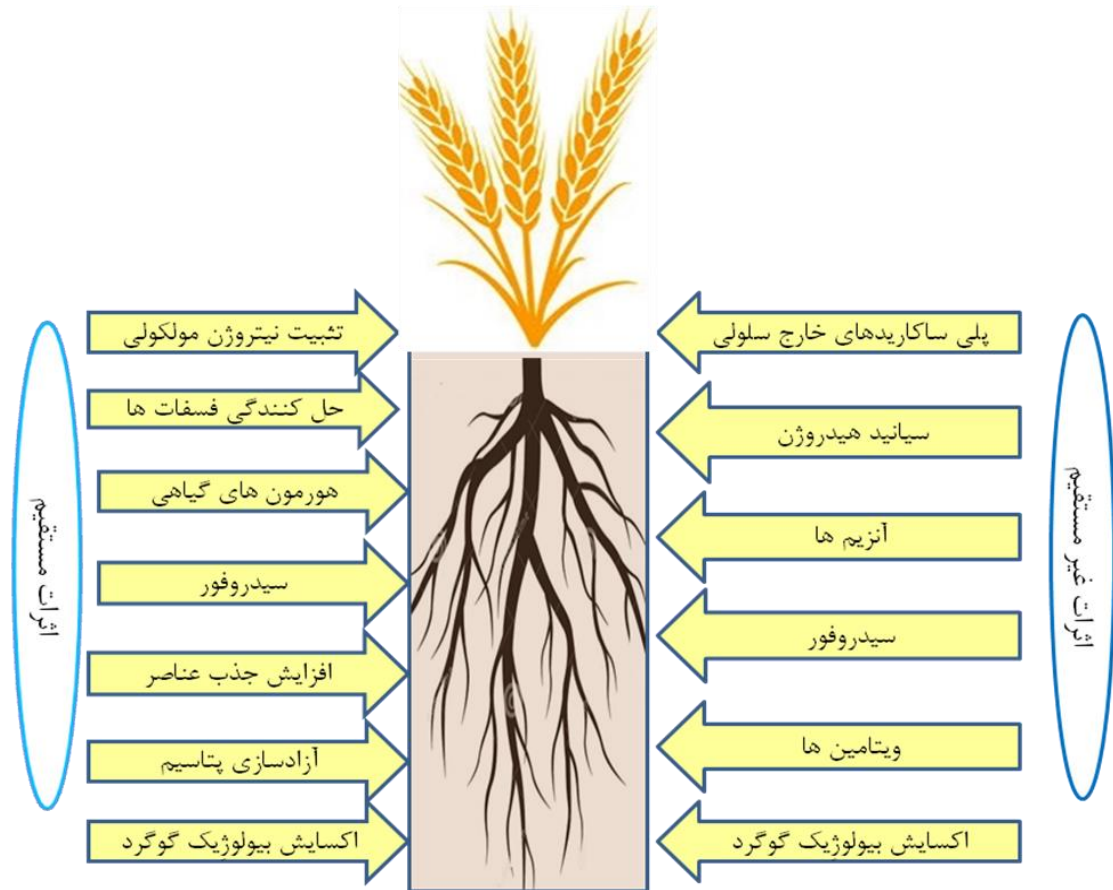
در گیاهانی مانند غلات، تجمع و فعالیت باکتری‌های مفید در ناحیه ریزوسفر که به عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه یا اصطلاحاً PGPR^۳ شناخته می‌شوند امری طبیعی محسوب می‌شود. از مهم‌ترین باکتری‌های گروه PGPR می‌توان به *Azotobacter*، *Pseudomonas* و *Bacillus* اشاره نمود. امروزه باکتری‌های هم‌پار با گرامینه‌ها مانند *Azospirillum* و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مانند *Azoarcus*، *Beijerinckia*، *Acetobacter*، *Klebsiella*، *Enterobacter* و *Herbaspirillum* و حتی ارتباط غیر همزیستی *Rhizobium* با گیاهان غیر لگوم از جمله گندم نیز به عنوان PGPR محسوب می‌شوند.

⁴ - Nitrogen Fixation

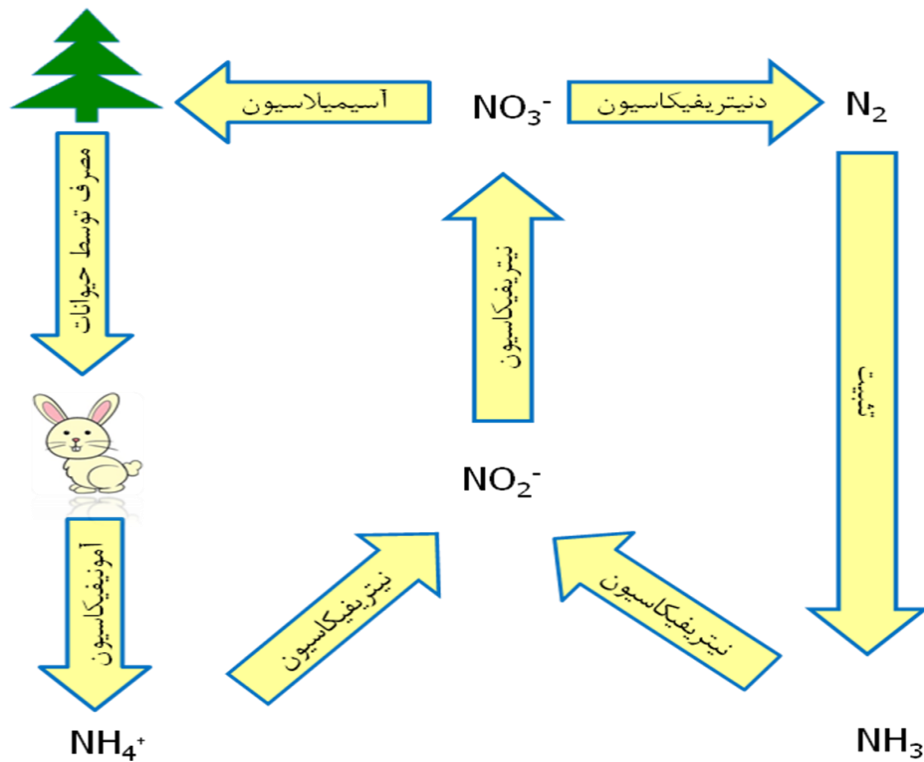
⁵ - Denitrification

² - Fumigation

³ - Plant Growth Promoting Rhizobacteria



شکل ۱- سازوکارهای تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر رشد گیاه



شکل ۲- چرخه نیتروژن

رابطه همزیستی بین تثبیت‌کننده‌های نیتروژن و گیاهان مهمی همچون گندم تشویق کرده است. رایج و همکاران (۱۹۹۲) با استفاده از 2,4,D و تلقیح باکتری‌های مختلف توانستند ساختمان‌های گره‌مانندی در گندم ایجاد نمایند. در هفته‌نامه شماره ۳۳۳ انجمن پیشرفت علوم آمریکا در مقاله‌ای با عنوان غلاتی که در آینده، نیتروژن تثبیت می‌کنند به این موضوع تأکید شده و انتقال ژن تثبیت نیتروژن را به غلات پیشنهاد داده است (بیوتی و گود، ۲۰۱۱).

پژوهش‌های مرتبط با تأثیر تلقیح کودهای زیستی بر رشد گندم در جهان

در پژوهشی در ایتالیا، تلقیح بذری گندم با ریزجانداران مختلف، نشان داد که مصرف هم‌زمان *Azospirillum Azorhizobium* و *Azoarcus* میکوریزی *Rhizophagus irregularis* سبب افزایش نیتروژن گندم شد اما تأثیری بر عملکرد دانه نداشت. در این گزارش آمده است که تلقیح، اثرات منفی بر تنوع میکروبی ریزوسفر گندم نداشته است (دال کورتیوو و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی در چین، تلقیح هم‌زمان *Paenibacillus sp* و *Paenibacillus beijingensis* دارای توان تثبیت نیتروژن و توان حل‌کنندگی فسفات‌های نامحلول سبب افزایش طول، وزن تر، وزن خشک و مقدار نیتروژن گیاه شد (لی و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی در برزیل، تلقیح گندم با *Azospirillum brasilense* تأثیر معنی‌داری بر عملکرد، وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه نداشته است؛ با این حال مقدار نیتروژن دانه و برگ افزایش یافت (بالینوت و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی مزرعه‌ای در مصر، اثر لجن فاضلاب شهری، کمپوست بقایای گیاهی و تلقیح با *Azotobacter* و مخمر و مخلوطی از این مواد بر گندم در طی دو سال نتیجه‌گیری شد که کاربرد هم‌زمان لجن و کمپوست با هریک از ریزجانداران اثر قابل‌توجهی بر عملکرد و اجزای عملکرد و جذب عناصر ماکرو داشت (محمد و همکاران، ۲۰۱۹). اثر تلقیح گندم با *Azotobacter* و باکتری‌های حل‌کننده

باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به منظور تأمین کربن و انرژی موردنیاز خود، بر اساس نحوه ارتباطشان با گیاه، به سه گروه همزیست، هم‌یار و آزادزی تقسیم‌بندی می‌شوند. در نوع همزیستی، ریزجاندار در ارتباط نزدیکی با گیاه بوده و با تولید اندام زیستی مشترک قادر به تثبیت N_2 می‌باشند. شناخته‌ترین رابطه همزیستی بین باکتری‌های *Rhizobium* و ریشه گیاهان خانواده بقولات (لگومینوز) است. در روش همیاری، بین ریزجاندار و گیاه تماس فیزیکی برقرار شده ولی اندام زیستی مانند گره تشکیل نمی‌شود. ایجاد ارتباط همیاری باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن^۶ مانند *Azospirillum* خصوصیتی ویژه غلاتی مانند گندم است.

انواع آزادزی، کربن و انرژی لازم برای انجام فرآیند تثبیت نیتروژن را به‌طور مستقل یعنی بدون همکاری یک گیاه میزبان و اکثراً با روش هتروتروفی (استفاده از مواد کربنی ساده) و یا فتوتروفی (فتوستتر) فراهم می‌کنند. باکتری *Azotobacter* از شناخته‌شده‌ترین باکتری‌های هتروتروف آزادزی است که تثبیت N_2 را در شرایط کاملاً هوازی انجام می‌دهد. انواع اتوتروف آزادزی اکثراً از نور به عنوان منبع انرژی استفاده کرده و جزء فتوتروف‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. این ریزجانداران به دو گروه سیانوباکتری‌ها یا جلبک‌های سبز-آبی و باکتری‌های دارای توان فتوستتر تقسیم می‌شوند.

با توجه به اهمیت رابطه همزیستی تثبیت نیتروژن، تحقق این مسئله در گندم، تحولی عظیم در عرصه کشاورزی خواهد بود. امیدها در این زمینه با سویه‌هایی از *Rhizobium* که قادرند علاوه بر لگوم‌ها گیاهان غیر لگوم مانند پارسپونیا را نیز آلوده کنند بیشتر شده است. نمونه دیگر رابطه همزیستی بین اکتینومیست *Frankia* و درخت توسکا، همچنین رابطه همیاری اختصاصی تثبیت نیتروژن بین *Azotobacter paspali* با گیاه *Paspalum nutatum* است. این موضوعات دانشمندان را به فکر مطالعه و بررسی برای امکان ایجاد

^۶ - Associative nitrogen fixation

خاکی که سال‌ها پیش با نیتروژن رادیواکتیو (^{15}N) پر شده بود با سه سویه *A. brasilense* تلقیح شد نتایج نشان داد تجمع نیتروژن در دانه گندم رشد یافته در آن ۴۰ درصد افزایش یافت اما این مقدار از طریق تثبیت زیستی به دست نیامده بود (بودی و همکاران، ۱۹۸۶). سه سویه *A. brasilense* شامل سویه دارای توان تثبیت نیتروژن و تولید ایندول استیک اسید (سویه ۱)، سویه موتانت فاقد توان تثبیت نیتروژن اما دارای توان تولید ایندول استیک اسید (سویه ۲) و سویه فاقد توان تثبیت نیتروژن و فاقد توان تولید ایندول استیک اسید (سویه ۳) به گندم تلقیح شدند. نتایج نشان داد سویه‌های ۱ و ۲ باعث افزایش تعداد و طول ریشه‌های جانبی گندم شدند. در این مطالعه گزارش شد که تأثیر تلقیح مربوط به ایندول استیک اسید بوده و تثبیت نیتروژن در این مورد نقشی نداشته است (باربیری و همکاران، ۱۹۸۶).

پژوهش‌های مرتبط با تأثیر تلقیح کودهای زیستی بر رشد گندم در ایران

تلقیح گندم با باکتری‌های بومی *Azotobacter* در یک آزمون گلخانه‌ای سبب افزایش معنی‌دار رشد اندام هوایی و ریشه شد (خسروی و همکاران، ۱۳۷۷). تلقیح جدایه‌های *Azospirillum* در شرایط گلخانه‌ای تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد گندم نشان نداد (روستا و همکاران، ۱۳۷۷). تعداد ۲۱۷ جدایه *Azotobacter* که از ۳۶۲ نمونه خاک مزارع زیر کشت گندم، جداسازی شده بودند پس از غربالگری، جدایه‌های برتر منتخب در استان‌های فارس، خوزستان، کردستان، گلستان و خراسان رضوی بر رشد گندم بررسی شد که حداکثر تا بیست درصد موجب افزایش عملکرد دانه شد (خسروی، ۱۳۸۸). تلقیح گندم با جدایه‌های مختلف *Pseudomonas* در آزمایشی گلخانه‌ای و در شرایط شور نشان داد که *Pseudomonas putida* شاخص‌های عملکرد دانه و وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (ذبیحی و همکاران، ۱۳۸۸).

فسفات در شرایط مزرعه‌ای نشان داد که بیش‌ترین افزایش در عملکرد دانه و اندام هوایی مربوط به ترکیب این دو باکتری بود (مک‌کارتی و همکاران، ۲۰۱۷). اثر ریزوبیوم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر رشد و جذب فسفر در گندم مثبت و معنی‌دار گزارش شد (افضل و بانو، ۲۰۰۸). در پژوهشی تلقیح با *Klebsiella pneumonia 342* موجب افزایش غلظت نیتروژن و رفع علائم کمبود آن در گندم شد. در این پژوهش تلقیح با سویه‌های موتانت و سلول‌های مرده این سویه، تأثیری بر شاخص‌های رشد نداشت (اینیگوئز و همکاران، ۲۰۰۴). تأثیر تلقیح غلات با باکتری‌های *Rhizobium* دارای توان تولید اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها قابل‌توجه ذکر شده است (ماتیرو و داکورا، ۲۰۰۴). تلقیح گندم با *Azotobacter chroococcum* اثرات قابل‌توجهی بر رشد و عملکرد گندم در شرایط مزرعه‌ای نشان داد (میلشویچ و همکاران، ۲۰۱۲). تلقیح گندم پاییزه با باکتری‌های ریزوسفری از جمله *A. chroococcum* باعث افزایش قابل‌توجه عملکرد و جذب نیتروژن شد (رناتودفریتاس، ۲۰۰۰). تلقیح با *A. chroococcum* دارای خصوصیت حل‌کنندگی فسفات‌های غیر آلی سبب افزایش رشد گندم شد (کومار و نیرو-نارولا، ۱۹۹۹). اثر تلقیح *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* بر رشد گندم و جو بهاره، ذرت و تربچه مثبت و معنی‌دار گزارش شده است (هولفیچ، ۱۹۹۹). اثر تلقیح پیش از جوانه‌زنی بذر گندم با *A. brasilense* موجب افزایش طول ریشه و تعداد باکتری در ریشه شد (سرئوس و همکاران، ۱۹۹۶). تلقیح ۴۱۱ مزرعه گندم آبی با *Azotobacter* در مناطق مختلف هندوستان باعث افزایش عملکردی بین ۳۴ تا ۲۴۷ کیلوگرم در هکتار در سطح ۳۴۲ مزرعه شد (هدج و ویودی، ۱۹۹۴). اثر تلقیح سیانوباکتر بر شاخص‌های رشد گندم معنی‌دار گزارش شده است (عبدالله و همکاران، ۱۹۹۴). استفاده از *Azospirillum* در کشت گندم در هندوستان موجب افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی در عملکرد محصول شد. در یک آزمایش، سیلندرهای بتونی حاوی

با سویه‌های سودوموناس در بیشتر شاخص‌های رشد مثبت بود. گونه‌های *Pseudomonas putida* و *Pseudomonas fluorescens* از ترکیبات مهم جمعیت‌های باکتریایی ریزوسفر است.

جعفری و فاه و همکاران (۱۳۹۸) گزارش دادند که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی ضمن تأمین نیازهای غذایی گیاه زراعی گندم دیم و افزایش عملکرد آن، سبب کاهش قابل توجه مصرف کودهای شیمیایی می‌شود.

آینه‌بند و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی خصوصیات زراعی و شیمیایی بوم نظام گندم تحت تأثیر الگوهای کشت مضاعف و مدیریت زیستی-شیمیایی کود را ارزیابی و نتیجه‌گیری کردند که روش مدیریت تلفیقی کود نسبت به روش‌های کاملاً شیمیایی یا کاملاً زیستی راه‌کار مناسب‌تری است.

امرائی و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر کاربرد میکوریزی و ازتوباکتر بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی سه رقم گندم سرداری، کوهدشت و کریم در خرم‌آباد نشان داد که بالاترین درصد وابستگی و پاسخ رشد میکوریزی در تیمار تلقیح ازتوباکتر در رقم کریم به دست آمد و در نهایت مشخص شد که تلقیح رقم کریم با میکوریزی حداکثر پتانسیل تولید تحت شرایط دیم منطقه را دارا است. کاویانی (۱۳۹۴) گزارش داد که تلقیح سویه‌های باکتری محرک رشد تحت سطوح مختلف کود نیتروژن بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم رقم مروارید نشان داد که تلقیح ازتوباکتر به همراه ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه را حاصل کرد. تأثیر تلقیح ریزجانداران مختلف بر رشد و عملکرد گندم در مطالعات پژوهشی در جدول ۱ ارائه شده است.

اثر یک نوع مایه‌تلقیح تجاری *Azotobacter* بر رشد گندم در هشت نقطه ایران نشان داد که تلقیح، اثر مثبتی بر رشد گندم نداشته است (خسروی، ۱۳۹۲). تلقیح *Azotobacter chroococcum* به همراه کود دامی بر رشد گندم در کشت دیم در مراغه باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، جذب نیتروژن، فسفر و روی دانه شد (خسروی و محمودی، ۱۳۹۲). تلقیح *A. chroococcum* و *A. brasilense* و سه سطح کود اوره بر رشد سه رقم گندم یاواروس، کرخه و سیمره در ایلام مشخص کرد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم یاواروس و تلفیق کود زیستی و اوره بود (آزادی و همکاران، ۱۳۹۲). تأثیر روش‌های مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و زیستی در تراکم‌های مختلف علف-های هرز در گندم در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز مشخص نمود که حذف کامل کود شیمیایی نیتروژنی به لحاظ کمی و کیفی مطلوب نبوده بلکه روش-های تلفیقی ضمن کاهش مقدار کود مصرفی، شرایط مطلوبی را در اکوسیستم گندم از لحاظ زراعی و اکولوژیک فراهم می‌کند (قلمباز و همکاران، ۱۳۹۲). تلقیح کود زیستی و شیمیایی نسبت به مصرف هر کدام به تنهایی، نتیجه بهتری در مورد اثر بر خصوصیات کمی و کیفی گندم در مازندران داشت (مهتدی و همکاران، ۱۳۹۴). اثر سه نوع کود زیستی تجاری و شیمیایی نیتروژنی بر رشد گندم در طی دو سال در اصفهان نشان داد که تلقیح مناسبی از این کودها موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌شود (توکلی و جلالی، ۱۳۹۵).

اسدی‌رحمانی (۱۳۹۵) گزارش کرد که تلقیح گندم با *Microbacterium* در ۲۵ استان سبب افزایش متوسط ۱۱٪ عملکرد دانه گردید. ریحانی تبار (۱۳۷۹) طی آزمایشی گلخانه‌ای نشان داد که پاسخ گندم به تلقیح

جدول ۱- تأثیر تلقیح ریزجانداران مختلف بر عملکرد دانه گندم در آزمایش‌های پژوهشی

ردیف	نوع ریزجاندار	تأثیر بر عملکرد دانه	شاخص رشد مورد افزایش	محل انجام آزمایش	منبع	توضیحات
۱.	<i>Azoarcus Azospirillum Rhizophagus</i> و <i>Azorhizobium irregularis</i>	بی‌تأثیر	نیترژن	ایتالیا	(دال کورتیوو و همکاران، ۲۰۲۰).	مزرعه‌ای
۲.	لجن فاضلاب شهری، کمپوست، <i>Azotobacter</i> مخمر	قابل توجه	اجزای عملکرد و عناصر ماکرو	مصر	(محمد و همکاران، ۲۰۱۹)	مزرعه‌ای
۳.	<i>Azotobacter</i> و باکتری‌های حل‌کننده فسفات	مثبت	عملکرد اندام هوایی	هندوستان	(مک کارتی و همکاران، ۲۰۱۷).	مزرعه‌ای
۴.	<i>Paenibacillus beijingsis</i> و <i>Paenibacillus sp</i>	-	طول، وزن تر و خشک و نیترژن	چین	(لی و همکاران، ۲۰۲۰).	گلخانه‌ای
۵.	<i>Azotobacter chroococcum</i>	قابل توجه	جذب نیترژن	کانادا	(رئاتودفريتاس، ۲۰۰۰).	اتاق رشد
۶.	<i>Entrobacter Azotobacter Bacillus</i> و <i>Azospirillum</i>	قابل توجه	وزن هزار دانه	صربستان	(میلشویچ و همکاران، ۲۰۱۲).	مزرعه‌ای
۷.	<i>Azospirillum brasilense</i>	بی‌تأثیر	مقدار نیترژن دانه و برگ	برزیل	(بالینوت و همکاران، ۲۰۲۰).	مزرعه‌ای
۸.	<i>Azospirillum</i>	بی‌تأثیر	بی‌تأثیر	ایران، کرج	روستا و همکاران (۱۳۷۷)	گلخانه‌ای
۹.	<i>Azotobacter chroococcum</i>	۰-۲۰٪	عملکرد کاه و کلس و وزن هزار دانه	ایران، ۸ استان	خسروی و همکاران (۱۳۹۳)	مزرعه‌ای
۱۰.	<i>Azotobacter</i>	بی‌تأثیر	بی‌تأثیر	ایران - ۱۰ استان	خسروی (۱۳۹۲)	مزرعه‌ای (تجاری)
۱۱.	<i>Azotobacter</i> و کود دامی	معنی‌دار	وزن خشک اندام هوایی، جذب نیترژن، فسفر و روی دانه افزایش	ایران، مراغه	خسروی و محمودی (۱۳۹۲)	مزرعه‌ای دیم
۱۲.	<i>Microbacterium</i>	۱۱ درصد	-	ایران، ۲۵ نقطه	اسدی رحمانی، ۱۳۹۵	مزرعه‌ای

نقش کودهای زیستی در کاهش اثرات تنش در گندم

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان است. حدود ۴۰ درصد سرزمین ایران خشک و نیمه‌خشک است و در دهه‌های اخیر، شدت خشکی در کشور روند افزایشی داشته است (بذرافشان و خلیلی، ۲۰۱۳). از طرف دیگر، ۶۷ درصد زمین‌های زیر کشت گندم در ایران به صورت دیم است که برای رشد بهینه به بارندگی سالیانه وابسته می‌باشند (بی‌نام، ۱۳۹۹)؛ بنابراین، گیاه گندم در بیشتر موارد با تنش خشکی روبرو است. تنش مهم دیگر، شوری موجود در خاک‌های ایران است و برآورد شده که حدود ۵۵/۶ میلیون هکتار که معادل ۳۴ درصد از مساحت ایران است را خاک‌های شور تشکیل می‌دهند (مؤمنی، ۱۳۸۹).

همانطوریکه اشاره شد ریزجانداران خاک از طریق سازوکارهای مختلفی بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارند که در نهایت منجر به مقاومت بیشتر گیاه در مقابل تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شود. این خصوصیات در بین بسیاری از ریزجانداران خاک عمومیت دارد. ریزجانداران خاک همچنین با استفاده از سازوکارهای اختصاصی زیر نیز می‌توانند موجب کاهش اثرات تنش در گیاهان شوند:

۱. تولید سیتوکینین که موجب افزایش تولید آبسزیک اسید در گیاه شده که نتیجه آن بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبخیر و تعرق گیاه است.
۲. تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی (EPS)^۷ که موجب افزایش خاصیت نگهداری آب شده و همچنین از

⁷-Exopolysaccharides

شرایط گلخانه‌ای نشان داد که تلقیح به ویژه در رقم حساس اثرات تنش شوری را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (ثقفی و همکاران، ۱۳۹۲).

کاربرد در مقیاس وسیع کودهای زیستی در زراعت گندم
گزارش‌ها از دهه ۶۰ میلادی تاکنون از اثر مثبت کاربرد تلقیح ریزجانداران بر رشد گیاهان مختلف از جمله گندم حکایت دارد. بسیاری از این گزارش‌ها در مورد استفاده از کودهای زیستی در کشت گندم مربوط به طرح-ها و پروژه‌های پژوهشی بوده که بیشتر آن‌ها در سطح آزمایشگاهی و گلخانه‌ای انجام شده است. در این گزارش‌ها، اثرات مثبت کاربرد ریزجانداران عمدتاً بر شاخص‌هایی مانند وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته و جذب عناصر بوده و نتایج در مورد افزایش عملکرد دانه کمتر مشاهده شده است. در بخش تولید، شرکت‌هایی در برخی کشورها اقدام به تولید کودهای زیستی کرده‌اند که محصول هدف عمدتاً طیف وسیعی از گیاهان را در برمی‌گیرد. به عنوان نمونه کود زیستی -کمپوستی *Kiplant* *All-Grip* محصول شرکت پرتغالی *Asfert global* حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، تولیدکننده فیتوهورمون‌ها و آنزیم‌های خارج سلولی (EPS) است. محصول دیگر این شرکت، *Kiplant iNmass* حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، فیتوهورمون‌ها و تجزیه‌کننده مواد آلی خاک است. شرکت اسپانیایی *GREEN UNIVERSE AGRICULTURE* نیز یک نمونه کودآلی-زیستی با نام *KAPASOIL* حاوی هیومیک اسید و باکتری‌های ریزوسفری تولید می‌کند.

فناوری تولید کودهای زیستی در ایران عمدتاً در مؤسسه تحقیقات خاک و آب شکل گرفته و تعدادی از آن‌ها به مرحله تولید صنعتی رسیده و به بخش خصوصی واگذار شده است. در دانشگاه‌های مختلف ایران نیز پژوهش‌هایی در مورد کودهای زیستی مختلف از جمله گندم انجام شده است اما با توجه به اینکه معمولاً هر دانشگاه به‌طور مستقل عمل می‌کند لذا کارهای موازی و

طریق تشکیل بیوفیلم موجب تشکیل و پایداری خاک‌دانه‌ها و تنظیم جریان آب و عناصر غذایی به ریشه گیاه می‌شود.

۳. افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه که سبب تجزیه رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروکسیل و پروکسید هیدروژن می‌شود. این رادیکال‌ها موجب تخریب اندام-های فتوسنتزی و کاهش رشد گیاه می‌شوند.

۴. تولید آنزیم ACC-دآمیناز که سبب کاهش مقدار اتیلن تنشی در گیاه می‌شود. اتیلن در مقدار زیاد سبب کاهش رشد گیاه می‌شود.

۵. افزایش تولید ترکیبات اسمولیت‌مانند K^+ ، گلوتامات و ترهالوز در گیاه.

۶. تولید پرولین و افزایش میزان نسبی آب برگ و جذب انتخابی K^+ و در نتیجه افزایش تحمل به تنش.

در پژوهشی، تلقیح گندم با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی با اسیدهای آمینه و اسید سیلیسیک در شرایط تنش خشکی موجب کاهش اثرات تنش شد (داوودی فرد و همکاران، ۱۳۸۹). کاربرد تلقیحی سولفات پتاسیم و کود زیستی در اهواز نشان داد که هم در شرایط تنش و هم بدون تنش رطوبت، اثر مثبتی بر عملکرد دانه گندم داشت (کرد زنگنه و مرعشی، ۱۳۹۷). تلقیح باکتری‌های محرک رشد از طریق سازوکارهای مختلف هم به صورت مستقیم و هم غیرمستقیم به میزان زیادی آسیب حاصل از تنش خشکی در گندم را کاهش داد کسیم و همکاران (۲۰۱۳). تلقیح گندم با *Rhizobium* دارای توان تولید آنزیم ACC دآمیناز در شرایط شور، ارتفاع بوته، طول ریشه، جذب عناصر آهن، منگنز و مس را به‌طور معنی‌دار افزایش داد (خسروی و همکاران ۱۳۷۸). تلقیح همین سویه‌ها در شرایط تنش خشکی موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته، محور طولی ریشه، سطح برگ و جذب پتاسیم و مس اندام هوایی شد (خسروی و همکاران، ۱۳۸۹). تأثیر تلقیح باکتری‌های مختلف محرک رشد بر شاخص‌های رشد و رقم گندم حساس و متحمل به شوری در بستر شنی و در

کودهای زیستی بر اساس دستورالعمل کودهای زیستی (خاوازی و همکاران، ۱۳۹۱)، با همکاری مؤسسه تحقیقات خاک و آب و سازمان ملی استاندارد تدوین، تصویب و منتشر شده است (بی‌نام، ۱۳۹۶).

جنس و نوع ماده بسته‌بندی کود زیستی و فضای موجود در آن بایستی طوری باشد که باکتری هوازی موجود در کود زیستی تا پیش از تاریخ انقضاء، زنده مانده و کارایی لازم را داشته باشد. ماده مورد استفاده در بسته‌بندی بایستی به نور و رطوبت غیرقابل نفوذ بوده و قابلیت اتوکلاو شدن را داشته و یا اینکه بتوان محتویات آن را با اشعه گاما استریل نمود. پلی‌اتیلن یکی از این مواد است که قابلیت تبادل هوای مناسبی داشته بطوریکه اجازه خروج CO_2 و ورود O_2 را می‌دهد. در استرالیا پلی‌اتیلن با ضخامت ۰/۰۵-۰/۳۸ میلی‌متر استفاده و حامل آن به وسیله اشعه گاما استریل می‌شود. در هندوستان از نایلون-های پلی‌اتیلنی با ضخامت ۰/۴ میلی‌متر استفاده می‌شود که به علت ضخامت بیشتر می‌توان آن را با اتوکلاو استریل نمود.

تکراری زیادی مشاهده می‌شود همچنین هر کدام از این مراکز علمی از ریزجانداران مختلفی استفاده می‌کنند، لذا جمع‌بندی نتایج آن‌ها در سطح ملی دشوار است. امروزه انواعی از کودهای زیستی در شرکت‌های مختلف کشور تولید می‌شود که تعدادی از آن‌ها برای گندم توصیه شده است. اسامی شرکت‌ها و محصولات تولدی آن‌ها در سایت انجمن صنفی تولیدکنندگان فرآورده‌های آلی و زیستی کشاورزی به آدرس <http://www.iapobp.ir> ارائه شده است. یک نمونه کود زیستی ویژه گندم با نام تجاری فلاویت که حاوی باکتری *Microbacterium sp* است توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب ارائه و برای تولید در اختیار بخش خصوصی قرار گرفته است... نتایج بررسی‌ها در مرحله پژوهشی نشان داد که فلاویت به‌طور متوسط سبب افزایش ۱۵ درصدی عملکرد گندم شده است (اسدی‌رحمانی، ۱۳۹۵). سایر انواع کودهای زیستی برای گندم در ایران و مقدار و روش مصرف آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

بررسی کیفیت کودهای زیستی تولیدشده بر اساس استاندارد ملی

کیفیت کودهای زیستی تولیدی لازم است که توسط نهادهای نظارتی به‌طور مداوم پایش تا درنهایت محصولی مناسب به دست مصرف‌کننده برسد. هم‌اکنون دفتر ثبت و کنترل مواد کودی کشور این کنترل کیفی را انجام می‌دهد. در طی فرآیند تولید، بعضی از آزمایش‌ها کمی و کیفی شامل کنترل کشت از نظر آلودگی‌های میکروبی، شمارش کلنی، کنترل و تنظیم pH محیط کشت، رنگ‌آمیزی گرم^۸، کشت خطی بر روی محیط کشت جامد و مشاهده سلول زنده توصیه می‌شود. بررسی کیفیت و ویژگی کودهای زیستی تولیدی حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر اساس استاندارد ملی شماره ۲۲۳۰۵ انجام می‌شود (جدول ۲). این ویژگی‌ها از زمان تولید تا تاریخ انقضای محصول می‌بایستی احراز شوند. استاندارد

جدول ۲- ویژگی‌های باکتری‌های محرک رشد موجود در کود زیستی افزایش‌دهنده رشد گیاه

ردیف	ویژگی	حد قابل قبول
۱	شناسایی در حد جنس و گونه	بر اساس روش مولکولی
۲	تعداد باکتری	در حامل پودری حداقل 5×10^6 cfu.g ⁻¹
		در حامل مایع حداقل 1×10^6 cfu.ml ⁻¹
		در حامل گرانول حداقل 1×10^5 cfu.g ⁻¹
۳	آلودگی میکروبی	در رقت 10^{-6} هیچ گونه آلودگی مشاهده نشود

مقدار و روش مصرف کودهای زیستی ویژه گندم

کودهای زیستی به شکل‌های پودری، مایع و گرانول تولیدشده و عمدتاً به صورت کاربرد بر روی بذر یا بذرمال کردن مورد استفاده قرار می‌گیرند. بذرمال کردن از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش‌های مصرف کودهای زیستی است. در کودهای زیستی با حامل جامد و پودری مانند پرلیت که چسبندگی آن‌ها به سطح بذر کم است معمولاً نیاز است که قبل از تلقیح، سطح بذر به وسیله مواد چسباننده مناسب مانند صمغ عربی^۹، صمغ سلولز (CMC)^{۱۰}، پلی وینیل پیرولیدون (PVP)^{۱۱}، روغن‌های گیاهی و یا محلول شکر آغشته شود. عمل تلقیح می‌تواند به روش دستی و در پلاستیک‌های خیاری انجام و در مقیاس بزرگ‌تر می‌توان از مخلوط‌کن‌های دستی یا برقی استفاده کرد.

روش دیگر، مصرف برخی کودهای زیستی در گندم کاربرد در خاک است؛ که البته برای محصولات زراعی مانند گندم کمتر قابل کاربرد است زیرا به مقدار زیادی کود زیستی نیاز بوده که از لحاظ اقتصادی و عملیات زراعی به صرفه نیست.

یکی دیگر از روش‌های مصرف کودهای زیستی، محلول‌پاشی برگ‌ها و اندام هوایی گیاه است. در انواعی از کودهای زیستی، باکتری توسط سانتریفیوژ، خالص و در یک محلول غذایی یا سرم فیزیولوژیک، سوسپانسیون شده و سپس بر روی گیاه محلول‌پاشی می‌شود. با این حال، امروزه عمده کودهای زیستی مورد

استفاده برای محلول‌پاشی، فاقد سلول زنده ریزجانداران بوده و معمولاً حاوی عصاره‌ای از اسیدهای آمینه، هورمون‌ها، عناصر غذایی و سایر متابولیت‌های حاصل از فعالیت ریزجانداران می‌باشند. برای این منظور ابتدا مقدار آب مصرفی محاسبه و سپس محلول‌پاشی انجام می‌شود. عملیات محلول‌پاشی بهتر است که در طی چند مرحله صورت گیرد. محلول‌پاشی کودهای زیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه معمولاً در دو تا سه مرحله رشدی قبل از گل‌دهی توصیه می‌شود. در روش محلول-پاشی، به لحاظ اقتصادی می‌بایست کود موردنظر رقیق شود. بر اساس جمعیت ریزجانداران مؤثر موجود در کود، رقیق‌سازی تا صد مرتبه مجاز است. محلول‌پاشی بهتر است در هنگام غروب آفتاب انجام شود تا از تأثیرات منفی امواج ماوراءبنفش نور خورشید جلوگیری شده و همچنین فرصت کافی برای نفوذ به برگ فراهم شود. مقدار و روش مصرف کودهای زیستی در گندم در گزارش‌ها پژوهشی و انواع تجاری تولیدشده در ایران در جدول ۳ ارائه شده است.

^۹ - Arabic gum

^{۱۰} - Carboxymethyl cellulose (CMC)

^{۱۱} - Polyvinylpyrrolidone

جدول ۳- مقدار و روش مصرف انواع کودهای زیستی و مایه تلقیح‌های ویژه گندم در ایران

ردیف	نام تجاری یا منبع کود	نوع ریزجاندار موجود در کود	جمعیت ریزجاندار (cell.ml ⁻¹ or gr ⁻¹)	نحوه مصرف یا روش تلقیح	مقدار مصرف	منبع
۱.	پژوهش مزرعه‌ای دیم	<i>Azotobacter</i>	۱۰ ^۸	بذری	۳۰ گرم در ۵۰ مترمربع	خسروی و محمودی، ۱۳۹۲
۲.	پژوهش گلخانه‌ای	<i>Azotobacter</i>	۱۰ ^۸	بذری	یک میلی‌لیتر به ازای بذری	خسروی و همکاران، ۱۳۷۷
۳.	پژوهش مزرعه‌ای آبی	<i>Azotobacter</i>	۱۰ ^۸	بذری	۳۰ گرم در ۶۰ مترمربع	خسروی، ۱۳۸۸
۴.	فلاویت	<i>Microbacterium</i>	۱۰ ^۸	بذری و کودآبیاری	۱ لیتر به ازاء ۱۰۰ کیلوگرم بذری	تجاری
۵.	نیتروکارا	<i>Azorhizobium</i>	۱۰ ^۷	بذری	۱۰-۱۰۰ گرم برای ۱۰۰ گرم بذری	تجاری
۶.	نیتراژین	<i>Azospirillum+ Azotobacter</i>	۱۰ ^۸	بذری	۲-۴ لیتر	تجاری
۷.	بیوفارم	<i>+ Azospirillum+ Azotobacter Pseudomonas</i>	۱۰ ^۸	بذری	۲-۴ لیتر در ۱۰۰ کیلوگرم بذری	تجاری
۸.	سوپرنیتروپلاس	<i>+ Pseudomonas +Azospirillum Bacillus</i>	۱۰ ^۸	بذری	۲-۴ لیتر در هکتار	تجاری
۹.	کارا	<i>Azospirillum+ Azotobacter</i>	۱۰ ^{۱۰}	بذری	۱۰۰ گرم برای هر ۱۰۰ گرم بذری	تجاری
۱۰.	نیتروکسین	<i>Azospirillum+ Azotobacter</i>	۱۰ ^۷	بذری	۲-۴ لیتر در هکتار	تجاری
۱۱.	رشد افزا	<i>Pseudomonas + Azospirillum Bacillus+</i>	۱۰ ^۷	محلول پاشی	۲ لیتر برای هر هکتار	تجاری
۱۲.	مایکوروت	<i>*Mycorrhizae</i>	۱۰ ^۷ -۱۰ ^۸	بذری	۲۰ تا ۳۰ گرم در کیلوگرم بذری	تجاری

* حاوی قارچ‌های *Glomus etunicatum* و *Glomus intraradices* . *Glomus mosseae*

پتانسیل‌ها و فرصت‌های تولید و مصرف کودهای زیستی در زراعت گندم

تقریباً یک سوم سطح کل زیر کشت محصولات زراعی در ایران به گندم اختصاص یافته است (بی‌نام، ۱۳۹۹) با توجه به اینکه گندم اهمیت بسزایی در تغذیه مردم دارد لذا توجه به کمیت و کیفیت آن مهم بوده و بنابراین برای تولید گندم در شرایط پایدار، این وضعیت یک پتانسیل و فرصت مناسب برای رونق تولید و مصرف کودهای زیستی در کشور است. قیمت بالای کودهای شیمیایی و حجم زیادی از کود که در ازای یک هکتار زمین بایستی به خاک اضافه شود در برابر قیمت ارزان‌تر و حجم و مقدار کمتر کود زیستی نیز یک مزیت است که می‌تواند آن را به یک فرصت برای توسعه مصرف کودهای زیستی تبدیل کند. وجود زیرساخت‌های لازم در

بخش خصوصی برای تولید کودهای زیستی و وجود متخصصین مربوطه در کشور و دانش‌های فنی در این زمینه نیز یک فرصت و پتانسیل مناسبی برای رونق تولید کودهای زیستی است. همچنین توجه به حفظ محیط‌زیست و اهمیت تولید محصول سالم در اسناد ملی و بالادستی نیز رغبت به تولید و مصرف این کودها را افزایش داده است.

محدودیت‌ها و نقاط ضعف تولید و مصرف کودهای زیستی

فراوانی کودهای شیمیایی و سابقه طولانی مدت مصرف آن‌ها، موجب اعتماد مصرف‌کننده‌ها و اطمینان از اثرگذاری معنی‌دار این کودها شده است. همچنین کودهای زیستی از نظر افزایش مقدار محصول، توان

۵. انجام پژوهش در مورد کودهای زیستی ترکیبی شامل ریزجانداران، متابولیت‌های ریزجانداران و ترکیبات آلی.
۶. ارائه تسهیلات بانکی و معافیت‌های مالیاتی به تولیدکننده‌های کودهای زیستی
۷. تأکید رسانه‌های ارتباط جمعی و شبکه‌های اجتماعی بر مزایای مصرف کودهای زیستی و مضرات مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی
۸. برگزاری مزارع آموزشی - ترویجی برای کشاورزان
۹. دادن مشوق‌ها به کشاورزان برای استفاده از کودهای زیستی و تولید محصولات ارگانیک.

پیشنهاد‌های ترویجی

گندم به واسطه نقش اساسی در تغذیه مردم، مهم‌ترین محصول زراعی در ایران محسوب می‌شود. از طرف دیگر تولید محصول با در نظر گرفتن ملاحظات محیط زیستی و هم‌سویی با کشاورزی پایدار، مورد تأکید جامعه علمی کشاورزی است. یکی از موضوعات مرتبط با این مسئله، استفاده از کودهای زیستی ویژه گندم است. در این راستا، توسعه پژوهش، تولید و مصرف این فرآورده‌های زیستی موجب جایگزینی با حداقل بخشی از کودهای شیمیایی خواهد شد.

رقابتی ضعیف‌تری نسبت به کودهای شیمیایی دارند. یکی از محدودیت‌های مهم کاربرد کودهای زیستی، کم بودن ماده آلی در اکثر خاک‌های ایران است زیرا عمده ریزجانداران موجود در این کودها از باکتری‌های هتروتروف بوده و برای رشد و فعالیت به منابع کربنی نیاز دارند. از دیگر عوامل محدودیت تولید و مصرف کودهای زیستی می‌توان به عدم ارتباط مناسب بین بخش پژوهش، تولید و ترویج و مشکلات در بخش تجاری‌سازی از جمله نیاز به تجهیزات و ملاحظات خاص در فرآیند تولید، نگهداری و توزیع کودهای زیستی اشاره کرد.

پیشنهادها برای توسعه پژوهش، تولید و مصرف کودهای زیستی در زراعت گندم

۱. بررسی قابلیت و استعداد اراضی مختلف در پاسخ‌دهی به کودهای زیستی ویژه گندم
۲. انجام تحقیقات بنیادی در رابطه با رقابت باکتری‌های مورد استفاده با انواع بومی خاک
۳. انجام پژوهش‌ها به منظور امکان ایجاد رابطه همزیستی بین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و گیاه گندم
۴. انجام پژوهش‌های مولکولی به منظور افزایش کارایی خصوصیات محرک رشدی و توان تثبیت زیستی نیتروژن در ریزجانداران.

فهرست منابع

۱. آزادی، ص.، ع. سیادت، ر. ناصری، ع. سلیمانی فرد و ا. میرزایی. ۱۳۹۲ کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژنه در ارقام گندم دوروم. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی (علوم کشاورزی)، ۷(۲): ۱۴۶-۱۲۹.
۲. اسدی رحمانی، ه. ۱۳۹۵. بررسی اثربخشی کود زیستی ویژه گندم (فلایت) بر عملکرد گندم در استان‌های مختلف کشور. گزارش نهایی طرح تحقیقی-ترویجی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.
۳. امرایی، ا.، م. اردکانی، م. رفیعی، ف. پاکنژاد و ف. رجالی ۱۳۹۵. بررسی تأثیر کودهای زیستی میکوریزی و ازتوباکتر بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی ارقام مختلف گندم. مجله زراعت و اصلاح نباتات، ۱۲(۲): ۱-۱۷.
۴. آینه بند، ا.، م. شوهانی، ا. فاتح، ۱۳۹۸. ارزیابی خصوصیات زراعی و شیمیایی بوم نظام گندم تحت تأثیر الگوهای کشت مضاعف و مدیریت زیستی-شیمیایی کود. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۶(۲): ۸۴-۷۱.

۵. بی‌نام. ۱۳۹۹. گزارش برآورد سطح و تولید محصولات زراعی در سال زراعی ۹۸-۹۷ معاونت امور برنامه‌ریزی، اقتصادی و بین‌المللی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات، ۷۱ صفحه.
۶. بی‌نام، ۱۳۹۶. استاندارد ملی کودهای بیولوژیک حاوی ریزوباکتری‌های افزایشنده رشد گیاه -ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. استاندارد ملی شماره ۲۲۳۰۵، انتشارات سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۶ صفحه.
۷. توکلی، م. و ا.ه. جلالی. ۱۳۹۵. تأثیر کاربرد انواع کودهای زیستی و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۶(۲۱): ۳۴-۴۵.
۸. ثقفی، ک. ج. احمدی، ا. اصغرزاده، ا. اسمعیلی‌زاد. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد (PGPR) بر شاخص‌های رشد گندم تحت تنش شوری. نشریه زیست‌شناسی خاک، ۱(۱): ۴۷-۵۹.
۹. جعفری وفا، ه.، غ. حیدری و ش. خالصرو. ۱۳۹۸. اثر آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم (*Triticum aestivum* L). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۹(۲): ۱۸۷-۱۷۳.
۱۰. خاوازی، ک. و ف. رجالی. ۱۳۷۹. استفاده از بعضی مواد ارزان‌قیمت به‌عنوان حامل باکتری *Bradyrhizobium japonicum*. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب سابق)، دوره ۱۴(۱): ۳۶-۴۵.
۱۱. خاوازی، ک. و همکاران. ۱۳۹۱. دستورالعمل نحوه بررسی کودهای زیستی. انتشارات سادس، ۴۸ صفحه.
۱۲. خسروی، ه. ۱۳۸۸. دستیابی به دانش فنی تولید کود بیولوژیک ازتوباکتر برای مزارع گندم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۱۴۵۰. ۲۴ صفحه.
۱۳. خسروی، ه. ۱۳۹۲. بررسی اثربخشی مایه تلقیح ازتوباکتر بر رشد و عملکرد گندم در مناطق مختلف ایران. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۱۷۹۳.
۱۴. خسروی ه. و ح. محمودی. ۱۳۹۲. بررسی اثرات مایه تلقیح ازتوباکتر به همراه کود دامی بر رشد گندم دیم. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۳(۲): ۲۰۵-۲۱۹.
۱۵. خسروی، ه.، ح. علیخانی و ب. یخچالی. ۱۳۸۹. اثر تلقیح سویه‌های *Sinorhizobium meliloti* بومی دارای توان تولید آنزیم ACC دآمیناز بر رشد گندم در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۴(۲): ۱۳۱-۱۲۳.
۱۶. خسروی، ه.، ح. علیخانی و ب. یخچالی. ۱۳۷۸. بررسی اثر سویه‌های ریزوبیوم دارای آنزیم ACC daminase بر رشد گندم در شرایط تنش شوری. مجله تحقیقات آب‌و‌خاک ایران (مجله علوم کشاورزی ایران)، ۳۹(۱): ۹۳-۱۰۳.
۱۷. خسروی، ه.، ع. توسلی، م.ح. سدری، ع. ضیائیان، ح.ر. ذبیحی و ع. منتظری. ۱۳۹۳. تأثیر مایه‌زنی جدایه‌های بومی ازتوباکتر بر عملکرد و شاخص‌های رشد گندم آبی در ایران. نشریه زیست‌شناسی خاک، ۲(۲): ۱۵۸-۱۴۹.
۱۸. خسروی، ه.، ن. صالح راستین و م. محمدی. ۱۳۷۷. اثر تلقیح ازتوباکتر کروکوکوم به‌عنوان یک کود بیولوژیک بر رشد و عملکرد گندم. مجله خاک و آب، ۱۲(۵): ۱-۸.
۱۹. داوودی فرد، م.، د. حبیبی و ف. داوودی فرد. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و سیلیسیک اسید بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه گندم (*Triticum aestivum*) تحت شرایط تنش خشکی. نشریه زراعت و اصلاح نباتات ایران، ۸(۱): ۱۱۴-۱۰۱.

۲۰. ذبیحی، ح.ر.، غ. ثواقبی، ک. خاوازی، ع. گنجعلی. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کاربرد سویه‌هایی از سودوموناس‌های فلورسنت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در سطوح مختلف شوری خاک، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳(۱): ۱۹۹-۲۰۸.
۲۱. رجب‌زاده، ن. ۱۳۸۷. تکنولوژی نان. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۴۸ صفحه.
۲۲. روستا، م.ج.، ن. صالح راستین، م. مظاهری اسدی. ۱۳۷۷. بررسی فراوانی و فعالیت *Azospirillum* در برخی از خاک‌های ایران. مجله علوم کشاورزی ایران، ۲۹(۲): ۲۸۵-۲۹۸.
۲۳. ریحانی تبار، ع. ۱۳۷۹. بررسی جمعیت سودوموناس‌های فلورسنت در ریزوسفر گندم کشت‌شده در خاک‌های زراعی استان تهران و تعیین پتانسیل آن‌ها برای افزایش رشد گیاهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۲۴. قلمباز، س.، ا. آینه بند و ع. معزی. ۱۳۹۲. ارزیابی تأثیر کودهای بیولوژیکی بر عملکرد دانه و کارایی استفاده از نیتروژن در گندم (*Triticum aestivum* L). دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳(۴): ۱۵۷-۱۴۱.
۲۵. کرد زنگنه، ر. و ک. مرعشی. ۱۳۹۷. مطالعه اثرات کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی پتاسه بر عملکرد و اجزاء عملکرد در شرایط کمبود رطوبت خاک گندم (*Triticum aestivum* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱(۴): ۸۷۲-۸۶۳.
۲۶. کاویانی، ب. ۱۳۹۴. اثر تلقیح سویه‌های باکتری محرک رشد تحت سطوح مختلف کود نیتروژن بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم رقم مروارید. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۳۹: ۷۸-۶۶.
۲۷. مهتدی، م.، م.ج. میر هادی، ع. چراتی و م. بهادری. ۱۳۹۴. بررسی اثرات کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده غیرهمزیست نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر روی صفات کمی و کیفی گندم. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۵(۱): ۲۴۲-۲۲۹.
۲۸. مؤمنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. مجله پژوهش‌های خاک، ۲۴(۳): ۲۱۵-۲۰۳.
29. Abd-Alla, M.H., A.L.E. Mahmoud, and A.A. Issa. 1994. Cyanobacterial biofertilizer improved growth of wheat. *Phyton*, 34(1):11-18.
30. Afzal, A. and A. Bano. 2008. Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). *Int J Agric Biol*, 10(1), pp.85-88.
31. Balbinot, W.G., A.L. Gordechuk, G.R. Eutropio, C. Medeiros and G.R. Botelho. 2020. Effectiveness of *Azospirillum brasilense* Inoculants to Wheat (*Triticum aestivum*) in the Micro-region of Curitiba (SC). *Journal of Experimental Agriculture International*, 42(1): 49-55.
32. Barbieri, P., T. Zanelli, E. Galli, and G. Zanetti. 1986. Wheat inoculation with *Azospirillum brasilense* Sp6 and some mutants altered in nitrogen fixation and indole-3-acetic acid production. *FEMS Microbiology Letters*, 36(1): 87-90.
33. Bazrafshan, J., A. Khalili. 2013. Spatial analysis of meteorological drought in Iran from 1965 to 2003. *Dessert*, 18: 63-71.
34. Beatty, P.H. and A.G. Good. 2011. Future prospects for cereals that fix nitrogen. *Science*, 333: 416-417.
35. Boddey, R.M., V.L. Baldani, J.I. Baldani and J. Döbereiner. 1986. Effect of inoculation of *Azospirillum spp.* on nitrogen accumulation by field-grown wheat. *Plant and Soil*, 95(1):109-121.
36. Creus, C.M., R.J. Sueldo, and C.A. Barassi. 1996. *Azospirillum* inoculation in pregerminating wheat seeds. *Canadian Journal of Microbiology*, 42(1): 83-86.

37. Dal Cortivo, C., M. Ferrari, G. Visioli, M. Lauro, F. Fornasier, G. Barion, A. Panozzo and T. Vamerali. 2020. Effects of seed-applied biofertilizers on rhizosphere biodiversity and growth of common wheat (*Triticum aestivum* L.) in the Field. *Frontiers in Plant Science*, 11: 1-14.
38. Hegde, D.M. and B.S. Dwivedi. 1994. Crop response to biofertilisers in irrigated areas. *Fertilizer News*, 39: 19-19.
39. Hoflich, G. 1999. Colonization and growth promotion of non-legumes by Rhizobium bacteria. *Microbial Biosystems: New Frontiers, Proceedings of the 8th International Symposium on Microbial Ecology* Bell CR, Brylinsky M, Johnson- Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada, Green P (eds).
40. Iniguez, A.L., Y., Dong, and E.W. Triplett. 2004. Nitrogen fixation in wheat provided by *Klebsiella pneumoniae* 342. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 17(10): 1078-1085.
41. Kasim, W.A., M.E. Osman, M.N. Omar, I.A.A., El-Daim, S. Bejai and J. Meijer. 2013. Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(1): 122-130.
42. Kumar, V. and N. Narula. 1999. Solubilization of inorganic phosphates and growth emergence of wheat as affected by *Azotobacter chroococcum* mutants. *Biology and Fertility of Soils*, 28: 201-305.
43. Li, Y., Q. Li, G. Guan, and Chen, S., 2020. Phosphate solubilizing bacteria stimulate wheat rhizosphere and endosphere biological nitrogen fixation by improving phosphorus content. *PeerJ*, 8, p.e9062.
44. Matiru, V. N. and F. D. Dakora. 2004. Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. *African Journal of Biotechnology*, 3 (1): pp: 1-7.
45. Me Carty, S.C., Chauhan, D.S., McCarty, A.D., Tripathi, K.M. and Selvan, T., 2017. Effect of *Azotobacter* and Phosphobacteria on yield of wheat (*Triticum aestivum*). *Vegetos-An International Journal of Plant Research*, 30(2).
46. Milosevic N., Tintor B., Protic R., Cvijanovi G., Dimitrijevic T. 2012. Effect of inoculation with *Azotobacter chroococcum* on wheat yield and seed quality. *Romanian Biotechnological Letters*, 17 (3): 7352-7357.
47. Mohamed, M.F., Thalooh, A.T., Elewa, T.A. and Ahmed, A.G., 2019. Yield and nutrient status of wheat plants (*Triticum aestivum*) as affected by sludge, compost, and biofertilizers under newly reclaimed soil. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(31): 1-6.
48. Renato de Freitas, J. 2000. Yield and N assimilation of winter wheat inoculated with rhizobacteria. *Pedobiologia*, 44: 97-104.
49. Ridge R.W., G.L. Bender and B.G. Rolfe. 1992. Nodule-like structures induced on the roots of wheat seedlings by the addition of the synthetic auxin 2, 4-Dichlorophenoxyacetic Acid and the effects of microorganisms. *Australian Journal of Plant Physiology*, 19(5): 481-492.

A Review of Biofertilizer Application in Wheat Cultivation in Iran and the Related Research Findings

H. Khosravi¹

Research Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. hkhosravi@areeo.ac.ir

Received: June 2020, and Accepted: July 2021

Abstract

Wheat is the main staple food in Iran where it accounts for almost one third of the area under crop cultivation. Being the most important sources of nutrients supplied to wheat farms, chemical fertilizers have caused environmental problems due to their excessive application beyond plant requirements. One solution to resolve these problems and to achieve sustainable agriculture is bio fertilizer application since these compounds enhance plant growth by fixing molecular nitrogen, dissolving insoluble elements such as phosphorus and zinc, releasing soil potassium, producing siderophore to increase iron availability, oxidating sulfur, and producing growth promoting materials. Research has confirmed enhanced wheat growth and yield as a result of biofertilizer application. Biofertilizers are also reportedly able to reduce the adverse effects of environmental stresses such as drought and salinity on wheat by producing ACC-deaminase enzyme, osmolite compounds, and extracellular polysaccharides. Not only has biofertilizer production witnessed a dramatic rise worldwide, especially in developed countries, but Iran has also recently produced and introduced a variety of biofertilizers for various crops, including wheat. A number of guidelines and quality standards for biofertilizer production have also been developed in some countries such as Iran. Research has shown that seed inoculation is an effective and economical method of biofertilizer application and, further, that skilled professionals, technical know-how, and infrastructure available to the private sector in Iran may be regarded as the potentials and opportunities for increasing biofertilizer production and application in wheat farming. However, their use is reportedly limited by the poor organic content of Iranian soils; the heterotrophic bacteria used in their production; the chemical fertilizers abundantly available on the market; the need for special equipment and preparations; and the lack of proper communication among the research, production, and extension sectors. Research in the field may be boosted by investigating the responses of different lands to biofertilizers for wheat production and fundamental molecular research may be carried out to achieve enhanced growth promoting properties and establish a symbiotic nitrogen fixation. Biofertilizer production and consumption may also be increased by calling in the mass media to publicize the benefits of their application. Finally, basic and molecular research is recommended on the growth stimulant properties of microorganisms.

Keywords: Inoculum, Growth promoter, Nitrogen fixation, Microorganisms

¹ - Corresponding author: Soil Biology Department, Soil and Water Research, POBox: 31785-311, Karaj, Iran.