کودهای زیستی محرک رشد گیاه در ایران: نقاط قوت و ضعف

هوشنگ خسروی[۱]

عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، hkhosravi@swri.ir

دریافت:آبان، ۱۳۹۲ و پذیرش: بهمن،۱۳۹۲

چکیده

تا به امروز استفاده تجاری و کاربرد در مقیاس وسیع مایه‌تلقیح‌های افزاینده رشد گیاه در کشاورزی پیشرفت قابل ملاحظه‌ای نداشته است. یکی از دلایل این مساله وجود گزارشهای متفاوت و تضاد بین نتایج آزمایشگاهی، گلخانه‌ای و مزرعه‌ای و عدم تکرارپذیری این نتایج است. این مسائل بیشتر ناشی از تنوع در اقلیم و ارقام گیاهی، ترکیب فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، میزان ماده آلی خاک، رقابت ریزجانداران بومی، مقدار رطوبت خاک و شاید ناشناخته بودن دیگر عواملی باشد که این مایه تلقیح‌ها بواسطه آن بر رشد گیاه مؤثر واقع می-شوند. این موضوعات مقدار و جمعیت قابل توصیه مایه تلقیح، زمان و مکان و روش بهینه مصرف مایه تلقیح را با مشکل مواجه می‌کند. گزارش‌ها نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌ها در این زمینه در سطح گلخانه و در خارج از مزرعه انجام شده است. با این حال برخی نتایج مزرعه‌ای مثبت در ایران گزارش شده است. از طرف دیگر قیمت کم کودهای شیمیایی مانع دیگری در توجه، تحقیق و توسعه کاربرد این کودهای زیستی در کشاورزی ایران شده است. غیر متمرکز بودن تحقیقات، کم بودن میزان ماده آلی خاک‌ها، ، مشکلات موجود در تکثیر صنعتی و تجاری سازی، هدفمند نبودن یارانه کود، عدم قاطعیت برای تضمین اثربخشی آنها در همه مناطق و در همه زمان‌ها، عدم ارتباط مناسب بین بخش پژوهش، تولید و ترویج و نبود ساز و کار مناسب در مورد نظارت و کنترل کیفی مایه تلقیح‌های تجاری از مهمترین مشکلات مایه تلقیح‌های افزاینده رشد گیاه در ایران می‌باشند. از طرف دیگر وجود تعداد زیاد دانشجویان علاقه مند به ادامه تحصیل در گرایش بیولوژی خاک، افزایش سهم پژوهش های بیولوژی خاک در علوم خاک، وجود مراکز آموزشی متعدد از جمله فرصت ها و نقاط قوت در این رابطه است. اسناد ملی از جمله برنامه پنجم توسعه و سند چشم انداز ۲۰ ساله که در آنها بر استفاده از فناوری های زیستی و کودهای بیولوژیک تاکید شده است چشم انداز روشنی در این زمینه می باشد.

واژه های کلیدی: مایه تلقیح ،محرک رشد، کود شیمیایی

مقدمه

در حدود ۳۰۰ سال قبل از میلاد، یکی از شاگردان ارسطو به نام تئوفراستوس، نظر داد که افزودن مخلوطی از خاک‌های حاصلخیز به خاک‌های غیر حاصلخیز موجب اصلاح این نوع از خاک ها می‌شود. همچنین حدود ۳۰ سال قبل از میلاد جئورجیکس به اثرات مفید بقولات در تناوب با سایر کشت‌ها اشاره نموده است. در زمان های قدیم کشاورزان برای تقویت زمینهای کشاورزی، گیاهان از تیره لگومینوز را کشت می کردند و بر این باور بودند که با کشت این گیاهان میزان حاصلخیزی خاک افزایش پیدا می‌کند. در بسیاری از نوشته‌های تاریخی نیزکاشت گیاهانی نظیر شبدر و باقلای مصری به عنوان تقویت کننده خاک مورد تأیید قرار گرفته است. لی‌ون‌هوک؛ پدر علم میکروبیولوژی در سال ۱۶۸۳ میلادی اولین بار در زیر میکروسکوپ، میکروب را کشف نمود. اولین کود میکروبی در حدود۱۲۰ سال پیش به نام نیتراژین که یک مایه تلقیح ریزوبیومی بود به عنوان یک فرآورده تجاری وارد عرصه کشاورزی شد (ارشد و همکاران، ۱۹۹۱). کود بیولوژیک، ماده‌ای حاوی ریزجاندارانی است که هنگامی که بر روی بذر، سطح ریشه و یا در خاک استفاده شود موجب تحریک و افزایش رشد گیاه می گردد. ریزجانداران موجود در یک کود بیولوژیک 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

[۱] آدرس نویسنده مسؤل: کرج- مشکین دشت- بلوار امام خمینی(ره)- مؤسسه تحقیقات خاک وآب، کد پستی: ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵

بنابراین اصطلاح کود بیولوژیک متفاوت با کود آلی، کود دامی، کود سبز و غیره می‌باشد و شاید بهترین واژه‌ای که بتوان در زبان فارسی برای کود بیولوژیک جایگزین نمود اصطلاح کود زیستی است. مایه تلقیح های افزاینده رشد گیاه یکی از مهمترین کودهای زیستی محسوب می شوند که موضوع بحث این مقاله است. هدف اصلی از ارائه این مقاله بررسی مسائل و مشکلات پیش روی پژوهش، تولید و توسعه کودهای زیستی حاوی باکتری‌های افزاینده رشد گیاه همچنین نقاط قوت و ضعف، فرصت ها و چشم انداز موجود در رابطه با این فرآورده‌های زیستی می باشد.

باکتری‌های افزاینده رشد گیاه

ریزوسفر ناحیه کوچک و محدودی از خاک اطراف ریشه به ضخامت حدود یک الی سه میلی متر است که تحت تاثیر مستقیم و نزدیک سیستم ریشه‌ای گیاه است. این ناحیه نسبت به خاک غیر ریزوسفری غنی از عناصر غذایی می باشد. این مسئله به علت تجمع انواعی از ترکیبات آلی است که از طریق تراوش، ترشح و رسوب از ریشه‌ها آزاد می شوند. ترشحات ریشه گیاه موجب تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاک ریزوسفری از جمله تغییر در pH، فشار جزئی اکسیژن و تغییر در پتانسیل آب نسبت به خاک غیر ریزوسفری می‌شوند. این وضعیت باعث افزایش تعداد ریزجانداران و تراکم جمعیتی در منطقه ریزوسفر می شود. باکتری‌ها نیز در مقابل متابولیت-هایی را در ناحیه ریزوسفر ترشح می‌کنند (ون لون، ۲۰۰۷).

از دیدگاه متخصصین میکروبیولوژی خاک، باکتری‌های افزاینده رشد گیاه یا اصطلاحا PGPR به گروه وسیعی از باکتری‌های مفید خاکزی اطلاق می‌شوند که وقتی در کنار گیاه به عنوان میزبان رشد می‌کنند رشد گیاه را تحریک نمایند. اصطلاح PGPR اولین بار توسط کلوپر و همکاران در اواخر دهه ۱۹۷۰ در دانشگاه Auburn آمریکا بکار برده شد. در بسیاری از ارتباطات ریزوسفری، باکتری‌های PGPR به سطح ریشه گیاه متصل می‌شوند. لازم به ذکر است منظور از این ارتباط معمولاً ضعیف تر از ارتباط همیاری مثلاً رابطه *Azospirillum* و ریشه گرامینه‌ها و بسیار ضعیف‌تر از ارتباط از نوع همزیستی ریزوبیوم– لگوم است. به عبارت دیگر PGPR واقعی همان باکتری‌های مفید آزادزی موجود در خاک می باشند.

از مهمترین باکتری های این گروه می توان به *Azotobacter* ، *Pseudomonas* و *Bacillus* اشاره نمود. با این حال امروزه باکتری‌های همیار با گرامینه‌ها همانند *Azospirillum* و حتی ارتباط غیر همزیستی ریزوبیوم‌ها با گیاهان غیرلگوم نیز به عنوان PGPR محسوب می‌شود باکتریهای *Acetobacter,Azoarcus ,Azospirillum ,Beijerinckia Enterobacter ,Herbaspirillum ,Klebsiella* و *Paenibacillus* که جزو دی‌ازوتروف‌ها می‌باشند نیز PGPR محسوب می-شوند.

مهمترین سازوکارهایی که PGPR به واسطه آنها بر رشد گیاهان مؤثر واقع می‌شوند شامل اثر بر مورفولوژی ریشه که عمدتا به واسطه تولید هورمون های محرک رشد از جمله اکسین ها، جیبرلین ها و سیتوکینین ها می باشد. تثبیت نیتروژن مولکولی هوا، توانایی حل کنندگی فسفات های نامحلول خاک، تولید سیدروفور، اکسایش بیولوژیک گوگرد، تجزیه سیلیکات‌ها و آزاد سازی عناصری همچون پتاسیم، آهن و روی و همچنین تولید آنزیم ACCدآمیناز می باشد.

پژوهش‌های انجام شده در رابطه با اثر PGPR بر رشد گیاهان در دنیا

پژوهش‌های زیادی در رابطه با اثر مایه تلقیح های حاوی PGPR بر رشد گیاهان انجام شده است. در این بخش به برخی از مهمترین آنها پرداخته شده و سعی خواهد شد به طیف وسیعی از باکتری‌ها و اثرات آنها بر انواع گیاهان مختلف زراعی و باغی اشاره شود. تحقیقات گسترده در زمینه استفاده از مایه تلقیح های حاوی PGPR در کشاورزی در حدود ۵۰ سال قبل در اتحاد جماهیر شوروی سابق آغاز و طی آن اثر مایه تلقیح ازتوباکتر بر روی محصولات مختلف به شکل آزمون‌های مزرعه‌ای

انجام شد. نتایج این پژوهش ها نشان داد که فقط ۳۵ درصد مزارع به تلقیح با ازتوباکتر جواب مثبت دادند.

ترنر و بکمن (۱۹۸۹) اثر *Bacillus subtilis* بر افزایش سبز شدن بادام زمینی را معنی‌دار ذکر نمودند. پوتن و باشان (۱۹۹۳) تاثیر تلقیح *Azospirillum brasilense* بر رشد و دوام کاکتوس را قابل توجه ذکر نمودند. فالیک و همکاران (۱۹۸۹) افزایش وزن ریشه ذرت در اثر تلقیح با *Azospirilum brasilense* را گزارش دادند. عملکرد و جذب ازت گندم پاییزه در اثر تلقیح با باکتری‌های ریزوسفر از جمله ازتوباکتر کروکوکوم قابل توجه ذکر شده است (رناتودفریتاس، ۲۰۰۰). سویه‌های مختلف Bacillus توانستند از طریق تثبیت نیتروژن و انحلال فسفات‌های نامحلول، رشد جو را افزایش دهند. (مصطفی و همکاران، ۲۰۰۶).اثرمثبت *Pseudomonas*، *Agrobacterium* و*Bacillus* در افزایش جوانه‌زنی و ریشه‌زایی بذرهای گیاهان مختلف همانند کاج، بادام، گردو، اکالیپتوس، هلو، آناناس و سیب به اثبات رسیده است (دامیانو و مونتیسلی، ۱۹۹۸).

در پژوهشی نشان داده شد که باکتریهای محرک رشد *Bacillus* با تولید هورمون جیبرلین باعث افزایش جوانه‌زنی و رشد بهتر کاج شدند (پروبانزا و همکاران، ۲۰۰۲). اثر ازتوباکتر کروکوکوم در حل کردن فسفات‌های غیر آلی و افزایش رشد گندم گزارش شده است (کومار و نیرو-نارولا، ۱۹۹۹). جرک و همکاران (۲۰۰۵) گزارش دادند که در اثر تلقیح گندم بوسیله ازتوباکتر ۱۱-۸ درصد عملکرد آن افزایش یافت. در گزارشی پتانسیل استفاده از ریزوبیوم ها به عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه در غلات به واسطه تولید مواد محرک رشد از جمله اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها قابل توجه ذکر شده است (ماتیرو و داکورا، ۲۰۰۴). در تحقیق دیگری کلنیزاسیون و تحریک رشد گندم و جو بهاره، ذرت و تربچه توسط *Rhizobium leguminosarum bv. viciae* مثبت و معنی‌دار ذکر شده است (هولفیچ، ۱۹۹۹). افضل و اصغری (۲۰۰۸) نیز اثر ریزوبیوم و باکتری‌های حل کننده فسفات را بر رشد گندم و جذب فسفر مثبت و معنی‌دار گزارش نموده‌اند.

اثر PGPR دارای مزیت آنزیم ACCدآمیناز در سایر شرایط تنشی نیز موفقیت آمیز بوده است. تحقیقات نشان داده است که تلقیح *Pseudomonas putida* UW4 حاوی آنزیم ACCدآمیناز در حضور نمک به میزان ۱۵۰ میلی‌مول بر لیتر به طور معنی‌داری رشد کلزا را بهبود بخشیده است (چنگ و همکاران، ۲۰۰۷). سراواناکومار و سمیاپان (۲۰۰۷) گزارش دادند که *Pseudomonas fluorescens* دارای آنزیم ACCدآمیناز در شرایط شور اثرات مثبتی بر برخی شاخص‌های رشد بادام زمینی داشته است. گریچکو و همکاران (۲۰۰۰) در تحقیق دیگری نشان دادند که گوجه فرنگی تراریخت با ژن مولد ACCدآمیناز تحمل بیشتری به اثرات سمی کادمیوم، کبالت، نیکل، سرب، مس و روی نشان دارد.

پژوهش‌های انجام شده در رابطه با اثر PGPR بر رشد گیاهان در ایران

دانش بیولوژی خاک در ایران نوپا بوده و فقط در طی سال‌های اخیر به طور جدی در زمینه استفاده از PGPR در کشاورزی پژوهش هایی انجام شده است که در این مبحث به برخی از آنها اشاره می‌شود. خسروی (۱۳۷۶) اثر تلقیح باکتری‌های بومی ازتوباکتر کروکوکوم را بر رشد گندم و افزایش سیستم ریشه‌ای آن در یک آزمون گلخانه‌ای معنی‌دار گزارش کرد. روستا و همکاران (۱۳۷۷) در یک آزمون گلخانه‌ای اثر سویه‌های مختلف آزوسپیریلوم بر رشد ذرت و گندم را بررسی و گزارش دادند که تلقیح، تاثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد گندم نداشته است. بشارتی و صالح راستین (۱۳۷۸) در آزمایشی گلخانه‌ای گزارش دادند که اثر چند سویه از باکتری‌های تیوباسیلوس بومی خاک های ایران موجب افزایش جذب فسفر و شاخص‌های مختلف رشد ذرت شد. توسلی و همکاران (۱۳۷۹) گزارش دادند که مایه تلقیح تیوباسیلوس اثر معنی‌داری بر درصد ایجاد کلنی میکوریزی ریشه ذرت و جذب فسفر در شرایط گلخانه‌ای

نداشته است. ریحانی تبار و همکاران (۱۳۷۹) گزارش دادند که اثر سودوموناس‌های فلورسنس بومی بر برخی شاخص‌های رشد گندم بهاره در شرایط گلخانه‌ای مثبت و معنی‌دار بوده است. نورقلی پور و همکاران (۱۳۷۹) در آزمایشی گلخانه‌ای تاثیر تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس و حل کننده فسفات از منبع خاک فسفات بر رشد ذرت را بررسی کردند نتایج این پژوهش نشان داد که بین تیمارهای تلقیحی و سایر تیمارها اختلاف معنی داری وجود نداشته است.

ملکوتی و همکاران (۱۳۸۳) در یک طرح تحقیقی- ترویجی اثر مایه‌تلقیح ازتوباکتر بر رشد گندم آبی و دیم در سطح ۵۰۰ مزرعه مربوط به کشاورزان استان‌های فارس، خراسان، قم و اصفهان را بررسی کردند. نتایج مشاهده‌ای حاکی از اثر مثبت تلقیح بر رشد گندم در برخی از مزارع بود. در این بررسی رشد رویشی سطح برگ و شادابی مزارعی که با ازتوباکتر تلقیح شده بودند حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد گزارش شده است. نورقلی پور و همکاران (۱۳۸۵) در آزمایشی مزرعه‌ای تاثیر تلقیح باکتری تیوباسیلوس، گوگرد و خاک فسفات بر رشد سویا در سال اول و اثرات باقی مانده آن بر رشد ذرت را بررسی کردند نتایج اثر تلقیح در این پژوهش چندان قابل توجه نبود. ایرانی پور و همکاران (۱۳۸۶) در یک پژوهش مزرعه‌ای اثرات اصلی خاک فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر شاخص های عملکرد محصول ذرت و اثرات باقی مانده آن بر عملکرد جو را بررسی و نتیجه گرفتند که تلقیح تاثیر مثبتی بر مقدار فسفر برگ، فسفر قابل جذب و عملکرد فسفر کل نداشته است اما افزایش عملکرد خشک برای هر دو محصول معنی‌دار بوده است.

بشارتی (۱۳۸۶) در یک آزمایش گلدانی بدون حضور گیاه با تلقیح باکتری‌های اکسید کننده گوگرد در حضور گوگرد و ماده آلی نتیجه گرفت که تلقیح موجب کاهش pH و افزایش غلظت سولفات و آهن و افزایش EC خاک شد. رجایی و همکاران (۱۳۸۶) گزارش دادند که تلقیح گندم با برخی از سویه‌های بومی ازتوباکتر کروکوکوم موجب افزایش شاخص‌های مختلف رشد در شرایط گلخانه‌ای شد. بشارتی و همکاران (۱۳۸۷) یک سویه باکتری تیوباسیلوس را به یک خاک آهکی در حضور گوگرد در یک آزمایش گلخانه‌ای تلقیح و نتیجه گرفتند که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک مربوط به گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بود.

خاوازی (۱۳۸۷) با تلقیح خاک استریل و غیر استریل توسط باکتری‌های تیوباسیلوس در حالت گلدانی و بدون حضور گیاه گزارش داد که تلقیح در حضور ۱۲٪ آهک موجب کاهش حدود ۰/۸ واحد در pH خاک شد. فلاح و همکاران (۱۳۸۷) در یک آزمون آزمایشگاهی و گلخانه‌ای گزارش دادند که باکتری‌های حل کننده سیلیکات باعث افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم و وزن خشک اندام‌هوایی ذرت شدند. عباس زاده دهجی و همکاران (۱۳۸۷) در یک آزمون گلخانه‌ای اثر تلقیح سویه‌های *Pseudomonas florescence* دارای توان تولید اکسین بر شاخص‌های رشد کلزا را معنی‌دار گزارش دادند. افتخاری و همکاران (۱۳۸۸) در یک آزمون مزرعه-ای اثر باکتری‌های حل کننده فسفات و کودهای فسفاته بر چگونگی رشد برنج را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که تلقیح، اثر معنی‌داری بر برخی شاخص‌های رشد برنج داشته است. حمیدی و همکاران (۱۳۸۸) اثر تلقیح باکتری های PGPR بر شاخص های رشد ذرت در مزرعه را معنی دار و قابل توجه ذکر نمودند. خاوازی (۱۳۸۸) اثر تلقیح سویه‌های انتخابی سودوموناس بر عملکرد گندم در آزمون های مزرعه ای را بررسی کرده و گزارش دادند که تلقیح در برخی مناطق موجب افزایش معنی دار عملکرد دانه گندم شده است.

خسروی و همکاران (۲۰۰۹) در آزمایشی گلدانی اثر تلقیح ریشه نهال سیب با چند سویه ازتوباکتر بومی را بر جذب عناصر و برخی شاخص‌های رشد بررسی کردند. نتایج نشان داد که تلقیح، جذب پتاسیم، منیزیم، آهن، منگنز، روی و بر توسط برگ‌ها و همچنین مقادیر جذب ازت، فسفر، پتاسیم، منگنز و روی توسط

ریشه‌ها را افزایش داد. ذبیحی و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی تاثیر سویه های مختلف سودوموناس در شرایط شور بر رشد گندم در شرایط گلخانه ای گزارش دادند که سودو موناس پوتیدا شاخص‌های عملکرد دانه و وزن هزار دانه را به طور معنی‌داری افزایش داد. خسروی و همکاران (۱۳۸۸) پس از جداسازی ۲۱۷ سویه ازتوباکتر کروکوکوم از ۳۶۲ نمونه خاک از مزارع زیر کشت گندم در ایران و اثر تلقیح سویه‌های برتر بر رشد گندم در مناطق مختلف نتایج متفاوتی را گزارش دادند. در این پژوهش عملکرد دانه گندم نسبت به شاهد بدون تلقیح در آذربایجانشرقی ۲۰، خراسان ۱۳/۵، فارس ۸، آذربایجانغربی ۷ و کردستان صفر درصد افزایش نشان داد. اخگر (۱۳۸۷) ضمن جداسازی و شناسایی باکتری-های *Pseudomonas* بومی گزارش داد که تلقیح کلزا با سویه‌های دارای توان تولید آنزیم ACCدآمیناز موجب کاهش اثرات تنشی حاصل از شرایط شور در این گیاه در شرایط گلخانه‌ای شده است. خسروی و همکاران (۱۳۸۷) اثر سویه‌های ریزوبیوم دارای آنزیم ACCدآمیناز بر رشد و جذب عناصر غذایی گندم در شرایط تنش شوری ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط گلخانه‌ای را قابل توجه گزارش دادند. خسروی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی اثر یک نوع مایه تلقیح ازتوباکتر تجاری تولید داخل بر رشد گندم در ۸ نقطه ایران گزارش دادند که تلقیح هیچ اثر مثبتی بر رشد گندم نداشته است. خسروی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی اثر یک نوع مایه تلقیح ازتوباکتر تجاری تولید داخل بر رشد ذرت در ۱۰ نقطه ایران گزارش دادند که تلقیح هیچ اثر مثبتی بر رشد این محصول نداشته است.

بحث و تحلیل برخی نقاط قوت و ضعف تحقیقات مایه تلقیح های PGPR

با اینکه تولید تجاری ریزوبیوم‌ها به عنوان مایه تلقیح برای لگوم ها قدمت صد ساله دارد اما استفاده تجاری و کاربرد در مقیاس وسیع باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه یا اصطلاحاً PGPR در کشاورزی رونق و پیشرفت قابل ملاحظه‌ای نداشته است (وسی و همکاران، ۲۰۰۳). این در حالی است که پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام شده که بخشی از آنها در مبحث قبلی اشاره شد. یکی از دلایل این مساله وجود گزارش های متفاوت و تضاد بین نتایج آزمایشگاهی، گلخانه‌ای و مزرعه‌ای و عدم تکرارپذیری این نتایج است. این مسائل عمدتاً ناشی از تنوع در نوع و ارقام گیاهی، ترکیب خاک، حضور ریزجانداران بومی، آب و هوا، مقدار رطوبت خاک و درک ناکافی از سازوکارهایی است که PGPR به واسطه آن بر رشد گیاه مؤثر واقع می‌شوند. از طرف دیگر قیمت کم کودهای شیمیایی مانع دیگری در توجه و استفاده از PGPR در تولید محصول شده است (گلیک و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج پژوهش خسروی و همکاران (۱۳۸۸) در قالب پروژه ملی دستیابی به دانش فنی تولید کود بیولوژیک ازتوباکتر برای مزارع گندم تأکیدی بر این واقعیت است که توصیه مایه‌تلقیح‌ها و کودهای بیولوژیک حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه با دشواری‌های فراوانی روبرو است. نتایج این پژوهش نشان داد که از یک طرف با قاطعیت نمی‌توان اثربخشی مایه تلقیح ازتوباکتر را در همه مناطق تضمین کرد. از جمله اینکه در آزمایش های مزرعه‌ای نوع سویه بومی ارتباط چندانی با تأثیر سویه مورد نظر یا به عبارت دیگر با محل جغرافیایی که باکتری از آن جداسازی شده بود نداشت. به عنوان مثال در استان آذربایجانشرقی سویه مربوط به این منطقه کمترین تأثیر را بر شاخص‌های رشد داشت در حالی‌که سایر سویه‌های جداسازی شده از دیگر مناطق اثرات بهتری بر برخی شاخص‌های رشد داشتند. در استان خراسان سویه مربوط به استان گلستان بیشترین اثر را بر عملکرد دانه نشان داد. در استان فارس نیز سویه‌های مناطق مختلف اثرات متفاوتی بر شاخص‌های رشد مورد اندازه‌گیری نشان دادند. همچنین مشاهده شد که در استان‌های کردستان و آذربایجانغربی هیچ کدام از سویه‌ها نتوانستند بر شاخص‌های رشد تأثیر معنی‌داری بگذارند. لازم به ذکر است که در هر منطقه رقم غالب و توصیه

شده گندم، مورد استفاده قرار گرفت لذا بـه طـور طبیعـی ارقام گندم مورد استفاده در این پژوهش بـا هـم متفـاوت بودند. بنابراین یکی از دلایل تفاوت در نتـایج مربـوط بـه مناطق مختلف، علیرغم یکسان بودن تیمارها ممکن اسـت تفاوت در نوع رقم گندم باشد. با این حال در اسـتان‌هـای آذربایجانغربی و کردستان که از رقم یکسان زرین استفاده شد تلقیح تأثیر معنی‌داری بر رشد و عملکـرد ایـن ارقـام نشان نداد. البته موفقیت و یا عدم موفقیت استفاده از مایه-تلقیح حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه به سایر شرایط از جمله تفاوت در نوع خاک، اقلیم و آب و هوای منطقه، دما، میزان رطوبت و سایر شرایط نیز بستگی دارد.

خـاوازی (۱۳۸۸) گـزارش داد کـه پـنج سـویه منتخب *Pseudomonas* موجـب افـزایش عملکـرد دانـه گندم در آزمون‌های مزرعه‌ای در کرمانشاه شدند و این در حالی بود که هـیچ کـدام از سـویه‌هـا اثـر معنـی‌داری بـر عملکرد دانه در مشهد و داراب فارس نداشتند. با این حال در مازندران یکی از سویه‌ها و در صـفی‌آبـاد دو سـویه از پنج سویه عملکرد دانه را به طور معنی‌داری افزایش دادند. اسدی (۱۳۸۸) ضمن بررسـی خصوصـیات منسـوب بـه محـرک رشـد گیـاه مربـوط بـه سـویه‌هـای مختلـف *Pseudomonas* اثر آنها را بر رشد کلزا بررسی نمود. در این پژوهش ابتدا در شرایط شـن اسـتریل اثـر ۴۰ سـویه منتخب بر رشد کلزا در کشت درون شیشـه‌ای بررسـی و سـویه‌هـای R_{112}، P_{21}، P_7، P_{16}، P_{15} و P_2 بـه ترتیـب بیشترین اثر را در مورد برخی از شاخص‌های رشد نشـان دادند. در این مرحله سویه‌هایی که مقدار اکسـین بیشـتری تولید نمودند تاثیر بهتری بر شاخص‌های رشد داشتند. این در حالی بود که سویه R_{187} در گلخانه بـه عنـوان بهتـرین سویه معرفی شد. نتایج آزمون مزرعه‌ای در سـمنان نشـان داد که سویه P_{19} باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. لازم به ذکر است که هیچ کدام از سویه‌ها در اصـفهان بـا شاهد اختلاف معنی‌داری در این مورد نشان ندادند.

اسـدی (۱۳۸۹) اثـر تلقـیح سـویه‌هـای مختلـف *Flavobacterim* را بر رشد گندم بررسی نمودند. در این پژوهش در بررسی‌های آزمایشگاهی یکی از سویه‌ها (F_9) بیشترین مقدار اکسین را تولید نمود و سویه دیگری (F_{22}) بیشترین توان حل‌کنندگی فسفات را بـه خـود اختصـاص داد. در نهایت ۷ سویه بـرای مرحلـه گلخانـه‌ای انتخـاب شدند. نتایج آزمون گلخانه‌ای نشان داد که بیشترین اثر بـر شاخص‌های رشد مربوط به دو سویه ذکر نشده نبود ولـی سویه F_{20} دارای اثـر معنـی‌داری بـر وزن کـاه و کلـش و سویه‌های F_{43}، F_{34} و F_{40} موجب افزایش معنـی‌دار سـایر شاخص‌های رشد شدند. نتایج آزمـون‌هـای مزرعـه‌ای در مازندران نشان داد که سویه‌های F_9، F_{11} و F_{40} بـا شـاهد اختلاف معنی‌داری در مورد عملکرد دانه نشـان دادنـد. در استان فارس سویه‌های F_{40} و F_{11} با شاهد اختلاف معنی-داری را در این مورد نشان دادند. اما در صفی‌آبـاد دزفـول هیچ کدام از سویه‌ها اثـر معنـی داری بـر عملکـرد گنـدم نداشتند. این در حالی بود که در کرمانشاه گزارش حـاکی از معنی‌دار بودن همه سویه‌ها در مورد عملکرد دانه بود.

نکته مهم دیگر، نقش میزان ماده آلی خاک می-باشد زیرا اکثر باکتری های منسوب به PGPR هتروتروف بوده و برای رشد و فعالیت خود نیاز به منابع کربنی سـاده دارند. ناگفته نماند که در اکثر خاک‌های کشـاورزی ایـران مقدار ماده آلی خاک کم بوده و بستر مناسب برای فعالیت PGPR فراهم نیست. گزارش شـده کـه تلقـیح همزمـان ازتوباکتر کروکوکوم و کود دامی اثرات به مراتـب بهتـری نسبت به ازتوباکتر بـه تنهـایی بـر رشـد گنـدم (مشـرام و همکاران، ۱۹۸۲؛ خسروی و همکاران، ۱۳۷۶؛ محمودی و خسـروی، ۱۳۸۴) و همچنـین نهـال سـیب داشـته اسـت (خسروی و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین با افـزایش مقـدار مواد آلی در خاک‌ها ضمن بهره‌مندی از مزایای مـاده آلـی شرایط برای استفاده از مایه تلقیح‌های حاوی PGPR نیز فراهم می‌شود.موضوع دیگر در بحـث موفقیـت کودهـای بیولوژیک استفاده از مخلوطی از ریزجانـداران مـی‌باشـد. تحقیقات نشان داده است که در اثر تلقیح توأم ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بر رشد و عملکـرد گنـدم، نتـایج بهتـری از مصرف تک تک آنها بدسـت آمـده اسـت (رای و گـاور،

۱۹۸۸). همچنین اثر تلقیح همزمان ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بر مقدار ماده خشک بخش هوایی ذرت و سورگوم قابل توجه ذکر شده است (تیلاک و همکاران، ۱۹۸۲). تلقیح توأم ازتوباکتر و ریزوبیوم بر گره‌بندی سویا، ماش و شبدر مثبت و معنی‌دار گزارش شده است (بورنز و همکاران، ۱۹۸۱). در بررسی دیگری اثر تلقیح مخلوط باکتری های ازتوباکتر و سودوموناس بر شاخص های رشد ذرت، مؤثرتر گزارش شده است (حمیدی و همکاران، ۱۳۸۸).

تحقیقات انجام شده در ایران و جهان نشان می-دهد که بیشتر پژوهش‌ها در زمینه PGPR در سطح آزمایشگاهی و عمدتا در قالب آزمون‌های گلخانه‌ای انجام شده و نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای نسبتا کمتر گزارش شده است. با این حال نتایج مزرعه‌ای گزارش شده هم به دلایل مختلف قابل جمع‌بندی نمی‌باشند از جمله این موارد می توان به عدم استفاده یکسان از یک یا مخلوطی از سویه‌ها در پژوهش‌های مختلف اشاره نمود. شاید با یک مثال بتوان این موضوع را بیشتر روشن نمود. اوره به عنوان یک کود شیمیایی نیتروژنی دارای فرمول شیمیایی مشخص می باشد و درصد نیتروژن موجود در آن در تقریبا همه انواع تجاری به یک میزان می باشد. بنابراین مقایسه نتایج اثرات آن بر محصولات مختلف و در شرایط مختلف اقلیمی و خاکی قابل قیاس و تفسیر است. اما یک موجود زنده میکروسکوپی همانند یک گونه خاص و شناخته شده از باکتری PGPR دارای تعداد بیشماری از نژادهای مختلف و متنوع است. به تعبیری دیگر، هر جدایه باکتری از یک گونه که از خاک جداسازی می شود می تواند خود یک نژاد جدید باشد. باکتری‌ها دارای ژنوم با ساختاری پویا[1]می‌باشند. نوترکیبی همسان[2] بین توالی-های DNA تکرار شونده انواع متفاوتی از بازآرایی[3] ژنومی را ایجاد می‌نماید که موجب ساختمان‌های ژنومی متناوب و متغیر در باکتری‌ها می‌شود. موضوع از دست دادن پلاسمیدها[4] بحث فوق را پیچیده تر می نماید (گیو و همکاران، ۲۰۰۳ و ماوینگوی وهمکاران، ۲۰۰۲).

موضوع دیگری که در رابطه با مشکلات کاربرد PGPR مطرح است مساله جمعیت و تعداد باکتری موجود در نمونه های مایه تلقیح است. اصولاً اجماع بر روی یک جمعیت خاص مؤثر برای PGPR آسان نیست به عنوان مثال گزارش شده است که یک باکتری PGPR در یک غلظت 10^5 CFU mL^{-1} ممکن است موجب تغییر در مورفولوژی ریشه شود در حالی که CFU mL^{-1} 10^6 ممکن است اثر عکس داشته باشد (پرسلو-کارتیوکس و همکاران، ۲۰۰۳).

آگاهی از وضعیت باکتری‌های بومی از نظر نوع و جمعیت و میزان کارایی آنها و همچنین رقابت آنها با انواع غیر بومی موجود در مایه تلقیح‌ها می‌باشد که این نوع از پژوهش ها در دنیا بسیار اندک و در ایران انجام نشده است. عدم مؤثر بودن بسیاری از مایه تلقیح های PGPR ممکن است به علت عدم توانایی باکتری در کلنیزه کردن ریشه باشد. تحرک باکتری، توان ترشح پروتئین مؤثر و تولید پیلی و کشش[5] به سمت ترشحات ریشه و دانه در مؤثر بودن یک PGPR تاثیر دارد (نلسون، ۲۰۰۴).

موانع تولید صنعتی و توسعه تجاری کودهای زیستی با دشواری‌های خاص خود مواجه است از جمله در مقیاس تولید صنعتی می بایستی کیفیت و کارایی محصول تحت شرایط فرمنتاسیون حفظ شود. همچنین بایستی در فرمولاسیون عواملی همچون عمر مفید و بقای میکروارگانیسم، قیمت فرآورده، سهولت کاربرد، آزمایش های سلامت و ایمنی شامل سمیت، ایجاد آلرژی و بیماریزایی در انسان، دام و گیاه و مقاومت در برابر شرایط نامساعد محیطی را مد نظر قرار داد (نلسون، ۲۰۰۴). در این زمینه نیز مشکلات و چالش هایی وجود دارد از جمله وجود قوانین دست و پا گیر اداری برای تجاری سازی

[1]- Dynamic
[2] - Homologous recombination
[3] - Rearrangment
[4] - Curing
[5] - Chemotaxis

دانش های فنی و عدم رعایت حقوق مالکیت فکری محقق و تولید کننده دانش فنی قابل ذکر است.

از دیگر مشکلات موجود در رابطه با توسعه PGPR در ایران پژوهش های پراکنده و موازی و تکراری در این زمینه است. در مراکز آموزشی و دانشگاهی مختلف تحقیقات در این زمینه عمدتاً جهت دار نمی-باشند. در مراکز آموزشی معمولاً امکانات و تجهیزات موجود و دانش و تجربه اساتید تعیین کننده سمت و سوی تحقیقات است. در مراکز پژوهشی که تحقیقات در این زمینه به طور عمده در وزارت جهاد کشاورزی متمرکز است نیز انگیزه و علاقه محقق نقش اصلی را ایفا می کند و اصولاً برنامه منسجم، مداوم و جهت دار و هدفمندی در این زمینه وجود ندارد. با این حال بخش زیادی از پژوهش‌ها در مورد PGPR در سطح کلان و ملی در مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور انجام شده و یا در حال انجام است. از این پژوهش ها چندین دانش فنی تولید مایه تلقیح های PGPR برای برخی محصولات خاص حاصل شده که برخی از آنها تجاری سازی شده است.

بحث دیگر مسئله ترویج مصرف مایه تلقیح‌های مؤثر و کارا می باشد که متاسفانه تعامل قابل قبولی بین بخش تحقیق و ترویج در این زمینه مشاهده نمی‌شود. برخی مایه تلقیح‌هایی در بازار ایران مشاهده می شود که ممکن است از دانش فنی لازم و پشتوانه علمی-پژوهشی کافی برخوردار نباشند. این مساله سبب ایجاد حس بی اعتمادی کشاورزان نسبت به این فرآورده ها خواهد شد. لذا یکی دیگر از چالش‌های پیش روی توسعه PGPR عدم ارتباط کافی بین بخش پژوهش و بخش تولید می باشد. موضوع مهم دیگر مساله نظارت و کنترل کیفی مایه تلقیح‌های تجاری است که از وظایف دولت است و می بایستی سازوکار مناسب برای این مساله اندیشیده شود.

مجموع مسائل فوق باعث فقدان وجود مایه تلقیح‌های قابل اعتماد در بازار و عدم توسعه PGPR در ایران شده است. با این حال ذکر این نکته ضروری است که صرفاً توجه به کمیت محصول در ارزیابی یک کود بیولوژیک و یا یک مایه تلقیح کافی به نظر نمی‌رسد و بایستی سایر مزایا از جمله کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی در اثر جایگزینی بخشی از آنها با فرآورده‌های بیولوژیک نیز لحاظ شود.

نقاط ضعف تحقیق و توسعه مایه تلقیح‌های PGPR در ایران

۱. نوپا بودن دانش بیولوژی خاک کاربردی در ایران
۲. پراکنده و غیر متمرکز بودن تحقیقات بر روی PGPR
۳. انجام اکثر پژوهش ها در سطح آزمایشگاه و گلخانه و در خارج از مزرعه.
۴. اجرای تحقیقات مزرعه‌ای به صورت تیمار-تکرار و تعداد اندک مزارع تحقیقی- ترویجی.
۵. وجود راهبردهای متفاوت در مدیریت زراعی در مزارع مختلف
۶. نامشخص بودن مؤثرترین تعداد و جمعیت باکتری بر رشد یک گیاه خاص.
۷. عدم آگاهی کافی از وضعیت باکتری‌های بومی و مساله رقابت آنها با انواع موجود در مایه تلقیح
۸. نامشخص بودن وضعیت کلنیزه کردن ریشه توسط PGPR مصرفی
۹. حاکمیت تغییر و تحولات ژنتیکی بر باکتری‌ها از جمله PGPR
۱۰. عدم استفاده از یک سویه یکسان در پژوهش‌های مختلف و جمع ناپذیر بودن نتایج آنها
۱۱. وجود گزارش های متفاوت و تضاد بین نتایج آزمایشگاهی، گلخانه‌ای و مزرعه‌ای و عدم تکرارپذیری این نتایج
۱۲. تنوع در نوع و ارقام گیاهی، ترکیب خاک، آب و هوا و مقدار رطوبت خاک
۱۳. درک ناکافی و عدم توجه به سازوکارهای مختلف تاثیر PGPR بر رشد گیاه
۱۴. قیمت کم کودهای شیمیایی و هدفمند نبودن یارانه کود

۱۵. کم بودن میزان ماده آلی و منابع کربنی در غالب خاک های ایران علیرغم هتروتروف بودن اکثر باکتری های محرک رشد

۱۶. عدم قطعیت برای تضمین اثربخشی یک نوع مایه‌تلقیح PGPR در همه مناطق.

۱۷. وجود مشکلات در تجاری‌سازی همچون ماندگاری میکروارگانیسم، قیمت محصول، سهولت کاربرد، آزمایش های سلامت و عدم ایجاد بیماریزایی در انسان، دام و گیاه.

۱۸. عدم برخورداری برخی از مایه تلقیح‌های PGPR تولیدی داخل از دانش فنی و پشتوانه علمی-پژوهشی کافی

۱۹. عدم ارتباط کافی و تعریف شده بین بخش پژوهش،تولید و ترویج PGPR

۲۰. عدم وجود سازوکار مناسب و منسجم در مورد نظارت و کنترل کیفی مایه‌تلقیح‌های تجاری PGPR در ایران

فرصت ها و نقاط قوت

جوان بودن جمعیت ایران و وجود تعداد قابل توجه علاقه مندان به ادامه تحصیل در رشته های کشاورزی و از جمله بیولوژی خاک می‌تواند به عنوان یک فرصت در نظر گرفته شود. این موضوع، ادامه پژوهش ها در زمینه کودهای بیولوژیک را امید وارکننده‌تر می‌نماید. سوق دادن این پژوهش‌ها به سمت نیازهای کشور می تواند موجب بهبود کیفیت و هدفمند شدن پژوهش های انجام شده گردد. تعداد و سهم مقالات بیولوژی خاک و کودهای زیستی در کنگره های علوم خاک کشور روند صعودی داشته و در طی بیست سال گذشته از ۱/۵ درصد به ۱۵ درصد افزایش یافته است. در شکل های یک و دو تعداد و درصد این مقالات نشان داده شده است که حاکی از افزایش سهم بیولوژی خاک در پژوهش های رشته خاکشناسی دارد.

در این راستا اختصاص بخشی از اعتبارات به پژوهش های بنیادی کودهای بیولوژیک ضروری می باشد. موضوع دیگر وجود زیرساخت های لازم برای پژوهش در زمینه کودهای بیولوژیک در دانشگاه های مختلف کشور و مراکز و مؤسسات پژوهشی از جمله مؤسسه تحقیقات خاک و آب است که پتانسیل لازم برای انجام تحقیقات در این زمینه را فراهم می کنند. در چند سال اخیر در ایران، بخش خصوصی در حوزه تولید فعالیت های خوبی از خود نشان داده و زیرساخت های مناسبی برای تولید و توسعه تجاری PGPR فراهم کرده است. این شرکت ها اقدام به تولید برخی از مایه تلقیح های PGPR و سایر فرآورده های بیولوژیک از جمله مایه تلقیح های ریزوبیومی نموده‌اند. برخی از دانش‌های فنی تولید مایه تلقیح در این شرکت- ها از طریق مزایده از مراکز پژوهشی خریداری شده است. در جدول یک برخی فرصت های موجود در این زمینه ارائه شده است.

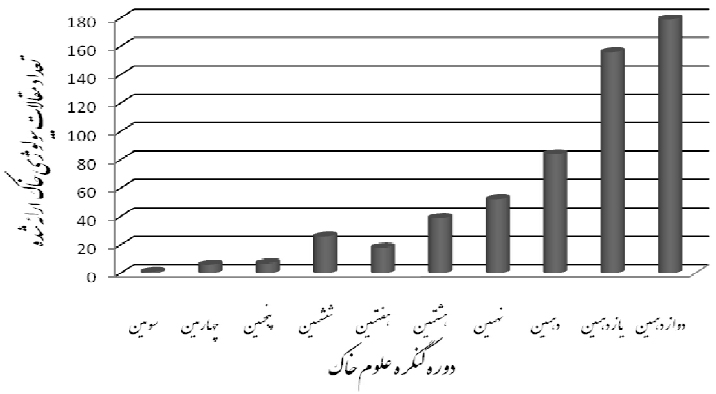
چشم انداز

خوشبختانه مسئولین و دست اندرکاران امر به اهمیت تولید محصول سالم و همچنین لزوم حفظ محیط زیست واقف هستند که چشم انداز این موضوع را روشن تر و زمینه انجام پژوهش ها در رابطه با کودهای بیولوژیک را امیدوارکننده تر می نماید. همچنین اقبال عمومی برای مصرف محصولات ارگانیک افزایش یافته است. این مساله در اسناد ملی منعکس شده است به طوری که در فصل دوم برنامه پنج ساله پنجم توسعه، افزایش سالانه ۰/۵ درصد از تولید ناخالص داخلی به امر پژوهش (یعنی تا سال ۱۳۹۴ حدود ۳ درصد از این مقدار سهم پژوهش) بایستی اختصاص یابد. در سند چشم انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران نیز کسب فناوری زیستی و تامین امنیت غذایی کشور با تاکید بر تولید از منابع داخلی و خودکفایی در محصولات اساسی کشاورزی اشاره شده است. اخیراً تفاهم نامه‌ای بین معاونت تولیدات گیاهی وزارت جهاد کشاورزی و مؤسسه تحقیقات خاک و آب منعقد شده است که بر اساس آن بخشی از این کودها و حداقل در مقطع زمانی فعلی از نظر نوع و تعداد میکروارگانیسم مورد ادعای تولید کننده، آزمون‌های سلامت از نظر پاتوژن های انسانی، دامی و گیاهی و

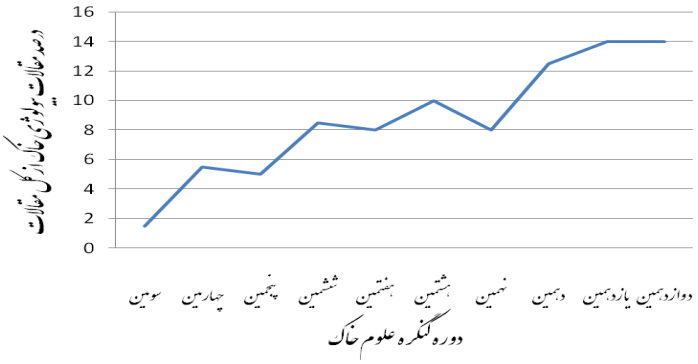
همچنین اجرای آزمون های مزرعه‌ای برای بررسی اثربخشی آنها بر روی برخی از محصولات انجام شده است که البته به نظر کافی نبوده و در دراز مدت می بایستی دستگاهی نظارتی خارج از مجموعه پژوهش دیده شود.

راهکارهای پیشنهادی برای توسعه پژوهش، تولید و ترویج کودهای زیستی

۱. ایجاد مرکز مطالعات کودهای زیستی برای متمرکز نمودن پژوهش‌های مربوط به PGPR
۲. شناسنامه دار نمودن باکتری های برتر بومی
۳. ایجاد بانک مرکزی باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) زیر نظر مرکز یاد شده
۴. همکاری سایر مراکز پژوهشی با مرکز مطالعات ذکر شده برای پژوهش در زمینه PGPR و ارائه باکتری جدید خود به بانک مرکزی باکتری‌های محرک رشد گیاه
۵. تأکید بر اجرای مزارع تحقیقی- ترویجی در مورد اثربخشی PGPR
۶. انجام تحقیقات بنیادی در رابطه با باکتری‌های بومی و موضوع رقابت با انواع وارد شده به خاک
۷. انجام پژوهش در زمینه بیوتکنولوژی میکروارگانیسم ها به منظور افزایش کارآیی PGPR
۸. هدفمند نمودن یارانه کودهای شیمیایی و اختصاص بخشی از یارانه کود به امر پژوهش، ترویج و تولید مایه تلقیح‌های PGPR
۹. ارائه کود شیمیایی یارانه‌ای به کشاورزان دارای نتایج آزمون خاک و جدول توصیه کودی
۱۰. ایجاد سیستم ارزش گزاری محصولات کشاورزی بر اساس کیفیت محصول و اولویت خرید تضمینی با محصولات ارگانیک
۱۱. معافیت مالیاتی تولیدکنندگان کودهای زیستی
۱۲. تاکید رسانه های ارتباط جمعی بر مزایای مصرف کودهای زیستی



نمودار ۱- تعداد مقالات بیولوژی خاک در کنگره‌های مختلف علوم خاک و آب



نمودار۲- درصد مقالات بیولوژی خاک نسبت به کل مقالات در کنگره مختلف علوم خاک ایران

جدول ۱- فرصت های موجود در رابطه با کودهای بیولوژیک در ایران

ردیف	نوع فعالیت	میزان در سطح کشور	توضیحات
	عضو هیات علمی پژوهشی بیولوژی خاک	۲۰ نفر	در سطح موسسه تحقیقات خاک و آب
	عضو هیات علمی آموزشی (دانشگاه ها) بیولوژی خاک	۵۰ نفر	دانشگاه آزاد و دولتی
	محقق غیر هیات علمی بیولوژی خاک پژوهشی	۲۰ نفر	در سطح موسسه تحقیقات خاک و آب
	تعداد دانشگاه های دارای رشته بیولوژی خاک	۵۰ دانشگاه	دانشگاه آزاد و دولتی
	تعداد طرح های اجرا شده در موسسه تحقیقات خاک و آب در مورد کودهای بیولوژیک	۱۰۰ طرح و پروژه	دارای گزارش نهایی مصوب و چاپ شده
	تعداد آزمایشگاه های بیولوژی خاک	۱۵ آزمایشگاه	دانشگاه ها و موسسات
	تعداد بخش های تحقیقات خاک و آب	۳۳ بخش	در سطح کشور
	تعداد کارخانجات تولیدی بخش خصوصی	۱۰ شرکت فعال	تولید کننده کود بیولوژیک

فهرست منابع

۱. اخگر، ع. ۱۳۸۷. جداسازی، شناسایی و بررسی باکتری‌های ریزوسفری دارای توان تولید آنزیم ACCدآمیناز در کاهش اثرات تنش شوری بر رشد کلزا. رساله دکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.۱۵۸ صفحه.

۲. اسدی رحمانی، ه. ۱۳۸۸. جداسازی و شناسایی باکتری‌های سودوموناس فلورسنت محرک رشد گیاه و اثر آنها در افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات کلزا. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، نشریه شماره ۱۴۴۷، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۳. اسدی رحمانی، ه. ۱۳۸۹. جداسازی و شناسایی باکتری‌های جنس فلاوباکتریوم و تولید مایه تلقیح مناسب برای افزایش عملکرد گندم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، نشریه شماره ۱۵۰۴، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۴. اسدی رحمانی، ه. ۱۳۸۹. کودهای زیستی در ایران: فرصت ها و چالش ها. اولین کنگره چالش های کود در ایران: نیم قرن مصرف کود.هتل المپیک. تهران.

۵. افتخاری س. ق.، ع. فلاح نصرت آباد، غ. ع. اکبری، ع. محدثی، ا. الله دادی. ۱۳۸۸. اثر باکتری های حل کننده فسفات و کودهای فسفاته بر چگونگی رشد گیاه برنج. مجله پژوهش های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۳، شماره ۲، ص: ۲۳۹-۲۲۹.

۶. ایرانی پور، ر.، م. ج. ملکوتی، م. ج. عابدی، ا. سجادی، ح. غفوریان. ۱۳۸۶. اثرات اصلی خاک فسفات و باکتری تیوباسیلوس بر شاخص های عملکرد محصول ذرت و اثرات باقی مانده آن بر عملکرد جو. مجله علوم خاک و آب، جلد۲۱، شماره ۲. ص: ۲۰۰-۱۹۱.

۷. بشارتی، ح.، ن. صالح راستین. ۱۳۷۸. بررسی تاثیر کاربرد مایه تلقیح باکتری های تیوباسیلوس همراه با گوگرد در افزایش قابلیت جذب فسفر. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۳، شماره ۱. ص: ۳۹-۲۳.

۸. بشارتی، ح. ۱۳۸۶. بررسی اکسیداسیون گوگرد و ارتباط آن با آزاد شدن برخی از عناصر غذایی در خاک‌های آهکی زیر کشت گندم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، نشریه شماره ۱۳۵۲، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۹. بشارتی، ح.، ح. رضایی و ز. خادمی. ۱۳۸۷. بررسی کاربرد باکتری های تیوباسیلوس و گوگرد در جذب عناصر غذایی و رشد گندم در خاک‌های آهکی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، نشریه شماره ۱۳۷۶، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۱۰. توسلی، ع.، ح. بشارتی، ف. رجالی، و ک. خاوازی. ۱۳۷۹. بررسی اثرات مصرف کودهای فسفاته، گوگرد و مایه تلقیح باکتری های تیوباسیلوس بر درصد کلنی‌زایی قارچ های میکوریز در ذرت. مجله خاک و آب (ویژه نامه تیوباسیلوس)، جلد ۱۲، شماره ۱۱، ص: ۱۹-۱۰.

۱۱. حمیدی، آ. ر. چوکان، ا. اصغرزاده، م. دهقان شعار، ف. ا. قلاوند، و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۸. بررسی اثر کاربرد باکتری های افزاینده رشد گیاه بر ظهور گیاهچه و استقرار گیاهچه و عملکرد دانه دورگ های دیررس ذرت در مزرعه. مجله به زراعی نهال و بذر، جلد ۲۵، شماره ۲، ص: ۲۰۷-۱۸۳.

۱۲. خاوازی، ک.۱۳۸۷. کاهش مصرف کودهای محتوی عناصر کم مصرف از طریق تولید نیمه صنعتی باکتری تیوباسیلوس و کاربرد آن در کشاورزی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، نشریه شماره ۱۳۷۴، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۱۳. خاوازی، ک. ۱۳۸۸. استفاده از باکتری های سودوموناس تولید کننده سیدروفور برای افزایش عملکرد گندم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، نشریه شماره ۱۴۴۵، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۱۴. خسروی، ه. ۱۳۷۶. بررسی فراوانی و انتشار ازتوباکتر کروکوکوم در خاکهای زراعی استان تهران و مطالعه برخی از خصوصیات فیزیولوژیک آن. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران. تهران: ۱۱۱ صفحه

۱۵. خسروی، ه. ۱۳۹۱. بررسی اثر بخشی مایه تلقیح BBP1 بر رشد و عملکرد ذرت به عنوان گیاه شاخص در مناطق مختلف ایران. نشریه شماره ۱۷۴۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۱۶. خسروی، ه. ۱۳۹۲. بررسی اثر بخشی مایه تلقیح ازتوباکتر بر رشد و عملکرد گندم در مناطق مختلف ایران. نشریه شماره ۱۷۹۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۱۷. خسروی، ه.، ح. علیخانی، و ب. یخچالی. ۱۳۸۸. 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)، جلد۳۹ شماره۱.

۱۸. رجایی، س.، ح. علیخانی و ف. رئیسی. ۱۳۸۶. اثر پتانسیل محرک رشد سویه های بومی ازتوباکتر کروکوکوم روی رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۴۱، ص: ۲۹۶-۲۸۵.

۱۹. روستا، م. ج.، ن. صالح راستین، و م. مظاهری اسدی.۱۳۷۷. بررسی فراوانی و فعالیت آزوسپیریلوم در برخی از خاک های ایران. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۲۹، شماره ۲، ص: ۲۹۸-۲۸۵.

۲۰. ریحانی تبار، ع. ۱۳۷۹. بررسی جمعیت پسودوموناسهای فلورسنت در ریزوسفر گندم کشت شده در خاکهای زراعی استان تهران و تعیین پتانسیل آنها برای افزایش رشد گیاهان. پایان نامه کارشناسی ارشد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۲۱. ذبیحی، ح. ر.، غ. ثواقبی، ک. خاوازی و ع. گنجعلی. ۱۳۸۸. بررسی تاثیرکاربرد سویه‌هایی از سودوموناسهای فلورسنت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در سطوح مختلف شوری خاک. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد۲۳، شماره ۱، ص: ۲۰۸-۱۹۹.

۲۲. عباس زاده دهجی، پ.، ه. اسدی رحمانی، ن. صالح راستین، ک. خاوازی، ع. ا. سلطانی طولارود. ۱۳۸۷. ارزیابی توان تولید اکسین توسط سودوموناس های فلورسنت و اثرات آنها در رشد گیاهچه های کلزا. مجله پژوهش های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۳، شماره ۲، ص: ۲۱۶-۲۰۳.

۲۳. فلاح نصرت آباد، ع.، ن. صالح راستین و ک. خاوازی. ۱۳۷۸. بررسی باکتری های حل کننده سیلیکات در افزایش پتاسیم قابل جذب برای گیاه ذرت. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۳، شماره ۲، ص: ۱۳۰-۱۲۰.

۲۴. محمودی، ح. و ه. خسروی. ۱۳۸۴. بررسی اثر کود بیولوژیک ازتوباکتر در بستر جامد و مایع بر عملکرد گندم دیم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شماره ثبت۸۴/۷۳۲، مؤسسه تحقیقات دیم کشور.

۲۵. ملکوتی، م. ج.، ف. رجالی، ک. خاوازی، ز. خوگر، ع. ا. شهابی، پ. کشاورز و ر. وکیل. ۱۳۸۳. بررسی نقش مایه تلقیح ازتوباکتر (PGPR) در افزایش عملکرد گندم آبی و دیم در چند استان کشور. صفحات ۱۶۷-۱۵۹. از کتاب ملکوتی و همکاران، مجموعه مقالات "روش‌های نوین تغذیه گندم". وزارت جهاد کشاورزی، دفتر طرح خودکفایی گندم،۸۵۱ صفحه.

نورقلی پور، ف.، ک. خاوازی، ح. بشارتی، ع. فلاح نصرت آباد. ۱۳۸۵. بررسی کاربرد خاک فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد کمی و کیفی سویا و اثرات باقی مانده آن بر ذرت. مجله علوم خاک و آب، جلد ۲۰، شماره ۱، ص: ۱۳۲-۱۲۲.

نورقلی‌پور، ف.، م. ج. ملکوتی و ک. خاوازی. ۱۳۷۹. نقش باکتری های تیوباسیلوس و حل کننده فسفات بر افزایش قابلیت جذب فسفر از منبع خاک فسفات، مجله خاک وآب، جلد ۱۲، شماره ۱۱، ص: ۵۴-۴۴.

26. Afzal A. and B. Asghari. 2008. *Rhizobium* and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). International Journal of Agriculture & Biology, 10: 58-88.

27. Arshad, M. and W.T. Frakenberger. 1991. Microbial production of plant hormones. Plant and Soil, 133:1-8.

28. Beijerinck, M. W. 1901. Über oligonitrophile Mikroben, Centralblatt für Bakteriologie, parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene, Abteilung II, Vol *7*, 561-582 illus

29. Burns, T. A., P. E. Bishop, and W. Daniel. 1981. Enhancement nodulation of leguminous plant roots by mixed cultures of *Azotobacter vinelandii* and *Rhizobium*. Plant and Soil, 62: 399-412

30. Caesar, A. J., and T. J. Burr. 1987. Growth promotion of apple seedlings and rootstocks by specific strains of bacteria. Ecology and Epidemiology, 11: 1583-1588.

31. Cheng, Z., E. Park, and B. R. Glick. 2007. 1- Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from *Pseudomonase putida* UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. Canadian Journal of Microbiology, 53: 912-918.

32. Chew, K. 2002. Georgics. Hackett Publishing Company. Indianapolis, USA. 152 pp

33. Damiano, C. and S. Monticelli. 1998. In vitro fruit trees rooting by *Agrobacterium rhizogenes* wild type infection. Electronic Journal of Biotechnology (EJB), 1:1-7

34. Fallik, E., S. Sarig, and Y. Okon. 1994. Morphology and physiology of plant roots associated with *Azospirillum*. *In* Y. Okon Ed. Azospirillum/plant associations. pp. 77–86. CRC Press Boca Raton, FL, USA.

35. Fallik, E., Y. Okon, E. Epstin, A. Goldman and M. Fischer. 1989. Identification and Quantification of IAA and IBA in *Azospirilum brasilense* inoculated maize roots. Soil Biology and Biochemistry. 21:147-153.

36. Guo, X., M. Flores, P. Mavingui, S. I. Fluents, G. Hemandez, G. Davila, and R. Palacios. 2003. Natural genomic design in *Sinorhizobium melioti*: novel genomic architectures. Genome Research. 13:1810-1817.

37. Höflich, G. 1999. Colonization and growth promotion of non-legumes by *Rhizobium* bacteria. *Microbial Biosystems: New FrontiersProceedings of the 8th International Symposium on Microbial EcologyBell CR, Brylinsky M, Johnson- Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada,Green P (eds)*

38. Jarak, M., R. Protio, S. Jankovio, and J. Colo. 2006. Response of wheat to Azotobacter-Actinomycet inoculation and nitrogen fertilizers. Romanian Agriculture Research. Number23.

39. Khosravi. H., S. M. Samar, E. Fallahi, H. Davoodi, and M. Shahabian. 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.

40. Kloepper, J. W. and M. N. Schroth. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. *In* Proceedings of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria. pp. 879–882.

41. 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.
42. 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.
43. Mavingui, P., M. Flores, X. Guo, G. Davila, X. Perret, W. j. Broughton and R. Palacios. 2002. Dynamics of genome architecture in *Rhizobium* sp. Strain NGR234. Journal of Bacteriology, 184: 171-176.
44. Mustafa, Y., and S. B. Canbolat. 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(4): 350-357.
45. Nelson. L. M. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Prospects for new inoculants. Plant Management Network,online doi:10.1094/CM-2004-0301-05-RV.
46. Persello-Cartieaux F., L. Nussaume, and C. Robaglla. 2003. Tales from the underground: molecular plant–rhizobacteria interactions. Plant, Cell and Environment, 26:189–199.
47. Probanza, A., J. A. Lucas Garcia, M. Ruiz Palomino, B. Ramos, and F. J. Gutierrez Manero. 2002. *Pinus pinea* L. seedling growth and bacterial rhizosphere structure after inoculation with PGPR Bacillus. Applied Soil Ecology, 20:75-84.
48. Putene, M. E., and Bashan, Y. 1993. Effect of inoculation with *Azospirilum brasilens* on germination and seedling growth of the giant colmnarcardon cactus (Pachycereus pringlei). Symbiosis, 15: 49-60.
49. Rai, S. N. and A. C. Gaur. 1988. Characterization of *Azotobacter spp*. and effect of *Azotobacter* and *Azospirillum* as inoculant on the yield and N-uptake of wheat crop. Plant and Soil, 109: 131-134.
50. Renato de Freitas, J. 2000. Yield and N assimilation of winter wheat inoculated with rhizobacteria. Pedobiologia, 44: 97-104.
51. Saravanakumar, D. and R. Samiyappan. 2007. ACC deaminase from *Pseudomonas fluorescen*s mediated saline resistance in groundnut (*Arachis hypogea*) plants. Journal of Applied Microbiology, 120: 1283-1292.
52. Tilak, K.V. BR., C. S. Singh, N. K. Roy and N. S. Subba Rao. 1982. *Azospirillum brasilense* and *Azotobacte*r inoculum effect on maize and sorghum. Soil Biology and Biochemistry, 14: 417-418.
53. Tisdale, S. L. and W. L. Nelson. 1975. Soil Fertility and Fertilizers, 3rd Edition. Macmillan Publishing, New York, USA. 694 pp.
54. Turner, J. T. and P. A. Backman. 1989. Factors relating to peanut yield increases following Bacillus subtilis seed treatment. Plant Disease, 73: 464-468.
55. Van Loon, L. C. 2007. Plan responses to plant growth-promoting rhizobacteria. European Journal of Plant Pathology, 119:243-254.
56. Vessey. J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil, 255: 571–586.