نشریه زیست‌شناسی خاک / جلد 4 / شماره 2 / 1395
DOI: http://dx.doi.org/10.22092/sbj.2017.109306

مروری بر تحقیقات بیولوژی خاک و ویژگی‌های زیستی خاک‌های ایران

حسین بشارتی[1]، ناصر علی‌اصغرزاد، کاظم خاوازی و هادی اسدی رحمانی

دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات،آموزش وترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **besharati1350@yahoo.com**

استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، ایران؛ **n-aliasghar@tabrizu.ac.ir**

دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات،آموزش وترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **kkhavazi@yahoo.com**

دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات،آموزش وترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **asadi_1999@yahoo.com**

دریافت: **95/3/8** و پذیرش: **95/7/12**

چکیده

در مقاله مروری حاضر سعی شده است تا تاریخچه و اهمیت بیولوژی خاک، پژوهش‌ها و فعالیت‌های انجام شده در ایران در خصوص بیولوژی خاک و نیز خواص بیولوژیک خاک‌های کشور منعکس گردد، همچنین ارتباط خواص زیستی خاک با ویژگی‌های خاک، اقلیم و پوشش نباتی ارایه شده است، سپس ویژگی‌های زیستی خاک‌های غالب کشور مطرح و در ادامه نتایج پژوهش‌ها در راستای استفاده از پتانسیل زیستی خاک در کشاورزی، بؤیژه تولید و تجاری سازی دانش فنی کودهای زیستی ارایه گردیده است، همچنین فهرست و ویژگی‌های میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی جمع آوری شده از خاک‌های کشور که در قالب بانک میکروبی وجود دارند، ذکر شده است، در نهایت پتانسیل‌ها و ظرفیت‌های تولید و مصرف کودهای زیستی در کشور و نیز اولویت‌ها و چالش های پیش روی بیولوژی خاک مورد بحث و بررسی قرار گفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: کودزیستی، میکوریز، *ازتوباکتر، ریزوبیوم، تیوباسیلوس*

[1] نویسنده مسئول، آدرس: جاده مشکین دشت- بلوار امام خمینی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، کدپستی: 3177993545

تاریخچه بیولوژی خاک در ایران

شکل‌گیری و شروع فعالیت گرایش بیولوژی خاک در ایران را بایستی در شکل‌گیری رشته خاکشناسی و متعاقباً گرایش بیولوژی خاک در دانشگاه‌های کشور جستجو نمود. دانشگاه تهران در سال 1339 شمسی گروه خاکشناسی را در دانشکده کشاورزی ایجاد نمود. دو سال بعد، دانشگاه‌های شیراز و تبریز رشته خاکشناسی را تأسیس نمودند. سپس در سالهای بعد دانشگاه‌های دیگر کشور اقدام به ایجاد این رشته در دانشکده‌های کشاورزی کردند. دوره کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی سه سال بعد از پذیرش دانشجو در مقطع کارشناسی، یعنی در سال 1345 در دانشگاه تهران پذیرش دانشجو در این مقطع آغاز گردید. دوره دکتری رشته خاکشناسی در سال 1369 در دانشگاه تهران و در سال‌های بعد در برخی دانشگاه-های دیگر راه اندازی شد. بعدها ایجاد گرایش مستقلی به نام بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک در گروه خاکشناسی دانشگاه تهران به تصویب رسید و از سال 1382 پذیرش دانشجو در دوره های کارشناسی ارشد و دکتری در این گرایش آغاز گردید. پس از دانشگاه تهران، دانشگاه تبریز در سال 1383 در این گرایش پذیرش دانشجوی دکتری را آغاز نمود. هم اکنون در چندین دانشگاه دیگر کشور نیز دانشجویان در گرایش بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک در هر دو مقطع ارشد و دکتری پذیرش می‌شوند (صالح راستین1384، بی نام،1392).

پژوهش در زمینه مسائل بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک در ایران نسبت به برنامه های آموزشی از قدمت کمتری برخوردار بوده و تأخیر قابل توجه نسبت به آموزش دارد. اولین پایان نامه در زمینه بیولوژی خاک در مقطع کارشناسی ارشد در خصوص «اکسایش زیستی گوگرد در خاک» در دانشگاه تهران در سال 1366 انجام شد (گلچین،1366). اولین رساله دکتری در گرایش بیولوژی خاک در دانشگاه تهران در زمینه «فراوانی و توزیع قارچ‌های میکوریز آربسکولار در خاک‌های ایران» در سال 1379 انجام شد (علی اصغرزاد،1370). در دهه 1380 همگام با افزایش تعداد دانشجویان گرایش بیولوژی خاک، پایان نامه‌های انجام شده در این گرایش که ابتدا از تنوع زیادی برخوردار نبودند، موضوعات متنوع مسائل بیولوژی خاک را در برگرفته و موضوعات جدیدی از قبیل مطالعات مولکولی و ژنتیکی میکروارگانیسم‌ها، آنزیم‌های خاک، زیست پالایی و موضوعات مشابه بعنوان موضوع پایان نامه مورد توجه قرار گرفتند (صالح راستین1384؛ اسدی و همکاران، 1390).

پژوهش‌های غیر دانشگاهی در خصوص مسائل بیولوژی و بیوتکنولوژی در موسسه تحقیقات خاک و آب متمرکز بوده و این موسسه بیشترین سهم پژوهش‌های انجام شده را در بین موسسات و مراکز تحقیقاتی دارا می-باشد. پس از پیروزی انقلاب اسلامی ایران، واردات مایه تلقیح سویا متوقف شد و لذا در سال 1359 امکان تولید این کود زیستی در ایران با تشکیل کمیته‌ای بنام کمیته تحقیق و تولید باکتری سویا با حضور نمایندگانی از چند موسسه از جمله موسسه تحقیقات خاک و آب با محوریت شرکت سهامی توسعه کشت دانه‌های روغنی مورد توجه قرار گرفت. در سال‌های نخست دهه 1370، ایجاد آزمایشگاه تحقیقاتی بیولوژی و میکروبیولوژی خاک در دستور کار موسسه قرار گرفت و در اواخر سال 1374 آماده بهره‌برداری شد. این آزمایشگاه در سال 1375 از بخش تحقیقات شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه منتزع و با عنوان بخش تحقیقات بیولوژی خاک موجودیت مستقلی یافت. آزمایشگاه تولید کودهای بیولوژیک در بخش تحقیقات خاک و آب کرج تجهیز و در سال 1378 راه اندازی گردید و در سال 1380 آزمایشگاه بیولوژی خاک در بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی ایجاد شد (صالح راستین1384).

با شروع فعالیت بخش، طرح‌ها و پروژه‌هایی در زمینه جداسازی و بررسی کارایی *ریزوبیوم*‌های همزیست با گیاهان سویا، بادام زمینی، نخود، لوبیا و باقلا و سپس طرح‌های دیگری در خصوص باکتری‌های اکسید کننده گوگرد، حل کننده فسفات، قارچ‌های میکوریز، باکتری‌های محرک رشد (*ازتوباکتر*، *سودوموناس* و ...) توسط محققان بخش ارائه و عملیات اجرایی طرح‌ها آغاز گردید. توسعه کمی و کیفی پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌های یادشده نهایتاً منجر به دستیابی به دانش فنی تولید کودهای زیستی گردید که برخی از این دانش‌های فنی برای تولید انبوه کود زیستی در اختیار بخش خصوصی قرار گرفته است. در کنگره‌های اول و دوم علوم خاک ایران بیولوژی خاک سهمی در مقالات ارائه شده نداشته و در کنگره سوم علوم خاک تنها با ارائه یک مقاله سهم 1/4 درصدی را به خود اختصاص داد، در حالیکه در کنگره‌های بعدی افزایش قابل توجه نشان داد و در کنگره اخیر (دوازدهم) سهم 14، درصدی را دارا بود (اسدی و همکاران، 1390). انتشار مجله زیست شناسی خاک بعنوان اولین مجله تخصصی در حوزه بیولوژی خاک بستر مناسبی را برای انتشار نتایج و یافته های پژوهشی این حوزه فراهم نموده است. تدوین دستورالعمل ارزیابی کودهای زیستی و برنامه راهبردی

بیولوژی خاک، در کنار سایر انتشارات این حوزه خدمات ارزنده‌ای در توسعه علم بیولوژی خاک در ایران داشته و کمک مؤثری به دانشجویان و علاقه مندان به بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک جهت آشنایی بیشتر آنها با این گرایش علمی نموده است.

ارتباط خصوصیات بیولوژیک خاک با محیط

طیف وسیعی از موجودات زنده در خاک به عنوان مسکن طبیعی خود زندگی می‌کنند که نیازهای اکولوژیک متنوع و متفاوتی دارند. تعداد، تنوع و ترکیب نسبی موجودات خاکزی تابعی از خصوصیات خاک (رطوبت، تهویه، pH، عناصرغذایی ...)، ویژگی‌های اقلیمی و پوشش نباتی سطح خاک می‌باشد. بعبارت دیگر ویژگی‌های زیستی خاک که جزء ویژگی‌های پویا و دینامیک خاک می‌باشد، به نوعی بیانگر تطابق نیازهای موجودات خاکزی با شرایط موجود در خاک می‌باشد.

کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد، بطوریکه متوسط بارندگی سالانه در ایران حدود یک سوم متوسط بارندگی دنیا بوده در حالیکه تبخیر و تعرق پتانسیل سه برابر متوسط جهانی است، به همین دلیل محتوای مواد آلی در اکثر خاک‌های ایران ناچیز بوده و در حدود 60 درصد اراضی کشاورزی ایران میزان کربن آلی کمتر از یک درصد و در بیش از 84 درصد خاک‌ها کمتر از 1/5 درصد کربن آلی می‌باشد (شهبازی و بشارتی،1392). اکثر موجودات خاکزی به لحاظ تغذیه‌ای به گروههایی تعلق دارند که برای فعالیت و بقاء به وجود مواد آلی در خاک وابسته هستند (هتروتروف‌اند)، انواع اتوتروف که تولیدکننده مواد آلی بوده و بخش کوچکی از جانداران خاکزی را شامل می‌شوند، جز در شرایط خاص میزان ماده آلی تولیدی توسط آنها قابل توجه نیست (صالح راستین1384). از طرفی مواد آلی با بهبود ویژگی-های فیزیکی (افزایش تهویه، ظرفیت نگهداری آب در خاک،...) و شیمیایی (آزادساری عناصر غذایی، جذب و ذخیره سازی عناصر، ...) بر جمعیت و فعالیت موجودات خاکزی نقش مهمی ایفا می‌نماید.

لذا کمبود ماده آلی در اراضی زراعی کشور مشکل اصلی فقیر بودن خاک‌ها از لحاظ تعداد موجودات خاکزی و تنوع زیستی است. مقایسه نتایج پژوهش‌هایی که بطور جداگانه در مناطق مختلف کشور صورت گرفته است، مؤید این موضوع است. جمعیت کل باکتری‌ها ، باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات (که هتروتروف بوده و وابسته به مواد آلی هستند) در اراضی شالیزاری و غیر شالیزاری شمال کشور که متوسط میزان ماده آلی آنها 7/04 درصد بود، در 50 نمونه خاک به ترتیب 5×107 ، 7/4×105 و 3/2×104 سلول در هر گرم خاک گزارش گردید (فلاح وهمکاران،1383). در حالیکه در بررسی دیگر که در اراضی زراعی استان فارس انجام شد، نشان داد که میزان مواد آلی خاک حدود0.6 درصد و متوسط تعداد باکتری‌ها 5/2×105 سلول در هرگرم خاک بود (بی نام، 1391). در بررسی مشابه که در اراضی زراعی استان تهران صورت گرفت، متوسط ماده آلی خاک 0/5درصد و تعداد باکتری‌های *ازتوباکتر* (هتروتروف و وابسته به مواد آلی) فقط 1/5×103 سلول در هر گرم خاک گزارش گردید (خسروی،1394).

ویژگی‌های خاک و اقلیم علاوه بر تعداد میکروارگانیسم‌های خاکزی بر تنوع و ترکیب نسبی آنها نیز تأثیر بسزایی دارد. در اراضی شمال کشور که غالباً دارای رژیم رطوبتی یودیک و رژیم حرارتی مزیک و ترمیک هستند (بنایی، 1378) و در دوره طولانی از سال رطوبت برای فعالیت موجودات خاکزی وجود داشته و پوشش نباتی سطح خاک و محتوای کربن آلی خاک نیز نسبت به سایر نقاط دیگر کشور بالاتر می‌باشد، جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌ها نسبت به سایر نقاط دیگر کشور بالاتر است و میکروارگانیسم‌های هتروتروف شامل انواع باکتری‌های هتروتروف و قارچ‌ها جمعیت بالایی دارند.

متوسط جمعیت کل باکتری‌ها و قارچ‌ها در برخی از اراضی شالیزاری و غیر شالیزاری شمال کشور به ترتیب 5×10^{7} و 2×10^{5} گزارش گردید (فلاح و همکاران، 1383)، در حالیکه در مناطقی که خاک‌ها برای مدت طولانی از سال خشک بوده و محتوای مواد آلی خاک اندک است، جمعیت کل باکتری‌ها و قارچ‌ها به مراتب کمتر است. در خاک اراضی زراعی کرج، پاکدشت، ساوجبلاغ و هشتگرد، جمعیت باکتری‌های *آزوسپریلوم* حدود 10 هزارسلول در گرم خاک (اثباتی و همکاران، 1393) و حداکثر و حداقل تعداد اسپور قارچ‌های میکوریزی در اراضی زیر کشت لوبیا در استان‌های مرکزی، لرستان و زنجان 2/8 و 0/35 اسپور در گرم خاک گزارش گردید (سلطانی و همکاران،1393). از طرفی دیگر کشور ایران دارای تنوع آب و هوایی و به طبع آن تنوع خاک است و اراضی کشاورزی مناطق مختلف تحت رژیم‌های رطوبتی و حرارتی متفاوتی قراردارند (بنایی، 1378)، بطوریکه از 12 ارده خاک، 10 رده آن در ایران وجود دارد (بنایی، 1384). تنوع خاک و اقلیم، در تنوع و ترکیب نسبی موجودات خاکزی نقش اساسی دارد. در نقاط مرکزی ایران به دلیل حرارت بالا کمبود رطوبت خاک (بنایی، 1378)، محتوای اندک مواد آلی خاک (شهبازی و بشارتی،1392)، جمعیت کل میکروارگانیسم‌ها

کم است و میکروب‌هایی که توانسته‌اند شرایط موجود را تحمل نماید، در خاک حضور دارند. مثلاً باکتری‌های اسپوردار، میکروب‌های مقاوم به شوری و حرارت بالا که شرایط رایج در خاک‌های این مناطق هستند، جمعیت غالب را دارند. نوع پوشش نباتی و مدیریت زراعی نیز بر نوع، تعداد و ترکیب نسبی میکروبهای خاک تأثیرگذار است. در بررسی که در 4 استان کشور انجام شد، مشخص گردید که در خاک‌هایی که قبلاً با گوگرد تیمار شده‌اند، جمعیت باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک قابل توجه می‌باشد در حالیکه در خاک‌هایی که گوگرد در آنها مصرف نشده بود، جمعیت این باکتری‌ها ناچیز و در حد صفر بوده است (بشارتی و همکاران، 1387) باکتری‌های *ریزوبیوم* همزیست گیاهان لگوم در صورت عدم وجود گیاه میزبان در خاک تغذیه هتروتروفی داشته و از مواد آلی بعنوان منبع کربن و انرژی و از اشکال معدنی نیتروژن بعنوان منبع نیتروژن استفاده می‌کنند. در صورتی که گیاهان لگوم به مدت طولانی در یک خاک کشت نشوند، جمعیت *ریزوبیوم*ها در خاک کاهش می‌یابد در حالیکه در اراضی زیر کشت لگوم‌ها جمعیت این باکتری‌ها به مراتب بیشتر از سایر اراضی می‌باشد. گیاه یونجه که بومی ایران بوده و غالباً تعداد باکتری‌های همزیست آن در خاک‌های کشور بویژه مناطق یونجه کاری قابل توجه می‌باشد.

متوسط تعداد باکتری‌های همزیست یونجه در مزارع چند ساله در استان همدان بیش از 300برابر اراضی بایر مجاور و متوسط جمعیت باکتری در مزارع یکساله، دو ساله ، سه ساله ، چهارساله، پنج ساله، شش ساله ، هفت ساله و پانزده ساله و اراضی بایر به ترتیب $6/92 \times 10^4$ ، $3/02 \times 10^4$ ، 1×10^4، $1/26\times10^4$، 1×10^4 ، $4/47\times10^3$ ، $1/82\times10^2$ ، $2/14\times10^2$ سلول در هر گرم خاک می‌باشد. (خاوازی و همکاران،1382)، این درحالی است که سویا که گیاه بومی ایران نیست، برای کشت بایستی با باکتری‌های همزیست تلقیح گردد، زیرا باکتری همزیست آن در خاک‌ها بسیار اندک است. شمارش باکتریهای همزیست سویا در 55 نمونه از خاک‌های زیر کشت سویا در شمال کشور نشان داد بیشترین تعداد باکتری‌ها (حدود یک میلیون سلول در گرم خاک) در اراضی که در آنها سویا مرتب در تناوب زراعی بوده و کمترین تعداد (حدود ده سلول در گرم خاک) نیز مربوط به مزارعی بود که سویا چندین مرحله از تناوب حذف شده و مایه تلقیح به هنگام کشت استفاده نشده‌است (خاوازی و همکاران،1380). بطورکلی گیاهان از طریق نوع و مقدار ترشحات ریشه، تغییر شرایط خاک منطقه ریزوسفر، افزودن مواد آلی بصورت بقایا و برقراری ارتباط با میکروارگانیسم‌ها (همزیستی، همیاری) می‌توانند بر جمعیت میکروبی خاک مؤثر واقع شوند (پاترسون،2003). در خصوص قارچ‌های مایکورایزا گیاهانی مانند سورگوم، یونجه، ذرت، سیب‌زمینی که میزبان‌های مناسب این قارچ-ها محسوب می‌شوند، در صورت کشت این گیاهان جمعیت این قارچ‌ها در خاک در مقایسه با خاک‌هایی با شرایط مشابه که گیاهان غیر میکوریزی مثل کلزا و ... در آنها کشت شده، به مراتب بالاتر می‌باشد .

آنزیم‌های خاک که منش آنها عمدتاً از موجودات خاک بویژه میکروارگانیسم‌های خاکزی میباشند، نیز متأثر از مدیریت زراعی و نوع کاربری اراضی است (صفری و شریفی، 1385، متینی زاده و همکاران، 1391). تأثیر تغییر کاربری اراضی بر آنزیم‌های خاک در منطقه غرب کشور در جلگه 200 هکتاری نشان داد بالاترین فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز، سلولاز، اوره آز، فسفومنواستراز اسیدی و قلیایی و کربن آلی در کاربری مرتع بوده و تغییر کاربری اراضی باعث افت شدید شاخص‌های مذکور در کاربری های زراعت و باغ سیب شد. تغییر کاربری‌های انجام یافته ماده آلی و فعالیت آنزیمی خاک را به شدت کاهش داد (ابراهیم زاده و همکاران، 1392). ارزیابی جمعیت قارچ‌های میکوریزی در اراضی زیر کشت چای در شمال کشور حاکی از آن بود که با وجود فراوانی اسپور قارچ‌های میکوریزی در خاک باغات چای، هیچ آثاری از همزیستی میکوریزی در ریشه‌ها مشاهده نشد بررسی الگوی اسیدهای چرب فسفولیپیدی موضوع را تأیید نمود (علی اصغرزاد و همکاران، 1390). مصرف 0/5، 1و 2 تن گوگرد در هکتار فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی را در اراضی زیر کشت ذرت بطور معنی‌دار در مقایسه با شاهد کاهش داد و این کاهش در مورد فسفاتاز اسیدی به مراتب بیشتر از فسفاتاز قلیایی بود (بی نام، 1391).

بررسی الگوی اسیدهای چرب فسفولیپیدی در خاک‌های شور اطراف دریاچه ارومیه و جزایر حفاظت شده آن در سال‌های اخیر گویای این واقعیت است که قارچ‌های میکوریزی بطور قابل ملاحظه کاهش یافته و باکتری‌های گرم منفی یا مثبت غیر مفید افزایش یافته‌اند. البته تنوع میکروبی علیرغم خشکسالی‌های اخیر، در جزایر دریاچه ارومیه حفظ شده در حالیکه در اراضی شور اطراف دریاچه اعم از مراتع و مزارع و باغات بشدت کاهش یافت است. اینها علایم هشدار هستند که در سایر نقاط کشور نیاز به رصد دارند. برخی تغییرات اگر به موقع رصد شوند قابل برگشت و مدیریت هستند (علی اصغرزاد و همکاران، 1390). بررسی ارتباط خصوصیات زیستی

خاک‌ها با مشکل گرمایش کره زمین از تحقیقات مهم در زمینه بیولوژی خاک است که بایستی مورد توجه قرار گیرد. گازهای گلخانه‌ای نقش مهمی در گرمایش کره زمین داشته و مهمترین منبع ورود گاز کربنیک به اتمسفر، خاک‌های کشاورزی است . لذا نقش بیولوژی خاک و مدیریت خواص زیستی خاک در جهت کاهش تصاعد گاز کربنیک و افزایش ترسیب کربن نقش کلیدی و ارزنده است. یکی از راه‌های جبران، تشدید ترسیب کربن در خاک‌ها از طریق تقویت قارچ‌های گلومرال و افزایش تولید گلومالین در آنهاست. جریان کربن تثبیت شده در گیاهان سبز از بخش هوایی به ریشه و نهایتاً به قارچ همزیست، میتواند مقادیر قابل توجهی از کربن آلی را در خاک‌ها وارد کند. بخش مهمی از کربن دریافتی توسط قارچ بصورت گلیکوپروتئین در دیواره هیفها و اسپورها رسوب یافته و سپس وارد خاک میشود. با توجه به نیمه عمر زیاد گلومالین در خاک، مقادیر قابل توجهی از کربن سالانه در خاک ذخیره می‌شود. جمعیت *ازتوباکتر* در مراتع با خاک و پوشش نباتی متفاوت حاکی از کاهش شدید جمعیت در خاک‌های بدون پوشش نباتی بوده و جمعیت در ریزوسفر گیاهان تیره گندم بیشترین و در ریزوسفر گیاهان تیره نخود کمترین بود. بعلاوه جمعیت با محتوای کربن آلی خاک رابطه مثبت معنی‌دار ولی با pHخاک رابطه منفی معنی‌دار داشت (حاجی بلند و همکاران، 1383)

خصوصیات بیولوژیک خاک‌های غالب کشور

خواص زیستی خاک جزء ویژگی‌های پویا و دینامیک خاک بوده و با تغییرات زمان، مکان و سایر ویژگی‌های خاک بسرعت تغییر می‌کند. گاهی این تغییرات و پویایی به حدی قابل توجه است که در یک خاک مشخص از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر ویژگی‌های زیستی تغییرات فاحش نشان می‌دهد. به دلیل کمبود اطلاعات خواص زیستی خاک در سطح ملی، برخی ویژگی‌های زیستی 40 نمونه خاک که از نقاط مختلف کشور جمع‌آوری شده و نماینده سری‌های غالب خاک-های کشور می‌باشند، اندازه گیری شده و نتایج این اندازه گیری‌ها در جدول زیر ارایه شده تا برواردی از ویژگی-های زیستی خاک‌های غالب کشور را ارایه نماید.

نتایج پژوهش‌ها در راستای استفاده از پتانسیل زیستی خاک در کشاورزی (کودهای زیستی و...)

در راستای استفاده از پتانسیل میکروارگانیسم-های مفید خاکزی جهت تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، مقابله با تنش‌های محیطی (کم آبی، شوری..) و نهایتاً افزایش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی در طی سنوات گذشته پژوهش‌های زیادی در قالب طرح‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی یا پایان نامه‌ها و رساله‌های دانشجویی در موسسات تحقیقاتی و دانشگاه‌های کشور انجام شده است. برخی از این پژوهش‌های هدفمند، پیوسته بوده و در موارد متعددی منجربه تولید دانش فنی و تولید انبوه کودزیستی مربوطه شده است:

ازتوباکتر

تحقیقات در خصوص *ازتوباکتر* در قالب پایان نامه در دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران در نیمه اول دهه 70 آغاز شد (خسروی، 1376). سپس تحقیقات زیادی در کشور در دانشگاه‌ها، موسسات و مراکز پژوهشی صورت گرفت که از جمله آنها می‌توان به ارزیابی کاربرد *ازتوباکتر* بر رشد گندم دیم (خسروی و محمودی،1392)، گندم آبی (بحرانی و همکاران،1386)، ذرت (هادی و همکاران،1387)، گیاه دارویی (حسین پور و همکاران،1390)، گلرنگ (رسولی و همکاران،1391، امیدی و همکاران، 1393)، سویا (هادی و همکاران،1389)، توتون (ثابتی و همکاران،1391) و درخت سیب (خسروی و همکاران، 1388) اشاره نمود. تحقیقات مزرعه ای *ازتوباکتر* عمدتاً در موسسه تحقیقات خاک و آب متمرکز بوده است. در یکی از پژوهش‌ها از 362 نمونه خاک از مزارع زیر کشت گندم در استان‌های آذربایجانشرقی، آذربایجانغربی، کردستان، گلستان، فارس و خراسان تعداد 217 سویه باکتری *ازتوباکتر* تثبیت کننده نیتروژن جداسازی که 102 سویه از آنها به عنوان *Azotobacter chroococcum* تایید شد. در آزمایشات مزرعه‌ای تلقیح گندم با این باکتری‌ها در برخی استان‌ها موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد (خسروی و همکاران، 1389). همچنین تحقیقات مرتبط با خصوصیات محرک رشد گیاه و کارهای مولکولی در خصوص شناسائی و کلونینگ ژن کد کننده آنزیم ACC – دآمیناز در سویه‌های بومی مزارع اطراف تبریز در دانشگاه تبریز به انجام رسیده است (فرج زاده و همکاران، 1391).

جدول 1- برخی خصوصیات بیولوژیک سری های غالب خاک‌های ایران

محل مورد مطالعه	رده بندی خاک (Famil)	فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی (μg P-NF $g^{-1}h^{-1}$)	فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی (μg P-NF $g^{-1}h^{-1}$)	تعداد کل باکتریها (10^6 cfu g^{-1} Soil)	فعالیت آنزیم اوره آز (μg NH_4 g^{-1} 2 h^{-1})	تعداد کل قارچها (10^3Prop.g^{-1} Soil)	[illegible]
فریدن، اصفهان	Fine, mixed, mesic Calcic Haploxerepts	351/9	852/3	6/2	25/5	1/0	
منطقه مرکزی اصفهان (کوهپایه سگزی)	Fine-loamy, carbonatic, thermic Fluventic Haplocambids	348/1	665/4	0/68	22/1	5	
زرین شهر ,طالخونچه ,مهیار و چرمهین	Loamy- skeletal, gypsic, thermic, shallow Typic Haplogypsids	164/4	275/0	0/46	14/5	1>	
منطقه میانه	Fine- loamy, mixed, mesic Calcic Haploxerepts	309/6	648/0	1/7	6/5	50	
منطقه هشترود	Coarse- loamy, mixed, calcareous, mesic Typic Xerofluvents	258/5	725/0	18	8/4	110	
منطقه شاهین دژ	Coarse- loamy, mixed, mesic Oxyaquic Xeropsamments	142/3	335/1	8/4	2/1	90	
منطقه بوکان	Fine, mixed, mesic Calcic Haploxerepts	213/4	634/6	9/9	3/2	20	
اراضی دشت پشت کوه و پلنگ، بوشهر	Fine- loamy, carbonatic, hyperthermic Ustic Haplocambids	305/6	707/6	11	3/7	30	

اراضی دشت پشت کوه و پلنگ، بوشهر	Coarse- loamy, carbonatic hyperthermic Ustic Torripsamments	212/5	573/0	35	2/0	40
اراضی دشت پشت کوه و پلنگ، بوشهر	Fine- loamy, carbonatic hyperthermic Ustic Torriorthents	522	778/8	1/1	23/5	1>
جنوب شرق تهران (شهریار -غار غربی)	Fine- loamy, miced, thermic Typic Haplpocalcids	925/6	2568	11	10/9	17
جنوب شرق تهران (شهریار -غار غربی)	Fine- loamy, mixed, thermic Fluventic Haplocambids	796/1	1563/0	8/2	12/1	1
منطقه دماوند	Loamy- skeletal, mixed, mesic Typic Xerofluvents	188/5	313/5	0/9	7/6	1
اراضی دشت فلارد	Fine, carbonatic, thermic Typic Calcixerolls	137/5	407/1	0/8	13/9	1
دشت اسفراین	Fine- loamy, mixed, mesic Typic Haplosalids	165/4	373/0	1	41/8	1>
دشت اسفراین	Fine, mixed, mesic Gypsic Haplosalids	147/1	213/5	1/5	6/5	4
اراضی دشت گنبد	Coarse- loamy over sandy skeletal, thermic Typic Haplogypsids	150/9	586/5	4/1	63/8	2
اراضی دشت سبزوار	Fine- loamy, mixed, thermic Typic Haplosalids	141/3	523/1	44	22/6	1>

اراضی شمال شادگان	Fine, carbonatic, hyperthermic Typic Torriorthents	214/7	338/4	46	17/8	30
اراضی شمال شادگان	Coarse- loamy, carbonatic, hyperthermic Typic Aquisalids	162/5	271/2	11	27/4	11
امیدیه	Coarse- loamy, carbonatic, hyperthermic Aridic Ustipsamments	94/26	338/5	0/57	4/1	2
رامهرمز	Fine- loamy, gypsic, hyperthermic, shallow Typic Haplosalids	69/23	190/4	4/9	21/5	1
دشت بستام	Fine, carbonatic, mesic Typic Haplocambids	118/26	205/8	4	48/8	1>
نیریز ,دشت تنگ هنا و چاه سرخ	Fine, gypsic, thermic Gypsic Haplosalids	420/20	771/1	5/5	8/5	2
نیریز ,دشت تنگ هنا و چاه سرخ	Coarse- loamy over clayey, gypsic, thermic Leptic Haplogypsids	374/02	961/5	6/7	4/7	12
نیریز ,دشت تنگ هنا و چاه سرخ	Fine, mixed, thermic Typic Haplosalids	158/86	425/0	5/1	8/9	3
لارستان ,دشت درز و سایبان	Coarse- loamy, carbonatic, hyperthermic Aridic Ustorthents	254/60	482/7	4/3	29/4	3
جیرفت و مسافر آباد	Loamy- skeletal over fragmental, mixed, hyperthermic Typic Haplocalcids	49/03	273/1	7/1	30/4	2
جیرفت و مسافر آباد	Fine- loamy, mixed, hyperthermic Typic Haplocambids	175/1	690/4	8/6	41/0	2

جیرفت و مسافر آباد	Loamy- skeletal over fragmental, mixed, hyperthermic Typic Haplocalcids	53/8	113/5	7/5	9/1	6
رودبار کهنوج،	Sandy- skeletal, mixed, hyperthermic Typic Torriorthents	68/26	150/0	0/1	34/9	1>
منطقه سنقر و کلیایی	Fine, mixed, mesic Calcic Haploxerepts	201	498/0	4/1	37/2	1
سد حبیب ایشان	Fine- loamy, mixed, thermic Calcic Haploxerepts	46/74	121/2	1/6	42/9	5
جنوب غربی شهر گنبد(اراضی شرکت تعاونی تولید پیمان)	Coarse- loamy, mixed thermic Typic Aquisalid	528/83	890/4	3/8	6/8	1
دشت خرم آباد و بروجرد	Fine, mixed, mesic Typic Xerochrepts	231/7	1121/2	41	0	32
دشت غرب استان مازندران	Fine, mixed, calcareous, thermic Typic Fluvaquents	89/43	955/8	31	13/1	14
دشت غرب استان مازندران	Fine, mixed, nonacid, thermic Mollic Fluvaquents	205/77	1026/9	40	6/5	14
منطقه جاسک	Coarse- loamy, mixed, hyperthermic Typic Aquisalids	87/5	253/8	15	0/0	80
منطقه طاهرلون	Fine, mixed, mesic Calcic Haploxerepts	159/7	248/0	5/1	8/9	18
منطقه دمق، چرمق و سراوک	Fine, mixed, mesic Calcic Haploxerepts	99/04	253/9	2/9	2/2	320

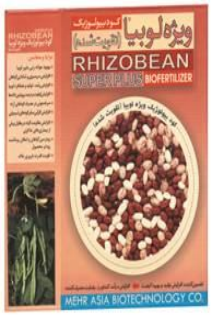
جمع‌بندی بررسی‌های انجام شده در کشور در خصوص *ازتوباکتر* گویای این واقعیت است در موارد متعددی کاربرد این باکتری با مکانیسم‌های مختلف باعث بهبود شاخص‌های رشدی گیاه شده است و در مواردی که کاربرد ان با موادآلی (کود دامی و...) همراه بوده، نتایج بهتری را بدنبال داشته است (خسروی و محمودی،1392). این درحالی است که در مواردی کاربرد آن اثربخشی مورد انتظار را نداشته است، زیرا *ازتوباکتر* یک باکتری هتروتروف بوده و به موادآلی (بؤیژه ترکیبات ساده مثل قندها و اسیدهای آلی) نیاز دارد در حالی که محتوای موادآلی اکثر خاک‌های کشور بسیار اندک است (شهبازی و بشارتی،1392). از طرفی توان تثبیت نیتروژن *ازتوباکتر* به اندازه باکتری‌های *ریزوبیومی* نیست و در بسیاری از موارد سهم قابل توجهی در تأمین نیتروژن گیاه ندارد و سویه‌هایی که خاصیت محرک رشدی مناسبی دارند، اثرات قابل توجه بر روی گیاه از خود نشان می‌دهند. از دلایل دیگر آنکه در اراضی کشاورزی، مراتع و جنگل‌ها بطور طبیعی این باکتری‌ها وجود دارند و می‌توانند نقش خود بر رشد گیاهان را ایفا نمایند. با توجه به شرایط حاکم بر اکوسیستم خاک جمعیت این باکتری در خاک‌های کشور از حدود 103تا105 سلول در گرم خاک متغیر می‌باشد (خسروی،1394 و حاجی بلند و همکاران، (1383).

شکل 1- تأثیر *ازتوباکتر* بر رشد گندم در مقایسه با شاهد در آزمایشات مزرعه‌ای در استان خراسان

باکتری‌های همزیست(با لگوم‌ها) تثبیت کننده نیتروژن لوبیا

در ایران مطالعات مربوط به جداسازی و شناسایی *ریزوبیوم* های همزیست با گیاهان لگوم و بررسی کارایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن توسط آنها از دهه 1990 آغاز شده است. در آزمایشاتی که در سال‌های 1995-2005 انجام شد بیش از 80 سویه باکتری *ریزوبیوم* همزیست لوبیا از استان‌های فارس، خراسان، مرکزی، اصفهان، زنجان، قزوین، همدان، لرستان، چهارمحال و بختیاری، آذربایجان شرقی و غربی و کرمان جداسازی و شناسایی شدند. پژوهش‌های انجام شده در قالب آزمون-های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای نشان داد سویه‌های کارآمد *ریزوبیوم* توان تثبیت نیتروژن قابل توجهی دارند و می‌توانند حدود 70 درصد از نیاز گیاه لوبیا به نیتروژن را تأمین نمایند که این امر در مطالعاتی که با استفاده از ایـزوتوپ نیتروژن 15 انجام شده اسـت نیز تـأیید شد. در آزمایشات مزرعه‌ای که در استان‌های مختلف انجام شد، تلقیح گیاهان لوبیا با سویه‌های برتر *ریزوبیوم* توانست بطور میانگین عملکرد دانه لوبیا را در مقایسه با شاهد تلقیح نشده 30 درصد افزایش دهد (اسدی و همکاران،1384). علاوه بر پژوهش‌های یادشده تحقیقات دیگری بر روی تثبیت زیستی نیتروژن در لوبیا در کشور انجام شده است که نتایج برخی از آنها در قالب مقالات پژوهشی منتشر شده است (یادگاری و همکاران، 1388، قاسمی و همکاران، 1384، خلج وهمکاران، 1392، افشاری و همکاران، 1385). جمع بندی نتایج پژوهش-های انجام شده در کشور گویای آن است که تلقیح ارقام لوبیا با *ریزوبیوم*های مناسب می‌تواند بخش قابل توجهی از نیتروژن مورد نیاز گیاه را تأمین و در افزایش عملکرد آن مؤثر واقع شود. هم اکنون قریب 60 سویه *ریزوبیوم* همزیست لوبیا در کلکسیون میکروارگانیسم های خاکزی (CCSM) در موسسه تحقیقات خاک و آب نگهداری می‌گردد. دانش فنی حاصل از تحقیقات انجام شده در این

خصوص برای تولید انبوه کود زیستی حاوی ریزوبیوم‌های همزیست لوبیا در اختیار بخش خصوصی قرار گرفته است.



شکل 2- گره‌های ریشه گیاه لوبیا (راست) و کود بیولوژیک ویژه لوبیا تولید شده در داخل کشور (چپ)

همزیست باقلا

تعداد معدودی پژوهش در خصوص تثبیت زیستی نیتروژن در گیاه باقلا در دانشگاه‌ها صورت گرفته، تحقیقات در این خصوص در موسسه تحقیقات خاک و آب متمرکز بوده است. پژوهش در این زمینه از نیمه اول دهه 80 آغاز شد. تعداد 168 نمونه گره *ریزوبیومی* از مزارع مختلف زیر کشت باقلا از استان‌های مختلف در زمان گلدهی گیاه جمع‌آوری و باکتریهای همزیست از آنها خالص سازی شد. درآزمون آلودگی گیاه، 101 باکتری به عنوان *ریزوبیوم* تأیید شدند. تعداد 42 جدایه برای آزمون گلخانه‌ای از نظر میزان کارآیی تثبیت نیتروژن و تأثیر بر رشد باقلا مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج بدست آمده برای هر استان بین سه تا پنج باکتری *Rhizobium leguminosarum bv. viciae* و در مجموع 19 جدایه باکتری انتخاب شدند. مایه تلقیح‌ها باقلا (مخلوط پرلیت و سوسپانسیون باکتری) به صورت بذرمال در مزارع مراکز تحقیقات کشاورزی گلستان، مازندران، خوزستان و لرستان به مدت دو سال مورد بررسی قرار گرفتند. عملکرد محصول در اثر تلقیح از 17 تا 69 درصد و به طور میانگین در کل مناطق 20 درصد افزایش نشان داد. مایه‌تلقیح در مزارع کشاورزان موجب افزایش30 درصدی عملکرد دانه و 65 درصدی جذب نیتروژن اندام-هوایی شد. هم اکنون تعداد 45 باکتری همزیست با گیاه باقلا در کلکسیون میکروبی موسسه نگهداری می‌شود و دانش فنی این کود زیستی برای تولید انبوه کود زیستی آماده واگذاری به بخش خصوصی می‌باشد (خسروی و همکاران، 1384).

شکل 3- گره‌های ریشه گیاه باقلا (راست) و عدم وجود گره های ریشه‌ای در شاهد بدون تلقیح (وسط) و تصویری از آزمایش مزرعه ای باقلا

همزیست عدس

در خصوص تثبیت زیستی نیتروژن در گیاه عدس تحقیقات معدودی در کشور انجام شده است (فشاری و همکاران، 1386، گرجی اناری و همکاران، 1386) و عمده پژوهش‌ها در موسسه تحقیقات خاک و آب متمرکز بوده است. به منظور بررسی کارایی تثبیت نیتروژن جدایه‌های بومی *ریزوبیوم* همزیست با عدس (*R.leguminosarum bv. viciae*) در سال‌های 1382 تا

1384 تعداد دویست ودوازده نمونه خاک وگره‌های ریشه گیاه عدس از نقاط مختلف استان اردبیل تهیه و در مجموع 76 جدایه خالص سازی شدند. ارزیابی توانایی گره‌زایی جدایه‌ها در گیاهچه‌های عدس مشخص نمود که از 76 جدایه 45 جدایه توانایی تشکیل گره روی ریشه-های میزبان را داشتند. ارزیابی کارایی تثبیت نیتروژن ملکولی جدایه‌های بومی با توان گره زایی، نشان داد بیش از 60 درصد جدایه‌ها از توانایی خوبی در تثبیت نیتروژن برخوردارند (51درصد مؤثر و 11درصد خیلی مؤثر بودند). بعضی از جدایه‌ها توانستند به ترتیب باعث 19 تا25 درصد افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی ، 5 تا 12 درصد افزایش مقدار نیتروژن قسمت های هوایی و 28 تا 36 درصد افزایش عملکرد به ترتیب نسبت به تیمارهای نیتروژنی و شاهد شوند (افشاری و همکاران، 1386). تهیه جدایه‌های بومی اراضی زیرکشت عدس و غنی سازی کلکسیون بومی، ارزیابی کارایی جدایه‌ها در شرایط مزرعه و نهایتاً معرفی جدایه های همزیست برای ارقام عدس و شرایط خاکی و اقلیمی حاکم بر اراضی زیر کشت عدس از جمله پژوهش‌هایی است که در این مبحث بایستی انجام شوند.

شکل 4- بررسی وضعیت گره بندی و تهیه نمونه گره از ریشه عدس در استان اردبیل (افشاری و همکاران، 1386)

همزیست سویا

سویا از جمله بقولاتی است که علیرغم سطح زیر کشت قابل توجهی که دارد گیاه بومی ایران نبوده و لذا وجود جمعیت ناکافی از باکتری‌های همزیست آن در خاک‌های کشور دور از انتظار نیست. بنابراین همواره برای کشت سویا، تلقیح بذور سویا با کود زیستی حاوی باکتری‌های همزیست توصیه شده است. در دهه 70 موسسه تحقیقات خاک و آب با توجه به سوابق قبلی و اهمیت موضوع بر آن شد تا این مایه تلقیح را در داخل کشور تولید و به سویاکاران عرضه نماید. لذا مجموعه‌ای از تحقیقات هدفمند در این راستا انجام شد .

در سال 1376 تعداد زیادی نمونه گره و نمونه خاک از اراضی زیر کشت سویا در شمال کشور جمع آوری گردید. جمعیت باکتری‌های *B. japonicum* در نمونه‌های خاک از 1/07 تا 5/86 واحد لگاریتمی به ازاء هر گرم خاک متغیر بود (خاوازی و همکاران، 1380). پس از دستیابی به سویه‌های مؤثر همزیست سویا، کود *ریزوبیومی* مناسب تهیه و تأثیر آنها بر رشد و عملکرد سویا مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن سابقه کشت و تنوع اقلیمی، قطعات آزمایشی در ایستگاه‌های تحقیقاتی کرج، جیرفت، دزفول، گنبد و ساری که فاقد سابقه کشت بودند انتخاب و در سال 1376 آزمون مزرعه‌ای چهار مایه تلقیح تولیدی موسسه (IR-A , B,C,D) دو مایه تلقیح روسی (R-626,R-634) یک مایه تلقیح هندی (IND) و یک مایه تلقیح ایتالیایی (ITA) و تیمار مصرف 120 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و شاهد انجام شد (جدول 5).

سپس برای تعیین کارایی مایه تلقیح‌ها در اراضی زارعین و مقایسه آن با نوع مشابه وارداتی، بیش از 60 هکتار در استان لرستان با استفاده از مایه تلقیح‌های ساخت داخل به زیر کشت سویا رفت. نتایج نشان داد که عملکرد دانه در مزارعی که مایه تلقیح وارداتی از ایتالیا (ITA) و مایه تلقیح شده در موسسه تحقیقات خاک و آب (IR-D) استفاده شده بود عملکرد دانه سویا به ترتیب 2171/9 و 2306/9 کیلوگرم در هکتار بود (خاوازی و همکاران، 1380).

در آزمایشی دیگر اثر بخشی مایه تلقیح‌های سویای تولید شده در داخل کشور با انواع خارجی در آزمون مزرعه‌ای در مراکز تحقیقات کشاورزی استان‌های البرز مختلف مقایسه گردید (افشاری و همکاران، 1391). در گرگان، فارس، اصفهان، چهارمحال و بختیاری و لرستان تفاوت معنی‌داری بین شاهد و سایر مایه تلقیح ها (داخلی و خارجی) مشاهده نشد.

با توجه به کارایی مناسب مایه تلقیح‌های تولید داخل در مقایسه با انواع وارداتی و اثبات اثربخشی آنها در آزمایشات متعدد، سرانجام دانش فنی تولید مایه تلقیح سویا در کشور به ثبت رسید و این دانش برای تولید انبوه و جایگزینی مایه تلقیح‌های وارداتی با انواع داخلی، در چندین نوبت در اختیار بخش خصوصی قرار گرفت. هم

اکنون سویه‌های برتر با کارایی مناسب در کلکسیون میکروبی موسسه نگهداری شده و بخش خصوصی نیز مایه تلقیح با کیفیت مناسب تحت لیسانس و نظارت موسسه تولید می‌نماید.

همزیست نخود

نخود در بین لگوم‌های دانه‌ای بیشترین سطح کشت را در کشور دارا می‌باشد. عمده سطح زیرکشت نخود در کشور مربوط به مناطق غرب و شمال غرب کشور می‌باشد. در این مناطق نخود عمدتاً بصورت دیم کشت می‌گردد. به دلیل شرایط حاکم در دیمزارها، مصرف انواع کودها کمتر از کشت‌های آبی می‌باشد لذا تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه نخود از طریق تثبیت بیولوژیک نیتروژن در دیمزارها از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

پژوهش در خصوص تثبیت بیولوژیک نیتروژن در گیاه نخود از سال 1375 در موسسه تحقیقات خاک و آب آغاز شد. از اراضی زیر کشت نخود در استان‌های آذربایجان شرقی،آذربایجان غربی، کردستان، همدان، کرمانشاه، فارس، لرستان، اردبیل، خراسان و تهران تعداد 400 نمونه گره ریشه نخود جمع‌آوری و حدود 200 جدایه باکتری منتسب به باکتری *Mesorhizobium ciceri* جداسازی شد. با انجام آزمون Plant infection test تنها 130 جدایه توانستند در ریشه گیاه نخود گره ایجاد نمایند. 76 جدایه با هدف تعیین SE مورد آزمون قرار گرفتند. از لحاظ وزن خشک بخش هوایی نخود تنها حدود 40 درصد از جدایه-ها و از لحاظ نیتروژن جذب شده در اندام هوایی فقط 10 درصد جدایه‌ها با شاهد اختلاف معنی‌دار نشان دادند.

جدول 2- عملکرد دانه سویا (کیلوگرم در هکتار) ناشی از مصرف مایه تلقیح‌های مختلف در مقایسه با شاهد در مزارع استان‌های مختلف

محل آزمایش		R-626	R-634	IND	ITA	IR-A	IR-B	IR-C	IR-D	Fert	Control
کرج	عملکرد دانه (kg/ha)	2100b	2625c	1825de	2710bc	1550ef	2920ab	3125a	3050a	1450f	1000g
دزفول	عملکرد دانه (kg/ha)	2890bc	2556bc	2920b	2890bc	2840bc	3720a	2780bc	2780bc	2500c	1445d
جیرفت	عملکرد دانه (kg/ha)	1275e	1400c	1280de	1570a	1585a	1520b	1350cd	1300de	1272e	825f
گنبد	عملکرد دانه (kg/ha)	1770d	1865abc	1300e	1835bcd	1960a	1750d	1800cd	1935ab	1800cd	1000f
ساری(باسابقه کشت سویا)	عملکرد دانه (kg/ha)	3390de	3830cd	3280ef	3380de	3345de	2780f	4950b	6170a	4280c	3350ef
ساری(بدون سابقه کشت سویا)	عملکرد دانه (kg/ha)	2300b	2600ab	2200b	2180b	2800a	2600ab	2360b	2900a	1400c	1050c

شکل 5- نمونه‌هایی از تصاویر مربوط به آزمایشات مزرعه‌ای سویا در مناطق مختلف کشور

به منظور ارزیابی کارایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن جدایه‌ها ، تعداد 16 باکتری در آزمایش‌های مزرعه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. 2 سویه باکتری (SWRI2 , SWRI15) از موسسه بین المللی ICRISAT یک سویه باکتری (SWRI3) از ICARDA تهیه شده و تعداد 13 جدایه باکتری از اراضی زیر کشت نخود در مناطق مختلف بودند که از این تعداد 2 جدایه از آذربایجان غربی (SWRI6, SWRI4) سه جدایه از لرستان (SWRI1 , SWRI11,SWRI13)، 2 جدایه از آذربایجان شرقی (SWRI5 , SWRI10) ، 2 جدایه از

کردستان(SWRI12 , SWRI7) ، 2 جدایه از کرمانشاه (SWRI14 , SWRI8) و 2جدایه از خراسان (SWRI9 , SWRI16) بودند. آزمایش های مزرعه در 9 منطقه در استان‌های زنجان، کردستان، کرمانشاه، ایلام، خراسان، آذربایجان شرقی (تبریز)، آذربایجان شرقی (مراغه) لرستان و مرکزی به مدت یک تا سه سال (در برخی مناطق یک سال، در مناطقی 2 و در برخی مکان‌ها 3 سال) اجرا گردید. با توجه به نتایج عملکرد دانه نخود، در دو استان لرستان و ایلام (در سال دوم آزمایش) هیچیک از باکتری‌ها نتوانستند عملکرد دانه نخود را نسبت به شاهد افزایش دهند، در حالیکه در خراسان و آذربایجان شرقی (در هر دو سایت مراغه و تبریز) همه باکتری‌ها عملکرد دانه نخود را نسبت به شاهد افزایش دادند. در زنجان، کردستان، کرمانشاه و مرکزی به ترتیب 5، 8، 6 و 8 باکتری افزایش عملکرد دانه نخود را سبب شدند. باکتری‌های SWRI7 و SWRI11 در هیچ منطقای افزایش عملکرد ایجاد نکردند، در مقابل باکتری‌های SWRI9 و SWRI5 بعنوان بهترین باکتری‌ها در 8 منطقه افزایش ایجاد کردند (اصغرزاده و همکاران، 1386). پس از ارزیابی‌های مزرعه‌ای، تنوع ژنتیکی گونه‌های *مزوریزوبیوم* همزیست نخود بومی خاک‌های ایران انجام شد (اصغرزاده و همکاران، 1392). هم اکنون قریب 70 سویه *ریزوبیوم* همزیست لوبیا در کلکسیون میکروارگانیسم‌های خاکزی (CCSM) در موسسه تحقیقات خاک و آب نگهداری می‌گردد. لازم به ذکر است که علاوه بر تحقیقات انجام شده در موسسه تحقیقات خاک و آب، پژوهش‌هایی در دانشگاها نیز در قالب پایان نامه و رساله‌های دانشجویی در خصوص تثبیت زیستی نیتروژن در گیاه نخود صورت گرفته است (توسلی و همکاران، 1390، علی مددی و همکاران، 1389). دانش فنی حاصل از تحقیقات انجام شده در این خصوص برای تولید انبوه کود زیستی حاوی *ریزوبیوم*های همزیست نخود در اختیار بخش خصوصی قرار گرفته‌است (شکل زیر). تهیه مایه تلقیح‌هایی که در شرایط خاکی و اقلیمی حاکم بر مناطق زیر کشت نخود در کشور و نیز در ارقام نخود که در کشور کشت می‌شوند، اثربخشی مناسبی داشته باشند، از اولویت‌های پژوهش در این زمینه محسوب می‌شود.

شکل 6- گره‌های ریشه گیاه نخود جمع‌آوری شده از اراضی زیرکشت نخود (راست) و کودبیولوژیک ویژه نخود تولیدشده توسط بخش-خصوصی (وسط) و آزمایش مزرعه‌ای نخود

همزیست یونجه

ایران خاستگاه یونجه بوده و یونجه بیش از 600 هزار هکتار از اراضی زراعی کشور را به خود اختصاص داده است، لذا بر خلاف سویا، باکتری‌های همزیست آن بطور طبیعی در خاک‌های کشور وجود دارند. تثبیت زیستی نیتروژن در گیاه یونجه هانند سایر گیاهان لگوم به ویژگی‌های گیاه (رقم، واریته و....)، باکتری همزیست (مؤثر بودن، توان سازگاری با شرایط محیطی و ....)، ویژگی‌های خاک pH ، شوری و ....)، شرایط اقلیمی (دما، بارندگی و ....) و مدیریت مزرعه بستگی دارد. دستیابی به باکتری همزیست با توان تثبیت بالا، تعیین اثر شرایط محیطی (عمدتاً تنش‌ها) بر تثبیت زیستی نیتروژن، انتخاب ارقام مناسب و انتخاب ترکیب مناسب رقم یونجه و سو**یه** باکتری و نیز نقش مدیریت مزرعه (بویژه مصرف کود) با هدف دستیابی به پتانسیل تثبیت زیستی نیتروژن بیشتر، از جمله موضوعات تحقیقاتی بوده‌اند که در طی سال‌های اخیر در مناطق مختلف کشور صورت گرفته اند.

گونه‌ها و ارقام مختلف یونجه برای همزیستی مناسب به سویه های مناسب باکتری نیاز دارند و انتخاب ترکیب مناسب رقم و سویه باکتری برای دستیابی به پتانسیل تثبیت بالا یک ضرورت برای بهبود پتانسیل تثبیت در اراضی زیر کشت یونجه می‌باشد. از جمله تحقیقات انجام در راستای انتخاب رقم مناسب و ترکیب رقم و سو**یه** برای دستیابی به پتانسیل تثبیت بالا می‌توان به

واکنش 4 گونه یونجه به سویه‌های مختلف باکتری *سینوریزوبیوم* (ملکی و همکاران، 1386)، ارزیابی پتانسیل همزیستی 4 سویه باکتری بومی خاک‌های سنندج و بوشهر با 4 رقم یونجه محلی (از مناطق ارومیه، سنندج، بلوچستان و خراسان) (پناه‌پور، 1387)، مقایسه واکنش سه رقم یونجه (قره یونجه، قارقالوق و همدانی) با باکتری‌های همزیست (فضائلی و همکاران 1389)، پتانسیل تثبیت نیتروژن دو گونه یونجه یکساله با 8 سویه باکتری همزیست از مناطق مختلف (پیرانشهر، سردشت و مهاباد) (قلی پور و همکاران 1387) اشاره نمود.

در خصوص تهیه باکتری‌هایی با توان همزیست بالا نیز پژوهش‌های زیادی انجام شده است. 31 جدایه از اراضی زیر کشت یونجه در استان کرمان از لحاظ توان تثبیت نیتروژن ارزیابی شدند. کارایی همزیستی باکتری‌ها (SE) از 146% تا 13/5 % متغیر بود. 27%، 23%، 16% و 36% جدایه ها به ترتیب خیلی مؤثر، مؤثر، نسبتاً مؤثر و غیر مؤثر بودند. (ابراهیمی و اخگر 1393). 47 جدایه بدست آمده از اراضی زیر کشت یونجه در استان زنجان ارزیابی و کارایی همزیستی از 152% تا 29% متغیر بود. 17/8% ، 37/7 % ، 17/8 % و 26/6% به ترتیب خیلی مؤثر، مؤثر، نسبتاً مؤثر و غیر مؤثر بودند. (معمار و بشارتی 1391). ارزیابی درجه کارایی همزیستی 195 باکتری بدست آمده از اراضی زیر کشت یونجه در همدان نشان داد 8/6 % ، 65/8% و 25/6% باکتریها به ترتیب کارایی همزیستی 50-75، 76-100 و بیش از 100 درصد داشتند (خاوازی و همکاران، 1382). 50 جدایه باکتری بدست آمده از اراضی چندساله زیر کشت یونجه در استان‌های تهران و زنجان در استان تهران و زنجان مورد سنجش قرار گرفته و مشخص شد حداکثر کارایی همزیستی 316/7% و حداقل 46/1% بود. 72، ۱۰،۱۶ و 2 درصد باکتری‌ها به ترتیب خیلی مؤثر، نسبتاً مؤثر و غیر مؤثر بودند (قاسم و همکاران، 1389).

با توجه به وجود تنش خشکی، شوری و آلودگی عناصر سنگین در برخی از اراضی زیر کشت یونجه در مناطق مختلف کشور، پژوهش‌هایی نیز در خصوص بهبود تثبیت زیستی نیتروژن در این شرایط انجام شده است. تلقیح باکتری‌های *سینوریزوبیوم* مناسب به بذور یونجه، در شرایط تنش خشکی به استقرار و رشد گیاه و نهایتاً عملکرد یونجه مؤثر واقع شد (پناه پور،1387). 80 جدایه باکتری بومی خاک‌های استان کرمان از لحاظ مقاومت به خشکی غربالگری و تلقیح یونجه با جدایه‌های مقاوم به خشکی نسبت به جدایه‌های حساس، فعالیت نیتروژناز ، وزن خشک اندام هوایی و غلظت پرولین را افزایش داد (ابوالحسنی و همکاران 1389). تلقیح یونجه با باکتری‌های مقاوم به کادمیم، سرب و روی در شرایط آلودگی خاک با عناصر فوق، از کاهش رشد ناشی از آلودگی کاست (کاهش 44 درصدی عملکرد در شاهد و کاهش فقط 11 درصد در گیاهان تلقیح شده) (معمار و بشارتی 1391). تلقیح ارقام یونجه همدانی، قره یونجه و قارقالوق در شرایط تنش شوری با باکتری‌های مقاوم به شوری از کاهش عملکرد یونجه در اثر تنش شوری جلوگیری نمود (فضائلی و همکاران 1389). دو رقم بمی و یزدی در مقایسه با رقم همدانی دارای مقاومت بیشتری نسبت به تنش شوری بودند42 درصد باکتری‌های خالص سازی شده از اراضی شور توانستند در شوری 700 میلی مولار کلرور سدیم رشد نمایند (قاسم و همکاران 2010). در مجموع کاربرد *ریزوبیوم*های بومی با کارایی همزیستی بالا و مقاوم به شوری و نیز استفاده از ارقام مقاوم به شوری می‌تواند به عنوان راهکاری برای مقابله با تنش شوری در اراضی زیر کشت یونجه مطرح گردد (قاسم و همکاران، 1389).

مدیریت مصرف کود بویژه نوع و مقدار کود نیتروژنی مصرفی در اراضی زیر کشت لگوم‌ها از جمله یونجه بر تثبیت زیستی نیتروژن تأثیر گذار است. ارزیابی نقش عناصر غذایی در تثبیت نیتروژن در گیاه یونجه بیانگر آن بود که تغذیه مطلوب گیاه و حاصلخیزی خاک نقش بسیار مهمی در پاسخ گیاه به تلقیح دارد. با تغذیه مطلوب پاسخ گیاه به تلقیخ در 6 خاک از 16/7، 3/6 ، 4/6 ،4/1، 1/9 و 1 درصد به ترتیب به 32، 4/6، 12/4، 37، 54/2، 21/2درصد رسید و علیرغم وجود باکتری‌های بومی در خاک، تلقیح حداقل 4/6 درصد و حداکثر 54/2 درصد افزایش وزن خشک یونجه را به دنبال داشت (خاوازی و همکاران، 1382).

جمع‌بندی پژوهش‌های انجام شده در کشور در خصوص تثبیت زیستی نیتروژن در گیاه یونجه بیانگر آن است که انتخاب ارقام مناسب یونجه متناسب با شرایط خاکی و اقلیمی، تلقیح یونجه با باکتری‌های همزیست با کارایی بالا و مقاوم به تنش‌ها (شوری، خشکی، آلودگی و ...) تعیین ترکیب مناسب رقم و سویه باکتری، تغذیه مناسب گیاه و مدیریت مناسب مزرعه (بویژه مصرف کود) از اهم مواردی هستند که در بهبود پتانسیل تثبیت زیستی نیتروژن در اراضی زیر کشت یونجه در کشور بایستی مد نظر قرار گیرد.

باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (*تیوباسیلوس*)

اکثر اراضی زیرکشت محصولات کشاورزی مختلف در ایران دارای خاک‌های آهکی می‌باشند. در این

خاک‌ها بدلیل pH بالا و فراوانی کاتیون کلسیم، برخی عناصر غذایی (بویژه فسفر ، آهن و روی) تثبیت شده و از دسترس گیاهان خارج می‌شوند. از طرفی ایران کشوری است نفت خیز و سالانه بیش از 2 میلیون تن گوگرد عنصری در پالایشگاه‌های نفت و گاز کشور تولید می‌شود. لذا پتانسیل استفاده از گوگرد بعنوان یک ماده اسیدزا برای بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان وجود دارد. شرط بهره-گیری از توان بالقوه گوگرد حضور باکتری‌های *تیوباسیلوس* بعنوان مهمترین میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک، می‌باشد. لذا تحقیقات در خصوص اکسایش زیستی گوگرد با هدف استفاده از گوگرد در اراضی کشاورزی کشور انجام شده و ادامه دارد. تحقیقات بر روی میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد (باکتری‌های *تیوباسیلوس*) در کشور در دهه 70 خورشیدی در دانشگاه تهران با تمرکز بر جداسازی باکتری‌های *تیوباسیلوس* از خاک و استفاده از آنها برای افزایش پتانسیل اکسیداسیون زیستی گوگرد در خاک‌های شور و سدیمی آغاز شد (گلچین، 1366). پس از آن محققین پژوهشگاه صنعت نفت در خصوص جداسازی و کارایی باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد بررسی‌هایی را انجام دادند (یخچالی،1366) در موسسه تحقیقات خاک وآب از سال 1996 تحقیقات در این خصوص شروع شد. تعداد زیادی نمونه آب و خاک از مناطق مختلف کشور که احتمال حضور باکتری‌های *تیوباسیلوس* در آنها وجود داشت تهیه و جدایه‌های باکتری اکسیدکننده گوگرد از نمونه‌ها جداسازی شد. پس از خالص سازی و شناسایی، توانایی آنها در اکسایش گوگرد عنصری ارزیابی و جدایه-های مؤثر و کارامد انتخاب شدند (بشارتی و همکاران، 1377 و کریمی نیاو همکاران، 1379). از نیمه دوم دهه 70 تحقیقات در خصوص کاربرد باکتری‌های *تیوباسیلوس* همراه با گوگرد بر شاخص‌های رشدی گیاه و قابلیت جذب عناصر غذایی خاک در شرایط گلخانه و مزرعه متمرکز شد که اکثر آنها تأثیر مثبت کاربرد گوگرد همراه با باکتری‌های *تیوباسیلوس* بر ویژگی‌های خاک و گیاه را نشان می‌دادند.

با توجه به مشکلات موجود در خصوص نگهداری بلند مدت این باکتری‌ها که به ماهیت و فعالیت آنها مربوط می‌شود (تولید اسید و نهایتاً کاهش شدید جمعیت) به منظور نگهداری بلند مدت باکتری‌های *تیوباسیلوس* و عرضه به شکل کود زیستی، از ترکیب چندین مواد ارزان قیمت و قابل دسترس داخلی که قابلیت کاربرد بعنوان ماده حامل را داشتند، فرمولاسیون‌های مختلف تهیه و با بررسی ماندگاری باکتری‌ها، نهایتاً فرمولاسیون بعنوان حامل مناسب انتخاب گردید (بشارتی و همکاران، 1382).

کودزیستی (ماده حامل و باکتری) همراه با گوگرد در آزمایشات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای بروی گیاهان مختلف و در خاک‌هایی با ویژگی‌های متفاوت در قالب طرح‌ها، پروژه‌ها، رساله و پایان نامه ارزیابی شد. از جمله این پژوهش‌ها ارزیابی کود زیستی در مزرعه در چندین استان کشور بر روی گیاهان مختلف از جمله ذرت، سویا، کلزا، گندم و پنبه می‌باشد که نتایج آن در جدول زیر ارایه شده است. (بی نام، 1391). هم اکنون سویه‌های مؤثر و کارآمد این باکتری‌ها در کلکسیون میکروبی موسسه نگهداری شده و دانش فنی تولید کود زیستی مایه تلقیح باکتری‌های *تیوباسیلوس* برای تولید انبوه در اختیار بخش خصوصی قرار گرفته و در سال زراعی جاری قرار است 300هزار بسته یک کیلوگرمی آن تولید و در اختیار شرکت خدمات حمایتی کشاورزی قرار گیرد تا در بین کشاورزان توزیع گردد.

جداسازی و شناسایی باکتری‌های *تیوباسیلوس* بومی خاک‌های مناطق مختلف کشور، ارزیابی توانایی آنها در اکسایش گوگرد عنصری، تعیین بهترین نسبت اختلاط مایه تلقیح آنها با گوگرد، تعیین بهترین مقدار و زمان مصرف گوگرد در خاک‌هایی با ظرفیت بافری مختلف، تسهیل کاربرد آنها در محصولات مختلف و نیز تحقیقات در خصوص دستکاری ژنتیکی جدایه‌های بومی و تعیین اثرات آنها بر سایر میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی (امکان سنجی تولید مایه تلقیح‌های مشترک) از اهم مواردی است که در خصوص این باکتری‌ها باید صورت گیرد.

قارچ‌های میکوریزی

با توجه به وجود تنش‌های محیطی (شوری، گرما، خشکی) در بسیاری از خاک‌های کشور و اهمیت میکوریزها در افزایش مقاومت گیاه میزبان به تنش‌ها و نیز نقش این قارچ‌ها در بهبود جذب آب و عناصر غذایی، تحقیقات زیادی در ارتباط با شناسایی قارچ‌های میکوریز بومی و نقش آنها در افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی و باغی در دانشگاه‌ها و موسسات تحقیقاتی کشور صورت گرفته است. تحقیقات در زمینه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در ایران به سال 1365 [2]بر می‌گردد، که عمدتاً در ارتباط با جمع آوری قارچ‌ها، خالص سازی و

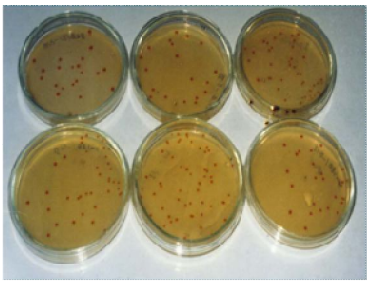
[1] دانشگاه فردوسی مشهد(دکتر هرمزدیار کیانمهر)، دانشگاه شهید چمران اهواز(دکتر واهه میناسیان) و دانشگاه ارومیه(دکتر حمید مهرآوران)

بررسی تنوع و تکثیر گلدانی آنها بوده و گونه‌های غالب خاک‌های کشور معرفی شده‌اند که برخی از آنها نیز در سایت بین المللی میکوریز (*www.mycorrhizas.org*) ثبت گردیده‌اند.

جدول 3- نتایج مصرف یک‌تن گوگرد همراه با مایه‌تلقیح باکتری‌های *تیوباسیلوس*در افزایش عملکرد سویا، کلزا، گندم و ذرت در استان-های مختلف (بی نام، 1391)

محل انجام آزمایش مزرعه	افزایش عملکرد دانه سویا نسبت به شاهد(%)	افزایش عملکرد دانه کلزا نسبت به شاهد(%)	محل انجام آزمایش مزرعه	افزایش عملکرد دانه گندم نسبت به شاهد(%)	افزایش عملکرد ذرت نسبت به شاهد(%)
البرز	18	-	خراسان رضوی	10/93	11
خراسان رضوی	21	-	آذربایجانشرقی	19/89	-
مازندران(دشت ناز)	26	48/45	فارس(اقلید)	11/3	-
مازندران(بایع کلا 1)	29	34/87	فارس(زرقان)	40/22	5/45
مازندران(بایع کلا 2)	-	66/57	سمنان	39	-
گلستان(مرکز تحقیقات)	41	-	کرمانشاه	3/38	8/63
گلستان(گرگان)	26	1/5	جیرفت	-	16/65
اردبیل	16	4/67	قزوین	-	2/26
اصفهان	6	-	اصفهان	25/63	5/26
قم	-	42/6	کرمان	-	4/8
خوزستان	-	13/93	خوزستان	12/46	0/02
میانگین	23	30/4	میانگین	20/36	11

شکل 7- تصاویر مربوط به پروژه ارزیابی اثرمصرف گوگرد بر ذرت در استان‌های فارس (چپ) و کرمانشاه(راست) (بی نام، 1391)



شکل 8- کلنی باکتری‌های *تیوباسیلوس* بر روی محیط کشت اختصاصی پستگیت (چپ) و تصاویر مایه تلقیح *تیوباسیلوس* تولیدشده توسط بخش خصوصی (وسط و راست)

تحقیقات مرتبط با تأثیر این قارچ‌ها در بهبود رشد گیاه در سال 1370 در دانشگاه تهران شروع شد (علی اصغرزاد، 1370) و به دنبال آن در سال 1374 جوامع قارچی میکوریز در خاک‌های اطراف دریاچه ارومیه جداسازی و خالص سازی شد و سپس به تأیید مراجع ذیصلاح بین المللی رسید و مدارک بین المللی شناسایی و تأییدیه چهار گونه قارچی در دانشگاه تبریز موجود است (علی اصغرزاد، 1370). کارهای متعدد با این

قارچ‌ها از جنبه‌های تغذیه‌ای، مقاومت به تنش‌های شوری و خشکی و فلزات سنگین بعمل آمده است. تحقیقات پیرامون این قارچ‌های مفید از سال 1375 در بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب نیز آغاز گردید (رجالی و همکاران،a 1383).

قارچ‌های بومی اراضی زیر کشت گیاهان زراعی از جمله گندم در استان‌های مختلف در قالب طرح‌ها و پروژه‌های ملی و نیز چند پایان نامه و رساله دکتری جداسازی و با استفاده از خصوصیات مرفولوژیک اسپور شناسایی گردید (ساداتنوری و همکاران، 1387، صدروی، 1385، صدروی 1381، بلالی علی آبادی و همکاران،1380 رجالی و همکاران، 1383a). بکارگیری این قارچ‌های مفید در شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی (رجالی، 1383، قربانیان و همکاران، 1391) شوری (دایی و همکاران، 1388 توسلی و علی اصغرزاد، 1388، رجالی و همکاران، 1389)، تراکم خاک میرانصاری و همکاران a ، 1388؛ میرانصاری و همکاران1388 b) میرانصاری و همکاران، 1385) و آلودگی ناشی از عناصر سنگین (علیزاده اسکویی و همکاران، 1388) رشد بیشتر گیاهان میزبان را در پی داشته مقاومت این گیاهان در برابر شرایط نامساعد محیطی را ارتقاء بخشید. کارآیی قارچ‌های میکوریز *آربوسکولار* در گیاه پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین نیز بررسی شده است (زارعی و همکاران، 1390).

مورد نقش میکوریز در تأمین فسفر گیاه کارهای بیشماری صورت گرفته و پژوهش‌ها گویای آن بوده‌اند که در صورت استفاده از قارچ‌های میکوریزی می‌توان بدون کاهش عملکرد، مصرف کود شیمیایی فسفره را تا حدود زیادی کاهش داد (رجالی و همکاران، 1382 رجالی و همکاران، 1383b). تأثیر قارچ‌های بومی در افزایش رشد و عملکرد گیاهان دارویی نشان داد که برقراری رابطه همزیستی میکوریزی از طریق افزایش جذب عناصر معدنی رشد این گیاهان را افزایش داده و منجر به افزایش تولید اسانس در گیاهان دارویی شده است (درزی و همکاران، 1387، علی آبادی فراهانی و ولدآبادی، 1389).

پراکنش قارچ‌های میکوریزی در شرایط اقلیمی و خاکی مختلف، غیر اختصاصی بودن آنها برای گیاهان میزبان، مکانیسم‌های مختلف تأثیر آنها بر گیاهان میزبان (بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه، کاهش تنش‌های زنده و غیر زنده در میزبان،...) ، تنوع گونه‌ای این قارچ‌ها، طیف گسترده گیاهان میزبان، برقراری رابطه سینرژیستی با سایر میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی و ماندگاری انها در مایه تلیقح (مخصوصاً به فرم اسپور) از مزایای استفاده از این قارچ‌ها در کشاورزی و منابع طبیعی محسوب می‌شود و لذا تحقیقات و تلاش‌ها برای کاربرد آنها در گیاهان زراعی، باغی، مرتعی و درختان جنگلی همچنان ادامه دارد، لیکن این قارچ‌ها بدلیل ماهیتی که دارند تکثیر انها در حضور ریشه گیاهان میزبان امکانپذیر بوده و این موضوع سبب محدودیت کاربرد آنها در سطح وسیع می‌باشد و بعضاً تکثیر انها با کشت گیاهان میزبان انجام می‌شود که زمانبر و پر هزینه بوده و مشکلات خاص خود را به همراه دارد. البته تکثیر درون شیشه‌ای این قارچ‌ها تکنیکی است که امکان تکثیر آنها با سهولت بیشتری را فراهم می‌نماید.

دانش فنی تکثیر درون شیشه‌ای این قارچ‌ها توسط موسسه تحقیقات خاک و آب در سال 2000 از موسسه هندی TERI خریداری شد. پس از آموزش کارشناسان موسسه توسط محققان TERI، تولید مایه تلقیح این قارچ-ها به صورت کشت درون شیشه در موسسه صورت گرفت (رجالی و همکاران، 1385). هم اکنون قارچ *Glomus intraradices* به خوبی از طریق سیستم کشت درون شیشه‌ای در بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تکثیر می‌گردد. قارچ‌های میکوریزی *Glomus mosseae*، *G. intraradices*، *G. etunicatum* . *G* . *G. fasciculatum* .*G* *G clarum versiforme* .*G caledonium*. در کلکسیون میکروبی موسسه تحقیقات خاک و آب موجود می‌باشند. هم اکنون تکثیر این قارچ‌ها و تولید مایه تلقیح آنها در کشور توسط بخش خصوصی انجام شده و تولیدات انها بصورت کود زیستی برای استفاده در کارهای پژوهشی و مصرف در کشاورزی عرضه می‌گردد.

باکتری‌های محرک رشد گیاه

(Plant Growth Promoting Rhizobacteria)

باکتری‌های محرک رشد گیاه، گروه نامتجانسی از باکتری‌های ریزوسفری مفید همزیست و غیر همزیست می‌باشند که قادرند با یک یا چند مکانیسم خاص بطور مستقیم یا غیرمستقیم رشد گیاه را افزایش دهند. طیف وسیعی از باکتری‌های خاکزی می‌توانند در زمره باکتری-های محرک رشد گیاه قرار گیرند ولی باکتری‌های PGPR عمدتاً به جنس‌های مختلف از جمله *سودوموناس*، *باسیلوس*، *فلاوباکتریم* و ... تعلق دارند. با توجه به طیف وسیع باکتری‌های PGPR، تنوع گیاهان هدف، پراکندگی آنها در شرایط خاکی و اقلیمی متفاوت و تعدد مکانیسم های تأثیر این باکتری‌ها، مطالعات زیادی در دنیا در خصوص آنها انجام شده است. در ایران نیز مطالعات متعددی در قالب پایان نامه‌ها، رساله‌ها، طرح‌ها و پروژه‌ها

در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی بر روی گیاهان مختلف و در موضوعات گوناگون در خصوص باکتری‌های محرک رشد گیاه صورت گرفته است.

شکل 9- تصاویر مربوط به کشت درون شیشه‌ای قارچ‌های میکوریز (رجالی و همکاران، 1382)

از جمله اثر قارچ‌کش بر *سودوموناس‌ها* و *آزوسپریلوم* (سلطانی طولارود و همکاران، 1393) و ارزیابی جمعیت *سودوموناس‌ها* در ریزوسفر گندم در مناطق مختلف کشور (رسولی صدقیانی و همکاران، 1384)، اثر برجوانه‌زنی، رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای (نظارت و غلامی،1390، سیدشریفی و خاوازی، 1391)، رشد و نمو کلزا (عباس‌زاده دهجی و همکاران، 1393)، سرعت رشد، زمان گلدهی و الگوی تجمع استویوزاید در گیاه استویا (اطرشت و همکاران، 1394)، جوانه‌زنی ریحان در شرایط تنش شوری (عقیقی شاهوردی و همکاران، 1393)، رشد، عملکرد و اجزای عملکرد، در گندم (ذبیحی و همکاران، 1388)، فعالیت آنزیمهای کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز، رشد و نمو، پارامترهای رشدی و غلظت عناصر کم مصرف در تنش شوری در کلزا (سلطانی طولارود و همکاران، 1393، ارزانش و همکاران، 1391)، خواص کیفی و کمی قارچ دکمه‌ای (ملایی و بشارتی 1389)، بر جذب نیتروژن و عملکرد گندم (محمدی و همکاران، 1389)، عملکرد علوفه و دانه سورگوم (کشاورزافشار و همکاران، 1390)، شاخص‌های رشد و عملکرد دو رقم گندم در خاک شور (سادات و همکاران، 1389)، بر خصوصیات کمی و کیفی کنجد (جهان و همکاران، 1392)، بر تثبیت نیتروژن و رشد یونجه (ابراهیمی و اخگر، 1393)، ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد گیاه دارویی گشنیز (درزی و همکاران، 1391)، بر عملکرد گل و اسانس و کارایی مصرف نیتروژن بابونه آلمانی (دست برهان و همکاران، 1390)، عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی (بهبود و همکاران، 13991)، آفتابگردان در شرایط آلودگی سرب و کادمیم (متشرع زاده و ثواقبی، 1390)، عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط آلودگی عناصر سنگین (نعمتی و همکاران، 1394)، عملکرد برنج (نکیسا و همکاران، 1394)، عملکرد و اسانس زعفران (رسولی و همکاران، 1392)، می‌باشند که در اکثر موارد اثر مثبت باکتری‌ها بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده گزارش گردیده است.

در پژوهشی که در موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد، نمونه‌های خاک از ریزوسفر گندم از استان‌های مختلف تهیه و باکتری‌های *سودوموناس*، *آزوسپریلوم* و *فلاوباکتریم* جداسازی و صفات محرک رشدی آنها بررسی شد. سپس باکتری‌هایی با توانایی محرک رشدی قابل توجه، در شرایط گلخانه و سپس در مزارع گندم در استان‌های فارس، کرمانشاه، مازندران، سمنان، خراسان رضوی و صفی آباد دزفول مورد ارزیابی قرار گرفتند. جدایه‌های مورد استفاده در اکثر استان‌ها سبب افزایش رشد و عملکرد گندم شدند. در ادامه باکتری‌های مؤثر در شرایط مزرعه، در اراضی زیر کشت گندم در 28 استان ارزیابی و در 25 استان در مقایسه با شاهد بطور میانگین 15 درصد عملکرد دانه گندم را افزایش داد. در نهایت باکتری‌های کارا و مؤثر بصورت کود زیستی فرموله شده و هم اکنون دانش فنی تولید آن جهت تولید انبوه در اختیار بخش خصوصی قرار گرفته است (اسدی و همکاران، 1390).

شکل 10- کود زیستی فلاویت (حاوی باکتری‌های محرک رشدگیاه) که توسط بخش خصوصی تولیدشده (راست) و گواهی ثبت دانش فنی آن (چپ)

آنزیم‌های خاک (Soil Enzymes)

توجه روز افزون به موضوع کشاورزی پایدار و ضرورت حفظ کیفیت خاک باعث شده تا از معیارهای مختلفی برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده گردد. در بین شاخص‌های زیستی خاک، آنزیم‌های خاک، در مقایسه با سایر شاخص‌ها سریع‌تر به تغییرات خاک واکنش نشان داده و آنها را منعکس می‌نمایند، بنابراین معرف‌های مناسب و مفیدی جهت ارزیابی تغییرات خاک بوده و بعنوان مهمترین معیار کیفیت خاک محسوب می‌شوند (تجادا و همکاران، 2006). فعالیت و پایداری آنزیم‌های خاک به ویژگی‌های خاک، نوع و مقدار مواد اضافه شده به خاک، پوشش نباتی و مدیریت مزرعه بستگی دارد. تحقیقات زیادی در کشور در خصوص این موضوعات صورت گرفته است. فعالیت آنزیم اوره‌آز در 20 خاک مختلف در منطقه اصفهان از 5 تا 79 $\mu g\ N\ g^{-1}$ در گرم خاک در 2ساعت متغیر بود.

فعالیت اوره‌آز بالاترین همبستگی را با کربن آلی خاک نشان داد، درحالیکه با pH، SAR، CCE، CEC و تعداد کل باکتری‌ها و قارچ‌های خاک همبستگی نداشت (نوربخش و همکاران، 1380). فعالیت آنزیم ال-آسپارازیناز با ویژگی‌های خاک از قبیل محتوای کربن آلی خاک، نیتروژن کل همبستگی داشته ولی با pH، CCE، CECو توزیع اندازه ذرات خاک همبستگی نشان نداد (نوربخش و همکاران، 1385). کاربرد لجن فاضلاب در 10 خاک آهکی در چهارمحال و بختیاری نشان داد که فعالیت فسفاتاز قلیایی با فسفرکل، فسفرآلی و فسفر متصل به اکسیدهای آهن همبستگی دارد (رئیسی و حسین پور، 1393). مواد آلی و کانی‌های رس با جذب آنزیم‌های خاک در ثبات و ماندگاری آنها مؤثر می‌باشند. کربن آلی خاک مهمترین فاکتور کنترل کننده فعالیت آنزیم‌های خاک بوده و شاخص مطمئنی برای تخمین فعالیت آنزیمی می-باشد. علاوه بر ویژگی‌های خاک، پوشش نباتی یا نوع کاربری اراضی نیز، بر فعالیت آنزیمی خاک تأثیر گذار است. بررسی فعالیت آنزیم سلولاز در مراتع، جنگل پهن برگ، جنگل سوزنی برگ، اراضی یم و فاریاب در استان همدان نشان داد که فعالیت سلولاز در کاربری‌های مختلف از 0/17 در اراضی دیم تا 0/38 $\mu g\ Glucose\ g^{-1}$ soilدر جنگل پهن برگ متغیر می‌باشد (صفری و شریفی، 1385). فعالیت فسفاتاز اسیدی در مناطق فندق کاری در استان اردبیل، گیلان و البرز در تابستان 2/5 برابر بیشتر از بهار بود، درحالیکه فعالیت فسفاتاز قلیایی 2برابر یا کمتر از ان، در سه منطقه فوق بود (مراقبی و همکاران، 1391). در طی فصول بهار و پاییز فعالیت فسفاتاز اسیدی، قلیایی و دهیدروژناز در جنگل سروکوهی در خراسان، گلستان، اردبیل و چهارمحال و بختیاری در زیر تاج درختان بیش از فضای باز بود. فعالیت فسفاتاز اسیدی، قلیایی، دهیدروژناز و اوره آز در جنگل توسکای در شرایط قرق بیش از شرایط چرا بود (متینی‌زاده و همکاران، 1391). مدیریت مزرعه از جمله مدیریت مصرف کود و بقایا عواملی هستند که بر فعالیت آنزیمی خاک‌ها مؤثرند. در خاک‌های آهکی زیر کشت ذرت، کود مرغی بدلیل تحریک فعالیت میکروبی، بیش از اوره بر فعالیت اوره آز، فسفاتاز اسیدی، قلیایی و ساکاراز مؤثر بود (فریدونی و همکاران، 1388).

کاربرد لجن فاضلاب در اراضی زیر کشت ریحان فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی را افزایش داد و کاربرد لجن فاضلاب همراه با کودهای شیمیایی فعالیت آنزیم‌ها را تشدید نمود (دهقان و همکاران، 1391). مصرف کودهای فسفاتی و آبیاری با آب شور در شبدر، فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی را کاهش داد (قولرعطا و همکاران، 1388). ارزیابی نقش مدیریت مزرعه (مصرف بقایای جو، سوزاندن بقایا، شخم و مصرف کودهای نیتروژنی) نشان داد که سوزاندن بقایا و شخم فعالیت فسفاتاز قلیایی و اوره آز را کاهش داد، درحالیکه بی خاکورزی و حفظ بقایا مؤثرترین مدیریت در جهت حفظ و افزایش فعالیت آنزیم‌ها بودند (حسینی و همکاران، 1391). تنش غرقاب در باغات نارنگی در شرق مازندران،

فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش داد (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1392).

فهرست و ویژگی‌های میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی جمع‌آوری شده از خاک‌های کشور

در طی یک دهه گذشته در قالب طرح‌ها و پروژه‌های پژوهشی و نیز پایان‌نامه ها و رساله‌های دانشجویان، تعداد قابل توجهی از انواع میکروارگانیسم‌ها جداسازی، غربالگری و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و برخی از آنها برای تکثیر انبوه و عرضه به شکل کود زیستی در اختیار بخش خصوصی قرار گرفته‌اند. جدول 6 فهرست و مشخصات برخی این میکروارگانیسم‌ها را که هم‌اکنون در کلکسیون میکروبی موسسه تحقیقات خاک و آب نگهدار می‌شوند، نشان می‌دهد. بی شک وجود چنین مجموعه‌ای از الزامات لاینفک کارهای پژوهشی در راستای کاربرد دانش بیولوژی و بیوتکنولوژی در کشاورزی و منابع طبیعی است. امید است با غنی‌تر شدن این مجموعه و شکل‌گیری آن در قالب کلکسیون میکروبی و برقراری ارتباط آن با کلکسیون‌های فعال دنیا، شاهد استفاده بیشتر و بهتر از پتانسل زیستی خاک در بخش کشاورزی و منابع طبیعی کشور باشیم.

توانمندی‌های کشور در تولید کودهای زیستی

دانش فنی تولید بسیاری از کودهای زیستی

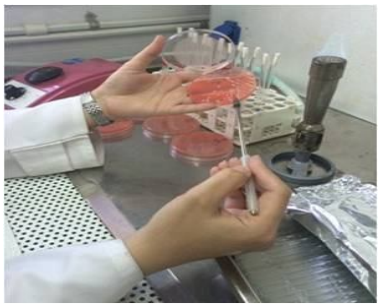
وجود دانش فنی بومی تولید کودهای زیستی که نتیجه تحقیقات هدفمند انجام شده در مراکز پژوهشی و دانشگاه‌ها می‌باشد، بستر مناسبی را برای توسعه تولید و مصرف این کودها فراهم نموده است. تعداد 13 فقره دانش فنی به ثبت رسیده است که برخی از آنها برای تولید انبوه در اختیار بخش خصوصی قرار گرفته است (بشارتی و خاوازی، 1389).

توان سخت افزاری و آمادگی تولید این کودها

تعدد مراکز تولید و شرکت‌های خصوصی فعال در حوزه تولید کودهای زیستی که برخی از آنها از تجهیزات و امکانات مناسبی برخوردار هستند، از نقاط قوت توسعه بیولوژی خاک در کشور است. بیش از 30 شرکت ثبت شده در این عرضه وجود دارند که تعدادی از آنها تجریه تولید کودهای زیستی را دارا می‌باشند (بشارتی و خاوازی، 1389).

زمینه مصرف این کودها در زراعت و باغات کشور

سطح قابل توجه اراضی زیر کشت لگوم و غلات در کشور وجود داشته و امکان بهره‌گیری از میکروارگانیسم‌های مفید در این اراضی مهیاست. حدود 1/8 میلیون هکتار اراضی زیر کشت لگوم در کشور وجود دارد، این گیاهان توانایی برقراری همزیستی تثبیت کننده نیتروژن با باکتری‌های ریزبیومی همزیست را دارا می‌باشند. از طرفی بیش از 50 درصد از اراضی کشاورزی را اراضی زیر کشت انواع غلات تشکیل می‌دهند. گندم مهمترین آنها بوده و بیشترین سطح و تولید را به خود اختصاص داده و محصول استراتژیک کشور محسوب می‌شود. با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده در ایران، باکتری‌های PGPR با مکانیسم‌های مختلف باعث بهبود رشد و افزایش عملکرد گندم می‌شوند. لذا فرصت مناسبی برای تحقیق، تولید و مصرف کودهای ریزوبیومی و کودهای حاوی باکتری‌های PGPR در کشور وجود دارد (بشارتی و خاوازی، 1389).



شکل 11- کشت و خالص سازی باکتری‌های *ریزوبیوم* همزیست گیاهان لگوم در موسسه تحقیقات خاک و آب (چپ) و آمپول‌های لیوفیلیز شده حاوی میکروارگانیسم‌های نگهداری شده در بانک میکروبی موسسه (راست)

جدول 4- فهرست و مشخصات میکروارگانیسم‌های موجود در کلکسیون میکروبی موسسه تحقیقات خاک و آب

ردیف	نام میکروارگانیسم	تعدادجدایه موجود در بانک	ویژگی	محل جداسازی	شکل نگهداری
1	*ریزوبیوم* همزیست لوبیا	60	توان تثبیت همزیستی نیتروژن	استانهای مختلف کشور	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
2	*ریزوبیوم* همزیست سویا	50	توان تثبیت همزیستی نیتروژن	مازندران-گلستان-لرستان-خوزستان	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
3	*ریزوبیوم* همزیست نخود	72	توان تثبیت همزیستی نیتروژن	استانهای مختلف کشور	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
4	فلاوباکتریوم	40	دارای خصوصیات محرک رشدی گیاه	ریزوسفر گندم استانهای مختلف کشور	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
5	*ازتوباکتر*	10	تثبیت آزادزی نیتروژن و دارای خصوصیات محرک رشدی گیاه	استانهای مختلف کشور	اسلنت
6	*ریزوبیوم* همزیست شبدر	30	توان تثبیت همزیستی نیتروژن	استانهای لرستان-همدان-مازندران	اسلنت
7	*ریزوبیوم* همزیست عدس وباقلا	120	توان تثبیت همزیستی نیتروژن	اردبیل	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
8	باکتریهای حل کننده فسفر	300	توانایی انحلال فسفاتهای نامحلول آلی و معدنی	گیلان-مازندران-فارس-کرمانشاه	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
9	قارچهای حل کننده فسفر	350	توانایی انحلال فسفاتهای نامحلول آلی و معدنی	گیلان-مازندران-فارس-کرمانشاه	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
10	سودوموناسهای فلورسنت	209	دارای خصوصیات محرک رشدی گیاه	ریزوسفر گندم و کلزا و برنج استانهای مختلف	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
11	باکتریهای سلولیتیک	8	تجزیه مواد آلی حاوی سلولز	بقایای کشاورزی مختلف	آمپول لیوفیلیزه
12	باکتریهای تجزیه کننده مواد نفتی	90	توانایی استفاده از ترکیبات آرماتیک و آلیفاتیک نفتی	خوزستان-بوشهر	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
13	*سینوریزوبیوم* همزیست یونجه	210	توان تثبیت همزیستی نیتروژن	همدان-زنجان-تهران	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
14	باکتریهای اکسیدکننده گوگرد	40	توانایی اکسایش گوگرد عنصری	گیلان-آذربایجانغربی-کرمان-کرمانشاه-لرستان – تهران- البرز	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
15	*آگروباکتریوم*	4	ایجاد انبوهی در ریشه ها و تولید ریشه در کشت بافت		اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
16	*باسیلوس*	80	دارای خصوصیات محرک رشدی گیاه	استانهای مختلف کشور	اسلنت-آمپول لیوفیلیزه
17	قارچهای میکوریزی	5	برقرای همزیستی میکوریزی در گیاهان و بهبود رشد گیاه با مکانیسمهای مختلف	آذربایجانشرقی-فارس-خراسان-گلستان	اسپور، بر روی حامل ها

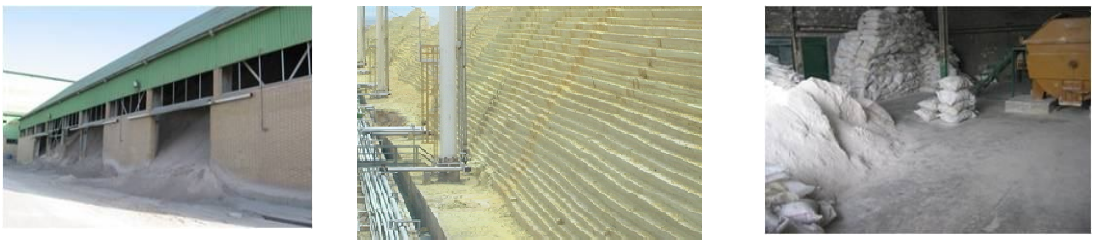
شکل 12- نمایی از سالن تولید (چپ) و انبار ذخیره کودهای زیستی(راست) مربوط به بخش خصوصی تولیدکننده این کود ها در داخل کشور

وجود مواد اولیه تولید کودهای زیستی در کشور

وجود منابع مواد اولیه‌ای که در تهیه انواع کودهای زیستی یا در تحقیقات در سطح پایلوت مورد استفاده قرار می‌گیرند یکی از فرصت‌های تولید و مصرف این کودها در کشور است. مثلاً در بسیاری از کشور از منابع پیت بعنوان ماده نگهدارنده در کودهای زیستی مورد استفاده می‌شود. در ایران این منابع محدود بوده و یا از کیفیت مناسبی برخوردار نیستند ولی منابع فراوان پرلیت، خاک فسفات، گوگرد، انواع مواد و کانی‌های معدنی (ورمیکولیت- بنتونیت و ....) در کشور وجود دارند که از کمیت و کیفیت مناسبی برخورداند و قابلیت کاربرد در تهیه انواع کودهای زیستی را دارند (بشارتی و خاوازی، 1389).

وجود حمایت‌های قانونی در زمینه توسعه تولید و کودهای زیستی

وجود برخی مواد قانونی در راستای حمایت از تولید و مصرف کودهای آلی و زیستی و توجه به پتانسیل زیستی خاک در جهت تولید محصولات سالم و حفاظت از منابع پایه تولید، از فرصت‌های پیش روی تولید و مصرف این کودها محسوب می‌شوند. از جمله این مواد می‌توان به بند ز ماده 143 قانون برنامه پنجم توسعه، قانون افزایش بهره‌وری کشاورزی و منابع طبیعی اشاره نمود (بشارتی و خاوازی، 1389).



شکل 13- وجود منابع فراوان پرلیت (سمت راست)، گوگرد (وسط) و خاک فسفات (چپ) که در تولید کودهای زیستی کاربرد دارند

شکل 14- نمونه‌هایی از کودهای‌زیستی تولیدشده توسط بخش خصوصی با استفاده از دانش فنی ثبت‌شده توسط موسسه تحقیقات خاک و آب

اولویت‌های بیولوژی خاک در کشور

1. لزوم پایش کیفیت زیستی خاک‌های کشور (بررسی تغییرات جمعیت، فعالیت، تنوع و ترکیب نسبی موجودات خاکزی بویژه میکرارگانیسم‌های مفید خاکزی) و استفاده از نتایج برای مدیریت جامعه زیستی خاک و نیز ایجاد کلکسیون میکروبی ملی و ارتباط آن با کلکسیون‌های بین المللی
2. ضرورت فرهنگ سازی و افزایش آگاهی اقشار مختلف (بهره برداران، مروجان، کارشناسان، اعضای هیات علمی، سیاست گزاران، مدیران و افکار عمومی و ...) از اهمیت، مدیریت و بهره‌برداری از پتانسیل زیستی خاک، نقش آن در تولید محصولات سالم و سلامت جامعه، نقش آن در کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و حفظ منابع پایه آب و خاک (خاوازی و همکاران، 1392).
3. ضرورت تدوین قوانین، استانداردها و دستورالعمل‌ها در خصوص حفاظت، ارتقاء و بهره‌برداری از پتانسیل زیستی خاک
4. ایجاد زیر ساخت‌های لازم برای تولید، مصرف و نظارت بر تولید نهاده‌های زیستی با هدف حفاظت و سلامت منابع پایه، تولید محصول سالم و سلامت جامعه، کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و کاهش تنش ها (خاوازی و همکاران، 1392).

5. بسترسازی برای مشارکت شرکت‌های دانش‌بنیان در تحقق استفاده از پتانسیل زیستی خاک، آموزش، ترویج ، تحقیقات و ....
6. ایجاد سازوکار لازم برای اقتصادی کردن، توسعه صنعتی و تولید انبوه دانش های فنی حاصل از پژوهش‌های بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک ، ایجاد بستر اجرایی مناسب برای امکان رقابت نهاده‌های زیستی با انواع شیمیایی، پژوهش در راستای تسهیل کاربرد میکروارگانیسم‌ها در کشاورزی (پوشش دار کردن بذور و...)
7. ایجاد شرایط لازم برای ارتقاء کمی و کیفی جامعه زیستی خاک (مصرف انواع مواد آلی در خاک، برگرداندن بقایا به خاک، حذف آلاینده‌ها، اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک مثل زهکشی و ...)
8. توجه به بیوتکنولوژی و دستکاری میکروب‌ها برای یافتن سویه های نو ترکیب با ویژگی‌های مورد نظر، تولید باکتری‌های محرک رشد گیاه یا باکتری‌های پالاینده خاک و آب، باکتری‌ها یا قارچ‌های تراریخته برای بهینه سازی تولید کمپوست
9. بکارگیری تکنیک‌های جدید مانند تعیین الگوی اسیدهای چرب فسفولیپیدی برای تعیین تنوع و فراوانی جوامع میکروبی در اکوسیستم‌ها.
10. رصد جوامع میکروبی در روند گرمایش کره زمین، خشکسالی‌ها، شورشدن اراضی، استفاده ناصحیح کودهای شیمیایی، روند آلوده شدن خاک‌ها، تغییر پوشش‌های گیاهی و...
11. مدیریت بخش زنده خاک در راستای مقابله با پدیده‌های چون گرم شدن کره زمین، خشور شدن منابع خاک و آب و...
12. توجه به زیست پالایی خاک‌های آلوده با عنایت به روند رو به تزاید آلودگی محیط و پتانسیل مناسب میکروب‌ها در رفع انواع آلودگی‌ها

چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی بیولوژی خاک در ایران

1. فقدان فرهنگ و آموزش عمومی و رسانه‌ای در زمینه مصرف محصولات کشاورزی سالم و نقش دانش بیولوژی خاک در تولید محصولات سالم و سلامت جامعه (خاوازی و همکاران، 1392).
2. عدم توجه کافی به اهمیت، نقش و ابعاد بخش زنده خاک، ضرورت شناسایی و مدیریت آن و نبود دوره‌های آموزشی، دروس مرتبط و رشته‌های تحصیلی در زمینه شناخت، مدیریت و بهره‌برداری از پتانسیل زیستی خاک
3. عدم شناخت کافی سیاستگذاران، مدیران، کارشناسان، مروجان، بهره‌برداران و کشاورزان از مزایای بخش زنده خاک، جایگاه آن در حفاظت از منابع پایه تولید، بهبود کمی و کیفی محصولات، تولید محصول سالم و بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک
4. وجود اقلیم خشک و نیمه خشک در اکثر مناطق کشور، فقر ماده آلی و حاصلخیزی خاک‌ها و نهایتاً نامناسب بودن وضعیت کمی و کیفی جامعه زیستی خاک‌های کشور و نبود برنامه عملیاتی برای بهبود شرایط موجود.
5. فراهم نبودن زیرساخت‌های لازم برای مشارکت بخش خصوصی در تحقیقات مسئله محور در حوزه بیولوژی خاک و تولید دانش‌های فنی انواع کودهای زیستی
6. عدم وجود برنامه منسجم و هدفمند در تربیت نیروی انسانی متخصص در گرایش‌های مختلف بیولوژی خاک
7. عدم توجه به کیفیت خاک اراضی بهره‌برداران، کیفیت محصولات کشاورزی و نقش و جایگاه بیولوژی خاک (بویژه کودهای زیستی) در تولید محصولات سالم و حفاظت از منابع خاک
8. فقدان ساختار و قوانین و مقررات لازم برای برنامه‌ریزی، هدایت، نظارت، حمایت، ترویج، توصیه، مصرف و توزیع کودهای زیستی و حمایت از تولید و ثبت دانش فنی و تجاری سازی آنها
9. مصرف غیر اصولی و غیر علمی کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی و نهایتاً لطمه به جوامع میکروبی، جانوری مفید خاکزی و پتانسیل زیستی موجود در خاک، از جمله مصرف کودهای نیتروژنی در اراضی زیر کشت لگوم
10. عدم وجود ارتباط مناسب و تعامل هدفمند بین دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی برای تبادل اطلاعات علمی، انجام تحقیقات منسجم و آموزش نیروی متخصص متناسب با نیازها و همچنین عدم برخورداری مراکز تولید کودهای زیستی از تکنولوژی، دانش و نیروی متخصص مناسب و کارآمد
11. نبود زیر ساخت‌های کافی برای شناسایی جوامع زیستی خاک‌های کشور، پایش تغییرات آنها و نهایتاً نبود بانک اطلاعاتی پایه در خصوص جوامع میکروبی و جانوری بومی خاک‌های کشور

فرصت‌ها

1. وجود دانش فنی بومی برای تولید کودهای زیستی و نیز وجود بخش خصوصی توانمند در تولید کودهای زیستی
2. وجود منابع فراوان مواد اولیه در تولید کودهای زیستی (پرلیت، خاک فسفات، گوگرد، انواع مواد و کانی‌های معدنی (ورمیکولیت- بنتونیت و ....) در کشور
3. وجود سطح قابل توجه اراضی زیر کشت لگوم و غلات در کشور و امکان بهره‌گیری از میکروارگانیسم‌های مفید در این اراضی، وجود فرصت مناسب برای تهیه مایه تلقیح‌های مناسب برای شرایط خاکی و اقلیمی حاکم بر این اراضی
4. تعدد مراکز علمی (آموزشی و پژوهشی) مرتبط با بیولوژی خاک
5. وجود کلکسیون حاوی میکروارگانیسم‌های بومی با قابلیت‌های متفاوت در مراکز آموزشی و پژوهشی کشور
6. وجود فرصت پژوهش در راستای تولید کودزیستی گوگردی مناسب برای خاک‌ها، اقالیم و گیاهان مختلف با اثربخشی مناسب با عنایت به فراوانی گوگرد مازاد تولید داخل و آهکی بودن خاک‌های کشور
7. مصرف بالای کودهای فسفری، وارداتی بودن این کودها، وجود فرصت تحقیق در راستای دستیابی به کود زیستی فسفاته با اثربخشی مناسب در شرایط خاک‌ها و اقالیم متفاوت برای محصولات مختلف
8. خشکی و شوری اراضی و فرصت بهره‌گیری از پتانسیل قارچ‌های مایکورایزا، وجود فرصت مناسب برای تحقیق و دستیابی به راهکارهای مبتنی بر بکارگیری قارچ‌های مایکورایزا جهت برون رفت از این وضعیت.
9. تنوع اقلیمی، تنوع خاک‌ها و نهایتاً تنوع زیستی موجود در خاک و امکان پژوهش بر روی انواع موجودات زنده خاکزی
10. وجود تعداد قابل توجهی از نیروی انسانی متخصص در گرایش‌های مختلف بیولوژی خاک

فهرست منابع:

1. ابراهیم‌زاد، س.ع. ، ن. علی اصغرزاد و ن. نجفی. 1392. تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فعالیت آنزیمی خاک در جلگه سلدوز (آذربایجانغربی- نقده) نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد سوم، شماره دوم،ص: 133-149.
2. ابراهیمی، م. و ع. اخگر. 1393. تأثیر تلقیح تلفیقی باکتری سینوریزوبیوم (Sinorhizobium sp.) و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه بر تثبیت نیتروژن و رشد یونجه. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد چهارم، شماره اول،ص: 183-199.
3. ابوالحسنی زراعتکار، م.، ا. لکزیان، ا. غلامحسین پور جعفری و ع. اخگر. 1389 . تأثیر تنش خشکی بر سیستم تثبیت نیتروژن باکتری Sinorhizobium و انباشت متابولیت‌های سازگار در گیاه یونجه (Medicago sativa sp.) رقم بمی. نشریه آب و خاک. جلد 24 شماره 3 . ص:407-416.
4. اثباتی، م. ، ع. اخوان سپهی؛ ا. اصغر زاده؛ م.خسروشاهلی.1393 . جدا سازی، شناسایی و بررسی جمعیت گونه‌های Azospirillum sp.در خاک‌های اطراف تهران و ارزیابی اثرات محرک رشدی آنها بر گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه. مجله زیست شناسی خاک. جلد 2، شماره1. ص:43-54.
5. احمدپور، س. ر. ، م.ع. بهمنیار، س. سالک گیلانی و ا. فرقانی 1390. ارزیابی میزان فعالیت آنزیمهای اورهآز و فسفاتاز قلیایی و تغییر بعضی خصوصیات شیمیایی در خاک تیمار شده با کمپوست و ورمی کمپوست تحت کشت ذرت. مجله پژوهش‌های خاک) علوم خاک و آب . جلد 25 شماره 1. ص:113-123.
6. ارزانش، م.ح.، ن. بنی عقیل، م. قربانلی و م. شهبازی . 1391 .تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر پارامترهای رشدی و غلظت عناصر کم مصرف در دو رقم کلزا تحت تنش شوری. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار جلد دوم، شماره دوم، ص:153-163.

7. اسدی رحمانی، ه.، ک. خاوازی، ا. اصغرزاده، ف. رجالی و م. افشاری. 1389. کودهای زیستی در ایران: فرصت ها و چالش‌ها. اولین کنگره چالش‌های کود در ایران: نیم قرن مصرف کود. هتل المپیک، تهران. ایران.

8. اسدی‌کنگرشاهی، ع. ، غ. ثواقبی فیروزآبادی و ن. اخلاقی امیری. 1392. ثر تنش غرقاب بر فعالیت آنزیم کاتالاز و روند تغییرات کلروفیل برگ نارنگی انشو با پایه‌های مختلف در خاک‌های شرق مازندران. جلد 44، شماره 3، ص: 299-309.

9. اسدی رحمانی، ه. ، م.ع. خودشناس، ا. همتی، م.تکاسی، م. کلهر و ع. محنت کش. 1389. افزایش عملکرد لوبیای تلقیح شده با مصرف تکمیلی کودهای ازته. گزارش نهایی . شماره ثبت 89/13. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج . ایران.

10. اسدی رحمانی، ه.، ا. اصغرزاده، ک. خاوازی و م.ح. ارزانش. 1389. استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) برای افزایش عملکرد گندم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. شماره ثبت 41282. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

11. اصغرزاده، ا.، م. افشاری، ع. توسلی، و. توشیح، ن. دانشی، م. گنجه‌ای، ا. رستمی، ر. سلیمانی، ح. محمودی، م.ص. اسدیان، م. کلهر، و. بلسون، ه. اسدی، ک. خاوازی، و.همتی، ن. علیزاده و م. شمشیری پور. 1376. کاهش مصرف کودهای ازتی از طریق افزایش پتانسیل بیولوژیک ازت در مناطق زیر کشت نخود. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. شماره ثبت 86/567. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

12. اصغرزاده، ا.، م. رفیعی دولت آبادی، م. کارگر و ه. اسدی رحمانی. 1392. تنوع ژنتیکی گونه های مزوریزوبیوم همزیست نخود بومی خاک‌های ایران. مجله پژوهش‌های خاک. جلد 27. شماره 1. ص: 121-129.

13. اطرشی، م.، ف.، وفادار اصفهان،و ر. عموآقایی. 1394. اثر قارچ میکوریز و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه بر سرعت رشد، زمان گلدهی و الگوی تجمع استویوزاید در گیاه استویا (Bert rebaudiana stevia). دوماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد31، شماره 2. ص: 220-234.

14. افشاری، م.، ف. رجالی، ر. ایرانی پور، م. کاظمی کلاچی، ع. چراتی آرایی، ع. ضیاییان، س. غالبی، س. جواهری، م. کلهر، ا. اسدی جلودار، م. رضایی. 1391. بررسی کارایی مایه تلقیح‌های مختلف برای افزایش تثبیت نیتروژن و عملکرد سویا. گزارش نهایی شماره 41282. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

15. افشاری، م.، م.ح. ارزانش، ه. خلفی، ع. علیزاده. 1385. بررسی درجه کارایی باکتری‌های بومی *Rhizobium legominosarum bv. Viciae* همزیست با عدس در خاک‌های استان اردبیل. گزارش نهایی شماره 85/1309. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

16. افشاری م.، صعودی م. وا. نوحی. 1385. تهیه تلقیح ریزوبیومی از سویه‌های بومی ریزوبیوم برای لوبیا. مجله علوم دانشگاه تهران. جلد32. شماره1. ص: 1-9.

17. امیدی، م. میرزاخانی و م.ر. اردکانی . 1393. ارزیابی صفات کیفی گلرنگ (Carthamus tinctorius L.) تحت تأثیر کاربرد ازتوباکتر و همزیستی میکوریزایی. نشریه بوم شناسی کشاورزی . جلد 6، شماره 2.

18. بحرانی، ع.، م. حسینی، س. معمار، ز. طهماسبی. 1386. بررسی تأثیر باکتری‌های ازوسپریلوم و ازتوباکتر همراه با مصرف ریزمغذی‌ها بصورت محلولپاشی و کاربرد در خاک بر خصوصیات کمی و کیفی 5 رقم گندم بعد از کشت ذرت در استان فارس. مجله علوم کشاورزی ایران. دوره1-38، شماره2.

19. بشارتی، ح. و ک. خاوازی. 1389. استفاده از پتانسیل بومی موجود در کشور برای تولید کودهای زیستی و آلی و تولید محصول سالم(چالش‌ها و محدودیت‌ها). اولین کنگره چالش‌های کود در ایران. 10-12 اسفند. تهران. ایران.

20. بشارتی، ح.، م. قاسم زاده گنجه‌ای، ع.توسلی، ع. موسی نژاد، ر.ع. دهقان. 1388. بررسی پراکنش جمعیت میکروارگانیسم-های اکسیدکننده گوگرد و پتانسیل اکسایش گوگرد در خاک‌های زراعی چهار استان کشور. گزارش‌نهایی شماره ثبت88/630، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج ، ایران.

21. بشارتی، ح.، ن. صالح راستین، م. اردلان و ب. یخچالی. 1377. بررسی اثرات کاربرد گوگرد به همراه گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی در خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. کرج. ایران.

22. بشارتی، ح.، ن. صالح راستین، م.ج. ملکوتی و ع. علیزاده. 1382. تهیه ماده نگهدارنده مناسب برای باکتری‌های جنس تیوباسیلوس و مطالعه اثرات متقابل آنها با قارچ‌های میکوریز آربسکولار بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در گندم. رساله دکتری، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران.

23. بلالی علی آبادی ، م. ، کیانمهر، ه. مهرآوران، ح. و حاجیان شهری، م. 1380. معرفی 6 گونه جدید قارچ میکوریز وسیکولار-آرباسکولار (VAM) از خراسان (مشهد). نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم. جلد1 شماره2.

24. بنائی، م.ح.، ع. مومنی، م. بایبوردی و م.ج. ملکوتی. 1384. کتاب خاک‌های ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج . ایران.

25. بنائی، م.ح.1377. نقشه (1:2500000) رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج . ایران.

26. بهبود م.، ا.گلچین، ح. بشارتی. 1391. تأثیر فسفر و تلقیح با باکتری‌های محرک رشد (PGPR) سودوموناس فلورسنس بر عملکرد، گیاه سیب زمینی (Solanum tuberosum) رقم آگریا. نشریه آب و خاک. جلد26 ، شمار02 ص:260-271 .

27. بی نام. 1391. بررسی تأثیر گوگرد و مایه تلقیح باکتری‌های اکسید کننده گوگرد بر عملکرد و جذب عناصر غذایی منتخبی از گیاهان زراعی و برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مشترک موسسه تحقیقات خاک و آب و شرکت ملی گاز ایران (مدیریت پژوهش و فناوری) مفاد قرارداد پژوهشی شماره 63530206. تهران. ایران.

28. بی نام. 1393. دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، تاریخچه و ساختار پردیس. http://utcan.ut.ac.ir/fa/about.

29. پناه پور، ح. 1387. اثر سویه هایی از سینوریزوبیوم ملیلوتی(*Sinorhizobium meliloti*) بر روی خصوصیات کیفی علوفه در 4 رقم یونجه زراعی (*Medicageo sativa* L) تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران. جلد16 شماره 2. ص: 207-217.

30. پناه پور، ح. 1387. بررسی اثرات تلقیح جدایه‌های سینوریزوبیوم بر روی استقرار زود هنگام یونجه (*Medicago.sativa*) L در مناطق خشک و نیمه خشک ایران. تحقیقات مرتع و بیابان ایران. جلد15. شماره1. ص: 129-138.

31. ثابتی امیرهنده، م.ع.، ع.فلاح نصرت آباد، م. نوروزی؛ ا. امیری و ا. آذرپور. 1391. تاثیر کود نیتروژن و ازتوباکتر بر برخی خصوصیات کمی و کیفی توتون گرمخان‌های (Nicotiana tabacum L.). نشریه دانش آب و خاک. جلد 22 شماره 2 . ص:135-149.

32. جهان ح ، م. ، م. آریایی، م. ب. امیری و ح.ر. احیایی. 1392. اثر ریزوباکترهای محرک رشد گیاه بر خصوصیات کمی و کیفی کنجد(*Sesamum indicum* L.) در شرایط استفاده از گیاهان پوششی خلر (*Lathyrus* sp.) و شبدر ایرانی (*Trifolium resopinatum* L.). نشریه بوم شناسی کشاورزی. جلد5. شماره1. ص:1-15.

33. حاجی بلند، ر.، ن. علی اصغرزاد و ز. مهرفر. 1383. بررسی اکولوژیکی ازتوباکتر در دو منطقه مرتعی آذربایجان و اثر تلقیح آن روی رشد و تغذیه معدنی گیاه گندم. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). جلد 8. شماره 2 . ص:75-90.

34. حسینی، م.س.، غ.ح.، حق نیا، ا. لکزیان و ح. امامی.1391. تأثیر کوتاه مدت مدیریت پسماند گیاه جو بر فعالیت آنزیم های اوره آز و فسفاتاز قلیایی در خاک. نشریه آب و خاک. جلد26 شماره3. ص: 545-553.

35. حسین پور، م.، پیرزاد، ع.، ح. حبیبی و م.ح. فتوکیان. 1390. تأثیر کود بیولوژیک نیتروژن دار (ازتوباکتر) و تراکم بوته بر عملکرد و میزان اسانس آنیسون. مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار (دانش کشاورزی) . جلد21 , شماره 1 ص: 69-86.

36. حمیدی، آ.، ا. قلاوند، م. دهقانشعار، م.ج. ملکوتی، ا. اصغرزاده و ر. چوگان.1385. اثرات کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) برعملکرد ذرت علوفه‌ای. مجله پژوهش و سازندگی. جلد 19. شماره1 (پی آیند70) در زراعت و باغبانی. ص:16-22.

37. خاوازی، ک.، ا. اصغرزاده، ه. اسدی، ف. رجالی، ح. بشارتی، ع. فلاح، ه. خسروی، م. افشاری. 1392 . برنامه راهبردی مدیریت بهره‌برداری پایدار منابع خاک" شناسایی ، مدیریت و استفاده از پتانسیل زیستی خاک. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج . ایران.

38. خاوازی، ک.، ح. رحیمیان، م.ج. ملکوتی و ن. صالح راستین. 1382. ارزیابی وضعیت عناصر غذایی خاک و تراکم جمعیت باکتری‌های*Sinorhizobium meliloti* ،کارایی همزیستی و پتانسیل تثبیت زیستی نیتروژن آنها در اراضی زیر کشت یونجه در استان همدان. رساله دکتری، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران.

39. خاوازی، ک.، ف. رجالی، م.ح. ارزانش، ز. خادمی، س. غالبی، ع. چراتی، ع. دریاشناس، م. سپهوند، ه. اسدی، ح. بشارتی، ع. فلاح، ح. رضایی، ج. قادری، م. افشاری و ه. خسروی. 1379. بررسی کارایی انواعی از مایه تلقیح سویا تولید شده در ایران. گزارش نهایی . شماره ثبت 1112. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج . ایران.

40. خسروی، ه. م.ح. سدری،ع. توسلی، ع. ضیائیان، م.ذبیحی، ع. منتظری، ح. بشارتی، ا. اصغرزاده، ه. اسدی رحمانی، ع. فلاح، ه. سجادی، ا. اوتادی. 1388. دستیابی به دانش فنی تولید کود بیولوژیک ازتوباکتر برای مزارع گندم. گزارش نهایی شماره 88/942. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران

41. خسروی، ه.، ک. میرزاشاهی، م. کلهر، م.ر. رمضانپور، ا. میررسولی، ف. رجالی، ه. سجادی، م. ح. کریمیون، م. خیرآوران و ح. حجی آبادی. 1384. دستیابی به دانش فنی تولید مایه تلقیح ریزوبیومی باقلا. گزارش‌نهایی . شماره ثبت 84/631. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج . ایران.

42. خسروی، ه.1376 .بررسی فراوانی و انتشار Azotobacter chroococcum و مطالعه برخی خصوصیات فیزیولوژیک آن در خاک‌های زراعی استان تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

43. خسروی، ه.1393 .ازتوباکتر و نقش آن در مدیریت حاصخیزی خاک. نشریه مدیریت اراضی، جلد 2. شماره 2 . ص: 79-94.

44. خسروی، ه. و ح. محمودی.1392. بررسی اثرات مایه تلقیح ازتوباکتر به همراه کود دامی بر رشد گندم دیم. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد سوم، شماره دوم،ص: 205-219.

45. خلج، م.ع.، ف. مشیری، ه. اسدی رحمانی . 1392. بررسی توان تثبیت بیولوژیک نیتروژن (BNF) توسط سویه های ریزوبیوم در مناطق زیر کشت لوبیا در قزوین. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد 27 ،شماره 1 ،ص. 60-54.

46. درزی، م.ت.، م. حاج سیدهادی و ف. رجالی. 1392. تأثیر کاربرد کود دامی و باکتری‌های محرک رشد بر برخی ویژگی-های مورفولوژیک و عملکرد گیاه دارویی گشنیز .(Coriandrum sativum.L) فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. 28 جلد ، 3 شماره، ص:446-434.

47. دست برهان، س. س. زهتاب سلماسی، ص. نصراله‌زاده؛ ع. توسلی. 1390. تأثیر ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه و مقادیر مختلف نیتروژن شیمیایی بر عملکرد گل و اسانس و کارایی مصرف نیتروژن بابونه آلمانی (Matricaria chamomilla L.). فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. 27 جلد ، 2 شماره، ص:305-290.

48. دهقان منشاوی، ح.، م.ع.بهمنیار، ، ا. لکزیان و س. سالک گیلانی. 1391. تاثیر کاربرد لجن فاضلاب و لجن فاضلاب غنی شده با کود شیمیایی بر میزان کربن آلی، تنفس و فعالیت آنزیمی خاک تحت کشت گیاه ریحان. نشریه آب و خاک. جلد 26 شماره 3. ص: 554-562.

49. ذبیحی، ح. ، غ. ثواقبی فیروزآبادی ، ک. خاوازی و ع. گنج علی. 1388. "رشد وعملکرد گندم در پاسخ به تلقیح باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه در سطوح مختلف فسفر." مجله پژوهش‌های زراعی ایران جلد7، شماره1، ص: 41-51.

50. ذبیحی ح.، ثواقبی غ.، خاوازی ک. وگنجعلی ع. 1388. بررسی تأثیر کاربرد سویه هایی از سودوموناس‌های فلورسنت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در سطوح مختلف شوری خاک. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. دوره 7 شماره1 . ص: 41-51.

51. رجالی، ف.، اسمعیل زاد، ا.، اسدی، ه.، خاوازی، ک.، اصغرزاده، ا.، فلاح، ع.، همتی، و.، علیزاده، ع.، قاضی، ا. و ثقفی، ک. 1390. استفاده از گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزی برای افزایش کارایی زیست پالایی خاک‌های آلوده. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. شماره ثبت 40040. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

52. رجالی، ف.، توسلی، ع.، همتی، و.، اسمعیل زاد، ا.، و ثقفی، ک.1386. تهیه مایه تلقیح قارچ‌های میکوریز آربسکولار به طریقه کشت درون شیشه‌ای و بررسی آن در افزایش رشد و عملکرد گیاهان در تنشهای شوری و خشکی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. شماره ثبت 86/289. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

53. رجالی، ف.، شمشیری پور، م.، ثقفی، ک.، همتی، و.1385. بررسی تاثیر گونه های مختلف قارچهای میکوریز آربسکولار در جذب عناصر معدنی پرمصرف و کم مصرف در گندم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. شماره ثبت 88/1019. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

54. رجالی، ف.، همتی، و.، شمشیری پور، م.، ثقفی، ک.، ز. محمدی، درخشنده، ف.، خیرآوران، م.، علیزاده، ع.، اسمعیل زاد، ا.، نجاتی، ع. و داعی، گ. 1389. شناسایی قارچ‌های میکوریز آربسکولار بومی اراضی زیرکشت گندم دیم و تعیین توانایی آنها برای برقراری رابطه همزیستی با گیاه گندم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. شماره ثبت 89/741. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

55. رجالی، ف.، همتی، و.، شمشیری پور، م.، ثقفی، ک.، ز. محمدی، درخشنده، ف.، خیرآوران، م.، علیزاده، ع.، اسمعیل زاد، ا.، نجاتی، ع. و داعی، گ.1389. تهیه و استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزی نوع آربسکولار در افزایش عملکرد گندم دیم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. شماره ثبت 89/740. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

56. رسولی صدقیانی، م.ح.، رحیمیان، ح.، خاوازی، ک.، ملکوتی، م.ج. و اسدی رحمانی، ه. 1384. بررسی تراکم جمعیت و شناسایی سودوموناسهای فلورسنت در ریزوسفر گندم مناطق مختلف ایران. مجله علوم خاک وآب. جلد19 شماره 2. صفحات: 224-234.

57. رسولی، ز.، س. ملکی فراهانی و ح. بشارتی.1394. ارزیابی اثر سیستمهای مختلف کودی بر عملکرد زعفران (Crocus) . sativus L.دوماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد31، شماره 2. ص:204 -219.

58. رسولی، س.م. میرزاخانی، ن.ع. ساجدی،1391. اثر تلقیح ازتوباکتر، کابرد کود دامی و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ پاییزه. یافته ای نوین کشاورزی سال هفتم -شماره 2

59. رئیسی، ط. و ع. حسین پور.1393. ارزیابی فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و قابلیت استفاده شکل‌های مختلف فسفر برای گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) در تعدادی از خاک‌های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب شهری. علوم و فنون کشت-های گلخانه‌ای ، سال پنجم ، شماره هجدهم. ص:39-50.

60. زارعی م.، ن.، صالح راستین و غ. ثواقبی. 1390. کارآیی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در گیاه پالایی خاک‌های آلوده به روی به وسیله گیاه ذرت. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک / سال پانزدهم / شماره پنجاه و پنجم . ص: 151-168.

61. سادات، ع.، غ. ثواقبی، ف. رجالی، م. فرحبخش، ک. خاوازی، م. شیرمردی. 1389. تأثیر چند نوع قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد و عملکرد دو رقم گندم در یک خاک شور. نشریه آب و خاک. جلد 24شماره 1 . ص: 53-62.

62. سلطانی طولارود، ع.ا.، پ.عباس‌زاده دهجی؛ ف. رجالی و ع.اخگر. 1393. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های زیر کشت لوبیا و تأثیر آنها بر کلونیزاسیون، تعداد اسپور و پتانسیل لوده‌سازی قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار. مجله زیست شناسی خاک. جلد 2، شماره1. ص: 65-78.

63. سلطانی طولارود، ع.ا.، عباس زاده دهجی، پ.، خاوازی ک.، اسدی رحمانی، ه.، و شهریاری، م.ح. 1393. بررسی اثرات زیستی قارچکش ویتاواکس 34 R رشد و ماندگاری باکتری‌های ریسوسفری محرک رشد گیاه جنس سودوموناس و آزوسپیریلوم. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد چهارم، شماره اول، صفحات:235-247.

64. سیدشریفی ر. ، خاوازی، ک. 1390. تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر مولفه‌های جوانه زنی و رشد گیاهچه ذرت (Zea mays L.). مجله بوم شناسی کشاورزی. دوره3، شماره4. ص: 506-513.

65. شهبازی، ک. و ح. بشارتی. 1392. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی،جلد 1، شماره 1. ص:1-15.

66. صالح راستین، ن. 1384. مدیریت پایدار از دیدگاه بیولوژی خاک. در: خاوازی و همکاران، (مولفین). ضرورت تولید کودهای زیستی در ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

67. صدروی م. 1385. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار مزارع گندم در استان گلستان. مجله رستنیها. جلد7 شماره 2. ص: 129-136.

68. صدروی، م. 1383. معرفی هفت قارچ جدید برای ایران ،مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 9 شماره 1. ص: 15-30.

69. صفری سنجانی، ع.ا.، گ. امتیازی و ح. شریعتمداری. 1381. فعالیت آنزیم های سلولولیتیک بی جنبش شده در برخی از مواد آلی و کانی خاک. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). جلد6 شماره3. ص: 163-173.

70. صفری سنجانی ع. ا. و ز.، شریفی. پیامد برخی از ویژگی‌های خاک بر فعالیت آنزیم سلولاز در شماری از خاک‌های همدان. علوم کشاورزی ایران . 1385 , دوره 37 , شماره 4 ; صفحه 645 تا صفحه 652

71. عباس زاده دهجی، پ.، اسدی رحمانی، ه.، ک. خاوازی، سلطانی طولارود ،ع.ا. ، عبدالرضا اخگر، ع. و امیدواری، م. 1393. تأثیر سودوموناس‌های فلورسنت محرک رشد گیاه بر رشد و نمو کلزا. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد چهارم، شماره اول، صفحات: 201-217.

72. عقیقی شاهوردی، م.، ب.، ممیوند و ه. عطایی سماق. 1393. تأثیر پیش تیمار بذر با باکترهای محرک رشد بر شاخص‌های جوانه زنی گیاه دارویی ریحان تحت تنش شوری.تحقیقات بذر (علوم و تکنولوژی بذر). جلد4 ، شماره4. ص: 38-50.

73. علی اصغرزاد، ن. 1379. بررسی پراکنش و تراکم جمعیت قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک‌های شور دشت تبریز و تعیین اثرات تلقیح انها در بهبود تحمل پیاز و جو به تنش شوری. رساله دکتری، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

74. علی‌آبادی فراهانی، ح. و س.ع. ولدآبادی. 1389. نقش قارچ میکوریز آربسکولار بر گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L) در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش‌های خاک. جلد24 شماره1. ص: 69-79.

75. علیزاده اسکویی، پ.، ن. علی اصغرزاد، ح. شریعتمداری، ا. اصغرزاده و س. باغبان.1388. تأثیر دو گونه از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در کاهش سمیت کادمیوم در گیاه گوجه‌فرنگی با سطوح مختلف فسفر. مجله پژوهش‌های خاک. جلد23 شماره2. ص:217-228.

76. فریدونی ناغانی، م.، ف. رئیسی و س. اله فلاح. 1388. تأثیر منبع و مقدار نیتروژن بر روند فعالیت آنزیمی یک خاک آهکی تحت کشت ذرت علوفه‌ای. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد 23 شماره 4، ص:127-136.

77. فضائلی ع. و ح. بشارتی. 1391. تأثیر شوری بر برخی شاخص‌های رشد و پروتئین کل یونجه تلقیح شده با جدایه‌های باکتری sinorhizobium meliloti در شرایط گلخانه. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. سال سوم. شماره نهم. ص25-38.

78. فلاح، ع.، ح. رحیمیان، ن. صالح راستین و م.ج. ملکوتی. 1382. پراکنش ریزجانداران حل کننده فسفات در برخی از خاک‌های استان گیلان. مجله علوم خاک و آب. جلد 17. شماره 2. ص: 162-176.

79. قاسم، ف.، پوستینی ک.، ح. بشارتی و ع. محمدی. 1389. بررسی سویه‌های ریزوبیومی و واکنش تثبیت بیولوژیک نیتروژن و رشد ارقام یونجه نسبت به تنش شوری. رساله دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات. کرج. ایران.

80. قاسمی پیربلوطی ع.,اله دادی ا. ، اکبری غ، گل پرور ا.ر. 1384.بررسی توان تثبیت بیولوژیکی نیتروژن ارقام متفاوت لوبیا با سوش‌های مختلف باکتری ریزوبیوم در منطقه شهرکرد. پژوهش و سازندگی. ، دوره 18 , شماره 4 (پی آیند 69) در زراعت و باغبانی.

81. قلی پور، ه.، نبی زاده، ا.، ع.، نصرالله زاده. 1387. بررسی میزان تثبیت نیتروژن در یونجه‌های یکساله(*M. truncatula* , *M. rigidula*) در شرایط گلخانه‌ای با استفاده از سوش‌های محلی. مجله پژوهش در علوم زراعی. ج 1 شماره 2. 45-54.

82. قول‌لرعطا م. ف.رییسی و ح. نادیان ، 1387. بررسی اثر شوری و فسفر خاک بر تنفس، زیست توده میکروبی و فعالیت فسفاتازهادر ریزوسفر گیاه شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.). مجله پژوهش‌های خاک، جلد 22، شماره 2. 217-223.

83. کریمی نیا، ا.، ن. صالح راستین و ب. یخچالی. 1377. شناسایی جدایه‌های تیوباسیلوس بومی خاک‌های ایران و ارزیابی تأثیر آنها در کاهش پ هاش خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران.

84. کشاورزافشار، ر.، م. چایچی، ع. علیپور جهانگیری، م. انصاری جوینی، ح. مقدم، م. احتشامی و ک. خاوازی. 1390. تأثیر محلول پاشی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر عملکرد علوفه و دانه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید (Sorghum bicolor var. Speed feed). مجله علوم گیاهان زراعی ایران (علوم کشاورزی ایران). جلد42. شماره3. ص: 575-584.

85. گرجی‌اناری؛ م. ح. رفاهی؛ ح. علیخانی. 1386. بررسی اثرات مصرف کود دامی وکود زیستی (ریزوبیوم) در تولید محصول عدس. دوره 38، شماره 3.

86. گلچین، ا. 1366. اکسایش زیستی گوگرد در خاک‌های شور و قلیایی و افزایش سطح اکسیداسیون گوگرد با تلقیح باکتری‌های اتوتروف. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. کرج. ایران.

87. متشرع زاده، ب. و غ. ثواقبی.1390. بررسی پاسخ‌های آفتابگردان به سمیت کادمیوم و سرب با کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه در یک خاک آهکی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد 25 ،شماره 5 ، ص: 1079-1069

88. متینی زاده، م.، م. خوشنویس، م. تیموری و ا. شیروانی. 1391. تأثیر قرق بر فعالیت آنزیم‌های خاک در رویشگاه ارس (*Juniperus excelsa*) چهارطاق اردل. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. جلد 1 شماره4. ص: 45-52.

89. محمدی، ر.، م. علمایی، ر. قربانی نصرآبادی، م. چاکرالحسینی. 1389. اثرات کود اوره، مواد آلی و باکتری‌های محرک رشد گیاه بر جذب نیتروژن و عملکرد گندم رقم الوند در شرایط گلخانه. پژوهش‌های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی). جلد17. شماره2. ص: 77-92.

90. مراقبی، ف.، متینی زاده، م.، ب. خانجانی شیرازی، م. تیموری و ف. افدیده. 1391. مقایسه تغییرات آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز و اسید فسفاتاز خاک در سه رویشگاه جنگلی و دست کاشت فندق در دو فصل. مجله تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. جلد20 شماره2(48). ص: 233-242.

91. معمار کوچه باغ، ا. و حسین بشارتی. 1391. اثر آلودگی کادمیم بر رشد یونجه و تثبیت بیولوژیک نیتروژن توسط جدایه-های بومی سینوریزوبیوم ملیلوتی. جلد26. شماره 3. ص:289-301.

92. ملایی ف. و ح. بشارتی . 1389. بررسی تأثیر باکتریهای محرک رشد گیاه بر خواص کیفی و کمی قارچ در بسترهای مختلف حاصل (Agaricus bisporus) دکمهای از ضایعات صنعتی و کشاورزی مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). جلد 25 شماره 4.

93. ملک زاده، ط. و ح. بشارتی. 1394. تأثیر گوگرد و تیوباسیلوس بر رشد و جذب برخی عناصر غذایی گیاه سویا در چند خاک آهکی با ظرفیت بافری متفاوت. نشریه پژوهش‌های خاک. جلد 29شماره 2. ص: 132-146.

94. ملکی فراهانی، س.، ر. توکل افشار، ح. حیدری شریف آباد و م. چایچی. 1386. اثر سوش‌های مختلف سینوریزوبیوم ملیلوتی بر تثبیت نیتروژن و خصوصیات رشدی یونجه‌های یک ساله. مجله پژوهش کشاورزی:آب، خاک و گیاه در کشاورزی. جلد7 شماره4. ص: 197-209.

95. ملکی،ع.،ع.ر. بازدار ، ی. لطفی و ا. طهماسبی. 1389. اثر کود زیستی ازتوباکتر و سطوح مختلف کود نیتروژنه بر عملکرد و اجزای عملکرد در سه رقم گندم نان. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف‌های هرز، سال چهارم، شماره 1.

96. میرزاخانی، م.1391. واکنش اجزاء عملکرد گلرنگ به تلقیح با قارچ میکوریزا، باکتری ازتوباکتر و مصرف حاصلخیز کننده - ای شیمیایی. فصلناهه پژوهش‌های علوم گیاهی، شماره پیاپی 62 ، سال هفتم، شماره 6.

97. نظارت، س. و ا. غلامی. 1390. بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه (*Pseudomonas* و *Azospirillum*) بر رشد و عملکرد گیاه ذرت (*Zea mays* L.). مجله زراعت (پژوهش و سازندگی). جلد 24 شماره 2 (پیاپی91). ص:44-51.

98. نعمتی، ا.، ا. گلچین؛ ح. بشارتی. 1394. بررسی اثرات کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی در یک خاک آلوده به کادمیوم. مجله پژوهش‌های خاک.جلد 29، شماره 1، ص: 23-36.

99. نکیسا، ن.، ح. بشارتی و ح. دورودیان. 1394. اثر باکتری باسیلوس سوبتلیس و مقادیر کودشیمیایی سوپرفسفات تریپل بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم برنج (علی کاظمی و هاشمی). مجله پژوهش‌های خاک. جلد 29، شماره 3. ص: 259-268.

100.نوربخش، ف.، حاج رسولیها، ش. و گ. امتیازی. 1380. تأثیر برخی از ویژگی‌های خاک بر فعالیت آنزیم اوره آز در شماری از خاک‌های استان اصفهان. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). جلد56 شماره3. ص: 95-106.

101.نوربخش، ف.، شریعت مداری، ح. و رضایی، ع. 1385. استفاده از روش تحلیل ضرائب مسیر، جهت تفسیر روابط آنزیم-های ال-آسپاراژیناز و اوره آز با برخی از خصوصیات خاک. مجله علمی کشاورزی، ج29. ش2. 117-126.

102.هادی، ح.، ا. اصغرزاده، ج. دانشیان و آ. حمیدی. 1389. تأثیر مایه تلقیح سویا و ازتوباکتر بر گیاهان حاصل از بذرهای سویای تولید شده در شرایط تنش خشکی. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) جلد 24 شماره 2 ص: 165-177.

103.یادگاری، م.، نورمحمدی ق.، ه.اسدی رحمانی.1388. بررسی شاخص‌های رشدی ارقام لوبیا قرمز تلقیح شده با ریزوبیوم و باکتری‌های ریزوسفری افزاینده رشد گیاه (PGPR). بوم‌شناسی گیاهان زراعی (دانش نوین کشاورزی). جلد 5. شماره 15. ص: 153-163.

104.یخچالی، ب. 1365. تکثیر و نگهداری باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد. گزارش‌نهایی پروژه پژوهشی. مرکز خدمات علمی و پژوهشی. وزارت نفت. تهران. ایران.

105. Aliasgharzad, N., Hajiboland R., Olsson P.A. 2011. Lack of arbuscular mycorrhizal colonisation in tea (*Camellia sinensis* L.) plants cultivated in Northern Iran. Symbiosis, 55 (2):91-95.

106. Alimadadi A., Jahansouz, M. R., Besharati H. and Tavakkol-Afshari R. 2010. Evaluating the effects of biofertilizers and seed priming on chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed quality. International Journal of Food, Agriculture & Environment-JFAE-89-103.

107. Daei, G. Ardekani, M.R. Rejali, F. Teimuri, S. Miransari M. 2009. Alleviation of salinity stress on wheat yield, yield components, and nutrient uptake using arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. Journal of Plant Physiology. 166: 617—625.

108. Farajzadeh. D., Yakhchali, B, Aliasgharzad N, Sokhandan-Bashir N, Farajzadeh M. 2012.Plant growth promoting characterization of indigenous *Azotobacter* iaisolated from soils in Iran. Current Microbiology. 64:397-403.

109. Ghorbanian, D., Harutyunyan, S., Mazaheri, D., Rasoli, V. and Mohebi, A. 2012. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and different levels of phosphorus on the growth of corn in water stress conditions. African Journal of Agricultural Research, 7(16): 2575-2580.

110. Khosravi. H., Samar M., Fallahi E., Davoodi H., and 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.

111. Miransari M., Bahrami H.A., Rejali F. and Malakouti M.J. 2009. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. Soil and Tillage Research. 103:282–290.
112. Miransari M., Bahrami H.A., Rejali F. and Malakouti M.J. 2009. Effects of arbuscular mycorrhiza, soil sterilization, and soil compaction on wheat (*Triticum aestivum* L.) nutrients uptake. Soil and Tillage Research. 104 : 48–55
113. Paterson, E. 2003. Importance of rhizodeposition in the coupling of plant and microbial productivity. European Journal of Soil Sciences. 54: 741-750.
114. Sadat Noori, A. Manochehr Kalantari K., Sharifi, M. Naseri, F. and Tahernezhad, A . 2009. Mycorrhizal status of some dominance plants in Kerman. Environmental Sciences. 6(2):1-10.
115. Salimpoura, S., Khavazi K., Nadiana H., Besharati H. and Miransari M. 2012. Canola oil production and nutrient uptake as affected by phosphate solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. Journal of Plant Nutrition 35(13):1997-2008.
116. Tavasolee A, Aliasgharzad N, Salehi GR, Mardi M, Asgharzadeh A, Akbarivala S. 2011. Effects of co-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia on fungal occupancy in chickpea root and nodule determined by Real-Time PCR. Current Microbiology. 63:107–114.
117. Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J.L., and Hernandez, M.T. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. Soil Biology Biochemistry. 38: 1413-1421.