

کودهای زیستی فسفره و ضرورت توسعه آنها در کشور

فرهاد رجالی^۱، هادی اسدی رحمانی، کاظم خاوازی، احمد اصغرزاده و اشرف اسمعیلی زاد

عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب. frejali@yahoo.com

عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب. asadi_1999@yahoo.com

عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب. kkhavazi@yahoo.com

عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب. a_asgharzadeh_2000@yahoo.com

کارشناس ارشد موسسه تحقیقات خاک و آب، noblesse55@gmail.com

دریافت: آبان ۱۳۹۲ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۲

چکیده

طبیعت خاک‌های کربناتی که بخش عمده‌ای از اراضی زراعی و باغی کشورمان را نیز شامل می‌شود، باعث شده تا استفاده از کودهای شیمیایی فسفره از کارایی کمی در این‌گونه اراضی برخوردار بوده و بدین دلیل کشاورزان برای حصول نتیجه مورد نظر هر ساله مقادیر متناهی از این نهاده شیمیایی را به اراضی زیر کشت اضافه نمایند. محدودیت منابع فسفر در دنیا و قیمت روز افزون کودهای فسفره، واردات آنها را به کشور با مشکل روبرو ساخته و مصرف بی‌رویه آنها در کشور آلودگی‌های زیست محیطی را به دنبال داشته است. چنانچه بتوان فسفر تجمع یافته در خاک را به فرم قابل استفاده گیاه تبدیل نمود، می‌توان ضمن کاهش مصرف کودهای فسفره رشد و عملکرد مناسب گیاهان را نیز تضمین نمود. گروهی از ریزجانداران خاکزی اعم از قارچ‌ها و باکتری‌ها این توانایی را دارند که با استفاده از مکانیسم‌های ویژه-ای در میکروسایتهای خاک اطراف ریشه گیاهان، فسفر را از فاز تثبیت شده خارج نمایند. جداسازی، شناسایی، تکثیر و فرمولاسیون این ریزجانداران اساس و پایه تولید نوع جدیدی از کودهای زیستی به نام کودهای بیولوژیک فسفره را تشکیل داده است. در کشورهای توسعه یافته هم اکنون این نوع فرآورده‌های زیستی از فرم تک کاربردی خارج شده و فرمولاسیون‌های جدید حاوی چند نوع ریزجاندار متفاوت با کاربردهای مختلف از جمله تامین عناصر مورد نیاز گیاه به ویژه فسفر و افزایش مقاومت گیاه میزبان به انواع تنش‌های زنده و غیر زنده می‌باشد. سابقه استفاده از این نوع فرآورده‌های زیستی در کشور به یک دهه قبل بر می‌گردد. انواعی از ریزجانداران به کار گرفته شده در کشور شامل ریزجانداران اکسیدکننده گوگرد، ریزجانداران حل‌کننده فسفات و قارچ‌های میکوریزی بوده‌اند. نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در ارتباط با این نوع نهاده‌های زیستی نشان داده است که دامنه تاثیر آنها بسته به نوع گیاه میزبان و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک متفاوت بوده و کاربرد آنها توانسته است ۲۵ تا ۵۰ درصد از نیاز فسفره گیاه میزبان را تامین نمایند. حرکت به سمت استفاده از تکنولوژی-های مدرن برای تولید این ریزجانداران و استفاده از فرمولاسیون‌های جدید می‌تواند ضمن افزایش زمینه کاربرد این ترکیبات زیستی در کشور، زمینه مناسبی را برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفره فراهم آورد.

واژه های کلیدی: فسفات های نامحلول، تلقیح، قارچ‌های میکوریزی، ریزجانداران حل‌کننده فسفات.

افزایش نیاز به تولیدات کشاورزی را باید از طریق افزایش تولید در واحد سطح پاسخ داد و این خود مصرف بیش از پیش کودهای شیمیایی را در پی خواهد داشت.

مصرف کودهای نیتروژنه در سال ۲۰۱۰، حدود ۹۵/۵ میلیون تن برآورده شده است. در مورد کودهای فسفره به صورت P_2O_5 و پتاسه به صورت K_2O میزان مصرف در سال ۲۰۱۰ بر طبق آمار FAO، به ترتیب ۳۰/۴ و ۲۹/۴ میلیون تن تخمین زده شده است.

اگرچه کاربرد کودهای شیمیایی در ابتدا تاثیر به سزایی در افزایش عملکرد داشت، لیکن استفاده بیش از حد این نهاده‌ها منجر به کاهش حاصلخیزی خاک شده و تخریب محیط زیست را در پی داشته است. علاوه بر این، کارایی مصرف کودهای شیمیایی هم‌اکنون از لحاظ تئوری به بالاترین سطح خود رسیده است، بدین معنی که استفاده بیش از این از کودهای شیمیایی به سختی می‌تواند عملکرد را افزایش دهد (احمد، ۱۹۹۵).

از بین عناصر معدنی، کمبود دو عنصر نیتروژن و فسفر بیشترین محدودیت را برای رشد و عملکرد گیاهان ایجاد می‌کند. برای پاسخ به این نیاز، سالیانه بیش از ۴۵ میلیارد دلار صرف تهیه و مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه (کوش و بنت، ۱۹۹۲) و بیش از چهار میلیارد دلار صرف کودهای فسفره (گولدشتاین و همکاران، ۱۹۹۳) در جهان می‌شود. در کشور ایران نیز سالیانه متجاوز از سه میلیون تن کود مصرف می‌شود. قسمتی از کودهای مصرفی در داخل کشور تولید و مابقی از کشورهای دیگر وارد می‌شود. یکی از انواع کودهای وارداتی کودهای فسفره است.

میزان مصرف کودهای فسفره در کشور حدود ۷۰۰ هزار تن است که بخش اندکی از آن در داخل و سالیانه حدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ هزار تن از این محصول شیمیایی از خارج وارد می‌شود. برای تامین کل کود وارداتی، در سال ۱۳۹۲ بیش از ۱۱ میلیون دلار ارز از کشور خارج شده است (سایت خبری افکار نیوز). این در

بیش از ۲۰۰۰ سال پیش کشاورزان به تاثیر مثبت ناشی از اضافه شدن مواد معدنی (خاکستر بقایای گیاهی و آهک) به خاک در افزایش رشد گیاهان پی برده بودند، لیکن این مسئله که عناصر معدنی اضافه شده به خاک در نهایت به مصرف تغذیه گیاهان می‌رسد، تنها قدمتی ۱۵۰ ساله دارد. لیبیگ (۱۸۷۳-۱۸۰۳) اولین کسی بود که به طور علمی به اهمیت عناصر معدنی در رشد و عملکرد گیاهان اشاره کرد. کارهای صورت گرفته توسط وی، سایرین را بر آن داشت تا تغذیه گیاهان از عناصر معدنی را به طور علمی پیگیری کرده و در نهایت شاخه جدیدی در علوم به نام علم تغذیه گیاهی پایه‌گذاری شد.

متعاقب شناخت تاثیر عناصر معدنی در افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی و باغی مصرف کودهای شیمیایی حاوی این عناصر به شدت رو به افزایش گذاشت، به طوری که در اروپا مقادیر متنابهی از پتاسیم، سوپر فسفات و نیتروژن معدنی به منظور افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی و باغی به اراضی اضافه شد.

نتیجه به کارگیری این نهاده‌ها در کشاورزی تولید محصولات را به شکل چشم‌گیری افزایش داده و منجر به وقوع انقلاب سبز شد. انقلاب سبز در کشاورزی یکی از مهمترین دستاوردهای بشر در قرن حاضر است. این انقلاب امنیت غذایی را در کشورهای مختلف در پی داشت و باعث شد تا کشورهای در حال توسعه که به دلیل جمعیت زیاد همواره با کمبود مواد غذایی روبرو بودند، بتوانند بخش اعظمی از مایحتاج خود به مواد غذایی را تهیه نمایند. افزایش سطح تولید مواد غذایی به همراه توسعه بهداشت جهانی منجر به افزایش جمعیت بشر شده، به طوری که در اکثر کشورها تهیه غذای کافی دوباره به چالش فراروی دولت‌ها تبدیل شد.

لیزینگر در سال ۱۹۹۹ عنوان کرد که برای تهیه مواد غذایی به مقدار کافی در طی ۲۰ سال آینده، تولید محصولات کشاورزی باید تا ۵۰ درصد افزایش یابد. بدیهی است با توجه به محدودیت اراضی قابل کشت این

جانوری و ریزجانداران خاک است. در چنین سیستمی، عناصر معدنی مورد نیاز گیاهان به مقدار مناسب و در زمان مطلوب در اختیار گیاه قرار گرفته و آلودگی منابع آب و خاک را نیز در پی نخواهد داشت. از مهمترین عناصر مورد نیاز گیاهان فسفر می‌باشد که کمبود آن کاهش رشد و عملکرد را به دنبال دارد. بر اساس تخمین‌های تئوری، میزان فسفر تجمع یافته در اراضی کشاورزی در صورت قابل جذب شدن گیاه می‌تواند نیاز گیاهان به فسفر را برای داشتن حداکثر عملکرد تا ۱۰۰ سال آینده تضمین نماید (گلداشتاين و همکاران، ۱۹۹۳).

از جمله راه‌های عملی برای استفاده از فسفر تجمع پیدا کرده در اراضی، به کارگیری کودهای زیستی فسفره می‌باشد. این نهادهای زیستی در واقع حاوی ریز-جاندارانی هستند که از طریق فرآیندهای ویژه‌ای می‌توانند حلالیت ترکیبات فسفره رسوب کرده در خاک را افزایش داده و بدین صورت بخشی از فسفر مورد نیاز گیاه را تامین نمایند. این ریزجانداران به دو گروه باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات و قارچ‌های میکوریزی تقسیم می‌شوند.

نقش باکتری‌های حل‌کننده فسفات در افزایش انحلال فسفر، بهبود جذب فسفر و افزایش رشد گیاه

گزارش‌های متعددی وجود دارد که توانایی سوبه‌های مختلف باکتریایی را برای انحلال فسفات‌های معدنی نامحلول همچون تری‌کلسیم فسفات، دی‌کلسیم فسفات، دی‌هیدروکسی آپاتیت و خاک فسفات، نشان می‌دهد (گلداشتاين، ۱۹۸۶). در میان انواع باکتری که توان حل فسفات آن‌ها ثابت شده، می‌توان جنس‌های *فلاوباکتریوم*، *سودوموناس*، *باسیلوس*، *اگروباکتریوم*، *میکروکوکوس*، *انتروباکتر* و همچنین جنس‌های مختلف باکتری‌های ریزوبیومی را نام برد (کاتزنلسون و همکاران، ۱۹۶۲).

مکانیسم‌های انحلال فسفات‌های معدنی نامحلول مورد مطالعه قرار گرفته است. تولید اسیدهای

حالی است که هر ساله بین ۷۵ الی ۹۰ درصد فسفر اضافه شده به خاک به دلیل آهکی بودن اکثر خاک‌ها، وجود اسیدیته بالا، تنش خشکی، وجود بی‌کربنات در آب آبیاری و کمبود مواد آلی موجود در خاک و همچنین در اثر ترکیب با یون‌های کلسیم، آلومینیم و آهن در خاک به صورت رسوب در می‌آید و از حیز انتفاع برای گیاه خارج می‌شود (استیونسون، ۱۹۸۶؛ ویگ و دو، ۱۹۸۴). ادامه چنین روندی برای مصرف کودهای فسفره علاوه بر اتلاف هزینه، تخریب و آلودگی منابع پایه، یعنی خاک و آب را در پی دارد.

از سوی دیگر، بیش از سه دهه از توجه جهانی به موضوع حفاظت محیط زیست و حدود دو دهه از مباحث پیرامون توسعه پایدار می‌گذرد. قبل از این ایام، در تمامی پروژه‌های توسعه، صرفاً دیدگاه اقتصادی و ایجاد درآمد و بازده اقتصادی بیشتر مدنظر بود. لیکن در دهه ۱۹۷۰ میلادی این ذهنیت در افکار سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان توسعه مطرح شد که این‌گونه روند رشد اقتصادی نهایتاً منجر به تخریب محیط زیست، نابرابری اجتماعی و کاهش منابع پایه می‌شود و جبران این معضلات در دراز مدت موجب ضررهای فراوان اقتصادی خواهد شد. بنابراین، اندیشمندان جهان تعریف جدیدی از توسعه را ارائه نمودند که از آن با عنوان توسعه پایدار یاد می‌شود. طبق تعریف سازمان ملل توسعه پایدار، آن‌گونه توسعه‌ای است که از نظر اقتصادی پویا و پربازده، از نظر زیست محیطی غیر مخرب، از نظر اجتماعی عادلانه و قابل قبول و از نظر فناوری متناسب و مطلوب باشد.

در زمینه کشاورزی نیز هم‌اکنون مفاهیم کشاورزی پایدار و سیستم‌های حداقل شخم و بدون شخم به تدریج جایگزین روش‌های رایج متکی بر حداکثر استفاده از کود و سم و منابع پایه (آب و خاک) و انرژی‌های تجدید ناپذیر شده است (شارما، ۲۰۰۲). به عبارت دیگر، دغدغه هم‌اکنون اندیشمندان جهانی، تلاش در راستای رسیدن به اصل زیستن در حد ظرفیت محیط زیست و حفاظت زمین، آب و ذخایر ژنتیکی گیاهی،

فسفات آن باکتری در افزایش رشد و عملکرد محصول به طور معنی‌داری بروز نماید. محققین روسی در سال ۱۹۵۰ مایه تلقیح میکروبی به نام فسفوباکترین حاوی واریته فسفاتیکم باکتری باسیلوس مگاتریم را به عنوان یک حل-کننده فسفات تولید نمودند.

این کود در سال ۱۹۵۸ تقریباً در ۱۰ میلیون هکتار از اراضی کشور روسیه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین نشان داده شد که حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد از محصولات زراعی مختلف تلقیح شده با فسفوباکترین بهره‌مندی از تلقیح دریافت کرده و افزایش عملکرد حاصل شده حدود ۱۰ تا ۷۰ درصد گزارش شده است. بهترین نتایج مربوط به محصولات علوفه‌ای بوده اما غلات و سیب زمینی نیز عکس‌العمل مناسبی به فسفوباکترین نشان دادند. هم‌اکنون تولید صنعتی کودهای زیستی، به صورت مخلوطی از چند نوع باکتری، که علاوه بر توانایی حل فسفات قادر به تحریک رشد گیاه و افزایش عملکرد می‌باشند، در حال توسعه است. مثال‌هایی برای این نوع توسعه یافتگی در تولید کود میکروبی مخلوط به نام فیلازونی‌تام است. این کود که حاوی باکتری باسیلوس مگاتریم و ازتو باکتر کروکوکوم می‌باشد موجب افزایش جذب نیتروژن و فسفر در گیاهان می‌گردد (رودریگز و فراگ، ۱۹۹۹).

مروری اجمالی بر برخی نتایج حاصل از به کارگیری ریزجانداران حل‌کننده فسفات در کشور

در ارتباط با به کارگیری ریزجانداران حل‌کننده فسفات در تامین فسفر مورد نیاز گیاهان تحقیقات متعددی در شرایط گلخانه و مزرعه صورت گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

آزمون‌های گلخانه‌ای صورت گرفته با گیاه ذرت نشان داده است که چنانچه به خاک فسفات، ریزجانداران حل‌کننده فسفات اضافه شده و همچنین از تیمار گوگرد و باکتری اکسیدکننده گوگرد نیز استفاده شود، نتیجه حاصل از نظر وزن خشک تولیدی و جذب عناصر نیتروژن و

آلی به وسیله باکتری‌های حل‌کننده فسفات‌های معدنی کاملاً ثابت شده است و به عنوان مکانیسم اصلی انحلال فسفات‌های معدنی به وسیله باکتری‌های خاک تشخیص داده شده است (رودریگز و فراگ، ۱۹۹۹).

از میان اسیدهای آلی، اسید گلوکونیک به عنوان یکی از مهمترین عوامل در انحلال فسفات‌های معدنی محسوب می‌شود (دلال، ۱۹۷۷). تولید این اسید آلی به وسیله باکتری‌های حل‌کننده فسفات، متعلق به جنس‌های سودوموناس، ریزوبیوم، اروینیا و بورکولدریا گزارش شده است. اسیدهای آلی تولید شده از دو طریق باعث افزایش فسفر قابل دسترس می‌شوند که یکی از طریق کاهش اسیدیته در منطقه ریزوسفر است و دیگری از طریق کلاته شدن یون آلومینیم در خاک‌های اسیدی و یون کلسیم در خاک‌های سدیمی است (کوسی، ۱۹۸۳).

خاک حاوی طیف وسیعی از مواد آلی است که می‌تواند به عنوان یک منبع فسفر، در تغذیه و رشد گیاه نقش مهمی به عهده داشته باشد. برای اینکه فسفر آلی به فرم قابل جذب گیاه درآید باید ابتدا از طریق هیدرولیز مواد آلی به فرم معدنی تبدیل شود. انحلال فسفات‌های آلی، معدنی شدن فسفر آلی نیز نامیده می‌شود. معدنی شدن اغلب ترکیبات آلی فسفره به وسیله آنزیم‌های فسفاتاز انجام می‌پذیرد (رودریگز و فراگ، ۱۹۹۹). وجود مقادیر قابل توجهی از آنزیم‌های فسفاتاز فعال و دارای منشاء میکروبی در خاک گزارش شده است (کریشنر و همکاران، ۱۹۹۳).

گرچه باکتری‌های حل‌کننده فسفات متعددی در خاک وجود دارند، ولی معمولاً تعداد این باکتری‌ها در مقایسه با دیگر باکتری‌های معمول و مستقر در ریزوسفر گیاهان مختلف قابل توجه نمی‌باشد (رودریگز و فراگ، ۱۹۹۹). بنابراین، مقدار فسفر آزاد شده به وسیله این باکتری‌ها معمولاً به اندازه‌ای نیست که افزایش کافی در رشد گیاهان ایجاد نماید. لذا، تلقیح گیاهان با یک باکتری خاص با جمعیت بسیار بیشتر از آنچه در خاک یافت می‌شود، لازم است تا سودمندی ناشی از خصوصیت انحلال

خاک فسفات، ریزجانداران حل‌کننده فسفات، گوگرد، تیوباسیلوس و ماده آلی به صورت یک تیمار ترکیبی باعث شد تا عملکرد گیاه تفاوت معنی‌داری با ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل نداشته باشد در حالی که میزان روغن تولیدی در تیمار ترکیبی بیشتر از کود شیمیایی بود (سلیم پور و همکاران، ۲۰۱۰).

در سال‌های اخیر در کشور، کود میکروبی فسفات گرانوله در سطحی محدود تولید و به کشاورزان عرضه شده است، لیکن علیرغم نیاز کشور به این فرآورده، تولید آن در کشور آنچنان که باید، مورد توجه و حمایت واقع نشده است.

اهمیت رابطه همزیستی میکوریزی و نقش آن در جذب عناصر غذایی

قارچ‌های میکوریزی از با اهمیت‌ترین ریز-جانداران موجود در اغلب خاک‌های تخریب نشده می‌باشند، به طوری که بر طبق تخمین‌های موجود حدود ۷۰ درصد از توده زنده جامعه میکروبی خاک‌ها را میسلیموم این قارچ‌ها تشکیل می‌دهد (موکرجی و چمولو، ۲۰۰۳).

مهمترین و معتبرترین تاثیر رابطه همزیستی میکوریز آربسکولار افزایش جذب عناصر معدنی و به ویژه فسفر در گیاه میزبان می‌باشد (کلارک و زتو، ۱۹۹۶). این تاثیر به خصوص در اراضی که فسفر محلول در خاک کم بوده یا در اثر خشکی ضریب پخشیدگی عنصر فسفر بسیار کاهش یافته است مشهودتر می‌باشد (جاکوبسن، ۱۹۹۵).

اثر متقابل بین قارچ‌های میکوریز آربسکولار و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، این توانایی را به گیاه می‌دهد که بتواند قسمتی از نیاز فسفره خود را از منابعی مثل خاک فسفات که در حالت معمول غیرقابل استفاده برای گیاه می‌باشد تأمین نماید (کیم و همکاران، ۱۹۹۸؛ سینگ و کاپور، ۱۹۹۹). همچنین شواهدی از فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی

فسفر، تفاوت معنی‌داری با استفاده از کود سوپرفسفات تریپل ندارد (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۳؛ نورقلی پور و همکاران، الف ۱۳۸۳). افزودن ماده آلی به این ترکیب (نورقلی پور، ۱۳۷۹) و با استفاده از آب اسیدی که با استفاده از اسید سولفوریک pH آن به ۵ تا ۵/۲ رسیده بود (نورقلی پور و همکاران، ب ۱۳۸۳) نیز در افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت و افزایش جذب فسفر در این گیاه موثر است. البته نوع ترکیب ماده آلی اضافه شده می‌تواند باعث افزایش و یا کاهش فعالیت ریزجانداران حل‌کننده فسفات شود (کوچک زاده، ۱۳۸۰).

استفاده از خاک فسفات، مواد آلی، گوگرد و تیوباسیلوس در مزرعه، علوفه تولیدی ذرت را به مقدار ۸۴/۶ تن در هکتار رسانید، در حالی که عملکرد حاصل از سوپرفسفات تریپل ۷۶/۷ تن در هکتار گزارش شده است (لطف الهی و همکاران، ۱۳۸۳). در آزمون مزرعه‌ای دیگر خاک فسفات به همراه باکتری‌های حل‌کننده فسفات و ماده آلی، عملکرد خشک ذرت، درصد کل ماده خشک در بوته ذرت، سرعت رشد گیاه و کارایی زراعی نسبی را، نسبت به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، افزایش داد (ایرانی پور و همکاران، ۱۳۸۲).

استفاده از سطوح مختلف سوپرفسفات تریپل (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) در کشت مزرعه‌ای گیاه جو و تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات نشان داد که بالاترین عملکرد وزن خشک گیاه در سطح ۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و تلقیح با باکتری به دست آمد، در حالی که بالاترین وزن خشک دانه تولیدی در تیمار ۳۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و تلقیح با باکتری به دست آمد (حسن زاده، ۱۳۸۶).

استفاده همزمان از ریزجانداران حل‌کننده فسفات و قارچ‌های میکوریز آربسکولار در کشت مزرعه-ای ذرت و در شرایط تنش رطوبتی نشان داد که در تیمارهای تلقیح شده، عملکرد، اجزاء عملکرد و جذب عناصر فسفر و نیتروژن افزایش یافته است (احتشامی و همکاران، ۲۰۰۷). در کشت مزرعه‌ای کلزا نیز استفاده از

میزبان بیشترین موفقیت را در پی داشته است. بررسی‌های اقتصادی صورت گرفته بر روی این سه روش تکثیر نشان می‌دهد کشت درون شیشه‌ای قارچ و ریشه گیاه میزبان از لحاظ تأمین امکانات و تجهیزات پایه و همچنین هزینه لازم برای افزایش حجم مایه تلقیح تولیدی نسبت به دو روش دیگر از مزیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد (وارما و ادهولیا، ۱۹۹۶). از طرف دیگر، پتانسیل بسیار خوب این روش برای تکثیر اسپورهای عاری از آلودگی-های جنبی، پژوهشگران را بر آن داشته تا از این روش ویژه به صورت وسیع در تحقیقات مدرن در زمینه‌های مختلف مربوط به قارچ‌های میکوریز آربسکولار استفاده نمایند (فورتین و همکاران، ۲۰۰۲).

تکثیر درون شیشه‌ای قارچ *Glomus*

intraradices در بخش بیولوژی موسسه تحقیقات خاک و آب و با همکاری موسسه بین المللی TERI هندوستان با موفقیت انجام گرفت (رجالی و همکاران، ۱۳۸۵). از آنجا که اساس این روش بر تهیه ریشه‌های القایی حاصل از تلقیح باکتری *Agrobacterium rhizogenes* استوار می‌باشد، لذا به منظور بومی سازی این روش از بافت‌های گیاهی مختلف برای تهیه ریشه‌های مورد نیاز استفاده گردید (شاه محمدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ رجالی و همکاران، ۱۳۸۶). با استفاده از ریشه‌های القایی تهیه شده در کشور دو قارچ *Glomus intraradiced* و *Glomus etunicatum* به صورت درون شیشه‌ای تکثیر گردیدند (رجالی، ۱۳۸۹) و بدین ترتیب امکان استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های میکوریز آربسکولار به صورت تلقیح بذری و استفاده در کشت گیاهان زراعی امکان‌پذیر گردید.

مروری بر برخی نتایج حاصل از به کارگیری قارچ‌های

میکوریزی در کشت گیاهان زراعی و باغی در کشور

نتایج تحقیقات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای صورت

گرفته نشان می‌دهد که در اکثر موارد تلقیح با قارچ‌های میکوریزی عملکرد گیاهان را افزایش داده است و در بیشتر موارد حداقل تعدادی از شاخص‌های رشد گیاهان

(طرفدار، ۱۹۹۵) و فسفاتاز قلیایی (کوجیما و همکاران، ۱۹۹۸) در قارچ‌های میکوریز آربسکولار وجود دارد که نشان‌دهنده توانایی این قارچ‌ها در استفاده از منابع فسفره موجود در ترکیبات آلی می‌باشد. از طرف دیگر این قارچ-ها با ترشح اسیدهای آلی مثل اگزالات‌ها که میل ترکیبی بیشتری با Fe, Ca و Al نسبت به P دارند، باعث آزاد شدن فسفر از ترکیب با این عناصر شده و فسفر آزاد شده را جذب می‌نمایند. اگزالات ترشح شده نهایتاً توسط اکتینومیست‌ها تجزیه شده و به CO₂ تبدیل می‌شوند. دی‌اکسید کربن حاصله از طریق کاهش pH در خاک‌های قلیایی مقدار بیشتری فسفر را از ترکیبات غیرمحللول آن جدا کرده و به مصرف گیاه می‌رساند (رامن و ماهادوان، ۱۹۹۶).

تهیه کود زیستی از قارچ‌های میکوریز

علی‌رغم تأثیرات شگرفی که قارچ‌های میکوریز آربسکولار در همزیستی با گیاهان میزبان از خود بروز می‌دهند، استفاده عملی از آن‌ها در مقیاس وسیع و در اراضی کشاورزی همچنان به صورت یک معضل پا برجاست. چراکه این ریزجانداران برخلاف سایر ریز-جانداران مفیدی که به صورت وسیع و با سهولت تولید و در اراضی کشاورزی مصرف می‌گردند (از جمله انواع ریزوبیوم‌ها، تیوباسیلوس‌ها، ازتوباکترها، استوباکترها، آزوسپریلوم‌ها و باکتری‌های محرک رشد) در محیط مصنوعی رشد نکرده و به دلیل طبیعت همزیست اجباری آنها با ریشه، تنها در مجاورت و حمایت ریشه قابل تکثیر می‌باشند.

این مسئله پژوهشگران را بر آن داشته است تا

با استفاده از روش‌های ویژه (غیر از محیط‌های کشت مصنوعی) مایه تلقیح این قارچ‌ها را در مقیاس نیمه‌صنعتی و صنعتی تهیه نمایند. تاکنون سه روش NFT^۲، ائروپونیک^۳ و کشت درون‌شیشه‌ای^۴ قارچ و ریشه گیاه

2- Nutrient Film Technique

3- Aeroponics

4- Root Organ Culture

و ریشه این گیاه را افزایش دهد (زارع و همکاران، ۲۰۰۹).

استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزی در کشت گندم و در شرایط مزرعه‌ای نشان داد که همزیستی میکوریزی از طریق افزایش کارایی جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین عناصر کم مصرف روی و مس توانسته است رشد و عملکرد گیاه گندم را افزایش دهد (ملک ثابت و همکاران، ۱۳۸۵).

قارچ‌های میکوریزی آریسکولار در کشت ذرت در شرایط مزرعه‌ای عملکرد ماده خشک و غلظت فسفر را به ترتیب ۴/۹ و ۲۸/۸ درصد افزایش و غلظت مس و منگنز را به ترتیب به مقدار ۱۴/۹ و ۹ درصد کاهش داد (امیر آباد و همکاران، الف ۱۳۸۸). همزیستی میکوریزی همچنین تاثیر معنی‌داری در اجزاء عملکرد ذرت علوفه‌ای یعنی شاخص‌های ردیف دانه در بلال، دانه در ردیف بلال، وزن بلال و عملکرد ماده خشک داشته است (امیر آبادی و همکاران، ب ۱۳۸۸).

قارچ‌های میکوریزی در کشت مزرعه‌ای ذرت توانسته‌اند ارتفاع گیاه، طول بلال، جذب پتاسیم، نیتروژن و فسفر و همچنین درصد کلنیزاسیون ریشه را در سطح معنی‌دار افزایش دهند (امیر آبادی و همکاران ۱۳۸۹).

استفاده از قارچ‌های میکوریزی در کشت گیاه آفتابگردان در شرایط مزرعه‌ای نیز نشان داد این قارچ‌ها از طریق افزایش معنی‌دار قطر طبق و تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داده است. مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین تیمار استفاده از تلقیح با قارچ‌های میکوریزی و مصرف ۵۰٪ کود فسفاته توصیه شده می‌باشد (سلیمان زاده و همکاران ۱۳۸۸).

آزمون مزرعه‌ای دو ساله از کشت گیاه دارویی رازیانه نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۰۵/۶ سانتی متر)، تعداد چتر در بوته (۳۱ چتر)، وزن هزار دانه (۳/۵۳ گرم)، عملکرد بیولوژیک (۳۹۷۸ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (۱۰۴۷ کیلوگرم در هکتار) در تلقیح با مایکوریزا حاصل شد (درزی و همکاران ۱۳۸۵).

تلقیح شده نسبت به گیاهان تلقیح نشده افزایش معنی‌دار داشته‌اند. ملک ثابت و رجالی (۱۳۸۵) با انجام آزمون گلخانه‌ای نشان دادند که بین سه رقم طبسی، مهدوی و موتانت، لاین موتانت وابستگی بیشتری به همزیستی میکوریزی داشته و بالاترین درصد همزیستی را با قارچ *Glomus etunicatum* به خود اختصاص داده و قارچ *G. etunicatum* در همزیستی با لاین موتانت با بیشترین افزایش طول ریشه، وزن خشک ریشه، و درصد کلنیزاسیون باعث افزایش سطح جذب ریشه گردیده است. در تیمارهای تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزی، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، سطح برگ پرچم، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه افزایش یافته است (ملک ثابت و همکاران ۱۳۸۵).

رجالی (۱۳۸۸) با انجام آزمون گلخانه‌ای، تاثیر ده تیمار قارچی میکوریز آریسکولار را بر رشد گیاه گندم رقم پیشناز مورد بررسی قرار داد. طبق نتایج گزارش شده، همزیستی خوبی بین تمام تیمارهای قارچی با گیاه گندم بوجود آمد. افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه از طریق جذب بهتر عناصر معدنی باعث افزایش رشد گیاه و افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه گردید. همچنین نتایج این تحقیق به این نکته اشاره دارد که اگرچه گاهی مایه تلقیح‌های قارچی تک‌گونه‌ای نتیجه بهتری در افزایش رشد گیاه یا افزایش جذب عناصر معدنی داشته‌اند، لیکن در بسیاری از موارد مجموعه‌ای از چند گونه قارچ نتیجه موثرتری از خود نشان داده است.

رضوانی و همکاران (۱۳۸۸) تاثیر گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزی را در رشد و جذب عناصر معدنی گیاه یونجه مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفته‌اند که از بین گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزی، گونه *G. mosseae* توانسته است جذب و انتقال عناصر فسفر، روی و پتاسیم را در سطح معنی‌دار آماری در گیاه یونجه افزایش دهد. تلقیح گیاه یونجه یکساله *Medicago scutellata* با قارچ میکوریزی *G. intraradices* نیز توانسته است به طور معنی‌داری رشد رویشی اندام هوایی

هم اکنون در کشور فقط یک شرکت کود زیستی حاوی قارچ‌های میکوریزی را به صورت محدود تولید و در اختیار متقاضیان قرار می‌دهد.

نتیجه نهایی

مصرف غیر اصولی و غیر علمی کودهای شیمیایی و به‌ویژه کودهای فسفره، که بخش اعظمی از آنها وارداتی بوده و با خروج ارز تامین و توزیع می‌گردد، چیزی جز اتلاف هزینه از یک سو و از سوی دیگر تخریب و آلودگی منابع پایه یعنی خاک و آب نمی‌باشد. نتایج تحقیقات صورت گرفته در کشور که در این مقاله فقط به پاره‌ای از آنها اشاره گردید نشان می‌دهد خاک‌های کشور، مأمّن ریزجاندارانی هستند که در صورت استفاده درست از آن‌ها، این توانایی را دارند که با استفاده از مکانیسم‌های ویژه‌ای ذخائر فسفره تجمع پیدا کرده در خاک‌های آهکی کشور را به صورت فسفر قابل استفاده گیاه تبدیل نمایند و بدین صورت می‌توانند مصرف کودهای فسفره را در کشور کاهش دهند.

نتایج بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که ریزجانداران حل‌کننده فسفر و قارچ‌های میکوریزی چنانچه به صورت مایه تلقیح و به روش تلقیح بذری مورد استفاده قرار گیرند، می‌توانند بین ۲۵ تا ۵۰ درصد نیاز فسفره گیاه را در خاک‌های با فسفر کل بالا و فسفر قابل جذب پائین تامین نمایند. بنابراین توصیه می‌شود، مایه تلقیح این ریزجانداران به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفره توصیه شده توسط آزمون خاک مورد استفاده قرار گیرند.

البته گونه‌های مختلف ریزجانداران حل‌کننده فسفات و قارچ‌های میکوریزی توانایی متفاوتی در انحلال و جذب ترکیبات فسفره کم‌محلول دارند و معمولاً مشاهده شده است که استفاده از مایه تلقیح‌های حاوی چند ریزجاندار تأثیری به مراتب بهتر از به کارگیری فقط یک نوع ریزجاندار در پی دارد. اضافه کردن ماده آلی به خاک در هنگام استفاده از ریزجانداران معمولاً باعث

کشت شبدر نیز قارچ میکوریزی *G.mosseae* از طریق افزایش معنی‌دار جذب فسفر و نیتروژن توانست وزن علوفه تولیدی را افزایش دهد (زارع، ۲۰۰۹).

قارچ‌های میکوریزی از طریق مکانیسم‌های مختلفی حلالیت عناصر موجود در خاک را که در حالت عادی غیر قابل جذب برای گیاه می‌باشند افزایش داده و با گسترده کردن شبکه هیف‌های خود در خاک، سطح جذب ریشه گیاه را افزایش می‌دهند. بنابراین چنانچه مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزی به درستی مورد استفاده قرار گیرند می‌توان مصرف کودهای شیمیایی و به ویژه کودهای فسفره را کاهش داد. از طرف دیگر قارچ‌های میکوریزی سازگاری خوبی با ریزجانداران حل‌کننده فسفات و انواع باکتری‌های محرک رشد گیاه دارند که کاربرد آن‌ها به تدریج سطح حاصلخیزی خاک را افزایش داده و در چنین خاک‌هایی گیاهان به مقادیر کمتری از کودهای شیمیایی نیاز دارند (زارع و همکاران، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹).

در دو آزمون مزرعه‌ای جداگانه تأثیر استفاده از مایه تلقیح ازتوباکتر و قارچ میکوریزی در سطوح مختلف کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل و کود نیتروژنه از منبع اوره بر رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد که عملکرد گیاه در تیمار استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزی و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از سوپر فسفات تریپل معادل مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل به تنهایی می‌باشد (امیر آبادی و همکاران ۱۳۸۸). همچنین با استفاده از قارچ‌های میکوریزی و ازتوباکتر می‌توان بدون کاهش عملکرد، مصرف کود اوره را نیز در کشت ذرت کاهش داد (سیفی و همکاران ۱۳۸۵).

تلقیح دو گانه بذر گلرنگ بهاره با ازتوباکتر و مایکورایزا در سطوح مختلف فسفر و ازت نشان داد که از نظر تولید روغن می‌توان بدون کاهش عملکرد مصرف کودهای شیمیایی را به میزان ۲۵ تا ۵۰ درصد کاهش داد و به جای آن از مایه تلقیح‌های میکروبی استفاده نمود (میرزاخانی و همکاران، ۲۰۰۹).

البته نباید تحقیقات وسیع‌تر در ارتباط با کارایی این ریزجانداران به همراه منابع مختلف مواد آلی و معدنی در خاک‌ها و اقلیم‌های مختلف کشور را از نظر دور داشت.

چالش‌های پیش روی استفاده از کودهای زیستی فسفوره در کشور و راهکارهای پیشنهادی

اولین و مهمترین چالش در این ارتباط اختصاص تمامی یارانه در نظر گرفته شده توسط دولت برای خرید و واردات کودهای شیمیایی و عدم اختصاص حتی بخش کمی از این یارانه به خرید کودهای زیستی می‌باشد. بدیهی است تا زمانی که وزارت جهاد کشاورزی حمایت عملی از تولید کودهای زیستی را در دستور کار خود قرار ندهد این فرآورده‌های زیستی با ارزش، قدرت رقابت با رقیب شیمیایی خود را نداشته و جامعه کشاورزان از فواید آن‌ها محروم خواهند بود. بنابراین اولین راهکار حمایت عملی از کودهای زیستی تخصیص بخشی از یارانه کود های شیمیایی به انواع کودهای زیستی و آلی خواهد بود.

عدم اطلاع کافی کارشناسان و کشاورزان از کارایی و فواید فرآورده‌های زیستی و به ویژه انواع فسفات. رفع این چالش همت بیشتر بخش ترویج وزارت جهاد کشاورزی را می‌طلبد تا از طریق برگزاری سخنرانی‌های ترویجی، چاپ و توزیع انواع کتابچه‌ها، نشریات و تعامل بیشتر با رسانه ملی، اطلاعات کافی را در اختیار کشاورزان قرار دهد.

عدم وجود امکانات و تجهیزات لازم مطابق با تکنولوژی روز دنیا در بیشتر شرکت‌های خصوصی داخلی تولیدکننده کودهای زیستی فسفات که بدون تردید در کیفیت فرآورده‌های تولیدی توسط آنها موثر می‌باشد. حمایت از شرکت‌های تولیدکننده فرآورده‌های بیولوژیک در اصلاح و ارتقاء سیستم‌های تولیدی آن‌ها بسیار موثر خواهد بود.

افزایش کارایی آن‌ها می‌شود که البته در بعضی از موارد، اضافه کردن ماده آلی از منابع به خصوصی، کاهش کارایی ریزجانداران حل‌کننده فسفات را در پی داشته است. ویژگی بسیار خوب ریزجانداران حل‌کننده فسفات، امکان استفاده همزمان آن‌ها با قارچ‌های میکوریزی و ریز-جانداران محرک رشد گیاه می‌باشد که بدین صورت نه تنها نیاز گیاه میزبان به فسفر بلکه سایر عناصر مورد نیاز گیاه نیز بدین صورت تامین شده و همزمان به دلیل تولید هورمون‌های محرک رشد، گیاه از رشد و توسعه بیشتری برخوردار خواهد بود.

در مواقعی که گیاه با تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی و شوری روبرو می‌باشد و در استفاده از کودهای شیمیایی به دلیل تاثیر آن‌ها در افزایش فشار اسمزی محلول خاک و کاهش توانایی گیاه در جذب آب محدودیت وجود دارد، قارچ‌های میکوریز آربسکولار گزینه بسیار مناسبی می‌باشند.

قارچ‌های میکوریزی از طریق افزایش سطح جذب ریشه نه تنها توانایی گیاه میزبان را در جذب آب و عناصر معدنی افزایش می‌دهند بلکه با اصلاح ساختمان فیزیکی خاک، محیط مناسب‌تری را برای رشد و توسعه بستر ریشه‌ای گیاه میزبان به وجود می‌آورند و در نهایت مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای فسفوره را کاهش می‌دهند.

قابلیت دیگر ریزجانداران حل‌کننده فسفات، امکان استفاده از آن‌ها با منابع خاک فسفات، گوگرد، مواد آلی و باکتری‌های تیوباسیلوس می‌باشد که منابع همگی آن‌ها در داخل کشور موجود می‌باشد. بررسی‌های گلخانه-ای و مزرعه‌ای صورت گرفته در داخل کشور نشان می‌دهد که استفاده از این منابع معدنی و آلی به همراه ریز-جانداران حل‌کننده فسفات و تیوباسیلوس می‌تواند عمده نیاز گیاهان به فسفر را تامین نماید که این امر هم از نظر مسائل اقتصادی خروج ارز از کشور و هم از نظر فعال کردن بخش خصوصی در داخل کشور برای تولید این فرآورده‌های زیستی بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

شرکت با روش‌های ابتدایی به تولید کود زیستی میکوریزی مشغول می‌باشد. بدیهی است برای رفع این کاستی باید روش‌های مدرن تولید مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزی از جمله روش‌های هیدروپونیک، آئروپونیک و کشت درون شیشه‌ای در اختیار بخش خصوصی گزارده شود تا نسبت به تولید این فرآورده اقدام گردد.

عدم وجود کلکسیون‌های معتبر دارای انواع ریز-جانداران حل‌کننده فسفر و قارچ‌های میکوریزی در کشور که با کلکسیون‌های بین‌المللی در ارتباط بوده و بتواند بخش خصوصی را در تامین ریزجانداران مورد نیاز حمایت نماید. تاسیس و راه‌اندازی کلکسیون‌های مورد نیاز در موسسات تحقیقاتی ذیربط و به وجود آمدن راهکارهای قانونی برای تعامل بیشتر موسسات تحقیقاتی با شرکت‌های تولید کننده داخلی می‌تواند گامی موثر در تولید کودهای بیولوژیک فسفره در کشور باشد.

عدم وجود سیستم‌های مناسب برای حمل و نقل، انبارداری و توزیع فرآورده‌های زیستی در کشور. بدیهی است به دلیل حضور ریزجانداران زنده در مایه تلقیح‌های میکروبی، در صورت حمل و نقل و انبارداری نامناسب، به تدریج از جمعیت میکروبی و کارایی این فرآورده‌ها کاسته می‌شود. تامین منابع مالی برای تجهیز انبارهای موجود و ساخت انبارهای استاندارد نگهداری کودهای زیستی و انتقال و توزیع صحیح آن‌ها از عوامل موثر در توسعه کودهای زیستی در کشور می‌باشد.

عدم وجود قوانین مشخص و الزام‌آور در حمایت از حق مالکیت فرآورده‌های بیولوژیک فسفات که توسط شرکت‌های داخلی تولید می‌گردد. بدیهی است دست یابی به یک ریزجاندار با صفات ویژه مناسب برای فرموله شدن به عنوان مایه تلقیح میکروارگانسیم‌های حل‌کننده فسفات، به صرف هزینه و زمان زیادی نیاز دارد. لیکن پس از وارد شدن آن فرآورده به بازار ممکن است میکروارگانسیم مربوطه توسط سایر شرکت‌ها جداسازی و با نام جدید مورد استفاده قرار گیرد. ایجاد بستر و ساز و کارهای لازم برای حفظ مالکیت، از جمله تدوین قوانین مربوطه، ضروری است.

عدم وجود گروه‌های متخصص کنترل کیفی که فرآورده‌های شرکت‌های تولیدی را در زمان تولید، انبارداری، توزیع و مصرف کنترل کرده تا از رسیدن فرآورده با کیفیت به کشاورزان اطمینان حاصل گردد. تشکیل شرکت‌های خصوصی با نیروهای متخصص و آموزش دیده همانند آنچه که هم‌اکنون برای کنترل محصولات ارگانیک موجود است از جمله راهکارهای پیشنهادی می‌باشد. فعالیت نظام‌مند این شرکت‌ها می‌تواند در رفع این نقیصه بسیار موثر باشد.

علیرغم کارایی بالایی که برای قارچ‌های میکوریزی در این مقاله ذکر شد به دلیل مشکلات تکنیکی موجود، هنوز بخش خصوصی داخل کشور در زمینه تولید این فرآورده با ارزش فعال نگردیده و هم‌اکنون تنها یک

فهرست منابع

۱. امیرآبادی، م.، م. اردکانی، ف. رجالی، م. برجی. ۱۳۸۹. بررسی اثرات ازتوباکتر کروکوکوم و قارچ میکوریزی در سطوح مختلف فسفر بر برخی صفات مورفولوژیکی و خصوصیات کیفی ذرت علوفه ای (سینگل کراس ۷۰۴). مجله تحقیقات آب و خاک ایران. دوره ۴۱، ش ۱، صفحات ۴۹-۵۶.
۲. امیرآبادی، م.، م. اردکانی، ف. رجالی، م. برجی، ش. خاقانی. ۱۳۸۸. تعیین کارایی میکوریزا و ازتوباکتر تحت تأثیر سطوح مختلف فسفر بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت علوفه ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در اراک. مجله علوم گیاهان زراعی ایران دوره ۴۰، ش ۲، صفحات ۴۵-۵۱.

۳. امیرآبادی، م.، م. اردکانی، ف. رجالی، م. برجی. ۱۳۸۸. تأثیر کاربرد مایه تلقیح ازتوباکتر و قارچ میکوریزی بر جذب برخی عناصر معدنی توسط ذرت علوفه ای (رقم سیگنال کراس ۷۰۴) در سطوح مختلف فسفر. مجله پژوهش های خاک (علوم خاک و آب). ج ۲۳، ش ۱، صفحات ۱۰۷ - ۱۱۵
۴. بشارتی، ح.، ف. نورقلی پور، م.ج. ملکوتی، ک. خاوازی. ۱۳۸۳. مروری بر کارهای انجام شده در زمینه نحوه استفاده مستقیم از خاک فسفات در خاک های آهکی در ملکوتی. م.ج. و بلالی. م. ر.، مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی نشر آموزش کشاورزی تهران ایران.
۵. حسن زاده، ا. ۱۳۸۶. تأثیر انواع کودهای بیولوژیک حاوی باکتری های تسهیل کننده جذب فسفر بر مقادیر مصرف کود شیمیایی فسفر، عملکرد و اجزای عملکرد جو. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران.
۶. رجالی، ف.، ع. علیزاده، م.ج. ملکوتی، ن. صالح راستین، ک. خاوازی، ا. اصغرزاده. ۱۳۸۵. تکثیر قارچ *Glomus intraradices* و تهیه مایه تلقیح این قارچ به روش کشت درون شیشه ای. مجله علوم خاک و آب. ج ۲۰. شماره ۲. صفحات ۲۷۳ - ۲۸۳.
۷. رجالی، ف. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر گونه های مختلف قارچ های میکوریز آربسکولار در جذب عناصر معدنی پرمصرف و کم مصرف در گندم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی نشریه شماره ۱۴۴۶. موسسه تحقیقات خاک و آب.
۸. رجالی، ف.، علیزاده. ع.، ملکوتی. م.، صالح راستین. ن. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر رابطه همزیستی میکوریز آربسکولار در رشد، عملکرد و جذب عناصر معدنی در گیاه گندم تحت تنش خشکی. مجله علوم خاک و آب. ج ۲۱، ش ۲، صفحات ۲۴۱ - ۲۵۹.
۹. سلطانی، ع. ا. ۱۳۸۵. جداسازی، شناسایی و بررسی صفات محرک رشدی باکتریهای فلاوو باکتریوم و سودوموناس فلورسنت بومی خاک های ایران و بررسی تاثیر آنها بر رشد و نمو گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران.
۱۰. سلیمان زاده، ح.، د. حبیبی، م. اردکانی، ف. پاک نژاد، ف. رجالی. ۱۳۸۸. کارایی میکوریزا در سطوح مختلف فسفر و تأثیر آن بر عملکرد آفتابگردان. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران. گرگان.
۱۱. سیفی، م.، م. ر. اردکانی، ف. رجالی، م.ع. خودشناس، م. امیرآبادی. ۱۳۸۵. تعیین کارایی میکوریزا و ازتوباکتر تحت تاثیر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت علوفه ای در استان مرکزی. نهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پردیس ابوریحان. دانشگاه تهران.
۱۲. شاه محمدی، م.، ش. قربانی، ا. اصغرزاده، ف. رجالی، ع. نجاتی. ۱۳۸۵. استفاده از *Agrobacterium rhizogenes* برای ایجاد ریشه های القایی در چند گیاه دولپه. مجله علوم خاک و آب. ج ۲۰. ش ۲. صفحات ۲۶۳ - ۲۷۲.
۱۳. کوچک زاده، ی. ۱۳۸۰. نقش گوگرد، تیوباسیلوس، حل کننده های فسفات و مواد آلی در تامین فسفر مورد نیاز ذرت از خاک فسفات در خاکهای آهکی. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه خاکشناسی. دانشگاه تربیت مدرس.
۱۴. لطف الهی، م.، م.ج. ملکوتی، ک. خاوازی، ح. بشارتی. ۱۳۸۳. ارزیابی روشهای مصرف مستقیم خاک فسفات در افزایش عملکرد ذرت علوفه ای در کرج. در ملکوتی. م.ج. و بلالی. م. ر.، مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی نشر آموزش کشاورزی کرج ایران.
۱۵. ملک ثابت، ع.، م. اردکانی، ف. رجالی. ۱۳۸۵. ارزیابی کارایی جذب عناصر آهن، روی، مس و منگنز توسط ارقام مختلف گندم تلقیح شده با سویه های قارچ میکوریزا آربسکولار در شرایط مزرعه. همایش خاک. محیط زیست و توسعه پایدار.

۱۶. ملک ثابت، ع.، م. اردکانی، ف. رجالی. ۱۳۸۵. محاسبه کارایی جذب عناصر ماکرو در ارقام گندم تحت تأثیر کاربرد سویه های مختلف میکوریزایی در شرایط مزرعه. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج.

۱۷. ملک ثابت، ع.، م. اردکانی، ع. ماهور. ع. ف. رجالی، ع. سیادت. ۱۳۸۵. بررسی رابطه همزیستی سویه های میکوریزایی با صفات مهم مرفولوژیکی و جذب عناصر میکرو در ارقام مختلف گندم. نهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران.

۱۸. ملک ثابت، ع.، ف. رجالی. ۱۳۸۵. مقایسه وابستگی میکرونیروی سه نوع گندم با سویه های مختلف قارچ میکوریزا آربوسکولار در شرایط گلخانه. همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج.

۱۹. میرانصاری مهابادی، م.، ح. بهرامی، ف. رجالی، م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر قارچهای میکوریز آربسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در شرایط تنش تراکم خاک. مجله علوم خاک و آب. جلد ۲۰. شماره ۱. صفحات ۱۰۶-۱۲۱.

۲۰. نور قلی پور، ف. ۱۳۷۹. اثر اسیدی کردن آب آبیاری و دو میکرو ارگانسیم بر قابلیت جذب آهن از کنسانتره آهن و فسفر از خاک فسفات به وسیله گیاه ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه خاکشناسی. دانشگاه تربیت مدرس.

۲۱. نورقلی پور، ف.، م. ج. ملکوتی، ک. خاوازی. ۱۳۷۳ الف. اثر اسیدی کردن آب آبیاری و بیوفسفات در قابلیت جذب فسفر از منبع خاک فسفات و امکان جایگزینی آنها با کودهای فسفات در کشت ذرت. در ملکوتی، م. ج. و بلالی. م. ر.، مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی نشر آموزش کشاورزی کرج. ایران.

۲۲. نورقلی پور، ف.، م. ج. ملکوتی، ک. خاوازی. ۱۳۷۳ ب. نقش باکتریهای تیو باسیلوس و حل کننده های فسفات بر افزایش جذب فسفر از منبع خاک فسفات در ملکوتی. م. ج. و بلالی. م. ر.، مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی نشر آموزش کشاورزی کرج. ایران.

23. Ahmed, S. 1995. Agriculture-Fertilizer Interface in Asia-Issues of Growth and sustainability. Oxford and IBH Publ. Co. New Delhi.

24. Clark, R. B., and S. K. Zeto. 1996. Mineral acquisition by mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 28: 1405-1503.

25. Dalal, R. C. 1977. Soil Organic Phosphorus. *Adv. Agron*. 29: 83-117.

26. FAO, Current world fertilizer trends and out look to 2009/10.

27. Fortin, J. A., G. Becard, S. Declerck, Y. Dalpe, M. St-Arnaud, A. P. Coughlan, and Y. Piche, 2002. Arbuscular mycorrhiza on root-organ culture. *Canadian Journal of Botany*. 80: 1-20.

28. Goldstein, A. H. 1986. Recent progress in understanding the molecular genetics and biochemistry of calcium phosphate solubilization by gram negative bacteria. *Biological Agriculture and Horticulture*. 12: 185- 193.

29. Goldstein, A. H., R. D. Rogresand, G. Mead. 1993. Mining by microbe. *Bio/Technol*. 11. 1250-1254.

30. Jakobsen, I. 1995. Transport of phosphorus and carbon in VA mycorrhiza *In: Mycorrhiza, Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology*. A. Varma and B. Hock (eds). Springer – Verlag. Berlin. PP. 297-324.

31. -Kabri, Z., I. P. P'Halloran, and C. Hamle. 1996. The proliferation of fungal hyphae in soils supporting mycorrhizal and nonmycorrhizal plants. *Mycorrhiza* 6:477-480.

32. Katznelson, H., E. A. Peterson, and J. W Rovatt. 1962. Phosphate dissolving microorganisms on seed and in the root zone of plants. *Can. J. Bot.* 40: 1181-1186.

33. Kirchner, M. J., A. G. Wollum, L. D. King, 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. *Soil. Soc. Amer. J.* 57: 1289-1295.

34. -Kush, G. S. and J. Bennet. (eds). 1992. Nodulation and Nitrogen Fixation in Rice: Potential and Prospect. International Rice Research Institute, Manila Philippines.

35. Leisinger, K. M. 1999. Biotechnology and food security. *Curr. Sci.* 76:488-500.

36. Mirzakhani, M., M.R. Ardekani, A. Aeine Band, F. Rejali, and A.H. Shirani Rad. 2009. Response of spring safflower to co –inoculation with *Azotobacter chroococcum* and *Glomus intraradices* under different level of nitrogen and phosphorus. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 4(3): 255-261.
37. Rodriguez, H. and R. Frage. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*. 17: 319-339.
38. Sharma, A. K. and B. N. Johri. (eds.). 2002. *Arbuscular Mycorrhizae, Interaction in Plants, Rhizosphere and Soils*. Oxford and IBH Publishing. New Delhi. P. 308.
39. Stevenson, F. J. 1986. *Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. Wiley. New York.
40. Verma, A., and A. Adholeya. 1996. Cost – economics of existing methodologies for inoculum production of vesicular-arbuscular mucorrhizal fungi In Mukkerji (ed.), *Concept in Mycorrhizal Research*. Kluwer Academic Publisher. P 179-194.
41. Vig, A. C., and G. Dev. 1984. Phosphorus adsorption characteristics of some acid and alkaline soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 32, 235-239.
42. www.afkarnews.ir.
43. Zarea, M. J., A. Ghalavand, M. E. Goltapeh, and F. Rejali. 2008. Green manure, Mycorrhiza and soil fertility. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 2 (3): 294-299.
44. Zarea, M.J., A. Ghalavand, M.E. Goltapeh, and F. Rejali. 2009. Effect of mixed cropping, earthworms, and arbuscular mycorrhizal fungi on plant yield, mycorrhizal colonization rate , soil microbial biomass, and nitrogenase activity of free-living bacteria. *Pedobiologia*. 52:223-235
45. Zarea, M.J., A. Ghalavand, M.E. Goltapeh, and F. Rejali. 2009. Interaction of mycorrhiza, earthworm and rhizobium on growth of annual medic under light stress. *Journal of Agricultural Technology* 5(2):249-259.
46. Zarea, M. J., A. Ghalavand, M. E. Goltapeh, and F. Rejali. 2009. Role of clover species and AM fungi on forage yield, nutrient uptake, nitrogenase activity and soil microbial biomass. *Journal of Agricultural Technology*. 5(2):337-347.