استفاده از کودهای زیستی در کشت غلات

هوشنگ خسروی*

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۸

چکیده

غلات از مهم‌ترین گروه مواد غذایی مورد مصرف در ایران هستند. مصرف کودهای شیمیایی روش معمول تغذیه غلات در مزارع کشاورزی است. بااین‌حال، مصرف نامتعادل و یا بیش از نیاز گیاه به این کودها، آلودگی‌های زیست‌محیطی را به همراه خواهد داشت. کاربرد کودهای زیستی در غلات، یکی از روش‌های مناسب برای مواجهه با این مسئله است. کودهای زیستی با استفاده از سازوکارهای مختلفی باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند. پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده از کودهای زیستی باعث افزایش رشد و عملکرد غلات می‌شوند. روش مؤثر و اقتصادی مصرف کودهای زیستی به‌صورت مصرف همراه بذر است. کمبود مواد آلی در خاک‌های ایران و هتروتروف بودن باکتری‌های مورداستفاده، فراوانی کودهای شیمیایی و عدم ارتباط مناسب بین بخش پژوهش، تولید و ترویج از محدودیت‌های مهم کاربرد کودهای زیستی است. وجود پژوهشگران و پژوهش‌های انجام‌شده از فرصت‌های مناسب برای رونق تولید و مصرف کودهای زیستی در زراعت غلات است. برای توسعه پژوهش و کاربرد کودهای زیستی انجام تحقیقات بنیادی و مولکولی در مورد خصوصیات محرک رشد گیاه ریزجانداران و امکان ایجاد رابطه همزیستی بین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و غلات، افزایش میزان مواد الی خاک‌ها و یا کاربرد هم‌زمان ترکیبات حاوی کربن آلی و ریزجانداران پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژگان: مایه تلقیح، گندم، ذرت، برنج، جو.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: hkhosravi@areeo.ac.ir

مقدمه

در طول تاریخ بشری، غلات در تأمین غذای انسان و همچنین تغذیه نزدیک به ۸ میلیارد جمعیت فعلی کره زمین نقش اساسی داشته و دارد و ازاین‌رو در بین انواع مواد غذایی از غلات به‌عنوان قوت غالب (Staple food) نام برده می‌شود. سطح زیر کشت محصولات زراعی در ایران حدود ۱۲/۶ میلیون هکتار است که بیش از ۷۶ درصد آن به کشت غلات تعلق دارد (۶۳). با توجه به اهمیت غلات، ارائه راهکارهای مبتنی بر کشاورزی پایدار برای افزایش عملکرد آن‌ها، لازم و ضروری است. برای رسیدن به این هدف، اقدامات زیادی ازجمله مبارزه با عوامل بیماری‌زا، آفات گیاهی و علف‌های هرز و اجرای برنامه‌های به‌زراعی و به نژادی صورت گرفته است. برای تغذیه محصولات کشاورزی در طی یک قرن اخیر، کودهای شیمیایی نقش اول را بازی کرده‌اند. از دلایل استقبال کشاورزان از کودهای شیمیایی می‌توان به‌وفور، نحوه کاربرد آسان و همچنین سودآوری بیشتر آن‌ها در کوتاه‌مدت اشاره کرد. مصرف اصولی و متعادل کودهای شیمیایی و بر اساس آزمون خاک و گیاه یکی از راهکارهای تغذیه و افزایش رشد و عملکرد گیاهان و ازجمله غلات است، بااین‌حال کشاورزان در عمل به مسئله مصرف متعادل کود توجه نداشته و یا امکانات لازم برای انجام این کار را ندارند. 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 و به‌ویژه غلات، ارائه راه‌حل‌های جایگزین و هماهنگ با ملاحظات زیست‌محیطی و مبتنی بر توسعه پایدار ضروری است. برای تحقق این موضوع، یکی از راه‌کارهای موردنظر ایجاد شرایط لازم و بهینه برای رشد و فعالیت ریزجانداران مفید خاک و یا افزودن کودهای زیستی مؤثر و سالم در ناحیه ریشه است که بتواند موجبات رشد بهتر گیاه را فراهم نماید. سلامت جوامع و اهمیت مصرف محصولات ارگانیک، باعث افزایش استفاده از کودهای زیستی در دهه‌های اخیر شده است. استفاده از کودهای زیستی بر رشد

غلات در پژوهش‌های مختلف قابل‌توجه ذکرشده است (۲، ۸۳، ۹۱).

در این مقاله به پژوهش‌های انجام‌شده در مورد اثرات مصرف کودهای زیستی در غلات به‌ویژه گندم، برنج، ذرت و جو که بیشترین سطح زیر کشت و اهمیت را ازنظر امنیت غذایی در کشور دارند پرداخته می‌شود.

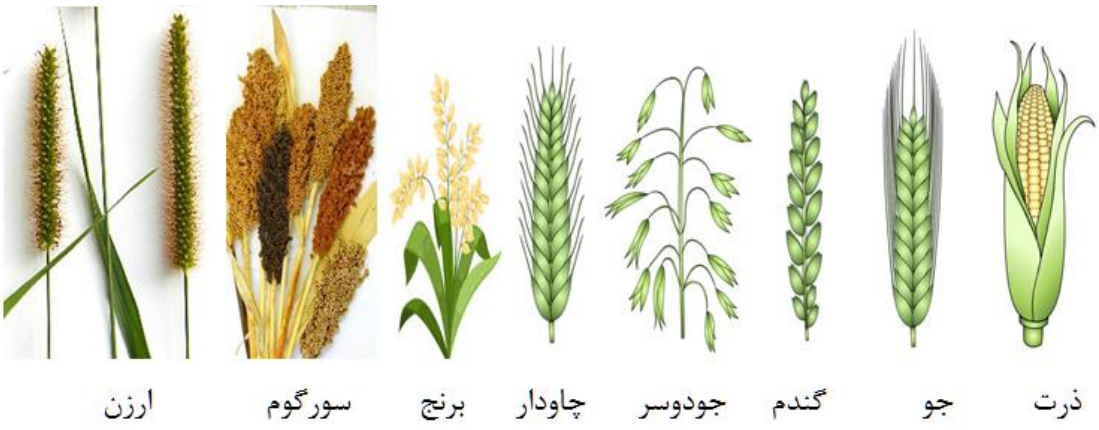
غلات و اهمیت آن‌ها در تغذیه مردم

غلات به گروهی از گیاهان خانواده گندمیان (گرامینه یا پوآسه)[۱] گفته می‌شود که از ابتدای تاریخ تمدن تاکنون مورداستفاده انسان و دام بوده است. امروزه نیز غلات نقش مهمی در تغذیه انسان، هم در کشورهای پیشرفته و هم درحال‌توسعه دارند. غلات، نسبت به سایر محصولات کشاورزی، دارای تولید آسان، ذخیره و حمل راحتی هستند. غلات شناخته‌شده شامل گندم، برنج، ذرت، جو، جو دوسر، چاودار، ارزن، سورگوم و چاودم (تریتیکاله) هستند (شکل ۱). گندم و برنج مهم‌ترین غلات بوده و تقریباً نیمی از تولید غلات در جهان، متعلق به این دو محصول است. غلات، از منابع مهم تأمین انرژی، کربوهیدرات، پروتئین، فیبر و همچنین، برخی ویتامین‌های گروه B، ویتامین E و مینرال‌های آهن، منیزیم و روی هستند. بر اساس اعلام سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (فائو)، غلات به‌طور میانگین ۵۱ درصد کالری و ۴۷ درصد پروتئین جهان را تأمین می‌کنند (۷۳). پژوهش‌ها نشان داده است که مصرف منظم غلات به‌ویژه غلات کامل ممکن است در پیشگیری از بیماری‌های عروق کرونری قلب و سرطان روده بزرگ نقش داشته باشد.

بر اساس آمار فائو سالانه بیش از ۲۵۰۰ میلیون تن غلات در جهان تولید می‌شود؛ مجموع تولید گندم، ذرت و برنج بیش از سه‌چهارم کل تولید غلات تخمین زده شده است (۷۳).

کود زیستی[۲]

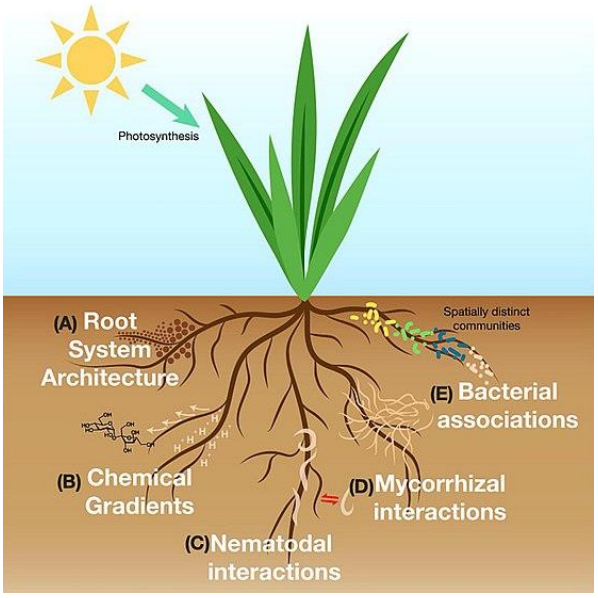
کود زیستی، فرمولاسیونی حاوی تعداد مناسبی از یک و یا گروهی[۳] از ریزجانداران مفید و یا متابولیت‌های حاصل از فعالیت آن‌ها می‌باشد که قادر است همه یا بخشی از نیازهای غذایی گیاه به یک و یا چند عنصر را تأمین یا فراهمی[۴] نموده و یا اینکه رشد گیاه را تحریک و یا تحمل گیاه به عوامل تنشی مانند خشکی و شوری را افزایش دهد. هر کود زیستی شامل یک بخش ریزجاندار و یک بخش حامل است که در یک ظرف مخصوص و مناسب، بسته‌بندی می‌شود (۲۰، ۷۹، ۸۷، ۱۰۶). حامل، ماده یا ترکیبی از مواد مختلف است که بخش عمده یک کود زیستی را تشکیل می‌دهد. یک حامل خوب قادر است شرایط تنفسی، اسیدیته و میزان رطوبت برای بقای ریزجانداران در یک جمعیت معین از زمان تولید تا مصرف را فراهم نماید. مواد لازم برای تهیه حامل بایستی قابلیت دسترسی آسان، قیمت کم و قابلیت چسبیدن به سطح بذر یا ریشه را داشته باشند. همچنین حامل می‌بایستی دارای ظرفیت بالای نگهداری رطوبت، توان تأمین اکسیژن کافی، ظرفیت بافری برای تنظیم اسیدیته، غیر سمی برای ریزجاندار و قابلیت استریل شدن آسان به‌وسیله اتوکلاو یا اشعه گاما را داشته باشد. رطوبت مناسب برای یک حامل خوب در محدوده ۶۰-۴۰ درصد است. تورب یا پیت، رایج‌ترین ماده برای تهیه حامل کودهای زیستی است.



شکل ۱- تصویر شماتیک خوشه غلات مهم (۱۰۵ با تغییرات و ترجمه)

۱ Poaceae or Gramineae
۲ Biofertilizer or Biological fertilizer
۳ Consortium
۴ Availability

به دلیل فقدان تورب در غالب کشورها ازجمله ایران پژوهش‌هایی بر روی مواد جایگزین مانند خاک‌اره، برگ و الیاف درخت خرما، ملاس نیشکر، چوب‌بلال ذرت، سبوس و کاه و کلش گندم و برنج، آرد حبوبات؛ مواد معدنی همانند ورمی‌کولیت، پرلیت، بنتونیت، ماسه، گچ و مواد کربنی همچون زغال چوب، زغال‌سنگ و لیگنیت انجام شده تا یک حامل مناسب انتخاب شود. هم‌اکنون در ایران، پرلیت به علت وفور و قیمت کم به‌عنوان حامل برای تهیه کود زیستی پودری توصیه شده و مورد مصرف دارد (۲۱، ۲۶، ۷۹). کودهای زیستی به حالت‌های جامد، مایع یا نیمه جامد و به اشکال دانه‌ای (گرانول)[۱] پودری، ژله‌ای، چیپس مانند یا پودرهای انجماد-خشک[۲]یا روش خشک کردن انجمادی[۳] تهیه می‌شوند. کودهای زیستی به‌صورت‌های بذرمال، برگ‌پاشی، آغشته کردن نشاء یا قلمه و یا مصرف به‌صورت خاکی و کودآبیاری در گلخانه، خزانه و مزرعه استفاده می‌شوند. ریزجانداران موجود در یک کود زیستی ممکن است در خاک ریزوسفری، روی سطح ریشه و یا در داخل ریشه و حتی در ساقه و برگ گیاه به حالت اندوفیت ایجاد کلنی نمایند (۷۸، ۸۷، ۹۴، ۹۷، ۱۰۶). ریزجانداران موجود در کودهای زیستی با استفاده از سازوکارهای مختلفی مانند تولید انواع هورمون‌های اکسین، جیبرلین و سیتوکینین از طریق تأثیر بر مورفولوژی ریشه، تثبیت نیتروژن مولکولی هوا، توانایی حل‌کنندگی فسفر و روی نامحلول، تولید سیدروفور و افزایش قابلیت جذب آهن، اکسایش زیستی گوگرد و کاهش pH و تجزیه سیلیکات‌ها و آزادسازی عناصری همچون پتاسیم بر رشد گیاهان زراعی و ازجمله غلات تأثیر می‌گذارند (۲، ۳۶، ۸۷، ۹۴، ۹۷، ۱۰۶، ۱۰۸). ناحیه ریزوسفر غلات، مکان مناسبی برای تجمع و فعالیت ریزجانداران مفید به‌ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاه یا اصطلاحاً PGPR[۴] است (شکل ۲). از باکتری‌های PGPR آزادزی می‌توان *Azotobacter*، *Pseudomonas*، *Bacillus*، *Beijerinckia* و *Enterobacter* را نام برد. از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هوا که دارای توانایی برقراری رابطه همیاری با غلات هستند می‌توان به *Azospirillum* و *Herbaspirillum* اشاره کرد.



شکل ۲- جامعه میکروبی ریزوسفری غلات (۱۰۹)

مایه تلقیح[۵] یا زادمایه، ترکیبی است دارای یک یا چند ریزجاندار که برای تلقیح بکار می‌رود. درواقع مایه تلقیح، یک نوع کود زیستی است. ظروف بسته‌بندی مایه‌تلقیح‌ها ازنظر جنس و نوع ماده و فضای موجود در آن بایستی طوری باشد که تا پیش از انقضای تاریخ‌مصرف آن بتواند باکتری موجود در آن را به تعداد لازم و زنده نگهداری نماید. بر اساس استاندارد ملی ایران، ظرف بسته‌بندی باید به نور و رطوبت، غیرقابل نفوذ بوده و قابلیت استریل شدن توسط اتوکلاو و یا اشعه گاما را داشته باشد. امروزه مواد پلاستیکی و پلی‌اتیلنی، استفاده زیادی در بسته‌بندی مایه‌تلقیح‌ها دارند. پلی‌اتیلن قابلیت تبادل هوای مناسبی داشته بطوریکه اجازه خروج CO_2 و ورود O_2 را به داخل بسته‌بندی می‌دهد. پلی-اتیلن و حامل آن به‌وسیله اشعه گاما استریل می‌شوند. مایه-تلقیح‌ها بهتر است در مکانی دور از نور مستقیم خورشید، خشک و خنک و به‌دوراز یخزدگی و ترجیحاً در دمای بین حداقل ۲ و حداکثر ۱۰ درجه سلسیوس نگهداری شوند. در هنگام مصرف مایه‌تلقیح‌ها ممکن است مواد شیمیایی و سموم در سطح بذر باعث کاهش کیفیت آن‌ها شوند. اختلاط بذر و کود زیستی نباید با استفاده از وسایل اختلاط کننده و ظروفی که قبلاً از آن برای علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، آفت-کش‌ها و همچنین مواد شیمیایی دارای غلظت زیاد روی و

---

۱ Granule
۲ Freeze- drying
۳ Lyophilisation
۴ Plant Growth Promoting Rhizobacteria
۵ Inoculum or inoculant

جیوه و یا کودهای شیمیایی دارای مولیبدن، روی و منگنز استفاده شده است صورت گیرد. معمولاً مایه‌تلقیح‌های با حامل جامد حدود شش ماه قابلیت دوام دارند. در انواع مایه‌تلقیح‌های مایع می‌توان با اضافه کردن مواد غذایی و محافظت‌کنندگان از سلول، ماندگاری آن‌ها را افزایش داد. انواعی از مایه‌تلقیح‌های مایع تولید می‌شوند که تا دو سال نیز قابلیت ماندگاری دارند و ازاین‌رو انواع مایع نسبت به انواع جامد، قیمت بالاتری دارند (۷۸، ۸۲، ۹۴، ۹۷).

مکانیسم عمل کودهای زیستی بر رشد گیاهان

مکانیسم‌هایی که باکتری‌های موجود در کودهای زیستی به‌واسطه آن بر رشد گیاهان مؤثر واقع می‌شوند به شرح زیر می‌باشند:

تثبیت نیتروژن مولکولی: برخی از باکتری‌های PGPR توانایی تثبیت نیتروژن مولکولی هوا (N_2) را دارند. باسیلوس، انتروباکتر و کلبسیلا تثبیت N_2 را در شرایط میکروآئروبیک (فشار پایین اکسیژن) در ناحیه ریزوسفر یا در سطح برگ انجام می‌دهند. ازتوباکتر، آزوسپیریلوم، هرباسپیریلوم، آزوموناس، بیجرینکیا و درکسیا و سیانوباکترهای آزولا، پلکتونما[1]، اسیلاتوریا[2] و تریکودسمیوم[3] توان تثبیت نیتروژن را دارند (۲۶، ۳۱، ۳۸، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۶۷، ۷۵، ۸۴، ۱۰۰).

حلالیت فسفر: علیرغم اینکه مقدار فسفر در اکثر خاک‌های کشاورزی زیاد است بااین‌حال حلالیت آن به‌ویژه در خاک‌های با pH بالا کم است. باکتری‌های حل‌کننده فسفات از طریق ترشح اسیدهای آلی همانند اسید گلوکونیک، اسید اگزالیک و اسید سیتریک موجب کاهش pH خاک در منطقه ریزوسفر شده و درنتیجه سبب افزایش حلالیت فسفر نامحلول می‌شوند. از مهم‌ترین باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌توان به *Enterobacter agglomerans*، *Bacillus circulance*، *Bacillus megaterium*، *Bacillus subtilis* و *Bacillus polymixa* اشاره نمود (۵، ۲۶، ۳۳، ۳۴، ۴۰، ۴۹، ۹۰).

تولید سیدروفور: آهن یک عنصر ضروری برای رشد گیاهان است اما به شکل Fe^3 قابل توسط ریشه گیاهان جذب نمی‌شود. بعضی از سویه‌های گروه‌های مختلف میکروبی خاک قادرند در شرایط کمبود آهن سیدروفور ترشح کنند. سیدروفورها از طریق لیگاندهای شیمیایی خود میل ترکیبی شدیدی با Fe^{3+} داشته و موجب تشکیل کلات آهن محلول و قابل‌جذب توسط گیاه می‌شوند. برخی سویه‌های ازتوباکتر، سیدروفوری با رنگ فلورسنت سبز-زرد به نام آزوباکتین تولید می‌کنند. گونه *Azotobacter vinelandii* دارای توان تولید سیدروفور ازتوباکتین، آزوتوچلین، پروتوچلین و آمینوچلین را تولید می‌کند. گونه *A. salinestris* رنگ‌دانه ملانین کتکول به‌عنوان یک گیرنده آهن تولید می‌کند (۲۶، ۷۹).

آزادسازی پتاسیم: پتاسیم که یکی از عناصر ضروری موردنیاز گیاهان است که فقط اشکال محلول و تبادلی آن قابل‌استفاده گیاه است. برخی ریزجانداران قادرند سیلیکات-های خاک را تجزیه و عناصری همچون پتاسیم را آزاد نمایند. از باکتری‌های آزادکننده پتاسیم می‌توان به *Bacillus circulance*، *Bacillus megaterium* و *Arthrobacter* و *Azotobacter* اشاره نمود (۲۶، ۴۸، ۵۴).

تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی[4]: باکتری‌ها در پاسخ به شرایط سخت محیطی تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی می‌کنند؛ که سلول باکتری را در برابر شرایط تنشی مقاوم‌تر می‌کنند. آن‌ها خاصیت چسبندگی داشته که باعث اتصال باکتری به ذرات شده و به کلونیزاسیون بهتر ریشه گیاه کمک می‌کنند (۲۶، ۷۴).

سنتز اکسین‌ها: اکسین‌ها هورمون‌هایی هستند که توسط بسیاری از باکتری‌های خاک تولید و موجب افزایش رشد و طول ریشه می‌شوند. مهم‌ترین انواع اکسین‌ها ایندول استیک اسید (IAA[5]) است که موجب افزایش در طول سلول و هم تقسیم و تمایز سلول می‌شود. برآورد شده است که حدود ۸۰ درصد باکتری‌های جداسازی شده از ریزوسفر دارای توان سنتز IAA می‌باشند. از شاخص‌ترین باکتری‌های تولیدکننده اکسین می‌توان به *Pseudomonas fluorescens* اشاره نمود (۲، ۲۶، ۶۹، ۷۹).

سنتز سیتوکینین‌ها: بیش از ۹۰ درصد ریزجانداران ریزوسفری قادرند سیتوکینین آزاد نمایند. سیتوکینین موجب تقسیم و بزرگ شدن سلول گیاه می‌شود. گزارش شده که تولید سیتوکینین توسط *Azotobacter chroococcum* در محیط کشت و در حضور آدنین و ایزوپنتیل الکل تحریک

---

۱ Plectonema
۲ Oscillatoria
۳ Trichodesmium
۴ Exopolysaccharides
۵ Inodole Acetic Acid

می‌شود همچنین تولید سیتوکینین توسط ازتوباکتر در حضور ترشحات ریشه‌ای بیشتر می‌شود (۲۶، ۷۴، ۷۹).

سنتز جیبرلین‌ها: جیبرلین‌ها، اسیدهای دی‌ترپنوئید تتراسیکلیکی هستند که موجب تغییرات مورفولوژیک و توسعه بخش‌های مختلف شامل جوانه‌زنی دانه، تحریک و رشد ریشه، فراوانی ریشه‌های موئین، رشد برگ، ساقه، گل و میوه، تنظیم رشد رویشی و زایشی گیاه می‌شوند. جیبرلین-ها توسط برخی باکتری‌ها تولید می‌شوند. تاکنون ده‌ها نوع جیبرلین کشف شده است که شناخته‌شده‌ترین آن‌ها جیبرلیک اسید است. گزارش شده که جیبرلیک اسید و مواد شبه جیبرلیک اسید در کشت‌های کهنه برخی سویه‌های ازتوباکتر تولید شده است (۲۶).

تولید آنزیم ACC- دآمیناز[1]: اتیلن یک هورمون تنظیم‌کننده رشد گیاه است که در رسیدگی میوه، فتوسنتز، تنفس، تعرق، جنین‌زایی، ریشه‌زایی نقش دارد. البته، اتیلن در غلظت‌های بالاتر دارای اثرات بازدارندگی در رشد گیاهان داشته و از طویل شدن ریشه و ساقه و گلدهی در گیاهان ممانعت به عمل می‌آورد. در شرایط تنشی، مقدار اتیلن به میزان قابل‌توجهی در گیاه افزایش و باعث پیری زودرس گیاه می-شود. آنزیم ACC-دآمیناز قادر است ماده ACC (۱-آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات) که پیش‌ماده تولید اتیلن در گیاهان است را به آمونیوم و آلفاکتوبوتیرات تبدیل و از این طریق موجب کاهش اتیلن ناشی از تنش شود (۲۶، ۲۷، ۲۸).

تولید سیانید هیدروژن[2]: سیانید هیدروژن (HCN) یک ترکیب با چگالی نسبی کمتر از هوا و فرار است که به‌سرعت در محیط منتشر می‌شود. یکی از راه‌های ورود سیانید هیدروژن به بیوسفر، فعالیت‌های صنعتی است. سیانید هیدروژن همچنین متابولیت ثانویه تعدادی از ریزجانداران است که در کنترل برخی عوامل بیماری‌زای گیاهی مؤثر است (۲۶، ۷۹).

استفاده از کودهای زیستی در زراعت گندم

گندم (*Tritucum aestivum* L.) یک از مهم‌ترین غلات و نان گندم از اصلی‌ترین منابع تغذیه در سبد غذایی مردم ایران است. تقریباً یک‌سوم از سطح زیر کشت کل محصولات زراعی در کشور به این محصول مهم اختصاص دارد. سطح زیر کشت گندم در ایران حدود ۶/۹ میلیون هکتار با تولید ۱۳/۳ میلیون تن برآورد شده است (۶۳).

پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد کودهای زیستی در کاشت گندم می‌تواند بر شاخص‌های رشد این گیاه مؤثر باشد. در یک آزمایش، اثر سه سویه *Azospirillum brasilense* بر رشد گندم در خاکی که با نیتروژن رادیواکتیو (^{15}N) پر شده بود مطالعه شد. نتایج نشان داد که تجمع نیتروژن در دانه گندم ۴۰ درصد افزایش یافت بااین‌حال افزایش، مربوط به تثبیت زیستی نیتروژن نبود (۶۵). در یک آزمایش، مصرف *Azotobacter* در مناطق مختلف هندوستان در ۴۱۱ مزرعه گندم آبی نشان داد که در ۳۴۲ مزرعه، افزایشی عملکردی بین ۳۴ تا ۲۴۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (۸۲). در یک بررسی، اثر تلقیح سیانوباکتر بر شاخص‌های رشد گندم معنی‌دار گزارش شده است (۶۴). در پژوهشی تلقیح با 342 *Klebsiella pneumonia*، 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 (۸۴). در یک مطالعه، تلقیح با *Azotobacter chroococcum* اثرات قابل‌توجهی بر رشد و عملکرد گندم در شرایط مزرعه‌ای نشان داد (۹۳). اثر تلقیح گندم در شرایط مزرعه‌ای با *Azotobacter* و باکتری‌های حل-کننده فسفات نشان داد که بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه و اندام هوایی مربوط به ترکیب این دو باکتری بود (۹۲). در یک پژوهش در مصر، اثر تلقیح *Azotobacter* و مخمر و همچنین مصرف لجن فاضلاب شهری، کمپوست بقایای گیاهی و مخلوطی از این مواد بر گندم در طی دو سال نشان داد که کاربرد هم‌زمان لجن و کمپوست با هریک از ریزجانداران اثر قابل‌توجهی بر عملکرد و اجزای عملکرد و جذب عناصر غذایی ماکرو داشت (۹۵). در یک بررسی در چین، مصرف هم‌زمان *Paenibacillus beijingensis* و *Paenibacillus* sp دارای توان تثبیت نیتروژن و توان حل-کنندگی فسفات‌های نامحلول سبب افزایش طول، وزن تر، وزن خشک و مقدار نیتروژن گیاه شد (۹۰). در مطالعه‌ای در برزیل تلقیح گندم با *Azospirillum brasilense* تأثیر معنی-داری بر عملکرد، وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه نداشته است؛ بااین‌حال مقدار نیتروژن دانه و برگ افزایش یافت (۶۴). در پژوهشی در ایتالیا، تلقیح بذر گندم با

---

۱ ACC deaminase

۲ Hydrogen cyanide

ریزجانداران مختلف نشان داد که مصرف هم‌زمان *Azospirillum*، *Azoarcus*، *Azorhizobium* و قارچ میکوریزی *Rhizophagus irregularis* سبب افزایش نیتروژن گندم شد اما تأثیری بر عملکرد دانه نداشت (۷۲). در آزمایش‌هایی مزرعه‌ای دوساله در نقاط مختلف ۵ ایالت مکزیک، اثر ۱۴ نوع کود زیستی و در ترکیب با ۱۰۰ و ۵۰ درصد کودهای شیمیایی بر رشد گندم و ذرت بررسی شد. نتایج این پژوهش‌ها نشان داد که فقط در دونقطه، کود زیستی در ترکیب با کود شیمیایی بر عملکرد ذرت معنی‌دار بوده است. در این بررسی نتیجه‌گیری شده که کودهای زیستی فقط در برخی مناطق مؤثر بوده‌اند و در مناطقی هم که پاسخ مثبت بوده است فقط بعضی از کودهای زیستی این اثر را نشان داده‌اند. در این گزارش تأکید شده است که قبل از توصیه کود زیستی برای مکزیک باید توجه داشت که پاسخ مثبت یک کود زیستی یک قانون نیست بلکه یک استثناء است (۱۰۳).

در ایران نیز پژوهش‌های زیادی در مورد استفاده از کودهای زیستی در زراعت گندم انجام شده است. در یک پژوهش ملی اثر تلقیح باکتری‌های منتخب *Azotobacter* جداسازی شده از خاک‌های ایران بر رشد گندم در مزارع شیراز، دزفول، سنندج، گلستان و مشهد بررسی شد. نتایج این مطالعه مشخص کرد که عملکرد دانه در اثر تلقیح، حداکثر تا بیست درصد افزایش یافت (۲۹). در پژوهش دیگری اثر یک نوع مایه‌تلقیح تجاری *Azotobacter* بر رشد گندم در هشت نقطه ایران نشان داد که تلقیح، اثر مثبتی بر رشد گندم نداشته است (۲۵). تلقیح *A. 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 (۲۲). تأثیر روش‌های مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و زیستی در تراکم‌های مختلف علف‌های 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 روش‌های تلفیقی ضمن کاهش مقدار کود مصرفی، شرایط مطلوبی را در اکوسیستم گندم ازلحاظ زراعی و اکولوژیک فراهم می‌کند (۵۰). در پژوهشی در ایلام، اثر تلقیح *A. chroococcum* و *A. brasilense* و سه سطح کود اوره بر رشد سه رقم گندم یاواروس، کرخه و سیمره بررسی شد. نتایج این پژوهش مشخص کرد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم یاواروس و تلفیق کود زیستی و اوره بود (۱۰). تلفیق کود زیستی و شیمیایی نسبت به مصرف هر کدام به‌تنهایی در مازندران، نتیجه بهتری در مورد اثر بر خصوصیات کمی و کیفی گندم داشت (۵۶). تلقیح سویه‌های باکتری محرک رشد در سطوح مختلف کود نیتروژنی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم رقم مروارید نشان داد که تلقیح با *Azotobacter* و ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه را حاصل کرد (۵۲). در یک بررسی گسترده در ۲۵ استان کشور، تلقیح گندم با باکتری *Microbacterium* سبب افزایش متوسط ۱۱ درصدی عملکرد دانه شد (۴). تلقیح *Azotobacter* و میکوریز بر ارقام گندم سرداری، کوهدشت و کریم در خرم‌آباد نشان داد که بالاترین درصد وابستگی و پاسخ رشد میکوریزی در تیمار تلقیح *Azotobacter* در رقم کریم به دست آمد و درنهایت مشخص شد که تلقیح رقم کریم با میکوریزی حداکثر پتانسیل تولید تحت شرایط دیم منطقه را دارا است (۶). اثر سه نوع کود زیستی تجاری و شیمیایی نیتروژنی بر رشد گندم در طی دو سال در اصفهان نشان داد که تلفیق مناسبی از این کودها موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌شود (۱۷). در پژوهشی خصوصیات زراعی و شیمیایی بوم نظام گندم تحت تأثیر الگوهای کشت مضاعف و مدیریت زیستی - شیمیایی کود، ارزیابی و نتیجه‌گیری شد که روش مدیریت تلفیقی کود نسبت به روش‌های کاملاً شیمیایی یا کاملاً زیستی راه‌کار مناسب‌تری است (۱۱). کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی ضمن تأمین نیازهای غذایی گیاه زراعی گندم دیم و افزایش عملکرد آن، سبب کاهش قابل‌توجه مصرف کودهای شیمیایی ش (۱۸).

تأثیر تلقیح انواع کودهای زیستی حاوی ریزجانداران مختلف بر رشد و عملکرد گندم در مطالعات پژوهشی در جدول یک ارائه شده است (۲۳). در شرایط تنشی خشکی و شوری که از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد غلات در ایران هستند نیز کودهای زیستی می‌توانند در کاهش این عوامل محدودکننده رشد مؤثر باشند. 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 (۲۷). 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 (۲۸). در پژوهشی، تلقیح گندم با باکتری-های محرک رشد و محلول‌پاشی با اسیدهای آمینه و اسید سیلیسیک در شرایط تنش خشکی موجب کاهش اثرات تنش شد (۳۰). کاربرد تلفیقی 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 (۵۳).

استفاده از کودهای زیستی در زراعت ذرت

ذرت (*Zea mays*. L) ازجمله گیاهان زراعی مهم در ایران است که سطح زیر کشت آن (علوفه‌ای و دانه‌ای) حدود ۵۴۰ هزار هکتار با تولید ۱۹/۵ میلیون تن است که برای تغذیه انسان، دام و کاربردهای صنعتی کشت می‌شود (۶۳). بیشتر ذرت تولیدی صرف تهیه خوراک دام و طیور می‌شود. بخشی از ذرت برای تهیه محصولات مختلف غذایی انسان بکار می‌رود. پژوهش‌های مختلفی در مورد کاربرد کودهای زیستی در کشت ذرت در ایران و جهان انجام شده است.

در پژوهشی تلقیح ذرت با *Azospirillum* تحت شرایط تنش خشکی بررسی شد، نتایج نشان داد که وزن توده زنده گیاه تلقیح شده نسبت به شاهد بدون تلقیح افزایش یافت (۷۰).

جدول ۱- تأثیر تلقیح ریزجانداران مختلف بر عملکرد دانه گندم (۲۳)

ردیف	نوع ریزجاندار	تأثیر بر عملکرد دانه	شاخص رشد مورد افزایش	محل و شکل انجام آزمایش	منبع
۱.	Azospirillum، Azoarcus، Azorhizobium و *Rhizophagus irregularis*	بی‌تأثیر	نیتروژن	ایتالیا-مزرعه‌ای	(دال کورتیوو و همکاران، ۲۰۲۰).
۲.	لجن فاضلاب شهری، کمپوست، Azotobacter، مخمر	قابل‌توجه	اجزای عملکرد و عناصر ماکرو	مصر-مزرعه‌ای	(محمد و همکاران، ۲۰۱۹)
۳.	Azotobacter و باکتری‌های حل‌کننده فسفات	مثبت	عملکرد اندام هوایی	هندوستان-مزرعه‌ای	(مک کارتی و همکاران، ۲۰۱۷).
۴.	*Paenibacillus beijingensis* و *Paenibacillus sp*	–	طول، وزن تر و خشک و نیتروژن	چین-گلخانه‌ای	(لی و همکاران، ۲۰۲۰).
۵.	*Azotobacter chroococcum*	قابل‌توجه	جذب نیتروژن	کانادا-اتاق رشد	(رناتودفریتاس، ۲۰۰۰).
۶.	*Entrobacter*، *Azotobacter*، *Azospirillum* و *Bacillus*	قابل‌توجه	وزن هزار دانه	صربستان-مزرعه‌ای	(میلشویچ و همکاران، ۲۰۱۲).
۷.	*Azospirillum brasilense*	بی‌تأثیر	مقدار نیتروژن دانه و برگ	برزیل-مزرعه‌ای	(بالبینوت و همکاران، ۲۰۲۰).
۸.	*A. chroococcum*	۰-۲۰٪	عملکرد کاه و کلش و وزن هزار دانه	ایران، ۸ استان- مزرعه‌ای	خسروی و همکاران (۱۳۸۸)
۹.	Azotobacter	بی‌تأثیر	بی‌تأثیر	ایران- ۱۰ استان- مزرعه‌ای (تجاری)	خسروی (۱۳۹۲)
۱۰.	Azotobacter و کود دامی	معنی‌دار	وزن خشک اندام هوایی، جذب نیتروژن، فسفر و روی دانه افزایش	ایران، مراغه-مزرعه-ای دیم	خسروی و محمودی (۱۳۹۲)
۱۱.	Microbacterium	۱۱ درصد	–	ایران، ۲۵ نقطه- مزرعه‌ای	اسدی رحمانی، ۱۳۹۵

در پژوهشی در دو نقطه کشور برزیل، اثر تلقیح ذرت با *A. brasilense* و کود نیتروژنی یکی در شرایط شخم معمولی و دیگری در حالت بدون شخم مطالعه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تلقیح در حالت بدون استفاده از کود نیتروژنی سبب افزایش تولید به مقادیر ۱۵/۴ و ۷/۴ به ترتیب در شرایط شخم معمولی و بدون شخم شد. همچنین در حالت شخم معمولی، تلقیح، عملکردی مشابه مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنی به‌صورت سرک بود (۸۹). در یک پژوهش که در صربستان انجام اثر مایه تلقیح *A. chroococcum* با جمعیت 10^8 CFU.ml^{-1} در مقادیر ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌لیتر در ۱۰۰۰ کیلوگرم بذر بر رشد ذرت بررسی شد. نتایج این پژوهش حاکی از افزایش عملکرد محصول در اثر تلقیح بود (۸۰). در مزرعه‌ای در منطقه شهریار تهران اثر *Pseudomonas flurescens* و *Pseudomonas putida* و ترکیبی از دو باکتری بر شاخص‌های رشد ذرت و تجزیه زیستی آترازین مطالعه شد. نتایج نشان داد که تجزیه زیستی آترازین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تلقیح قرار گرفت و بالاترین مقدار تجزیه مربوط به تلقیح هم‌زمان دو باکتری بود. اثر تلقیح، در مورد سایر شاخص‌های رشد هم معنی‌دار بود (۷۱). در یک پژوهش مزرعه‌ای در جنوب غربی نیجریه، اثر *Azotobacter*، *Azospirillum* و قارچ میکوریز (AMF) بر چهار رقم ذرت بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تلقیح با هر سه ریزجاندار نسبت به شاهد بدون تلقیح موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و اجزای عملکرد شد. همچنین تلقیح با *Azotobacter* و *Azospirillum* اثر معنی‌داری بر جذب عناصر داشتند. در بین تیمارها، Azotobacter به‌عنوان مؤثرترین کود زیستی معرفی شد (۹۷). در مطالعه‌ای در برزیل، اثر کاربرد مایه تلقیح *A. brasilense* با فرمولاسیون مایع به همراه مصرف سطوح مختلفی از کود نیتروژنی به‌صورت کاربرد بذری در فاروها بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد ۲۰۰ میلی‌لیتر از مایه تلقیح در هکتار اثر قابل‌توجهی بر تولید دانه داشته است (۹۶). در یک آزمایش دیگر در برزیل اثر تلقیح *A. brasilense* با فرمولاسیون پیت در مقادیر ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ گرم در ۲۵ کیلوگرم بذر در شرایط کود نیتروژنی توصیه‌شده و نصف مقدار توصیه‌شده بر رشد ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که تلفیق نصف کود نیتروژنی و ۱۵۰ گرم در ۲۵ کیلوگرم بذر بهترین نتیجه معنی‌دار را بر شاخص‌های مختلف رشد به‌ویژه عملکرد دانه، وزن هزار دانه و بیوماس خشک اندام هوایی و ریشه ذرت داشت (۷۶). در یک آزمایش گلخانه‌ای اثر تلقیح *Bacillus subtilis* در شرایط تنش شوری بر رشد ذرت بررسی شد. نتایج این آزمایش مشخص کرد که تلقیح سبب افزایش رشد در شرایط تنش شوری و افزایش مقدار آب نسبی برگ‌ها شد (۷۴). اثر تلقیح *A. brasilense* بر جوانه‌زنی، رشد گیاه و کارایی مصرف نیتروژن در ۲۷ ژنوتیپ مختلف ذرت مطالعه شد. نتایج مشخص کرد که تلقیح سبب افزایش رشد، بهبود خصوصیات بیوشیمیایی و افزایش کارایی مصرف نیتروژن در شرایط کمبود نیتروژن شد (۱۱۰). در یک مطالعه در منطقه سرادوی برزیل تحت سیستم بی‌خاک‌ورزی (No-Till) اثر مقادیر مختلف نیتروژن شامل ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار از منبع اوره و تلقیح با *A. brasilense* بر شاخص‌های مختلف رشد ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح، شاخص کلروفیل برگ، قطر ساقه، طول خوشه و کارایی مصرف نیتروژن را افزایش داد و بر عملکرد دانه هم اثر مثبت داشت. بیشترین عملکرد دانه از مصرف ۱۰۰ کیلوگرم N در هکتار به دست آمد (۷۶). در پژوهشی دیگر در برزیل اثر روش‌های مختلف کاربرد *A. brasilense* شامل تلقیح بذری، تلقیح برگی (برگ‌پاشی) و تلفیق دو روش بر خصوصیات ظاهری رشد و تغذیه ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که روش‌های مختلف تلقیح تأثیری بر رشد ذرت نداشتند و فقط اثر خیلی کمی بر برخی خصوصیات ظاهری گیاه گذاشتند (۶۸).

در ایران نیز پژوهش‌های قابل‌توجهی در مورد کاربرد کودهای زیستی در کشت ذرت انجام شده است. در آزمایشی گلدانی اثر قارچ میکوریز *Glumos intradices* بر جذب فسفر و نیتروژن ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ معنی‌دار گزارش شد (۴۷). در یک آزمون آزمایشگاهی و گلخانه‌ای اثر تلقیح باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات بررسی و مشاهده شده تلقیح باعث افزایش معنی‌دار جذب مقدار کل پتاسیم و وزن خشک اندام هوایی ذرت شد (۴۹). اثر تلقیح باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر شاخص‌های رشد ذرت در شرایط مزرعه، معنی‌دار و قابل‌توجه ذکر نمودند (۱۹). در پژوهشی اثر تلقیح *Azotobacter* و *Azospirillum* بر رشد چهار رقم ذرت S.C.704، S.C.703، S.C.700 و S.C.647 در شرایط مزرعه‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد، مربوط به تلقیح توأم دو باکتری بر ارقام S.C.704 و S.C.700 به دست آمد (۳۹).

در یک مطالعه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مهران اثر کود زیستی فسفاتی گرانوله و کود شیمیایی بر رشد ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش خشکی بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح، باعث کاهش مصرف کود شیمیایی و افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی شد (۴۹). در آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود اثر تلقیح با سویه‌های مختلف *Azotobacter* و *Azospirillum* بر رشد ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح، سبب افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد شد (۱۳). اثر یک نوع مایه تلقیح تجاری *Azotobacter* بر رشد ذرت در ۱۰ نقطه ایران بررسی و گزارش شد که تلقیح هیچ اثر مثبتی بر رشد این محصول نداشته است (۲۴). اثر مصرف توأم کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کود شیمیایی فسفری بر رشد ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ نشان داد که کود زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد تأثیر معنی‌داری داشته است (۱۶). در آزمایشی اثر باکتری‌های محرک رشد شامل *chroococcum .A* و *P. flurescens* بر جوانه‌زنی و رشد بوته ذرت در شرایط شور (از صفر تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر) در دانشگاه صنعتی شاهرود بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح در همه سطوح شوری درصد جوانه‌زنی بیشتری نسبت به عدم تلقیح نشان داد و تأثیر تلقیح بر حداکثر سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار بود (۸). در یک مطالعه دوساله در مزرعه مرکز آموزش کشاورزی شهید ناصری کرج اثر کاربرد *P. flurescens* و کود فسفری بر رشد و عملکرد ذرت رقم SC540 در شرایط رطوبتی مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح با باکتری باعث کاهش مصرف کود شیمیایی و افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی شد (۳۴). در دو آزمایش در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی خرم‌آباد وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان اثر قارچ میکوریز *G. intradices* بر ذرت NS-640 مطالعه شد. نتایج نشان داد که تلقیح، سبب جذب بیشتر آب و عناصر غذایی و نتیجه آن، افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق در گیاه و درنهایت افزایش مقاومت گیاه به کم‌آبی شد (۶۱).

در یک بررسی گلخانه‌ای اثر قارچ میکوریز و *P. flurescens* بر اشکال پتاسیم در خاک و جذب آن در ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش خشکی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که قارچ میکوریز، باکتری و برهمکنش آن‌ها بر شکل‌های مختلف پتاسیم و جذب آن توسط گیاه ازنظر آماری معنی‌دار بود (۵۴). در یک آزمایش در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی کرمانشاه اثر *Azotobacter*، ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دو شرایط آبیاری مطلوب و کم آبیاری بر رشد و عملکرد ذرت بررسی شد نتایج نشان داد که کمپوست و کودهای شیمیایی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند اما تلقیح با *Azotobacter* تأثیر معنی‌داری نشان نداد (۶۰). در آزمایشی در مزرعه پژوهشی دانشگاه آزاد سنجر دزفول اثر کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات در شرایط تنش خشکی بر رشد ذرت سینگل کراس ۶۴۰ بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح سبب کاهش اثرات سوء تنش خشکی بر صفات کمی و کیفی ذرت شد (۴۳). در پژوهشی اثر پوشش‌دار کردن بذر با عناصر ریزمغذی و باکتری *Pseudomonas* و *Azotobacter* و تلفیق آن‌ها بر شاخص‌های جوانه‌زنی ذرت رقم ۶۴۰NS بررسی شد. نتایج نشان داد که تلفیق دو باکتری و عناصر ریزمغذی بهترین اثر را در بین تیمارهای مختلف بر درصد جوانه‌زنی، طول و وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز داشتند (۳۷). در یک آزمایش در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی کرمانشاه اثر تلقیح باکتری‌های *Pseudomonas* بر رشد و عملکرد ذرت سینگل کراس ۷۷۰ در شرایط تنش خشکی بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح سبب افزایش معنی‌دار همه شاخص‌های موردمطالعه شد (۴۵). در آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک ذرت تحت تنش خشکی (آبیاری کامل و تنش در مرحله گلدهی) بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد عناصر غذایی به همراه کودهای زیستی باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی و بهبود عملکرد گیاه در این شرایط شد (۵۸). در آزمایشی در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی کردستان اثر تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی بر رشد ذرت رقم MV500 بررسی شد. نتایج نشان داد که تلفیقی از کود زیستی حاوی *Bacillus subtilis*، *P. flurescens* و *Azospirillum* ssp. به همراه ۳۰۰ کیلوگرم اوره و ۱۰ کیلوگرم کلات آهن (FeEDTA) بالاترین عملکرد و کیفیت علوفه را داشت (۵۵). در آزمایش مزرعه‌ای دوساله در نهاوند اثر کاربرد قارچ میکوریز، ورمی کمپوست و کود نیتروژنی بر رشد ذرت سینگل کراس سیمون مطالعه شد. نتایج نشان داد که برهمکنش میکوریز، ۶ تن ورمی

کمپوست و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار موجب بیشترین مقدار عملکرد (۱۴/۳ تن در هکتار) شد (۳۲). در یک آزمایش گلخانه‌ای اثر باکتری‌های محرک رشد *Azotobacter*، *Azospirillum* و *Pseudomonas* بر رشد دو رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴ و ۶۴۷ بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح سبب افزایش جذب فسفر و وزن خشک گیاه شد (۱۴).

استفاده از کودهای زیستی در زراعت برنج

برنج (*Oryza sativa* L.) گیاهی علفی و یک‌ساله بوده که در مناطق گرم و مرطوب می‌روید. برنج یکی از غلات مهم است که در خیلی از کشورها به‌ویژه کشورهای آسیایی به‌عنوان غذای اصلی محسوب می‌شود. برنج در سبد غذایی ایرانیان یکی از کالاهای پرمصرف است. بر اساس اعلام فائو میزان تولید برنج در جهان در سال ۲۰۲۲ حدود ۱۹۴/۴ میلیون تن بود. سطح زیر کشت برنج (شلتوک) در ایران ۷/۹ هزار هکتار و میزان تولید ۳/۶ میلیون تن است (۶۳). با توجه به افزایش جمعیت و در پی آن افزایش نیاز به مواد غذایی، توجه به روش‌های مبتنی بر کشاورزی پایدار که به افزایش تولید برنج منجر شود حائز اهمیت است.

در یک آزمایش مزرعه‌ای و گلخانه‌ای در ژاپن اثر strain *Azospirillum sp.* B510 با جمعیت 1×10^{8} CFU.ml بر رشد و عملکرد برنج بررسی شد. نتایج نشان داد که در شرایط گلخانه‌ای برگ‌های اولیه و بیوماس اندام هوایی افزایش یافتند و در شرایط مزرعه‌ای تعداد پنجه و عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری در اثر تلقیح افزایش یافتند (۸۶). در پژوهشی با مشارکت کشاورزان تایلندی یک نوع کود زیستی حاوی چهار نوع باکتری محرک رشد گیاه در ۲۰ مزرعه شالیزاری مورد استفاده قرار گرفت. در هر مزرعه نصف آن با کود شیمیایی و در نصف دیگر فقط ۵۰ تا ۸۰ درصد کود شیمیایی داده شد و مابقی آن کود زیستی تجاری مصرف شد. نتایج نشان داد که ۲۳ تا ۵۲ درصد نیتروژن می‌تواند توسط کود زیستی جایگزین شود بدون اینکه در عملکرد محصول کاهشی حاصل شود (۱۰۰). در آزمایشی اثر *Azotobacter vinelandii* SRIAz3 جداسازی شده از ریزوسفر برنج در شرایط تنش شوری بر رشد برنج مطالعه شد. نتایج مشخص نمود که تلقیح در شرایط شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به حالت بدون تلقیح، باعث افزایش مقدار پرولین و مالون‌دی‌آلدئید شد. بیوماس تر ریشه و اندام هوایی نیز در اثر تلقیح افزایش یافت (۱۰۱). در آزمایشی مزرعه‌ای دوساله اثر مقدار و روش‌های مصرف *A. brasilense* بر رشد برنج بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح به مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار از مایه تلقیح تحت آبیاری قطره‌ای سبب افزایش ۱۹ درصدی عملکرد شد (۷۷). در آزمایش‌هایی مزرعه‌ای در ژاپن و غنا اثرstrain B510 *Azospirillum sp.* بر رشد و عملکرد ارقام مختلف برنج بررسی شد. نتایج نشان داد که رشد و عملکرد ارقام مختلف برنج در اثر تلقیح افزایش یافت (۱۰۴).

در ایران نیز پژوهش‌هایی در مورد اثر کاربرد کودهای زیستی در برنج انجام شده است. در یک آزمون مزرعه‌ای اثر تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کودهای شیمیایی فسفاتی بر بعضی شاخص‌های رشد برنج معنی‌داری گزارش شده است (۵). در پژوهشی در شرایط گلدانی اثر چهار گونه سیانوباکتر (جلبک سبز–آبی) متعلق به جنس *Anabaena* بر جوانه‌زنی و رشد شلتوک بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد سیانوباکتر، سرعت جوانه‌زنی و شاخص‌های مختلف رشد برنج در شرایط گلدانی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد (۳۸). در یک آزمایش گلخانه‌ای اثر سویه‌های مختلف *Pseudomonas* بر رشد و جذب فسفر در سه رقم برنج طارم، ندا و خزر مطالعه شد. نتایج مشخص کرد که تلقیح، همه شاخص‌های رشد را افزایش داد. همچنین اثر متقابل رقم و سویه نشان داد بیشترین عملکرد دانه مربوط به سویه *P. florescence* GO15 و رقم ندا به دست آمد. بیشترین جذب فسفر در گیاه و دانه از تلقیح با *P. florescence* GO12 به ارقام ندا و خزر حاصل شد (۳۳). در یک آزمایش در ایستگاه تحقیقات برنج تنکابن اثر *A. chroococcum* در تناوب‌های زراعی مختلف شبدر برسیم، برنج، باقلا و آیش و در سطوح مختلف کود نیتروژنی شامل ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بررسی شد. نتایج نشان داد که در کلیه تناوب‌های زراعی با برنج، بیشترین عملکرد شلتوک با مصرف ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کاربرد باکتری به دست آمد (۷). در آزمایشی مزرعه‌ای در اطراف صومعه‌سرا اثر *Azospirillum* و *Azotobacter* و به‌صورت تلقیح نشا قبل از انتقال به زمین اصلی به همراه ورمی کمپوست با مقادیر ۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار بررسی شد. نتایج نشان داد که حداکثر عملکرد شلتوک مربوط به تیمار ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست به همراه تلقیح با *Azospirillum* به دست آمد (۹). در آزمایشی در مزرعه برنج در منطقه سیاهکل گیلان

اثر کودهای زیستی شامل قارچ میکوریز *G. mosseae*، *Azospirillum lipoferum* و *A. chroococcum* بر رشد و کارایی مصرف نیتروژن در برنج رقم هاشمی مطالعه شد. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد و اجزای عملکرد مربوط به بیشترین کود اوره معادل ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص و کاربرد سه ریزجاندار بود (۳۵). در یک پژوهش، جدایه‌هایی از سیانوباکتر از مزارع شالیزاری گیلان جداسازی، شناسایی و ازنظر توان حل‌کنندگی فسفات غربالگری و اثر سویه‌های برتر بر رشد برنج رقم هاشمی در شرایط گلخانه‌ای مطالعه شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بیشترین عملکرد دانه و جذب نیتروژن در اثر تلقیح با گونه *Cylendrospermum sp.* به دست آمد (۴۰). در پژوهشی مزرعه‌ای دوساله در مزرعه مؤسسه تحقیقات برنج در رشت اثر تلقیح نشایی دو رقم برنج گیلانه و هاشمی با یک نوع کود زیستی تجاری حاوی *Azospirillum* و *Azotobacter* در سطوح کود نیتروژن شامل ۱۰۰ درصد کود موردنیاز و تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی بررسی شد. نتایج نشان داد که مصرف توأم کود شیمیایی و کود زیستی بر عملکرد، کارایی مصرف آب و شاخص سطح برگ هر دو رقم برنج اثر مثبت داشته است (۱۲).

استفاده از کودهای زیستی در زراعت جو

جو (*Hordeum Vulgare* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده غلات است. بسیاری از محققین، خاستگاه این گیاه را کوه‌های زاگرس در غرب ایران، آناتولی جنوبی و فلسطین می‌دانند. سابقه کشت جو در ایران به ۱۰ هزار سال قبل برمی‌گردد. سطح زیر کشت جو در ایران ۱/۷ میلیون هکتار و میزان تولید آن ۳/۲ میلیون تن است (۶۳). جو به‌طور گسترده در تغذیه انسان ازجمله تهیه نان و تهیه نوشیدنی‌ها و مالت به کار می‌رود. علاوه بر این، جو به‌عنوان علوفه دام نیز کاربرد زیادی دارد. جو به دو گروه ۲ ردیفه و ۶ ردیفه تقسیم می‌شود. جو ۲ ردیفه بیشتر در صنعت مالت سازی و جو ۶ ردیفه در صنایع غذایی بکار می‌رود و دارای عملکرد بالاتری نیز می‌باشد. جو یکی از سازگارترین غلات است و نسبت به گندم مصرف آب کمتر و تحمل بیشتری به تنش شوری چه در مرحله جوانه‌زنی و چه در مراحل دیگر رشد است.

در مورد اثر کودهای زیستی در کشت جو پژوهش‌هایی انجام شده است. در پژوهشی سویه‌های مختلف جنس *Bacillus* توانستند از طریق تثبیت نیتروژن و انحلال فسفات-های نامحلول، رشد جو را افزایش دهند (۶۹). در آزمایشی در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اثر کودهای زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات *Bacillus lentus* و *P. putida* و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن *A. chroococcum* و *A. brasilense* در سطوح مختلف کود نیتروژنی شامل ۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن (N) از منبع اوره و سطوح ۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل بر رشد جو رقم صحرا بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنی به همراه تلقیح توأم کودهای زیستی بود (۴۴). در آزمایشی در مزرعه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران اثر تلقیح *P. fluorescence* دارای توان حل‌کنندگی فسفات در سطوح کود فسفری بر دو رقم جو فصیح و بهمن بررسی شد. نتایج نشان داد تلفیق باکتری و کود فسفری سبب بهبود کیفیت علوفه شد (۱). همین باکتری در آزمایشی مزرعه‌ای در فومن نیز بررسی شد و نتایج آن مشخص نمود که کاربرد تلفیقی تلقیح و ۷۵ درصد کود فسفری باعث بهبود رشد و عملکرد جو شد (۱۵). در پژوهشی در اردبیل اثر کاربرد میکوریز و *Azotobacter* بر رشد و عملکرد جو رقم سهند تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی انجام شد. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه مربوط به آبیاری تکمیلی و کاربرد توأم میکوریز و *Azotobacter* و پایین‌ترین عملکرد مربوط به شرایط دیم و بدون کاربرد کودهای زیستی به دست آمد (۴۶). در آزمایشی مزرعه‌ای در مزرعه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب (دانشگاه شیراز) اثر کود اوره، تلقیح با *A. brasilense* و تلفیق آن با ۵۰ درصد کود اوره در شرایط تنش رطوبتی بر رشد جو رقم زهک بررسی شد. نتایج نشان داد که در شرایط تنش آبی و آبیاری مطلوب، بهترین تیمار مربوط به تیمار تلفیقی تلقیح و کود اوره بود (۶۱). در مطالعه‌ای در مزرعه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، اثر تلقیح *A. chroococcum* و *A. lipoferum* به‌تنهایی و همچنین به همراه کود شیمیایی نیتروژنی از منبع اوره بر رشد دو رقم جو زهک و نیمروز بررسی شد. نتایج نشان داد که تلفیقی از تلقیح با دو باکتری و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره توانست تا ۵۰ درصد میزان کود مصرفی را کاهش دهد. همچنین عملکرد دانه نیز بهبود یافت (۳۱). در آزمایشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله ایلام اثر مصرف کود زیستی میکوریز

حاوی قارچ‌های میکوریز *Glomus mosseae*، *Glomus etunicatum* و *Rhizophagus irregularis* و کود فسفری بر رشد چهار رقم جو شامل توده محلی، ماهور، خرم و فردان در شرایط دیم بررسی شد. نتایج نشان داد که تیمار رقم فردان و قارچ میکوریز به همراه ۵۰ درصد کود فسفری برای شرایط دیم منطقه قابل توصیه است (۵۹).

استفاده از کودهای زیستی در سایر غلات

در یک آزمایش اثر چهار سویه میکوریز آربوسکول به همراه تلقیح با *Acetobacter diazotrophicus* بر رشد سورگوم شیرین (دو رنگ) بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به سویه‌های *Glomus* بود. غلظت نیتروژن گیاه در اثر تلقیح با *A. diazotrophicus* نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (۸۵). اثر تلقیح *Azotobacter* و *Azospirillum* بر رشد جو دوسر در یک پژوهش مزرعه‌ای در پاکستان نشان داد که *Azotobacter* سبب بیشترین عملکرد علوفه سبز و وزن خشک اندام هوایی شد (۱۰۲). اثر تلقیح بذری ارزن مرواریدی با *Azotobacter* در شرایط مزرعه‌ای نشان داد که ارتفاع گیاه، ماده خشک تجمعی، تعداد پنجه، مقدار کلروفیل، جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌طور معنی‌داری در اثر تلقیح افزایش یافت (۱۰۷). در پژوهشی گلخانه‌ای، اثر تلقیح سه سویه میکوریز شامل *R. irregulare*، *Glomus aggregatum* و *G. mosseae* بر رشد سورگوم شیرین بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح سبب افزایش ارتفاع و بیوماس گیاه شد (۸۸). در یک پژوهش اثر *A.brasilenes* بر رشد یولاف سیاه (جو دوسر) و چاودار در یک سیستم زراعی–دامی مطالعه شد. نتایج مشخص نمود که کاربرد باکتری و کود نیتروژنی تولید بیوماس مخلوط دو گیاه را افزایش داد (۶۸). در یک آزمایش گلخانه‌ای اثر تلقیح گونه‌های *Azospirillum spp* بر رشد ارزن بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه و برخی دیگر از شاخص‌های رشد شد (۸۰). در یک پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه مقدس اردبیلی اثر تلقیح *Azotobacter*، *Azospirillum* و *Pseudomona* و محلول‌پاشی کود نیتروژنی بر رشد و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه تریتیکاله (چاودم) مطالعه شد. نتایج نشان داد که تلقیح و محلول‌پاشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و سایر شاخص‌های رشد اثر مثبت داشت. بالاترین عملکرد مربوط به تلقیح با *Azotobacter* و محلول‌پاشی در مرحله چکمه زنی حاصل شد (۴۲). در یک مطالعه اثر چهار نوع کود زیستی تجاری بر برخی صفات کیفی علوفه ارزن مرواریدی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی گرگان مطالعه شد. نتایج نشان داد که در بین تیمارهای مختلف، استفاده از کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات اثر قابل‌توجهی بر شاخص‌های رشد، محتوی ترکیبات آلی و معدنی ارزن داشت (۴۱).

به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و کاربرد یک کود زیستی مایع تجاری حاوی *A. chroococcum*، *A. brasilenes* بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم ارزن معمولی و دم‌روباهی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور شهرستان فریدون‌شهر آزمایشی اجرا شد. بیشترین عملکرد دانه ارزن در تیمارهای بدون تنش کم‌آبی و یک لیتر کود زیستی به دست آمد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش، کاربرد کود زیستی، توانست اثرات مضر ناشی از تنش کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد در هر دو رقم ارزن را کاهش دهد (۲). به‌منظور بررسی تأثیر باکتری‌های *Azospirillum* و *Pseudomona* و تنش شوری بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و محتوای سدیم و پتاسیم چاودار، دو آزمایش در آزمایشگاه و گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. بیشترین میزان مؤلفه‌های جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه چه، درصد و یکنواختی جوانه‌زنی در کاربرد توأم *Pseudomonas*و *Azospirillum* و عدم اعمال شوری به دست آمد (۵۶). در آزمایشی در مزارع منتخب منطقه سیاهکل (زیر نظر گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس) به‌منظور بررسی اثر کودهای زیستی تجاری و رژیم‌های مختلف بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی ارزن مرواریدی اجرا شد. نتایج این پژوهش نشان داد که ارتفاع بوته، میزان کلروفیل رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی و شاخص برداشت، فتوسنتز و فعالیت آنزیم پراکسیداز ازنظر برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی معنی‌دار بود (۵۱).

چالش‌های کاربرد کودهای زیستی در کشت غلات

بیشتر ریزجاندارانی که برای تهیه کودهای زیستی مورداستفاده قرار می‌گیرند برای رشد و فعالیت خود به منابع کربنی نیاز دارند و اصطلاحاً آن‌ها را باکتری‌های هتروتروف می‌نامند. بااین‌حال در اکثر خاک‌های ایران ماده آلی (کربن

آلی) کم بوده و لذا رشد باکتری‌ها با محدودیت مواجه است. از طرف دیگر کودهای شیمیایی به علت سابقه‌ای طولانی در مصرف و وفور آن‌ها مورد اعتماد بهره‌برداران قرارگرفته‌اند؛ بنابراین کودهای زیستی توان رقابت با کودهای شیمیایی را ندارند. از دیگر چالش‌های کاربرد کودهای زیستی می‌توان به عدم ارتباط مناسب بین بخش پژوهش، تولید و ترویج این کودها و همچنین مشکلات در تجاری‌سازی ازجمله نیاز به تجهیزات خاص در فرآیند تولید، نگهداری و توزیع کودهای زیستی اشاره کرد.

در بررسی منابع مختلف، مشخص شد که در برخی موارد استفاده از کودهای زیستی تأثیر معنی‌داری بر رشد گیاه نداشته است. از دلایل این مسئله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (۲۶):

۱. نامشخص بودن مؤثرترین تعداد و جمعیت باکتری بر رشد یک گیاه خاص
۲. عدم آگاهی کافی از وضعیت باکتری‌های بومی و مسئله رقابت آن‌ها با انواع موجود در مایه تلقیح
۳. نامشخص بودن وضعیت کلونیزه کردن ریشه توسط باکتری‌های تلقیح شده به گیاه
۴. وجود تغییرات ژنتیکی در باکتری‌ها
۵. تنوع در نوع و ارقام گیاهی، ترکیبات متفاوت خاک، مقدار رطوبت خاک و آب‌وهوا
۶. درک ناکافی و عدم توجه به همه سازوکارهای مختلف تأثیر باکتری‌ها بر رشد گیاه
۷. مقدار کم ماده آلی در غالب خاک‌های ایران و هتروتروف بودن اکثریت باکتری‌های افزاینده رشد گیاه و نیاز به منابع کربنی

چشم‌انداز کاربرد کودهای زیستی در کشت غلات

حدود چهارپنجم کل سطح زیر کشت زراعت در ایران متعلق به غلات است (۶۲). غلات در سبد غذایی مردم ایران جایگاه اول را دارند. از طرف دیگر قیمت بالای کودهای شیمیایی و پتانسیل زیاد آن‌ها در آلوده سازی محیط‌زیست، ضرورت جایگزینی حداقل بخشی از کودهای شیمیایی با کودهای زیستی سالم، ارزان و کم‌حجم را مشخص می‌کند. وجود زیرساخت‌های لازم در بخش خصوصی برای تولید کودهای زیستی و وجود متخصصین مربوطه در کشور و پژوهش‌های انجام در این زمینه یک فرصت مناسب برای رونق تولید و مصرف کودهای زیستی است. توجه به حفظ محیط‌زیست و اهمیت تولید محصول سالم نیز که در اسناد ملی و بالادستی وجود دارد نیز تمایل به تولید و مصرف این کودها را افزایش داده است.

پیشنهادها برای رونق مصرف کودهای زیستی در کشت غلات

در تعدادی از پژوهش‌های انجام‌شده، تلقیح باکتری به غلات با عدم پاسخ گیاه مواجه می‌شود. یکی از احتمالات عدم موفقیت تلقیح، توان رقابت ضعیف باکتری‌های موجود کود زیستی با انواع بومی خاک است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های بنیادی در مورد موضوع رقابت ریزجانداران صورت گیرد. انجام پژوهش‌های مولکولی به‌منظور امکان ایجاد رابطه همزیستی بین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و غلات مانند رابطه بین ریزوبیوم‌ها و حبوبات پیشنهاد می‌شود. افزایش کارایی خصوصیات محرک رشدی باکتری‌ها هم، نیاز به انجام پژوهش‌های بنیادی دارد. با توجه به هتروتروف بودن بیشتر باکتری‌های موجود در کودهای زیستی افزایش میزان مواد آلی خاک‌ها و یا کاربرد هم‌زمان ترکیبات حاوی کربن آلی و ریزجانداران پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

غلات از محصولات اساسی و اصلی در کشاورزی بوده که سهم بالایی در سبد غذایی مردم ایران داشته و بنابراین در موضوع امنیت غذایی دارای جایگاه ویژه‌ای هستند. جایگزینی روش‌های معمول با روش‌های بر اساس کشاورزی پایدار برای تولید غلات دارای اهمیت زیادی است. یکی از راهکارهای مبتنی بر حفظ سلامت انسان و محیط‌زیست استفاده از کودهای زیستی است. امید است که توسعه پژوهش، تولید و مصرف این فرآورده‌های زیستی منجر به جایگزینی با حداقل بخشی از کودهای شیمیایی باشد.

منابع

۱. احتشامی م.ر.، حکیمیان، ف.، یوسفی راد م.، چایی چی م.ر. ۱۳۹۳. تأثیر تلفیق مقادیر مختلف کود فسفر و باکتری حل‌کننده فسفات بر کمیت و کیفیت علوفه دو رقم جو. نشریه زراعت جو (پژوهش و سازندگی)، ۱۰۲: ۱۴۲-۱۵۰.

۲. اعتصامی ح. و علیخانی ح. ۱۳۹۰. ارزیابی توان تولید هورمون های اکسینی (IAA) توسط سویه های ریزوبیومی بومی خاک های ایران و اثرات کاربرد سویه های برتر بر شاخص های رشد گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) و هدررووی کودهای شیمیایی. پژوهشهای کاربردی زراعی، ۲۴(۳): ۶۲-۵۳.

۳. اداوی ظ. و باغبانی آرانی, ا. ۱۳۹۸. اثر مصرف کود زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) و دم‌روباهی (*Setaria italica* L.) در شرایط تنش کم‌آبی. علوم گیاهان زراعی ایران، ۱۳(۴): ۲۵-۱۳.

۴. اسدی رحمانی، ه. ۱۳۹۵. بررسی اثربخشی کود زیستی ویژه گندم (فلاویت) بر عملکرد گندم در استان‌های مختلف کشور. گزارش نهایی طرح تحقیقی-ترویجی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۵. افتخاری س. ق.، فلاح نصرت آباد، ع.، اکبری غ. ع.، محدثی ع. و الله دادی ا. ۱۳۸۸. اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کودهای فسفاته بر چگونگی رشد گیاه برنج. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۳(۲): ۲۳۹-۲۲۹.

۶. امرایی، ا.، اردکانی م.ر. ، رفیعی م. ، پاکنژاد ف. و رجالی ف. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر کودهای زیستی میکوریزی و ازتوباکتر بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی ارقام مختلف گندم. مجله زراعت و اصلاح نباتات، ۱۲(۲): ۱۷-۱.

۷. امین پناه, ه.و عباسیان ا. ۱۳۹۵. اثر تناوب زراعی، تلقیح با ازتوباکتر کروکوکوم و مقدار نیتروژن بر عملکر برنج. مجله تولید گیاهان زراعی: ۹(۳): ۲۱۱-۲۳۰.

۸. انصوری, ع.، شهقلی ح.، مکاریان, ح.و فلاح نصرت آباد, ع. ۱۳۹۳. ارزیابی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و شوری بر جوانه‌زنی و رشد بوته ذرت (*Zea mays* L.). مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۴(۴): ۲۵۳-۲۳۵.

۹. ایلکائی م. ن.، مهری ش.، اسپیدکار ز.، انصاری م.ح. اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج تحت سطوح مختلف ورمی کمپوست. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۰ (۳۸) :۹۵-۱۱۰

۱۰. آزادی، ص.، سیادت ع.، ناصری ر.، . سلیمانی فرد ع. و میرزایی ا. ۱۳۹۲. کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژنه در ارقام گندم دوروم. اکو فیزیولوژی گیاهان زراعی (علوم کشاورزی)، ۷(۲): ۱۴۶-۱۲۹.

۱۱. آینه بند ا.، شوهانی م.، فاتح ا. 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.

۱۲. بالابندیان, ا., عاشوری م.و، دورودیان ح.ر.، صادقی م و رضایی م ۱۴۰۲. اثر کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی بر شاخص سطح برگ و عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط آبیاری متفاوت. بوم شناسی کشاورزی، ۱۵(۱): ۱۳۹-۱۵۲.

۱۳. بیاری, آ.، غلامی ا. و اسدی رحمانی ه. ۱۳۹۰. مطالعه تأثیر سویه‌های مختلف باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بر خصوصیات رشد و عملکرد ذرت آب و خاک، ۲۵(۱):۱۰-۱.

۱۴. پردل ر. ۱۴۰۱. تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر بهبود صفات کمی و کیفی دو رقم ذرت. علوم و تحقیقات بذر ایران، ۹(۳): ۹۱-۸۵.

۱۵. پورابراهیمی فومنی م.، احتشامی م.ر.، خاوازی ک. و رمضانی م. ۱۳۹۳. ارزیابی تأثیر تلقیح بذر با باکتری سودوموناس و کاربرد سطوح مختلف فسفر بر جذب عناصر، میزان کلروفیل و عملکرد زیستی دو رقم جو علوفه ای در منطقه فومن. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی): ۱۰۴: ۱۵۹-۱۵۳.

۱۶. توحیدی نیا م.ع.، مظاهری د.، حسینی م. ب. و مدنی ح. ۱۳۹۲. اثر مصرف توأم کود زیستی بارور-۲ و کود شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays*) رقم سینگل کراس ۷۰۴. نشریه علوم زراعی ایران. ۱۵ (۴) :۲۹۵-۳۰۷.

۱۷. توکلی م. وجلالی ا.ه. 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): ۴۵-۳۴.

۱۸. جعفری وفا، ه.، حیدری غ. و خالصرو ش. 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): ۱۷۳-۱۸۷.

۱۹. حمیدی، آ.چوکان ر.، اصغرزاده ا.، دهقان شعار م.، قلاوند ف. ا. و ملکوتی م.ج. ۱۳۸۸. بررسی اثر کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر ظهور گیاهچه و استقرار گیاهچه و عملکرد دانه دورگ‌های دیررس ذرت در مزرعه. مجله به‌زراعی نهال و بذر، ۲۵(۲): ۲۰۷-۱۸۳.

۲۰. خاوازی و همکاران. ۱۳۹۱. دستورالعمل نحوه بررسی کودهای زیستی. انتشارات سادس.۴۸ صفحه.

۲۱. خاوازی، ک. و رجالی ف. ۱۳۷۹. استفاده از بعضی مواد ارزان‌قیمت به‌عنوان حامل باکتری *Bradyrhizobium japonicum*. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب سابق)، دوره ۱۴(۱): ۳۶-۴۵.

۲۲. خسروی ه. و محمودی ح. ۱۳۹۲. بررسی اثرات مایه تلقیح ازتوباکتر به همراه کود دامی بر رشد گندم دیم. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۳(۲): ۲۰۵-۲۱۹.

۲۳. خسروی, هوشنگ. ۱۴۰۰. مروری بر پژوهش‌ها و کاربرد کودهای زیستی در زراعت گندم در ایران. مدیریت اراضی، ۹(۲): ۲۲۰-۲۰۵.

۲۴. خسروی، ه. ۱۳۹۱. بررسی اثربخشی مایه تلقیح BBP1 بر رشد و عملکرد ذرت به‌عنوان گیاه شاخص در مناطق مختلف ایران. نشریه شماره ۱۷۴۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۲۵. 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.

۲۶. خسروی، ه. ۱۴۰۱. ازتوباکتر و نقش ان در خاک و رشد گیاهان. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۷۷ صفحه.

۲۷. خسروی، ه.، علیخانی ح. و یخچالی ب. ۱۳۷۸. بررسی اثر سویه‌های ریزوبیوم دارای آنزیم ACC daminase بر رشد گندم در شرایط تنش شوری. مجله تحقیقات آب و خاک ایران (مجله علوم کشاورزی ایران)، ۳۹(۱):۹۳-۱۰۳.

۲۸. خسروی، ه.، علیخانی ح. و یخچالی ب. 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):۱۲۳-۱۳۱.

۲۹. 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.

۳۰. داوودی فرد، م.، د. حبیبی و ف. داوودی فرد. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و سیلیسیک‌اسید بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه گندم (*Triticum aestivum*) تحت شرایط تنش خشکی. نشریه زراعت و اصلاح نباتات ایران، ۸(۱): ۱۱۴-۱۰۱.

۳۱. دولخانی ف.، بیژن زاده، بوستانی ح.ر.و بهپوری ع. ۱۴۰۰. تأثیر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بر عملکرد و برخی عناصر غذایی پرمصرف در دو رقم جو. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۱(۱): ۱۳۲-۱۱۷.

۳۲. ده پهلوان س.، فرنیا ا.، جعفرزاده کنارسری م. و نخجوان ش. ۱۴۰۰. بررسی شاخص‌های رشد، عملکرد و کیفیت ذرت دانه‌ای سیمون تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی، آلی و شیمیایی جهت دستیابی به تولید غذای سالم. مجله علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، ۱۳(۴۷): ۷۵-۶۰.

۳۳. رمضانپور م.ر.، اسدی رحمانی ه. و خاوازی ک. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر گونه‌های مختلف باکتری سودوموناس بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب فسفر سه رقم برنج. پژوهش های خاک، ۲۶(۳): ۲۸۸-۲۷۷.

۳۴. رمضانی م.، احتشامی م.ر.، چائی‌چی م.ر. و شریفی م. ۱۳۹۳. تأثیر سطوح مختلف کود زیستی و کود شیمیائی فسفر بر عملکرد کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای رقم SC540 در رژیم‌های مختلف رطوبتی، به‌زراعی نهال و بذر، ۳۰(۴): ۴۳۹-۴۲۱.

۳۵. زاد بهتوئی م.، سید شریفی ر. و خلیل زاده ر. ۱۳۹۷. کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی بر عملکرد، کارایی مصرف نیتروژن و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک برنج. تحقیقات غلات، ۸(۴): ۴۲۱-۴۰۹.

۳۶. سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۹۶. استاندارد ملی کودهای بیولوژیک حاوی ریزوباکتری‌های افزایندهرشد گیاه -ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. استاندارد ملی شماره ۲۲۳۰۵، انتشارات سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۶ صفحه.

۳۷. سعادت ف. و احتشامی م.ر. ۱۳۹۵. تأثیر پوشش‌دار کردن بذر با باکتری‌های محرک رشد و عناصر ریزمغذی بر شاخص‌های جوانه‌زنی ذرت. علوم و تحقیقات بذر ایران، ۳(۲): ۹۴-۸۱ .

۳۸. سعادت نیا ه.، ریاحی ح. و فخاری ج. ۱۳۸۹. استفاده از جلبک‌های سبز- آبی جداشده از یک شالیزار در استان گیلان به‌عنوان کود زیستی در گیاه برنج. مجله زیست‌شناسی ایران، ۲۳(۶): ۸۲۴-۸۱۶.

۳۹. سلیمان زاده، ح. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تلقیح ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بر رشد و عملکرد ذرت. پنجمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی، اصفهان، https://civilica.com/doc/129034

۴۰. سودائی مشائی ص.، علی اصغرزاد ن.، نعمت زاده ق. و سلطانی ن. ۱۳۹۸. کارایی حل‌کنندگی فسفات سیانوباکتری‌های جداسازی شده از خاک‌های شالیزاری و تأثیر آن بر جذب فسفر و عملکرد برنج. زیست‌شناسی خاک، ۷(۲): ۲۱۱-۲۲۳.

۴۱. سیاهمرگویی آ.، راثی سرای م.ر. و ناصری م.ی. ۱۳۹۳. اثر کودهای زیستی بر برخی صفات کیفی علوفه ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br)). فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۹(۳۴)، ۷۲-۸۱.

۴۲. سید شریفی ر.، کمری ح. و لطف اله ف. ۱۳۹۵. بررسی اثرات مایه تلقیح ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس و محلول‌پاشی کود نیتروژنه بر کارایی مصرف کود و رشد تریتیکاله. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۵(۴): ۱۳۲-۱۱۵.

۴۳. شریفی پ. و عادلی نسب م. ۱۳۹۵. اثر کود زیستی فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) تحت شرایط تنش خشکی، تحقیقات غلات: ۶(۱): ۱۳۲-۱۱۹.

۴۴. شفاعتی ف.، اسماعیلی م.ع.، پیردشتی ه. و عباسیان ا. ۱۳۹۱. اثر کاربرد کودهای زیستی در سطوح مختلف کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره بر صفات مرتبط با عملکرد دانه جو(*Hordeum vulgare*) . تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۳(۲): ۱۹۳-۱۸۵.

۴۵. صفری د. ۱۳۹۷. اثر پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت تحت تنش رطوبتی. بوم‌شناسی گیاهان زراعی، ۱۴(۴): ۵۷-۶۶.

۴۶. عبادی, ن, سید شریفی ر.، و صدقی م. ۱۳۹۸. تأثیر کودهای زیستی بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک جو رقم سهند تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۲(۴): ۱۱۴۱-۱۱۵۰. ,

۴۷. علیزاده ا. و علیزاده ا. ۱۳۸۶. اثرات میکوریزا در شرایط متفاوت رطوبت خاک بر جذب عناصر غذایی در ذرت. مجله پژوهش در علوم کشاورزی، ۳(۱): ۱۰۳-۱۰۸.

۴۸. فلاح نصرت آباد، ع.، ن. صالح راستین و ک. خاوازی. ۱۳۷۸. بررسی باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات در افزایش پتاسیم قابل‌جذب برای گیاه ذرت. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۳، شماره ۲، ص: ۱۳۰-۱۲۰.

۴۹. قاسمی ث.، سیاوشی ک.، چوکان ر.، خاوازی ک. و رحمانی ع. ۱۳۹۰. اثر کود زیستی فسفاته بر عملکرد دانه و اجزای آن در ذرت (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش کم‌آبی. به‌زراعی نهال و بذر: ۲۷(۲): ۲۱۹-۲۳۳.

۵۰. قلمباز س.، آینه بند ا. و معزی ع. ۱۳۹۲. ارزیابی تأثیر کودهای بیولوژیکی بر عملکرد دانه و کارایی استفاده از نیتروژن در گندم (*Tiriticum aestivum* L). دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳(۴): ۱۵۷-۱۴۱.

۵۱. قنبری م.، مختصی بیدگلی ع.، قناعی پاشاکی م.، طالبی ک. و سیه سران, پ. ۱۴۰۰. بررسی عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*)در پاسخ به کودهای زیستی و رژیم‌های مختلف آبیاری. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۱(۱): ۳۷-۲۳.

۵۲. 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.

۵۳. کردزنگنه ر. و مرعشی ک. ۱۳۹۷. مطالعه اثرات کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی پتاسه بر عملکرد و اجزاء عملکرد گندم (. *Triticum aestivum* L) در شرایط کمبود رطوبت خاک. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱(۴)، ۸۶۳-۸۷۲.

۵۴. لطفی ا.، باقرنژاد م.، کریمیان ن.و زارعی م. ۱۳۹۴. اثر قارچ میکوریز آربسکولار، باکتری، و تنش خشکی بر شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک و جذب پتاسیم در گیاه ذرت. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲(۶): ۲۸۲-۲۷۴.

۵۵. محمدی ه.، حیدری, غ. و سهرابی ی. ۱۳۹۹. اثر کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن و ریزمغذی آهن بر عملکرد و کیفیت علوفه ذرت (*Zea mays* L.). تولیدات گیاهی، ۴۳(۲): ۱۸۹-۱۸۵.

۵۶. مرادی ل. و سید شریفی ر. ۱۳۹۸. تأثیر تنش شوری و تلقیح بذر با کودهای زیستی بر مولفه‌های جوانه‌زنی، محتوای سدیم و پتاسیم گیاهچه چاودار (*Secale cereal* L.). علوم و فناوری بذر ایران, ۸(۲), ۱۲۷-۱۴۰.

۵۷. مهتدی, م.، میر هادی م.ج.، چراتی ع. و بهادری م. 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.

۵۸. نادری ط. و سهرابی ی. ۱۳۹۸. تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه ذرت (*Zea mays* L) تحت خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۲(۴): ۱۲۲۴-۱۲۰۵.

۵۹. ناصری ر.، میرزایی ا. و عباسی ا. ۱۴۰۱. نقش توأم قارچ میکوریزا و کود شیمیایی فسفر بر جذب عناصر غذایی اندام‌های هوایی گیاه جو زراعی تحت شرایط دیم. فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۱۷(۶۶): ۳۹-۲۴.

۶۰. نصراله زاده ص.، شیرخانی ع.، زهتاب سلماسی س.و چوکان ر. ۱۳۹۵. اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد دانه و ویژگی‌های برگ ذرت در شرایط آبیاری متفاوت .پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۲۹(۴): ۸۶-۷۲.

۶۱. نقاش‌زاده م.ر. حیدری‌شریف‌آباد ح.، مجیدی‌هروان ا.، رفیعی م.، رجالی ف. و ایمان‌طلب ن. ۱۳۹۳. ارزیابی تبادلات گازی برگ گیاه ذرت به هنگام استفاده از کود زیستی میکوریز تحت شرایط تنش خشکی. به زراعی نهال و بذر: ۳۰(۱): ۵۹-۴۷.

۶۲. نیازی اردکانی م.، براتی و.، بیژن زاده ا. ۱۳۹۹. اثرات کود زیستی و بقایای گیاهی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه جو در شرایط تنش آبی. فرآیند و کارکرد گیاهی، ۹ (۳۶) :۲۷۹-۲۹۸.

۶۳. وزارت جهاد کشاورزی. ۱۴۰۲. آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱، جلد اول: محصولات زراعی. معاونت آمار مرکز آمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات ، ۹۵ صفحه.

64. Abd-Alla, M.H., A.L.E. Mahmoud, and A.A. Issa. 1994. Cyanobacterial biofertilizer improved growth of wheat. Phyton, 34(1):11-18.
65. 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 Curitibanos (SC). Journal of Experimental Agriculture International, 42(1): 49-55.
66. 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.
67. Brito, T.S., Guimarães, V.F., Chaves, E.I.D.O., Pan, R., Lerner, A.W., Roske, V.M. and Junior, R.C., 2021, August. Morphometry and production of maize inoculated with Azospirillum brasilense. In Colloquium Agrariae. 17(4): 34-46.
68. Brum, M.D.S., V.D.S., Cunha, Martin, T.N., Alessio, P.G. and Almeida, G.A., 2021. Black oat and ryegrass inoculated with Azospirillum brasilense in crop-livestock system. Revista Caatinga, 34, pp.276-286.
69. Canbolat, M.Y., Bilen, S., Cakmakcı, R., Sahin, F. and Aydın, A., 2006. Effect of plant growth-promoting bacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. Biology and fertility of soils, 42, pp.350-357.
70. Casanovas, E.M., Barassi, C.A., Sueldo, R.J. 2002. Azospirillum inoculation mitigates water stress effects in maize seedlings. Cereal Res. Commun. 30: 343–350.
71. Chegini, S., Sani, B. and Darvishi, H.H., 2015, January. The Effect of Pseudomonas Bacteria on Maize Growth and Atrazine Biodegradation in Soil. In Biological Forum (Vol. 7, No. 1, p. 951). Research Trend.
72. 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.
73. F.A.O. 2023. Crop prospects and food situation. Quarterly Global Report, No 1, March 2023, 45 pages.
74. Ferreira, N.C., Mazzuchelli, R.D.C.L., Pacheco, A.C., Araujo, F.F.D., Antunes, J.E.L. and Araujo, A.S.F.D., 2018. Bacillus subtilis improves maize tolerance to salinity. Ciencia Rural, 48.
75. Galindo, F.S., Teixeira Filho, M.C., Buzetti, S., Pagliari, P.H., Santini, J.M., Alves, C.J., Megda, M.M., Nogueira, T.A., Andreotti, M. and Arf, O., 2019. Maize yield response to nitrogen rates and sources associated with Azospirillum brasilense. Agronomy Journal, 111(4): 1985-1997.
76. Garcia, M.M., Pereira, L.C., Braccini, A.L., Angelotti, P., Suzukawa, A.K., Marteli, D.C., Felber, P.H., Bianchessi, P.A. and Dametto, I.B., 2017. Effects of *Azospirillum brasilense* on growth and yield compounds of maize grown at nitrogen limiting conditions. Revista de Ciencias Agrarias, 40(2), pp.353-362.
77. Garcia, N.F., Arf, O., Portugal, J.R., Peres, A.R., Rodrigues, M. and Penteado, M.D.S., 2016. Doses and application methods *of Azospirillum brasilense* in irrigated upland rice. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 20: 990-995.
78. Ghosh, T. K., Singh, R. P., Duhan, J. S., & Yadav, D. S. (2001). A review on quality control of biofertilizer in India. Fertiliser Marketing News, 32(8), 1-9.
79. Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Canadian journal of microbiology, 41(2), pp.109-117.
80. Hanjal-Jafari T., Latkovic, D., Duric, S., Mrkovacki, N. and Najdenovska, O. 2012. The use of Azotobacter in organic maize production. Research Journal of Agricultural Science, 44(2): 28-32.
81. Haran, M.S., AlkaabiI, G.A. and Ghofran, S., 2022. Reponse of the millet plant (*Pennistun americanual* L.) to inoculation to with Azospirillum brasilense. Ann. For. Res, 65(1): 8405-8414.
82. Hegde, D.M. and B.S. Dwivedi. 1994. Crop response to biofertilisers in irrigated areas. Fertilizer News, 39: 19-19.
83. 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 EcologyBell CR, Brylinsky M, Johnson- Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada, Green P (eds).
84. 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.
85. Isopi, R., Fabbri, P. and Del Gallo, M., 1995. Dual inoculation of Sorghum bicolor (L.) Moench ssp. bicolor with vesicular arbuscular mycorrhizas and *Acetobacter diazotrophicus*. Symbiosis.
86. Isawa, T., Yasuda, M., Awazaki, H., Minamisawa, K., Shinozaki, S. and Nakashita, H., 2010. Azospirillum sp. strain B510 enhances rice growth and yield. Microbes and environments, 25(1): 58-61.
87. Khosravi H., Samar S.M., Fallahi, E., Davoodi, H., Shahabian, M., 2009. Inoculation of 'Golden Delicious' Apple Trees on M9 Rootstock with Azotobacter Improves Nutrient Uptake and Growth Indices. Journal of Plant Nutrition, 32: 946–953 . doi: 10.1080/01904160902870713.
88. Koné, S., Kanté, F., Diop, I., Ndoye, F., Diédhiou, A.G., Kane, A., Sacko, O. and Yattara, I.I., 2019. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on Sorghum bicolor growth at different phosphate levels: a greenhouse study. Journal of Agricultural Science and Technology B, 9: 234-240.
89. Lana, M.D.C., Dartora, J., Marini, D. and Hann, J.E., 2012. Inoculation with Azospirillum, associated with nitrogen fertilization in maize. Revista Ceres, 59: 399-405.
90. 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.
91. 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): 1-7.
92. Mc Carty, S.C., Chauhan, D.S., MeCarty, 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).
93. 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.
94. Mishra, B.K. and Barolia, S.K., 2020. Quality assessment of microbial inoculants as biofertilizer. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci, 9(10), pp.3715-3729.
95. Mohamed, M.F., Thalooth, 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.
96. Morais, T.P.D., Brito, C.H.D., Brandão, A.M. and Rezende, W.S., 2016. Inoculation of maize with *Azospirillum brasilense* in the seed furrow. Revista Ciência Agronômica, 47: 290-298.
97. Nelson, L.M., 2004. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Prospects for new inoculants. Crop management, 3(1), pp.1-7. doi:10.1094/CM-2004-0301-05-RV
98. Oyebamiji, K.J., Awodun, M.A., Ayeni, L.S., Olojugba, M.R. and Osundare, O.T., 2018. Comparative effect of biofertilizer types on growth and yield of selected maize cultivars in alfisoils. FUW Trends in Science and Technology Journal, 3(28): 1015-1019.
99. Renato de Freitas, J. 2000. Yield and N assimilation of winter wheat inoculated with rhizobacteria. Pedobiologia, 44: 97-104.
100. Rose, M.T., Phuong, T.L., Nhan, D.K., Cong, P.T., Hien, N.T. and Kennedy, I.R., 2014. Up to 52% N fertilizer replaced by biofertilizer in lowland rice via farmer participatory research. Agronomy for sustainable development, 34: 857-868.
101. Sahoo, R.K., Ansari, M.W., Pradhan, M., Dangar, T.K., Mohanty, S. and Tuteja, N., 2014. A novel *Azotobacter vinellandii* (SRIAz3) functions in salinity stress tolerance in rice. Plant signaling & behavior, 9(7), pp.511-23.
102. Saleem, M., Zamir, M.S.I., Haq, I., Irshad, M.Z., Khan, M.K., Asim, M., Zaman, Q., Ali, I., Khan, A. and Rehman, S., 2015. Yield and quality of forage oat (*Avena sativa* L.) cultivars as affected by seed inoculation with nitrogenous strains. American Journal of Plant Sciences, 6(19): 3251.
103. Santillano-Cázares, J., Turmel, M.S., Cárdenas-Castañeda, M.E., Mendoza-Pérez, S., Limón-Ortega, A., Paredes-Melesio, R., Guerra-Zitlalapa, L. and Ortiz-Monasterio, I., 2022. Can biofertilizers reduce synthetic fertilizer application rates in cereal production in Mexico? Agronomy, 12(1), p.80.
104. Sarkodee-Addo, E., Tokiwa, C., Bonney, P., Aboagye, D.A., Yeboah, A., Abebrese, S.O., Bam, R., Nartey, E.K., Okazaki, S. and Yasuda, M., 2021. Biofertilizer Activity of Azospirillum sp. B510 on the Rice Productivity in Ghana. Microorganisms, 9(9), p.2000.
105. Serna-Saldivar, S.O., 2012. Cereal grains: laboratory reference and procedures manual. CRC Press.
106. Shirinbayan, S., Khosravi, H. and Malakouti, M.J., 2019. Alleviation of drought stress in maize (Zea mays) by inoculation with Azotobacter strains isolated from semi-arid regions. Applied soil ecology, 133, pp.138-
107. Togas, R., Yadav, L.R., Choudhary, S.L. and Shisuvinahalli, G.V., 2017. Effect of Azotobacter on growth, yield and quality of pearl millet. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 6(4):.889-891.
108. Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and soil, 255(2), pp.571-586.
109. Yee, M.O., Kim, P., Li, Y., Singh, A.K., Northen, T.R. and Chakraborty, R., 2021. Specialized plant growth chamber designs to study complex rhizosphere interactions. *Frontiers in Microbiology*, *12*, p.625752.
110. Zeffa, D.M., Perini, L.J., Silva, M.B., de Sousa, N.V., Scapim, C.A., Oliveira, A.L.M.D., Amaral Júnior, A.T.D. and Azeredo Goncalves, L.S., 2019. Azospirillum brasilense promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. Plos one, 14(4), p. e0215332.

Use of Biofertilizers in Cereal Crops Cultivation

Khosravi H.

Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj.

Abstract

Cereals are one of the most important food groups consumed in Iran. Using chemical fertilizers in agricultural fields is the usual way for cereals nutrition. However, imbalanced utilization or more than the plant's need for these fertilizers will cause environmental pollution. The use of biofertilizers in cereals is one of the appropriate ways to deal with this problem. Biofertilizers increase plant growth using different mechanisms. Research has revealed that using biofertilizers increases the growth and yield of cereals. The effective and economic method of using biofertilizers is seed inoculation. Important limitations of the use of biological fertilizers are low organic matter in Iran's soils, the heterotrophy of the bacteria used in biofertilizers, the abundance of chemical fertilizers and the lack of proper communication between the research, production and extension parts. The existence of researchers and researches are suitable opportunities for the development of production and consumption of biofertilizers in cereals. It is suggested to for the development of research and application of biofertilizers, conducting basic and molecular research on the properties of plant growth promoting rhizobacteria and the possibility of creating a symbiotic relationship between nitrogen-fixing bacteria and cereals, increasing the amount of organic matter in soils, or the simultaneous use of compounds containing organic carbon and microorganisms.

Keywords: Inoculum, Wheat, Maize, Rice, Barley