فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۲۵، شمارهٔ ۱، صفحهٔ ۱۹-۱ (۱۳۸۸)

تأثیر مصرف کودهای بیولوژیک بر روی جذب عناصر N، P، K و عملکرد دانه در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum Vulgare* Mill.)

محمدتقی درزی[1*]، امیر قلاوند[2] و فرهاد رجالی[3]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، پست الکترونیک: MT_Darzi@yahoo.com
۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۸٦ تاریخ اصلاح نهایی: شهریور ۱۳۸۷ تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۸۷

چکیده

به منظور بررسی اثر کودهای بیولوژیک بر روی جذب عناصر نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K) و عملکرد دانه در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل سه عاملی با استفاده از عاملهای قارچ میکوریزایی (تلقیح و عدم تلقیح)، کود فسفات زیستی (۰، ۳۰ و ٦۰ کیلوگرم در هکتار) و ورمی‌کمپوست (۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) در قالب طرح پایه بلوکهای کامل تصادفی با هیجده تیمار و سه تکرار و در دو سال زراعی ۱۳۸٤ و ۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات همندآبسرد (وابسته به مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور) به اجرا درآمد. مقایسه میانگینها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بیشترین غلظت نیتروژن (۲/٦۲٪)، فسفر (۱/۲۱٪) و پتاسیم در دانه (۱/٥٤٪) و عملکرد دانه (۱۳٦۷ کیلوگرم در هکتار) در تلقیح با میکوریزا حاصل شد. کود فسفات زیستی نیز تأثیر معنی‌داری بر روی صفات یاد شده داشت. به‌طوری که بیشترین غلظت نیتروژن (۲/٦٤٪) با کاربرد ٦۰ کیلوگرم و بالاترین غلظت فسفر (۱/۲۰٪) و پتاسیم در دانه (۱/٥۲٪) و عملکرد دانه (۱۳۱٦ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۳۰ کیلوگرم از آن بدست آمد. همچنین بیشترین غلظت نیتروژن (۲/۸۲٪)، فسفر (۱/۲٥٪) و پتاسیم در دانه (۱/٦٦٪) و عملکرد دانه (۱٦۸۹ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۱۰ تن ورمی‌کمپوست حاصل شد. اثر متقابل هم‌افزایی و مثبت نیز در بین عوامل مشاهده شد که می‌توان به اثر متقابل بین تلقیح میکوریزایی و کود فسفات زیستی بر غلظت نیتروژن در دانه و اثر متقابل میان کود فسفات زیستی و ورمی‌کمپوست بر غلظت فسفر در دانه اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: رازیانه (*Foeniculum Vulgare* Mill.)، میکوریزا، کود فسفات زیستی، ورمی‌کمپوست، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، عملکرد دانه.

مقدمه

امروزه بکارگیری جانداران مفید خاک‌زی تحت عنوان کودهای بیولوژیک به‌عنوان طبیعی‌ترین و مطلوبترین راه‌حل برای زنده و فعال نگه‌داشتن سیستم حیاتی خاک در اراضی کشاورزی، مطرح می‌باشد. عرضه مواد آلی به خاک، بدلیل پاسخگویی به مبرم‌ترین نیاز آن، بزرگترین

مزیت این قبیل کودهاست. علاوه بر این، تأمین عناصر غذایی به‌صورتی کاملاً متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، کمک به تنوع زیستی، تشدید فعالیتهای حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ سلامت محیط‌زیست از مهمترین مزایای کودهای بیولوژیک محسوب می‌شوند (صالح راستین، ۱۳۸۰). از این رو، استفاده از کودهای بیولوژیک نظیر قارچهای میکوریزای وزیکولار آرباسکولار (Vesicular Arbuscular Mycorrhiza)، میکروارگانیزمهای حل‌کننده فسفات و ورمی‌کمپوست در کشاورزی پایدار، علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیزمهای مفید خاک در جهت فراهم‌کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم عمل نموده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Arancon *et al*., 2004؛ Gyaneshwar *et al*., 2002؛ Gupta *et al*., 2002). همچنین از آنجا که رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت بهبود کمیت و کیفیت و سلامت ماده مؤثره می‌باشد، بنابراین به نظر می‌رسد که تغذیه سالم این گیاهان از طریق کاربرد کودهای بیولوژیک دارای بیشترین تطابق با اهداف تولید گیاهان دارویی باشد و منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی آنها شود (Ratti *et al*., 2001؛ Khaosaad *et al*., 2006؛ Kapoor *et al*., 2004). از بین گیاهان دارویی می‌توان به رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) اشاره کرد که تغذیه و جذب مناسب عناصر معدنی پر مصرف و بهبود غلظت آنها در دانه، نقش بسزایی در افزایش عملکرد کمی (دانه) و کیفی آن دارد (Kapoor *et al*., 2004). مطالعات و تلاش اندکی در زمینه کاربرد کودهای بیولوژیک بر روی جذب عناصر غذایی پر مصرف در گیاهان دارویی و بویژه رازیانه انجام شده است. در همین رابطه و در مورد تأثیر قارچهای VAM بر روی غلظت عناصر معدنی در گیاه دارویی رازیانه، Kapoor و همکاران (۲۰۰٤) نشان دادند که همزیستی ریشه رازیانه با دو گونه از قارچهای VAM به نامهای *Glomus fasiculatum* و *G. macrocarpum*، به‌طور معنی‌داری غلظت فسفر دانه آن را بهبود بخشید. همچنین Gupta و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش کردند که تلقیح گیاه نعناع با گونه‌ای قارچ VAM به نام *Glomus fasiculatum* به‌طور قابل ملاحظه‌ای میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عملکرد محصول را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده، افزایش داد. در پژوهش دیگری که به منظور ارزیابی تأثیر میکوریزا بر رشد و نمو گیاه دارویی ریحان انجام شد، مشاهده شد که کاربرد دو گونه از قارچ میکوریزا به نامهای *Glomus mosseae* و *G. caledonium* سبب افزایش چشمگیر غلظت فسفر و عملکرد محصول گیاه شد (Toussaint *et al*., 2007). در پژوهش دیگری که بر روی گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum*) انجام شده بود، مشخص شد که تلقیح این گیاهان با دو گونه قارچ VAM، سبب افزایش قابل ملاحظه غلظت فسفر در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده، شد (Kapoor *et al*., 2002b). در تحقیقی هم که توسط Kapoor و همکاران (۲۰۰۲a) بر روی دو گیاه دارویی به نامهای شوید (*Anethum graveolens*) و نوعی زیره (*Trachyspermum ammi* Sprague)، انجام گرفت، عنوان شد که تلقیح میکوریزایی این گیاهان موجب افزایش بارز غلظت فسفر نسبت به شاهد شد. مطالعه Khaosaad و همکاران (۲۰۰٦) نیز که با استفاده از یک گونه قارچ VAM به نام *Glomus mosseae* در گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare*) انجام شده بود بیانگر آن است که غلظت فسفر در برگ این گیاه به‌طور

چشمگیری در مقایسه با شاهد افزایش یافت. در پژوهش Arriagada و همکاران (۲۰۰۷) نیز که بر روی گیاه دارویی اکالیپتوس (*Eucalyptus globules*) انجام شد، مشاهده شد که کاربرد دو گونه از قارچ VAM باعث افزایش قابل ملاحظه غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه در مقایسه با شاهد شد. همچنین Shockley و همکاران (۲۰۰٤) در تحقیقی بر روی نوعی شبدر بومی آمریکا به نام *Desmodium paniculatum*، نشان دادند که تلقیح این گیاه با گونه‌ای قارچ میکوریزایی VAM، سبب افزایش قابل ملاحظه غلظت فسفر و پتاسیم اندام هوایی گیاه در مقایسه با تیمار عدم تلقیح گردید. Ilbas و Sahin (۲۰۰۵) نیز در پژوهش خود بر روی سویا (*Glycine max*) مشاهده کردند که تلقیح میکوریزایی منجر به بهبود غلظت فسفر و نیتروژن در دانه و نیز عملکرد دانه شد. در خصوص تأثیر میکروارگانیزمهای حل کننده فسفات بر روی جذب عناصر غذایی، Ratti و همکاران (۲۰۰۱) در پژوهشی بر روی گیاه دارویی علف لیمو، مشاهده نمودند که مصرف یک گونه باکتری حل کننده فسفات همراه با یک نوع فسفات معدنی غیر محلول به نام تری‌کلسیم فسفات، موجب بهبود بارز غلظت فسفر ساقه نسبت به تیمار شاهد گردید. در تحقیقی دیگر که توسط Sundara و همکاران (۲۰۰۲)، در گیاه نیشکر (*Saccharum hybrid*) انجام شد، مشاهده شد که کاربرد یک گونه از باکتریهای حل کننده فسفات به نام *Bacillus megatherium* همراه با سنگ فسفات، صفات غلظت فسفر در غلاف برگ و عملکرد ساقه نیشکر را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد. همچنین گزارش شد که کاربرد یک میکروارگانیزم حل کننده فسفات همراه با یک قارچ VAM در یک بستر حاوی پرلیت و ورمی‌کولیت، سبب بهبود معنی‌دار غلظت فسفر در گیاه دارویی نعناع شد (Cabello *et al.*, 2005). همچنین Toro و همکاران (۱۹۹۷) نیز نشان دادند که کاربرد باکتریهای حل کننده فسفات، موجب افزایش غلظت نیتروژن و فسفر اندام رویشی نسبت به تیمار عدم مصرف گردید. تحقیق Annamalai و همکاران (۲۰۰٤) نیز مبین بهبود معنی‌دار عملکرد دانه در اثر مصرف باکتریهای حل کننده فسفات در یک گیاه دارویی از خانواده فرفیون به نام *Phyllanthus amarus* در مقایسه با تیمار شاهد بود. در رابطه با اثر کاربرد ورمی‌کمپوست بر روی جذب عناصر معدنی پر مصرف، Mohanty و همکاران (۲۰۰٦) نشان دادند که مصرف ورمی‌کمپوست در گیاه بادام زمینی باعث افزایش چشمگیر غلظت فسفر در دانه نسبت به تیمار کنترل می‌شود. در تحقیقی دیگر که در شرایط گلخانه‌ای و روی گیاهی زینتی به نام *Tagetes patula* انجام شد، آشکار شد که مصرف ورمی‌کمپوست موجب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن بافت برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد (Atiyeh *et al.*, 2002). همچنین در یک پژوهش گلخانه‌ای نیز که توسط Sainz و همکاران (۱۹۹۸) بر روی گیاهان شبدر قرمز (*Trifolium pretense*) و خیار صورت گرفت، مشخص شد که مصرف ورمی‌کمپوست حاصل از ضایعات آلی شهری موجب افزایش قابل ملاحظه غلظت فسفر بخش هوایی در مقایسه با شاهد می‌شود. مطالعه Arguello و همکاران (۲۰۰٦) نیز نشان‌دهنده افزایش قابل توجه عملکرد محصول در گیاه دارویی سیر (*Allium sativum*) در اثر مصرف ورمی‌کمپوست بود. گزارش Shivaputra و همکاران (۲۰۰٤) نیز نشان داد که مصرف ورمی‌کمپوست در گیاه خربزه درختی سبب بهبود قابل ملاحظه غلظت فسفر گیاه در مقایسه با شاهد شد. همچنین در پژوهشی که در خصوص

تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست بر روی گیاه گوجه‌فرنگی انجام شد، ملاحظه شد که غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در میوه و عملکرد محصول این گیاه نسبت به تیمار شاهد به طرز چشمگیری بهبود یافت (Zaller, 2007).

هدف از انجام این پژوهش مطالعه تأثیر مصرف کودهای بیولوژیک (قارچ میکوریزا، میکروارگانیزمهای حل کننده فسفات و ورمی‌کمپوست) بر روی جذب عناصر نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K) و عملکرد دانه در گیاه دارویی رازیانه بود.

مواد و روشها

این تحقیق در طی سالهای ۱۳۸٤ و ۱۳۸۵ در مزرعه ایستگاه تحقیقات همندآبسرد وابسته به مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۸۰۰ متر از سطح دریا، به اجرا درآمد. میانگین بارش سالیانه ایستگاه ۳۳٤/۲ میلی‌متر و متوسط دمای آن در حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. قبل از کشت، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری بعمل آمد و مشخص گردید که بافت خاک لومی رسی و pH آن برابر ۷/۳ می‌باشد (جدول ۱). پژوهش با استفاده از آزمایش فاکتوریل سه عاملی شامل عامل تلقیح با قارچ میکوریزا (M) در دو سطح (عدم تلقیح=m1 و تلقیح=m2)، عامل کود فسفات زیستی (P) در سه سطح (p1=۰، p2=۳۰ و p3=٦۰ کیلوگرم در هکتار) و عامل ورمی‌کمپوست (V) در سه سطح (v1=۰، v2=۵ و v3=۱۰ تن در هکتار) در قالب طرح پایه بلوکهای کامل تصادفی با هیجده تیمار و سه تکرار انجام شد.

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی[1] خاک مورد آزمایش

Texture	pH	EC	O.C	T.N	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		dS/m	٪				mg/kg						
لومی رسی	۷/۳	۰/۹۲	۰/۷۰	۰/۰۷۲	۸/۱۹	۱٦	۷۲٦	–	–	۷/٤	۹/۹	۰/٦۸	۲/٦۰

۱- فرم قابل جذب عناصر غذایی اندازه‌گیری شد.

مایه تلقیح میکوریزایی که به‌صورت اندام فعال قارچی (شامل اسپور، هیف و ریشه) بوده حاوی گونه‌ای قارچ VAM به نام Glomus intraradices می‌باشد که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه گردید. هر بذر آغشته به مایه تلقیح میکوریزایی در حدود ۲۵۰-۲۰۰ اندام فعال قارچی دریافت می‌کند. کود فسفات زیستی نیز که مورد تأیید مؤسسه یاد شده بود، حاوی سنگ فسفات معدنی (Rock Phosphate) و یک گونه از باکتریهای حل‌کننده فسفات به نام Pseudomonas striata می‌باشد که در هر گرم از آن در حدود ۱۰۵ باکتری فعال یاد شده وجود دارد. ورمی‌کمپوست بکار رفته در آزمایش نیز با استفاده از کود دامی و گونه‌ای کرم خاکی به نام Eisenia foetida در ایستگاه خاک و آب کرج تهیه گردید که نتایج تجزیه آن در جدول ۲ ارائه شده است. بذر رازیانه مورد استفاده در این تحقیق نیز از بخش گیاهان دارویی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان فراهم گردید.

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی[۱] ورمی‌کمپوست مورد استفاده

pH	EC	O.C	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	dS/m	٪	mg/kg								
۷/۵	۵/۳۲	۱۰/۵۳	۸۲۰۰	٤٦۰۰	٤٤۰۰	٤٦۰۰۰	۱٤۰۰۰	۱۷۰۰۰	٦۳۸	۱۲٤	۲٦

۱- میزان کل هر یک از عناصر غذایی اندازه‌گیری شد.

زمین محل انجام آزمایش در چند سال قبل به‌صورت آیش بود. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، عملیات تهیه زمین در اسفندماه و با مساعد شدن شرایط انجام گردید. به‌منظور اجرای آزمایش، اندازه هر کرت به ابعاد ۵×۳ متر و حاوی ٦ ردیف کاشت در نظر گرفته شد. فاصله میان کرتها یک متر و میان تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. کاشت رازیانه و اعمال تیمارهای آزمایشی بعد از مساعد شدن هوا در بهار انجام شد. به همین منظور جهت اعمال تیمارها، در کنار هر خط کاشت، شیاری در سراسر پشته به عمق ۵ سانتی‌متر ایجاد نموده و کود فسفات زیستی و ورمی‌کمپوست را در داخل شیار ریخته و به‌وسیله شن‌کش روی آن خاک داده شد. کاشت رازیانه در تاریخ ۲۸ فروردین سال ۱۳۸٤ و پس از اینکه بخشی از بذرهای مورد نیاز با مایه تلقیح میکوریزایی مخلوط شدند، انجام گردید و بلافاصله آبیاری انجام شد. بعد در مرحله ظهور سومین برگ رشته‌ای، تراکم کاشت براساس صد هزار بوته در هکتار (۲۰×۵۰ سانتی‌متر) تنظیم شد. لازم به یادآوری است، از آنجا که رازیانه یک گیاه چند ساله می‌باشد، بنابراین فقط در سال اول آزمایش کشت شد. همچنین بر مبنای تجزیه خاک و ورمی‌کمپوست تنها به میزان ۳۰ کیلوگرم نیتروژن (از نوع کود اوره) در هکتار در مرحله ساقه‌دهی برای کرتهای آزمایشی مصرف گردید. عملیات مبارزه با علفهای هرز مزرعه در چهار نوبت به روش مکانیکی و به‌وسیله دست انجام شد.

عملیات آبیاری نیز در طول دوره رشد، هر ۷ روز یک بار انجام گردید. در سال دوم آزمایش نیز تیمارها دقیقاً در کرتهای سال اول قرار گرفتند و کلیه عملیات مربوط به سال اول (بجز کاشت بذر و تنک‌کردن بوته‌ها) برای سال دوم نیز تکرار گردید. در این تحقیق صفات غلظت نیتروژن در دانه، غلظت فسفر در دانه، غلظت پتاسیم در دانه و عملکرد دانه مورد بررسی قرار گرفتند. به‌منظور تعیین عملکرد دانه در واحد سطح، از خطوط میانی هر کرت معادل ۲ مترمربع، بوته‌ها به روش دستی برداشت و پس از خشک شدن در هوای آزاد و در سایه، در گونی‌های دربسته کوبیده و دانه آنها جدا شد (اکبری‌نیا، ۱۳۸۲؛ شریفی عاشورآبادی و همکاران، ۱۳۸۱). جهت تعیین غلظت عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) موجود در بذر رازیانه، یک نمونه ۲۰ گرمی بذر از هر کرت به‌طور تصادفی تهیه گردید. نمونه‌های فراهم شده را پس از خشک کردن در آون (۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت) به‌وسیله آسیاب برقی پودر کرده و نهایتاً به روش هضم توسط اسید سولفوریک، اسید سالیسیک، آب اکسیژنه و سلنیم، عصاره آنها تهیه شد و برای اندازه‌گیری کلیه عناصر مورد نظر در دانه رازیانه از این عصاره استفاده شد. میزان درصد نیتروژن دانه با استفاده از روش تیتراسیون بعد از تقطیر و به کمک دستگاه کجل تک‌اتو آنالیزر، مقدار فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات- وانادات) و به

کمک دستگاه اسپکتروفتومتر و میزان پتاسیم با استفاده از روش نشر شعله‌ای و به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شدند (امامی، ۱۳۷۵). جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزارهای آماری موجود (SAS، SPSS، MSTAT-C) برای آنالیز واریانس نتایج هر سال آزمایش استفاده شد و نتایج دو سال آزمایش نیز به‌صورت تجزیه مرکب داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای مقایسه میانگین تیمارها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، استفاده شد.

نتایج

غلظت نیتروژن در دانه

نتایج حاصل از تجزیه مرکب سالهای آزمایش بیانگر آن بود که تأثیر هر سه عامل به تنهایی در سطح یک درصد و نیز اثر متقابل دو عامل تلقیح میکوریزایی و کود فسفات زیستی در سطح پنج درصد بر غلظت نیتروژن در دانه معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگینها نشان داد که بین تلقیح با میکوریزا (۲/٦۲٪) و عدم تلقیح (۲/٥٤٪) تفاوت قابل‌توجهی وجود دارد، به‌نحوی که غلظت نیتروژن در دانه در تلقیح با میکوریزا در حدود ۳ درصد بیشتر بود (جدول ٤). همچنین مقایسه میانگین تیمارها نشان‌دهنده آن بود که میان سطوح کود فسفات زیستی نیز اختلاف معنی‌داری وجود دارد، به‌نحوی که غلظت نیتروژن در دانه در سطح سوم (۲/٦٤٪) در حدود ٤/۸ درصد بیشتر از سطح اول (۲/٥۲٪) بود (جدول ٤). همچنین تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای میان سطوح ورمی‌کمپوست مشاهده شد، به‌نحوی که غلظت نیتروژن در دانه در سطح سوم (۲/۸۲٪) در حدود ٦ درصد بیشتر از سطح دوم (۲/٦٦٪) و ۲٥/۳ درصد بیشتر از سطح اول (۲/۲٥٪) بود (جدول ٤). همچنین مقایسه میانگینهای اثر متقابل دو عامل تلقیح میکوریزایی و کود فسفات زیستی نیز دارای اختلاف معنی‌داری بود، به‌نحوی که غلظت نیتروژن در دانه، تنها در تیمار حاوی سطح تلقیح میکوریزایی در سطح سوم کود فسفات زیستی (۲/۷۲٪) نسبت به سایر تیمارها به‌طور چشمگیری برتر بود (جدول ٤).

غلظت فسفر در دانه

نتایج حاصل از تجزیه مرکب سالهای آزمایش، گویای آن بود که تأثیر هر سه عامل به تنهایی و اثر متقابل دو عامل کود فسفات زیستی و ورمی‌کمپوست در سطح یک درصد و نیز اثر متقابل دو عامل تلقیح میکوریزایی و ورمی‌کمپوست در سطح پنج درصد بر غلظت فسفر در دانه معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگینها نشان داد که بین تلقیح با میکوریزا (۱/۲۱٪) و عدم تلقیح (۱/۱٦٪) تفاوت قابل‌توجهی وجود دارد، به‌نحوی که غلظت فسفر در دانه در تلقیح با میکوریزا در حدود ٤/۳ درصد بیشتر بود (جدول ٥). همچنین مقایسه میانگینها بیان‌کننده آن بود که میان سطوح کود فسفات زیستی اختلاف معنی‌داری وجود دارد، به‌نحوی که غلظت فسفر در دانه در سطح دوم (۱/۲۰٪) در حدود ٤/۳ درصد بیشتر از سطح اول (۱/۱٥٪) گردید (جدول ٥). همچنین تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای بین سطوح ورمی‌کمپوست مشاهده شد، به‌نحوی که غلظت فسفر در دانه در سطح سوم (۱/۲٥٪) در حدود ٥ درصد بیشتر از سطح دوم (۱/۱۹٪) و ۱۱/٦ درصد بیشتر از سطح اول (۱/۱۲٪) بود (جدول ٥). مقایسه میانگینهای اثر متقابل دو عامل تلقیح میکوریزایی و ورمی‌کمپوست نیز دارای اختلاف

معنی‌داری بود، به‌نحوی که غلظت فسفر در دانه در تیمارهای حاوی سطح تلقیح با میکوریزا در سطوح مختلف ورمی‌کمپوست (به‌ترتیب ۱/۱۶٪، ۱/۲۱٪ و ۱/۲۷٪) در مقایسه با تیمارهای حاوی سطح عدم تلقیح میکوریزایی در سطوح مختلف ورمی‌کمپوست (به‌ترتیب ۱/۰۷٪، ۱/۱۸٪ و ۱/۲٤٪) بیشتر بود (جدول ۵). همچنین مقایسه میانگینهای اثر متقابل دو عامل کود فسفات زیستی و ورمی‌کمپوست نیز دارای اختلاف معنی‌داری بود، به‌طوری که غلظت فسفر در دانه در تیمار حاوی سطح دوم کود فسفات زیستی با سطح سوم ورمی‌کمپوست (۱/۲۷٪) برتر از تیمار حاوی سطح اول کود فسفات زیستی با سطح سوم ورمی‌کمپوست (۱/۲۳٪) بود (جدول ۵).

غلظت پتاسیم در دانه

نتایج حاصل از تجزیه مرکب دو سال آزمایش، نشان‌دهنده آن بود که تأثیر هر سه عامل به تنهایی و نیز اثر متقابل دو عامل تلقیح میکوریزایی و ورمی‌کمپوست در سطح یک درصد بر غلظت پتاسیم در دانه معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگینها نشان داد که بین تلقیح با میکوریزا (۱/٥٤٪) و عدم تلقیح (۱/٤٨٪) تفاوت قابل‌توجهی وجود دارد، به‌نحوی که غلظت پتاسیم در دانه در تلقیح با میکوریزا در حدود ٤ درصد بیشتر بود (جدول ٦). مقایسه میانگین تیمارها نشان‌دهنده آن بود که میان سطوح کود فسفات زیستی نیز اختلاف معنی‌داری وجود دارد، به‌نحوی که غلظت پتاسیم در دانه در سطح دوم (۱/٥۲٪)، در حدود ۳/٤ درصد بیشتر از سطح اول (۱/٤۷٪) بود (جدول ٦). همچنین تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای بین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست مشاهده شد، به‌نحوی که غلظت پتاسیم در دانه در سطح سوم (۱/٦٦٪) ۱۱/٤ درصد بیشتر از سطح دوم (۱/٤۹٪) و ۲۰/۳ درصد بیشتر از سطح اول (۱/۳۸٪) بود (جدول ٦). مقایسه میانگینهای اثر متقابل دو عامل تلقیح میکوریزایی و ورمی‌کمپوست نیز دارای اختلاف معنی‌داری بود، به‌نحوی که غلظت پتاسیم در دانه فقط در تیمار حاوی سطح تلقیح با میکوریزا و مصرف ۱۰ تن ورمی‌کمپوست (۱/۷۳٪) در مقایسه با تیمار عدم تلقیح و کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست (۱/٥۹٪) به‌طور چشمگیری افزایش یافت و در حدود ۸/۸ درصد برتر بود و در سایر تیمارها در میان تیمار تلقیح با میکوریزا و تیمار عدم تلقیح همراه با مصرف مقدار یکسانی ورمی‌کمپوست، تفاوت بارزی مشاهده نشد (جدول ٦).

عملکرد دانه

اطلاعات حاصل از تجزیه مرکب سالهای آزمایش، بیانگر آن بود که تأثیر هر سه عامل به تنهایی در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید ولی اثر متقابل بین عوامل مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین تلقیح با میکوریزا (۱۳٦۷ کیلوگرم در هکتار) و عدم تلقیح (۱۲٤۰ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری که عملکرد دانه در تلقیح با میکوریزا در حدود ۱۰/۲ درصد بیشتر بود (جدول ۷). مقایسه میانگین تیمارها در میان سطوح کود فسفات زیستی نیز معنی‌دار بود، به‌طوری که عملکرد دانه در سطح دوم (۱۳۱٦ کیلوگرم در هکتار) در حدود ۳ درصد بیشتر از سطح اول (۱۲۷٦ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۷). همچنین مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که

بین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری که عملکرد دانه در سطح سوم (۱۶۸۹ کیلوگرم در هکتار)، در حدود ۹۲/۷ درصد بیشتر از سطح اول (۸۷۶/٤ کیلوگرم در هکتار) و ۲۵/٦ درصد بیشتر از سطح دوم (۱۳٤۵ کیلوگرم در هکتار) گردید (جدول ۷).

جدول ۳- تجزیه واریانس غلظت عناصر غذایی و عملکرد دانه رازیانه تحت تأثیر کودهای بیولوژیک در تجزیه مرکب دو سال آزمایش

منابع تغییرات (S. O. V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)			
		غلظت نیتروژن در دانه (٪)	غلظت فسفر در دانه (٪)	غلظت پتاسیم در دانه (٪)	عملکرد دانه (kg/ha)
سال	۱	۱۹۲/۰۲۷ **	٤۲/۸۷۸ **	٦۱/٦۰۸ **	۹۳۹۵۲٦۰/٦۱ **
تکرار در سال (خطای a)	٤	۰/۰۲۹	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۲	٤۳۰٦/۸۵
تلقیح میکوریزایی	۱	۰/۱۷۰ **	۰/۰۵۸ **	۰/۰۹۷ **	٤۳۳٤۰٦/٤۹ **
تلقیح میکوریزایی× سال	۱	۰/۰۲۳ ns	۰/۰۱۸ **	۰/۰۵۲ *	٦۹۸۱۰/۹۵ **
کود فسفات زیستی	۲	۰/۱۱۸ **	۰/۰۲۹ **	۰/۰٤۸ **	۲۰۸۰۲/۱۷ **
کود فسفات زیستی× سال	۲	۰/۰٤۱ ns	۰/۰۱۱ *	۰/۰٤۱ *	٦٤۷۰/٤۲
تلقیح میکوریزایی× کود فسفات زیستی	۲	۰/۰٦۷ *	۰/۰۰٤ ns	۰/۰۰۲ ns	۲۲/۲٤ ns
تلقیح میکوریزایی× کود فسفات زیستی× سال	۲	۰/۰۱٤ ns	۰/۰۰٤ ns	۰/۰۰۲ ns	۱٤/٦٤ ns
ورمی‌کمپوست	۲	۳/۱٦٦ **	۰/۱۷۳ **	۰/۷۲٤ **	٦۰۰۱۵٦٤/۰۷ **
ورمی‌کمپوست× سال	۲	۰/۸۸۸ **	۰/۰٤۹ **	۰/٤۳۹ **	۷۹۱۸۸۳/۹۲ **
تلقیح میکوریزایی× ورمی‌کمپوست	۲	۰/۰۰٦ ns	۰/۰۰۹ *	۰/۰٤٤ **	۵٤۱۳/۲۸ ns
تلقیح میکوریزایی× ورمی‌کمپوست× سال	۲	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۳۱ *	۸۲۷۹/۵۲ ns
کود فسفات زیستی × ورمی‌کمپوست	٤	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۹ **	۰/۰۰۷ ns	۲۵۷۷/۳۲ ns
کود فسفات زیستی× ورمی‌کمپوست× سال	٤	/۰۰٤۰ ns	۰/۰۰٦ ns	۰/۰۱۰ ns	۳۸٤/۵۸ ns
اثر متقابل هر سه فاکتور	٤	۰/۰۳۱ ns	۰/۰۰٤ ns	۰/۰۱۰ ns	۱۱۳/۵٤ ns
اثر متقابل هر سه فاکتور× سال	٤	۰/۰۱۳ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۱۱ ns	٤۳۳/۳۰ ns
خطای b	٦۸	۰/۰۱۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	۳٤۲۰/۳۷

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد احتمال.

جدول ٤- مقایسه میانگینهای غلظت نیتروژن در دانه تحت تأثیر کودهای بیولوژیک در سال ٨٤، ٨٥ و تجزیه مرکب دو سال آزمایش

تیمار	غلظت نیتروژن در دانه (درصد)		
	سال ١٣٨٤	سال ١٣٨٥	تجزیه مرکب دو سال آزمایش
تلقیح میکوریزایی			
m1	١/٢٢ b	٣/٨٦ b	٢/٥٤ b
m2	١/٢٧ a	٣/٩٧ a	٢/٦٢ a
کود فسفات زیستی			
p1	١/٢٢ a	٣/٨٢ b	٢/٥٢ b
p2	١/٤٢ a	٣/٩١ b	٢/٥٨ a b
p3	١/٢٦ a	٤/٠٠ a	٢/٦٤ a
ورمی‌کمپوست			
v1	١/٠٩ c	٣/٤١ c	٢/٢٥ c
v2	١/٢٩ b	٤/٠٤ b	٢/٦٦ b
v3	١/٣٦ a	٤/٢٩ a	٢/٨٢ a
تلقیح میکوریزایی× کود فسفات زیستی			
m1p1	١/٢٠ b	٣/٧٩ b	٢/٥٠ b
m1p2	١/٢٤ b	٣/٩٠ b	٢/٥٧ b
m1p3	١/٢٢ b	٣/٨٨ b	٢/٥٥ b
m2p1	١/٢٤ b	٣/٨٥ b	٢/٥٥ b
m2p2	١/٢٥ b	٣/٩٢ b	٢/٥٨ b
m2p3	١/٣٢ a	٤/١٣ a	٢/٧٢ a

میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ٥٪ می‌باشند (برای اطلاع از تیمارها به مواد و روشها مراجعه گردد).

جدول ۵- مقایسه میانگینهای غلظت فسفر در دانه تحت تأثیر کودهای بیولوژیک در سال ۸۴، ۸۵ و تجزیه مرکب دو سال آزمایش

تیمار	غلظت فسفر در دانه (درصد)		
	سال ۱۳۸٤	سال ۱۳۸۵	تجزیه مرکب دو سال آزمایش
تلقیح میکوریزایی			
m1	۰/٥٤٨ b	۱/۷۸ b	۱/۱٦ b
m2	۰/٥٦۹ a	۱/۸٥ a	۱/۲۱ a
کود فسفات زیستی			
p1	۰/٥٤٦ b	۱/۷۷ b	۱/۱٥ b
p2	۰/٥٦۲ a	۱/۸٤ a	۱/۲۰ a
p3	۰/٥٦۷ a	۱/۸٥ a	۱/۲۱ a
ورمی‌کمپوست			
v1	۰/٥۲٦ c	۱/۷۱ c	۱/۱۲ c
v2	۰/٥٥۹ b	۱/۸۳ b	۱/۱۹ b
v3	۰/٥۹۱ a	۱/۹۲ a	۱/۲٥ a
تلقیح میکوریزایی× ورمی‌کمپوست			
m1v1	۰/٥۰۹ e	۱/٦٤ e	۱/۰۷ e
m1v2	۰/٥٥٦ c	۱/۸۰ c d	۱/۱۸ c d
m1v3	۰/٥۸۰ b	۱/۹۱ ab	۱/۲٤ a
m2v1	۰/٥٤۲ d	۱/۷۷d	۱/۱٦ d
m2v2	۰/٥٦۳ c	۱/۸٦ bc	۱/۲۱ bc
m2v3	۰/٦۰۱ a	۱/۹۳ a	۱/۲۷ a
کود فسفات زیستی× ورمی‌کمپوست			
p1v1	۰/٥۰٥ g	۱/٥۹ d	۱/۰٥ f
p1v2	۰/٥٥۳ de	۱/۸۳ bc	۱/۱۹ cd
p1v3	۰/٥۸۰ b	۱/۸۷ ab	۱/۲۳ bc
p2v1	۰/٥۳۰ f	۱/۷٤ c	۱/۱٤ e
p2v2	۰/٥٦۷ c	۱/۸۳ bc	۱/۱۹ cd
p2v3	۰/٥۹۰ ab	۱/۹٥ a	۱/۲۷ a
p3v1	۰/٥٤۲ ef	۱/۷۹ bc	۱/۱٦ de
p3v2	۰/٥٥۸ cd	۱/۸۳ bc	۱/۱۹ cd
p3v3	۰/٦۰۲ a	۱/۹۳ a	۱/۲۷ ab

میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند (برای اطلاع از تیمارها به مواد و روشها مراجعه گردد).

جدول ٦- مقایسه میانگینهای غلظت پتاسیم در دانه تحت تأثیر کودهای بیولوژیک در سال ۸٤، ۸۵ و تجزیه مرکب دو سال آزمایش

تیمار	غلظت پتاسیم در دانه (درصد)		
	سال ۱۳۸٤	سال ۱۳۸۵	تجزیه مرکب دو سال آزمایش
تلقیح میکوریزایی			
m1	۰/۷٤٦ a	۷/۲۱ b	۱/٤۸ b
m2	۰/۷٦۳ a	۲/۳۲ a	۱/٥٤ a
کود فسفات زیستی			
p1	۰/۷٥۲ a	۲/۱۹ b	۱/٤۷ b
p2	۰/۷٥۲ a	۲/۲۹ a	۱/٥۲ a
p3	۰/۷٥۹ a	۲/۳۲ a	۱/٥٤ a
ورمی‌کمپوست			
v1	۰/۷۲۲ c	۲/۰۳ c	۱/۳۸ c
v2	۰/۷٥٦ b	۲/۲۳ b	۱/٤۹ b
v3	۰/۷۸٦ a	۲/٥۳ a	۱/٦٦ a
تلقیح میکوریزایی× ورمی‌کمپوست			
m1v1	۰/۷۱۳ d	۲/۰۲ d	۱/۳۷ d
m1v2	۰/۷٥٤ bc	۲/۲۱ c	۱/٤۸ c
m1v3	۰/۷۷۱ ab	۲/٤۱ b	۱/٥۹ b
m2v1	۰/۷۳۱ cd	۲/۰٥ d	۱/۳۹ d
m2v2	۰/۷٥۷ bc	۲/۲٤ c	۱/٥۰ c
m2v3	۰/۸۰۰ a	۲/٦٦ a	۱/۷۳ a

میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند (برای اطلاع از تیمارها به مواد و روشها مراجعه گردد).

جدول ۷- مقایسه میانگینهای عملکرد دانه تحت تأثیر کودهای بیولوژیک در سال ۸٤، ۸۵ و تجزیه مرکب دو سال آزمایش

تیمار	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		
	سال ۱۳۸٤	سال ۱۳۸۵	تجزیه مرکب دو سال آزمایش
تلقیح میکوریزایی			
m1	۹۷۱ b	۱٥۱۰ b	۱۲٤۰ b
m2	۱۰٤۷ a	۱٦۸۸ a	۱۳٦۷ a
کود فسفات زیستی			
p1	۹۹٦/٦ a	۱٥٥٦ b	۱۲۷٦ b
p2	۱۰۱٦ a	۱٦۱۸ a	۱۳۱٦ a
p3	۱۰۱٥ a	۱٦۲۳ a	۱۳۱۸ a
ورمی‌کمپوست			
v1	۷۳٥/٤ c	۱۰۱۷ c	۸۷٦/٤ c
v2	۱۰۳۹ b	۱٦٥۳ b	۱۳٤٥ b
v3	۱۲٥۳ a	۲۱۲۷ a	۱٦۸۹ a

میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند (برای اطلاع از تیمارها به مواد و روشها مراجعه گردد)

بحث

به نظر می‌رسد که همزیستی میکوریزایی از طریق بهبود رشد و نمو و متعاقب آن افزایش وزن خشک گیاه، سبب بهبود غلظت نیتروژن در دانه رازیانه شده است. در همین رابطه، نتیجه پژوهش Arriagada و همکاران (۲۰۰۷) بر روی گیاه دارویی اکالیپتوس نیز با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد. آنها مشاهده کردند که کاربرد دو گونه قارچ میکوریزا به نامهای *Glomus mosseae* و *G. deserticola*، سبب بهبود معنی‌دار غلظت نیتروژن در گیاه اکالیپتوس (به‌ترتیب ۲/۹۶٪، ۳/۵۱٪) در مقایسه با عدم تلقیح (۱/۷۶٪) شد. پژوهشگران در این آزمایش، افزایش غلظت نیتروژن را به بهبودی که در رشد، نمو و مقدار کلروفیل برگ و متعاقب آن وزن خشک گیاه که در اثر همزیستی میکوریزایی حاصل شده بود، نسبت دادند. همچنین، Ilbas و Sahin (۲۰۰۵) نیز در مطالعه‌ای بر روی گیاه سویا، شاهد بهبود محسوس غلظت نیتروژن دانه در تیمار حاوی تلقیح میکوریزایی بودند. یافته‌های محمودی و همکاران (۱۳۸۲) نیز بیانگر آن بود که تلقیح ریشه گیاه پسته با یک گونه میکوریزا به نام *Glomus dimorphism*، باعث بهبود محسوس غلظت نیتروژن در گیاه پسته در مقایسه با عدم تلقیح گردید. آنها در تفسیر نتیجه حاصل، اظهار داشتند که افزایش غلظت نیتروژن و تحریک رشد اندامهای هوایی گیاه با افزایش تغذیه فسفری همراه است. از این رو تأثیر قارچ میکوریزا بر روی میزان نیتروژن گیاه پسته، احتمالاً به‌طور غیر مستقیم از طریق بهبود وضعیت فسفر گیاه که ناشی از همزیستی میکوریزایی می‌باشد، اعمال می‌شود. نتایج تحقیقات Wu و همکاران (۲۰۰۵)، Guo و همکاران (۲۰۰۶) و Lestingi و همکاران (۲۰۰۷) به‌ترتیب بر روی گیاهان ذرت، پیاز و تریتیکاله علوفه‌ای با نتیجه پژوهش حاضر هماهنگی دارد. می‌توان اظهار داشت که مصرف کود فسفات زیستی از طریق بهبودی که در مقدار فسفر و نیز افزایشی که بدنبال آن بر روی رشد، نمو و بیوماس گیاه رازیانه ایجاد می‌کند، سبب بهبود محسوس غلظت نیتروژن در دانه می‌شود. یافته‌های Toro و همکاران (۱۹۹۷) بر روی گیاه پیاز نیز با نتیجه این پژوهش هماهنگی دارد. آنها در پژوهش خود، شاهد افزایش بارز غلظت نیتروژن در گیاه پیاز در مقایسه با تیمار کنترل در اثر کاربرد باکتریهای حل‌کننده فسفات به‌نام *Entrobacter* sp. همراه با سنگ فسفات بودند. به‌نظر می‌رسد که افزایش فعالیت بیولوژیک در محیط رشد حاوی ورمی‌کمپوست و پیامد آن بهبود جذب عناصری چون نیتروژن، ضمن افزایش وزن خشک بوته رازیانه، می‌تواند موجب بهبود غلظت نیتروژن در دانه آن شود. در این خصوص یافته‌های Atiyeh و همکاران (۲۰۰۲) بر روی گیاهی زینتی به نام *Tagetes patula* و Zaller (۲۰۰۷) بر روی گوجه‌فرنگی با نتیجه مطالعه حاضر مطابقت دارد. در رابطه با اثرهای متقابل تشدیدکننده‌ای که بین تلقیح میکوریزایی و کود فسفات زیستی بر روی غلظت نیتروژن در دانه رازیانه مشاهده شد، Toro و همکاران (۱۹۹۷) نیز در پژوهشی بر روی گیاه پیاز به نتیجه مشابهی دست یافتند. آنها نشان دادند که مصرف همزمان یک باکتری حل‌کننده فسفات به نام *Bacillus subtilis* همراه با سنگ فسفات معدنی و قارچ میکوریزا به نام *Glomus intraradices*، یک اثر هم‌افزایی و تقویت‌کننده بر روی غلظت نیتروژن در گیاه دارد. محققان یاد شده دریافتند که حضور این دو کود بیولوژیک در کنار یکدیگر نه‌تنها از طریق مشارکتشان در افزایش فراهم‌کردن سطح جذب، سبب بهبود جذب عناصر معدنی

نظیر نیتروژن می‌شوند، بلکه قادرند در چرخه بیوژئوشیمیایی عناصر غذایی در خاک نیز مداخله کنند و از طریق تسهیل حلالیت عناصر معدنی، موجب جذب کارآمد آنها توسط گیاه شوند. یافته‌های Singh و Kapoor (۱۹۹۹) و Hazarika و همکاران (۲۰۰۰) به‌ترتیب بر روی گیاهان گندم و چای نیز بر این موضوع تأکید دارد.

بنابراین به نظر می‌رسد که همزیستی میکوریزایی از طریق جذب مناسب فسفر و انتقال آن به گیاه رازیانه و نیز افزایش وزن خشک گیاه و به‌ویژه دانه، موجب بهبود غلظت فسفر در دانه می‌شود. نتیجه پژوهش Kapoor و همکاران (۲۰۰٤) نیز بیانگر همین مطلب است. آنها نیز در تحقیق خود نشان دادند که میانگین غلظت فسفر در تلقیح رازیانه با دو گونه میکوریزای VAM (۱/٦۲٪) به‌نحو بارزی نسبت به تیمار شاهد (۱/۱۵٪) بیشتر شد. محققان یاد شده دریافتند که همزیستی میکوریزایی از طریق بهبود گسترش هیف‌های قارچ در منافذ خاک، به طور فیزیکی موجب افزایش جذب فسفر در پیکره رویشی رازیانه شد و متعاقب آن با افزایش وزن خشک گیاه سبب بهبود غلظت فسفر در دانه رازیانه شد. یافته‌های Ratti و همکاران (۲۰۰۱)، Srivastava و همکاران (۲۰۰۲)، Kapoor و همکاران (۲۰۰۲b)، Lang و همکاران (۲۰۰۳) و Toussaint و همکاران (۲۰۰۷) به‌ترتیب بر روی گیاهان دارویی علف لیمو (گونه‌ای از مرکبات)، گشنیز، بارهنگ و ریحان در خصوص افزایش غلظت فسفر گیاهان یاد شده در همزیستی میکوریزایی، با نتیجه پژوهش حاضر مطابقت دارد. در بررسی مشابهی که به همین منظور بر روی شوید و نوعی زیره انجام شده بود، ملاحظه شد که کاربرد دو گونه قارچ VAM به نامهای *Glomus macrocarpum* و *Glomus fasiculatum* به‌طور قابل توجهی غلظت فسفر را بهبود بخشید (Kapoor *et al.*, 2002a). آنها نتیجه گرفتند که عواملی نظیر مورفولوژی ریشه و میزان جذب فسفر توسط گیاه که در نهایت موجب افزایش سرعت رشد و نمو می‌شوند، مؤثرتر از ویژگی میزان آلودگی ریشه، در بهبود بیوماس و غلظت فسفر گیاهان تلقیح شده با میکوریزا هستند. به‌عبارتی دیگر آنها بیان کردند که درجه تأثیر یک گونه قارچ میکوریزا در مقایسه با میزان آلودگی ریشه توسط آن، از اهمیت بیشتری برخوردار است. مطالعه Khaosaad و همکاران (۲۰۰٦) هم که با استفاده از یک گونه قارچ VAM به نام *Glomus mosseae* بر روی گیاه دارویی مرزنجوش انجام گرفته بود نیز نشان‌دهنده آن بود که غلظت فسفر در برگ این گیاه به‌طور چشمگیری در مقایسه با شاهد افزایش یافت. آنها افزایش غلظت فسفر را به بهبود میزان همزیستی میکوریزایی، نسبت دادند. همچنین در پژوهش دیگری که در همین ارتباط بر روی گیاه دارویی اکالیپتوس انجام شد، Arriagada و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده کردند که کاربرد دو گونه از قارچ میکوریزا به نامهای *Glomus mosseae* و *G. deserticola* باعث افزایش قابل ملاحظه غلظت فسفر در این گیاه (۰/۳۳٪) در مقایسه با شاهد (۰/۲۱٪) شد. در این تحقیق نیز پژوهشگران دریافتند که همزیستی میکوریزایی از طریق ایجاد یک سیستم ریشه‌ای نازک‌تر و نفوذ آن به منافذ باریک خاک، سبب بهبود غلظت فسفر در اکالیپتوس شده است. کود فسفات زیستی نیز از طریق افزایش فعالیت باکتری حل‌کننده فسفات در خاک و بهبود حلالیت فسفر در ریزوسفر، قادر به تأمین مناسب فسفر مورد نیاز گیاه رازیانه در مراحل مختلف رشدی و بهبود غلظت فسفر در دانه آن گردید. نتیجه مطالعه Cabello و همکاران (۲۰۰۵) بر روی گیاه دارویی نعناع و Ratti و

همکاران (۲۰۰۱) بر روی گیاه دارویی علف لیمو نیز با یافته‌های تحقیق حاضر هماهنگی دارد. در پژوهش دیگری که توسط Omar (۱۹۹۸) در خصوص اهمیت مصرف میکروارگانیزمهای حل‌کننده فسفات در گیاهان زراعی انجام شد، روشن گردید که کاربرد قارچهای حل‌کننده فسفات شامل *Penicillium citrinum* و *Aspergillus niger* در حضور سنگ فسفات موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر بوته گندم نسبت به تیمار شاهد گردید. او اظهار داشت که در خاکهای قلیایی دسترسی گندم به فسفر حاصل از مصرف کود شیمیایی به‌طور مطلوب صورت نمی‌گیرد و تلفات تثبیت فسفر و آلودگی خاک و آب بوقوع می‌پیوندد. اما کاربرد میکروارگانیزمهای حل‌کننده فسفات همراه با سنگ فسفات، ضمن افزایش حلالیت فسفر و فراهم‌کردن مناسب آن برای گندم، موجب بهبود غلظت این عنصر و در نهایت رشد بوته گندم و حفظ سلامت خاک می‌شود. همچنین در تحقیقی که به همین منظور بر روی گیاه نیشکر انجام شد، Sundara و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که کاربرد یک سوش از باکتریهای حل‌کننده فسفات به نام *Bacillus megatherium* همراه با سنگ فسفات، موجب بهبود معنی‌دار غلظت فسفر در غلاف برگ در مراحل مختلف رشدی مانند مرحله پنجه‌دهی (۱۵۳/۰۰٪) در مقایسه با شاهد (۱٤۹/۰۰٪) می‌شود. همچنین به نظر می‌رسد که مصرف ورمی‌کمپوست از طریق بهبود فراهم‌کردن جذب عناصر غذایی و فعالیت میکروبی خاک، سبب افزایش بیوماس گیاهی و در نهایت افزایش غلظت فسفر در دانه شد. گزارش Mohanty و همکاران (۲۰۰٦) نیز بیانگر بهبود قابل ملاحظه غلظت فسفر در دانه در گیاه بادام زمینی در اثر مصرف ورمی‌کمپوست بود. آنها دریافتند که رهاسازی آهسته فسفر از ورمی‌کمپوست و افزایش فراهم‌کردن این عنصر در خاک، موجب بهبود مقدار فسفر در دانه بادام زمینی شده است. نتیجه تحقیق Sainz و همکاران (۱۹۹۸) بر روی شبدر قرمز و خیار نیز مؤید همین مطلب است. آنها اظهار داشتند که ورمی‌کمپوست حاوی عناصر معدنی قابل استفاده فراوانی بوده که موجب تغذیه مستقیم این گیاهان شده و از طریق بهبود رشد و نمو، سبب افزایش وزن خشک و سرانجام بهبود غلظت فسفر اندام هوایی شده است. یافته‌های Shivaputra و همکاران (۲۰۰٤) در مورد گیاه خربزه درختی و Zaller (۲۰۰۷) بر روی گوجه‌فرنگی با نتیجه پژوهش حاضر هماهنگی دارد. همچنین به نظر می‌رسد که در تحقیق ما یک رابطه هم‌افزایی در بین قارچ میکوریزایی و ورمی‌کمپوست در محیط خاک بوجود آمده که از طریق بهبود تغذیه فسفر می‌تواند منجر به افزایش غلظت فسفر در رازیانه شود. یافته‌های Sainz و همکاران (۱۹۹۸) بر روی خیار و شبدر قرمز نیز با نتیجه پژوهش حاضر مطابقت دارد. آنها نشان دادند که کاربرد همزمان میکوریزا و ورمی‌کمپوست، یک اثر تشدیدکننده بر غلظت فسفر در گیاهان یاد شده دارد، به‌گونه‌ای که مصرف ورمی‌کمپوست از طریق حلالیت مطلوب فسفر در بستر کشت، سبب جذب مناسب فسفر توسط ریسه‌های گسترده میکوریزا شده و متعاقب آن با بهبود وزن خشک گیاه، موجب افزایش غلظت فسفر در گیاه می‌شود. در تفسیر نتیجه حاصل از اثر متقابل بین کود فسفات زیستی و ورمی‌کمپوست می‌توان اظهار داشت همان گونه که در نتیجه پژوهش Kumar و Singh (۲۰۰۱) نیز مشاهده شد، یک رابطه افزایشی در بین باکتریهای حل‌کننده فسفات همراه با سنگ فسفات و ورمی‌کمپوست وجود دارد؛

ضمن اینکه حلالیت فسفر سبب رهاسازی آهسته و مداوم آن به بستر رشد گیاه شده و از طریق افزایش جذب فسفر توسط ریشه گیاه می‌تواند با بهبود وزن خشک گیاه و متعاقب آن وزن دانه، موجب افزایش غلظت فسفر در آن شود.

بنابراین به نظر می‌رسد که افزایش غلظت پتاسیم در دانه رازیانه در ارتباط با بهبود همزیستی میکوریزایی که موجب گسترش و نفوذ مطلوب هیف‌های خارجی قارچ به منافذ باریک خاک شده بود، باشد. در همین رابطه در پژوهشی که توسط Arriagada و همکاران (۲۰۰۷) بر روی گیاه دارویی اکالیپتوس انجام شد، ملاحظه شد که در کشت این گیاه همراه با سویا و در شرایط همزیستی میکوریزایی قارچ گونه *Glomus deserticola* با ریشه گیاه اکالیپتوس، غلظت پتاسیم در مقایسه با شاهد به نحو بارزی بهبود یافت. آنها دریافتند که حضور سویا در کنار اکالیپتوس نه‌تنها هیچ‌گونه اثر بازدارندگی و رقابتی روی ریشه این گیاه نداشت بلکه سبب تشدید همزیستی میکوریزایی در اکالیپتوس شد، به‌طوری که ریشه‌های میکوریزایی سویا به‌عنوان یک منبع تلقیح میکوریزایی اضافی برای ریشه اکالیپتوس عمل نموده و با مشارکت یکدیگر ضمن بهبود جذب عناصری نظیر پتاسیم و افزایش رشد و وزن خشک گیاه اکالیپتوس، سبب بهبود محسوس غلظت پتاسیم آن نیز شد. یافته‌های Shockley و همکاران (۲۰۰٤) که بر روی نوعی شبدر بومی آمریکا به نام *Desmodium paniculatum* انجام شد نیز با نتیجه پژوهش حاضر همخوانی دارد. در خصوص تأیید تأثیر مصرف ورمی‌کمپوست بر روی افزایش غلظت پتاسیم در دانه رازیانه، Zaller (۲۰۰۷) نیز در تحقیقی بر روی گیاه گوجه‌فرنگی به نتیجه مشابهی دست یافت. او بهبود فعالیت میکربی، وجود تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و افزایش جذب عناصر معدنی نظیر پتاسیم در تیمار حاوی ورمی‌کمپوست را به‌عنوان دلایل عمده افزایش غلظت پتاسیم در مقایسه با تیمار عدم مصرف دانست. همچنین یک اثر مشارکتی و تشدیدکننده نیز در مصرف همزمان تلقیح میکوریزایی و ورمی‌کمپوست به چشم می‌خورد به نحوی که این تأثیر تقویت کننده، در تیمار شامل تلقیح با میکوریزا و مصرف ۱۰ تن ورمی‌کمپوست به طرز محسوسی نمایان می‌گردد. به نظر می‌رسد که رهاسازی مطلوب پتاسیم توسط ورمی‌کمپوست و سطح جذب مناسبی که قارچ میکوریزا برای گیاه میزبان فراهم آورده، می‌تواند به یک اثر مشارکتی در جذب عناصر معدنی نظیر پتاسیم تبدیل گشته و از طریق افزایش وزن خشک گیاه و پیامد آن وزن دانه، موجب بهبود غلظت پتاسیم در دانه شود. یافته‌های Srivastava و همکاران (۲۰۰۲) بر روی مرکبات نیز به چنین تأثیر افزایشی در اثر متقابل بین قارچ میکوریزا و ورمی‌کمپوست برای جذب عناصر معدنی توسط گیاه اشاره دارد.

از آنجا که عملکرد دانه برایندی از صفات مختلف گیاهی نظیر تعداد چتر در بوته، وزن هزاردانه، بهبود غلظت عناصر غذایی و عملکرد بیولوژیک می‌باشد، بنابراین همزیستی گیاه رازیانه از طریق افزایش این صفات، سبب افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم تلقیح گردید. نتایج بدست‌آمده در این تحقیق با یافته‌های Toussaint و همکاران (۲۰۰۷) در مورد ریحان و Gupta و همکاران (۲۰۰۲) در مورد نعناع مطابقت دارد. در دو پژوهش دیگر که در همین خصوص بر روی گندم و ماش سبز تحت شرایط گلخانه‌ای انجام شد، مشخص گردید که کاربرد مایه تلقیح میکوریزایی موجب بهبود بارز عملکرد

دانـه در دو گیـاه یـاد شـده در مقایـسه بـا عـدم تلقـیح میکـوریزایی گردیـد (Singh & Kapoor, 1998, 1999). همچنین مشاهده‌هـای Ilbas و Sahin (۲۰۰۵) نیـز مؤیـد این نکته بود کـه همزیـستی میکـوریزای گونـه *Glomus fasiculatum* با ریشه گیاه سویا، از طریـق بهبـود غلظـت نیتروژن و فسفر در دانه، سبب بهبود معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به شاهد می‌شود. کود فسفات زیستی نیز از طریـق تأثیر قابل توجهی که بر روی ویژگیهایی نظیر ارتفاع بوته، تعداد چتـر در بوتـه و عملکـرد بیولوژیـک گیـاه دارویـی رازیانه گذاشته بود، باعث افـزایش عملکـرد دانـه گردیـد. تحقیق Sundara و همکاران (۲۰۰۲) نیز که بر روی گیـاه نیشکر انجام گردید، بیانگر آن بود که کاربرد یک گونـه از باکتریهـای حـل کننـده فـسفات بـه نـام *Bacillus megatherium* همراه بـا سـنگ فـسفات، ضـمن افـزایش فعالیت آن و بهبود حلالیت فسفر در ریزوسفر، با افـزایش دسترسی گیاه نیشکر به فسفر موجب افزایش پنجه‌دهـی و تعداد ساقه و نیز بهبـود رشـد آن شـده و ایـن مـسئله در نهایت توانست منجر به ازدیاد عملکرد ساقه شود. مطالعـه Annamalai و همکاران (۲۰۰٤) نیز نشان‌دهنـده افـزایش محسوس عملکرد دانه در اثر مصرف باکتریهای حل کننده فسفات در یک گیاه دارویـی از خـانواده فرفیـون بـه نـام *Phyllanthus amarus* در مقایسه با تیمار کنتـرل بـود. در دو مطالعـه دیگـر هـم کـه در خـصوص کـاربرد میکروارگانیزمهای حل کننده فسفات بر روی گیاهان گندم و ماش سبز انجام شد، آشکار گردید که مصرف یک گونه باکتری به نام *Bacillus circulans* و یک گونه قارچ به نام *Cladosporium herbarum* در حـضور سـنگ فـسفات سبب افزایش قابل ملاحظه عملکرد دانه نسبت بـه کنتـرل گردیـد (Singh & Kapoor, 1998, 1999). در ایـن پژوهش افزایش عملکرد دانه بـه افـزایش جـذب عناصـر غذایی به‌ویژه فـسفر و بهبـود فتوسـنتز گیاهـان یـاد شـده نسبت داده شد. افزایش مقادیر ورمی‌کمپوست نیز از طریق تأثیر بر قـدرت جـذب، نگهـداری و فـراهم‌کـردن بـالای رطوبت و عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم بـر روی افزایش اجزاء عملکرد رازیانـه نظیـر ارتفـاع، تعـداد چتر، وزن هزاردانه و بیوماس اثر گذاشته و موجب بهبـود عملکـرد دانـه شـد. ایـن موضـوع در نتـایج تحقیقـات Kumawat و همکـاران (۲۰۰٦) بـر روی جـو، Mba (۱۹۹٦) بر روی نخود و عزیـزی و همکـاران (۱۳۸۳) بـر روی ریحـان قابـل مـشاهده اسـت. در همـین رابطـه در تحقیقی که توسط Roy و Singh (۲۰۰٦) و تحت شـرایط مزرعه‌ای صورت گرفت، مـشاهده‌هـا بیـانگر آن بـود کـه کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در مقایسه بـا عـدم کـاربرد، سبب افزایش قابل توجه عملکرد دانه در گیاه جو شد. آنها دریافتند که استفاده از ورمی‌کمپوسـت از طریـق تحریـک میکروارگانیزمهای مفید خـاک و عرضـه مـداوم و پایـدار عناصر معدنی به‌ویژه نیتـروژن بـه گیـاه، موجـب افـزایش اجزاء عملکرد و عملکرد دانـه شـد. مطالعـه Arguello و همکاران (۲۰۰٦) نیـز نـشان‌دهنـده افـزایش قابـل توجـه عملکرد محصول در گیاه دارویی سیر بود. آنها دریافتند که مصرف ورمی‌کمپوست از طریق تسریع در تشکیل پیـاز و نیـز طـولانی شـدن دوره پـر شـدن آن، موجـب افـزایش کربوئیـدراتهای غیـر سـاختمانی نظیـر فروکتـان شـده و متعاقب آن عملکرد محصول سیر نیز بهبود می‌یابد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از رئیس و کلیه کارکنان ایستگاه تحقیقات همندآبسرد (وابسته به مؤسسه تحقیقات جنگلهـا و مراتـع

کشور) و نیز مؤسسه تحقیقات خاک و آب که صمیمانه ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر می‌کنیم.

منابع مورد استفاده

- امامی، ع.، ۱۳۷۵. روشهای تجزیه گیاه. جلد اول، نشریه شماره ۹۸۲. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۲۸ صفحه.
- اکبری‌نیا، ا.، ۱۳۸۲. بررسی عملکرد و ماده مؤثره زنیان در سیستمهای کشاورزی متداول، ارگانیک و تلفیقی. رساله دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- شریفی عاشورآبادی، ا.، امین، غ.ر.، میرزا، م. و رضوانی، م.، ۱۳۸۱. تأثیر سیستمهای تغذیه گیاه (شیمیایی، تلفیقی و ارگانیک) بر کیفیت گیاه دارویی رازیانه. پژوهش و سازندگی، ۵۷ و ٥٦: ۸۷-۷۸.
- صالح راستین، ن.، ۱۳۸۰. کودهای بیولوژیک و نقش آنها در راستای نیل به کشاورزی پایدار. مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور، ٥٤-۱.
- عزیزی، م.، لکزیان، ا. و باغانی، م.، ۱۳۸۳. بررسی تأثیر مقادیر متفاوت ورمی‌کمپوست بر شاخصهای رشد و میزان اسانس ریحان اصلاح شده. خلاصه مقالات دومین همایش گیاهان دارویی، دانشگاه شاهد، تهران، ۸-۷ بهمن: ٦۲.
- محمودی، م.، فهیمی، ح. و خوشرو، م.ر.، ۱۳۸۲. بررسی اثر تغذیه فسفری و قارچ میکوریزی وزیکولار- آربوسکولار بر روی رشد و جذب عناصر P و N در گیاه پسته (*Pistacia vera* L.). پژوهش و سازندگی، ۵۸: ۲۹-۲۳.
- Annamalai, A., Lakshmi, P.T.V., Lalithakumari, D. and Murugesan, K., 2004. Optimization of biofertilizers on growth, biomass and seed yield of *Phyllanthus amarus* (Bhumyamalaki) in sandy loam soil. Journal of Medicinal and Aromatic Plants Sciences. 26(4): 33-40.
- Arancon, N., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch C. and Metzger, J.D., 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology. 93: 145-153.
- Arguello, J.A., Ledesma, A., Nunez, S.B., Rodriguez, C.H. and Goldfarb, M.D.D., 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of Rosado paraguayo garlic bulbs. Horticulture Science, 41(3): 589-592.
- Arriagada, C.A., Herrera, M.A. and Ocampo, J.A., 2007. Beneficial effect of saprobe and arbuscular mycorrhizal fungi on growth of Eucalyptus globules co-cultured with *Glycine max* in soil contaminated with heavy metals. Journal of Environmental Management, 84: 93-99.
- Atiyeh, R.M., Arancon, N., Edwards, C.A. and Metzger, J.D., 2002. The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. Bioresource Technology. 81: 103-108.
- Cabello, M., Irrazabal, G., Bucsinszky, A.M., Saparrat, M. and Schalamuk, S., 2005. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae* and a rock-phosphate-solubilizing fungus, *Penicillium thomii*, on *Mentha piperita* growth in a soilless medium. Journal of Basic Microbiology, 45(3): 182-189.
- Guo, T., Zhang, J.L., Christie, P. and Li, X.L., 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and ammonium: nitrate ratios on growth and pungency of onion seedlings. Journal of Plant Nutrition, 29(6): 1047-1059.
- Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M. and kumar, S., 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasiculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. Bioresource Technology, 81: 77-79.
- Gyaneshwar, P., Naresh Kumar, G., Parekh, L.J. and Poole, P.S., 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. Plant and Soil, 245: 83-93.
- Hazarika, D.K., Taluk Dar, N.C., Phookan, A.K., Saikia, U.N., Das, B.C. and Deka, P.C., 2000. Influence of vesicular arbascular mycorrhizal fungi and phosphate solubilizng bacteria on nursery establishment and growth of tea seedlings in assam. Symposium no. 12, Assam Agricultural University, Jorhat- Assam, India.
- Ilbas, A.I. and Sahin, S., 2005. *Glomus fasiculatum* inoculation improves soybean production. Acta Agriculture Scandinavica Section B-Soil and Plant Science, 55(4): 287-292.
- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G., 2002a. Glomus macrocarpum: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in Dill (*Anethum graveolens* L.) and carum (*Trachyspermum ammi* Sprague). World Journal of Microbiology and Biotechnology, 18 (5): 459-463.
- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G., 2002b. Mycorrhization of coriander (*coriandrum sativum*) to enhance the concentration and quality of essential oil. Journal of the Science of Food and Agriculture, 82 (4): 339-342.

- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology, 93: 307-311.
- Khaosaad, T., Vierheilig, H., Nell, M., Zitterl-Eglseer, K. and Novak, J., 2006. Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum sp*., Lamiaceae). Mycorrhiza, 16: 443-446.
- Kumar, V. and Singh, K.P., 2001. Enriching vermicompost by nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria. Bioresource Technology, 76: 173-175.
- Kumawat, P.D., Jat, N.L. and Yadavi, S.S., 2006. Effect of organic manure and nitrogen fertilization on growth, yield and economics of barley (*Hordeum vulgare*). Indian Journal of Agricultural Sciences, 76(4): 226-229.
- Lang, F., Bratek, Z. and Paradi, I., 2003. Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphorus supply on polyamine content, growth and photosynthesis of plantago lanceolata. Biologia Plantarum, 46(4): 563-569.
- Lestingi, A., Degiorgio, D., Montemurro, F., Convertini, C. and Laudadio, V., 2007. Effects of bio-activators on yield and quality composition of triticale forage as an animal food resource. Journal of Food Agriculture & Environment, 5(1): 164-171.
- Mba, C.C., 1996. Treated-cassava peel vermicomposts enhanced earthworm activities and cowpea growth in field plots. Research Conservation Recycle, 17: 219-226.
- Mohanty, S., Paikaray, N.K. and Rajan, A.R., 2006. Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Arachis hypogea* L.)-corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. Geoderma, 133: 225-230.
- Omar, S.A., 1998. the role of rock-phosphate-solubilizing fungi and vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) in growth of wheat plants fertilized with rock phosphate. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 14: 211-218.
- Ratti, N., Kumar, S., Verma, H.N. and Gautam, S.P., 2001. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. motia by rhizobacteria, AMF and Azospirillum inoculation. Microbiological Research, 156: 145-149.
- Roy, D.K. and Singh, B.P., 2006. Effect of level and time of nitrogen application with and without vermicompost on yield, yield attributes and quality of malt barley (*Hordeum vulgare*). Indian Journal of Agronomy, 51(1): 40-42.
- Sainz, M.J., Taboada-Castro, M.T. and Vilarino, A., 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. Plant and Soil, 205: 85-92.
- Shivaputra, S.S., Patil, C.P., Swamy, G.S.K. and Patil, P.B., 2004. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi and vermicompost on drought tolerance in papaya. Mycorrhiza News, 16(3): 12-13.
- Shockley, F.W., McGraw, R.L. and Garrett, H.E., 2004. Growth and nutrient concentration of two native forage legumes inoculated with rhizobium and mycorrhiza in Missouri. USA. Agroforestry Systems, 60: 137-142.
- Singh, S. and Kapoor, K.K., 1998. Effects of inoculation of phosphate-solubilizing microorganisms and an arbuscular mycorrhizal fungus on mungbean grown under natural soil conditions. Mycorrhiza, 7: 249-253.
- Singh, S. and Kapoor, K.K., 1999. Inoculation wit phosphate-solubilizing microorganisms and a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. Biology and Fertility of Soils, 28: 139-144.
- Srivastava, A.K., Singh,S. and Marathe, R.A., 2002. Organic citrus: Soil fertility and plant nutrition. Journal of Sustainable Agriculture, 19(3): 5-29.
- Sundara, B., Natarajan, V. and Hari K., 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugar cane and sugar yields. Field Crop Research, 77: 43-49.
- Toro, M., Azcon, R. and Barea, J.M., 1997. Improvement of arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphate- solubilizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability (32p) and nutrient cycling. Applied and Environmental Microbiology, 63(11): 4408-4412.
- Toussaint, J.P., Smith, F.A. and Smith, S.E., 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi can induce the production of phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition. Mycorrhiza, 17(4): 291-297.
- Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C. and Wong, M.H., 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma, 125(1-2): 155-166.
- Zaller, J.G., 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. Scientica Horticulturae, 112: 191-199.

The effects of biofertilizers application on N, P, K assimilation and seed yield in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)

M.T. Darzi[1*], A. Ghalavand[2] and F. Rejali[3]

1*- Corresponding author, Islamic Azad University, Rudhen Branch, Iran, E-mail: MT_Darzi@yahoo.com
2- Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3- Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran

Received: March 2009 Revised: September 2009 Accepted: November 2009

Abstract

In order to study the effects of biofertilizers on N, P, K concentrations and seed yield in fennel (*Foeniculum Vulgare* Mill.), an experiment was conducted at Homand Research Station in Damavand at 2005 and 2006. The factors were mycorrhizal inoculation (inoculated and non-inoculated), phosphate biofertilizer (0, 30, 60 kg/ha) and vermicompost (0, 5, 10 ton/ha). The experiment design was factorial experiment in the base of randomized complete blocks design with eighteen treatments and three replications. Mean comparison was carried out using Duncan multiple range test (at 5% level). Results showed that the highest concentration of N, P and K in seed and seed yield were obtained with mycorrhiza inoculums. Phosphate biofertilizer also showed significant effects on mentioned traits as the highest N concentration in seed with consumption of 60 kg/ha and maximum concentration of P, K and seed yield with consumption of 30 kg/ha from it were obtained. The highest concentration of N, P and K in seed and seed yield were obtained with application of 10 ton/ha vermicompost. There were positive and synergistic interactions between factors, like interactions between mycorrhizal inoculation and phosphate biofertilizer on N concentration and phosphate biofertilizer and vermicompost on P concentration.

Key words: Fennel (*Foeniculum Vulgare* Mill.), mycorrhiza, phosphate biofertilizer, vermicompost, N, P, K, seed yield.