

مجله علوم زراعی ایران*
جلد دهم، شماره ۱، بهار ۱۳۸۷

بررسی اثر کاربرد میکوریزا، ورمی کمپوست و کود فسفات زیستی بر گلدهی، عملکرد بیولوژیک و همزیستی ریشه، در گیاه دارویی رازیانه

Effect of mycorrhiza, vermicompost and phosphate biofertilizer application on flowering, biological yield and root colonization in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)

محمد تقی درزی^۱، امیر قلاوند^۲، فرهاد رجالی^۳

چکیده

درزی، م. ت. ۱. قلاوند و ف. رجالی. ۱۳۸۷. بررسی اثر کاربرد میکوریزا، ورمی کمپوست و کود فسفات زیستی بر گلدهی، عملکرد بیولوژیک و همزیستی ریشه، در گیاه دارویی رازیانه. *مجله علوم زراعی ایران*. ۱۰ (۱): ۸۸-۱۰۹

به منظور بررسی اثر کودهای زیستی بر گلدهی، عملکرد بیولوژیک و درصد همزیستی ریشه با قارچ میکوریزا در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل سه عاملی با استفاده از عامل های قارچ میکوریزایی (تلقیح و عدم تلقیح)، کود فسفات زیستی (۰، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار) و ورمی کمپوست (۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با هیجده تیمار و سه تکرار و در دو سال زراعی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به اجرا در آمد. مقایسه ای نیز بین این تیمارها با یک تیمار شاهد کود شیمیایی (NPK به میزان ۹۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت طرح بلوک های کامل تصادفی با نوزده تیمار و سه تکرار انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که بیشترین تعداد چتر در بوته، عملکرد بیولوژیک و درصد همزیستی ریشه در تلقیح با میکوریزا حاصل شد. کود فسفات زیستی نیز دارای اثر معنی داری بر ویژگی های مورد بررسی بود، به طوری که بیشترین تعداد چتر در بوته و درصد همزیستی ریشه با کاربرد ۶۰ کیلوگرم از آن و بیشترین عملکرد بیولوژیک با کاربرد ۳۰ کیلوگرم از آن بدست آمد. بیشترین تعداد چتر در بوته و عملکرد بیولوژیک با کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست و نیز بیشترین درصد همزیستی ریشه با کاربرد ۵ تن ورمی کمپوست حاصل گردید. اثر متقابل هم افزایی و مثبت نیز در بین عوامل مشاهده گردید که می توان به اثر متقابل تلقیح میکوریزایی × ورمی کمپوست بر عملکرد بیولوژیک اشاره کرد. مقایسه میانگین ها مبین آن بود که از نظر تعداد چتر در بوته و عملکرد بیولوژیک تیمار کود زیستی شامل تلقیح با میکوریزا، مصرف ۶۰ کیلوگرم کود فسفات زیستی و ۱۰ تن ورمی کمپوست و نیز از نظر درصد همزیستی ریشه، تیمار کود زیستی شامل تلقیح با میکوریزا، مصرف ۶۰ کیلوگرم کود فسفات زیستی و ۵ تن ورمی کمپوست برتری محسوسی در مقایسه با تیمار شاهد داشتند.

واژه های کلیدی: رازیانه، میکوریزا، کود فسفات زیستی، ورمی کمپوست، گلدهی، عملکرد بیولوژیک و همزیستی ریشه.

تاریخ دریافت: ۸۶/۹/۲۰

۱- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن (مکاتبه کننده)

۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات خاک و آب

مقدمه

در چند دهه اخیر مصرف نهاده های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست محیطی عدیده ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصلخیزی خاک ها گردیده است (Sharma, 2002b). کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای زیستی با هدف حذف یا تقلیل چشمگیر در مصرف نهاده های شیمیایی، یک راه حل مطلوب جهت غلبه بر این مشکلات به شمار می آید. کودهای زیستی حاوی مواد نگهدارنده ای با جمعیت متراکم یک یا چند نوع ارگانیزم مفید خاکزی و یا بصورت فرآورده متابولیک این موجودات می باشند که به منظور بهبود حاصلخیزی خاک و عرضه مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در یک سیستم کشاورزی پایدار به کار می روند (Saleh Rastin, 2001) که در این بین می توان به قارچ های میکوریزی (Vesicular Arbuscular Mycorrhiza)، میکروارگانیزم های حل کننده فسفات و ورمی کمپوست اشاره کرد. قارچ های میکوریزی دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی می باشند و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماریزا، سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم های کشاورزی پایدار می شوند (Sharma, 2002a). میکروارگانیزم های حل کننده فسفات نیز که عمدتاً شامل باکتری ها و قارچ ها می باشند با تولید اسیدهای آلی، موجب افزایش حلالیت فسفات های معدنی کم محلول نظیر سنگ فسفات می شوند. همچنین بسیاری از آنها با تولید آنزیم های فسفاتاز، سبب آزاد شدن فسفر از ترکیبات آلی نیز می گردند (Gyaneshwar et al., 2002). ورمی کمپوست نیز نوعی کمپوست تولید شده به کمک کرم های خاکی است که در نتیجه تغییر و تبدیل و هضم نسبی ضایعات آلی (کود دامی، بقایای گیاهی و غیره)

در ضمن عبور از دستگاه گوارش این جانوران بوجود می آید. ورمی کمپوست دارای تخلخل زیاد، قدرت جذب و نگهداری عناصر غذایی بالا، تهویه و زهکشی مناسب و ظرفیت بالای نگهداری آب می باشد و استفاده از آن در کشاورزی پایدار، علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیزم های مفید خاک (نظیر قارچ های میکوریزا و میکروارگانیزم های حل کننده فسفات)، در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می شود (Arancon et al., 2004). با توجه به تأکیدی که کشاورزی پایدار بر افزایش کیفیت و پایداری عملکرد دارد، گیاهان دارویی که محصولاتی کیفی می باشند، گزینه مناسبی برای این سیستم محسوب می شوند و به نظر می رسد که در چنین شرایطی، حداکثر رشد و عملکرد از آنها حاصل گردد (Gupta et al., 2002). از بین گیاهان دارویی می توان به رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) اشاره کرد که از اهمیت زیادی در ایران و جهان برخوردار بوده و از اسانس حاصل از دانه آن در صنایع مختلف داروسازی، غذایی، آرایشی و بهداشتی استفاده می شود (Marotti et al., 1993; Khan et al., 1992; Bajaj, 1989; Omidbaigi, 1997). گیاه دارویی رازیانه در کشور ما ایران پراکندگی وسیعی در مناطق خراسان، تهران، گرگان، مازندران، کردستان، کرمان، گیلان و تبریز دارد و تا ارتفاع ۲۱۰۰ متری از سطح دریا به طور خودرو رشد می کند (Rashed Mohassel and Nezami, 1998). سطح زیر کشت رازیانه در ایران حدود ۱۰۶۶ هکتار می باشد و استان های عمده تولیدکننده این محصول شامل همدان، خراسان، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان، تهران، کرمان و گلستان هستند (Darzi et al., 2005). تحقیقات اندکی در ارتباط با نقش کودهای زیستی بر روی گیاهان دارویی و بویژه رازیانه صورت گرفته است. در یک پژوهش، کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) نشان دادند که

بررسی اثر کاربرد میکوریزا، ورمی کمپوست...

کولیت، نیز سبب بهبود معنی دار عملکرد بیولوژیک در گیاه دارویی نعنای گردید (Cabello et al., 2005). تحقیق آناملالی و همکاران (Annamalai et al., 2004) نیز مبین بهبود معنی دار عملکرد بیولوژیک یک گیاه دارویی از تیره فرفیون (*Phyllanthus amarus*) در اثر مصرف باکتری های حل کننده فسفات در مقایسه با تیمار شاهد بود. در خصوص اثر استفاده از ورمی کمپوست بر روی ویژگی های مورد بررسی در گیاهان دارویی، انور و همکاران (Anwar et al., 2005) مشاهده نمودند که مصرف پنج تن در هکتار ورمی کمپوست همراه با کود شیمیایی (NPK به میزان ۲۵، ۵۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار) موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum*) نسبت به تیمار شاهد گردید. همچنین پاندی (Pandey, 2005) در مطالعه خود که روی گیاه دارویی درمنه (*Artemisia pallens*) انجام شد، نشان داد که مصرف ورمی کمپوست موجب بهبود قابل ملاحظه گلدهی در مقایسه با شاهد گردید. در یک بررسی که توسط آرانکون و همکاران (Arancon et al., 2004) بر روی گیاه توت فرنگی (*Fragaria ananasa*) و با استفاده از مقادیر پنج و ده تن در هکتار ورمی کمپوست صورت گرفت، مشخص گردید که کاربرد مقادیر مختلف ورمی کمپوست، بطور معنی داری تعداد گلها را در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش داد. گزارش کیل و همکاران (Kale et al., 1987) نیز مبین آن بود که استعمال ورمی کمپوست از طریق تأثیر بر تحریک رشد ریشه، موجب افزایش درصد همزیستی ریشه در گیاه دارویی مریم گلی (*Salvia sp.*) گردید. در یک پژوهش گلخانه ای نیز که توسط ساینز و همکاران (Sainz et al., 1998) بر روی گیاهان شبدر قرمز (*Trifolium pratense*) و خیار صورت گرفت، مشخص گردید که مصرف ورمی کمپوست موجب افزایش قابل ملاحظه عملکرد بیولوژیک در مقایسه با شاهد شد. در همین رابطه، در مطالعه ای دیگر که روی گیاه جو صورت پذیرفت، مشخص شد که

تلقیح رازیانه با قارچ میکوریزا سبب افزایش معنی دار تعداد چتر در بوته، بیوماس و درصد همزیستی ریشه آن گردید. همچنین در پژوهشی که توسط سویرامانیان و همکاران (Subramanian et al., 2006) بر روی گوجه فرنگی انجام گرفت، مشخص گردید که همزیستی ریشه گوجه فرنگی با یک گونه از میکوریزا، باعث افزایش معنی دار تعداد گل در بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید. در تحقیق دیگری عنوان گردید که تلقیح گیاه دارویی علف لیمو (*Cymbopogon martinii*) با گونه ای قارچ میکوریزایی (*Glomus aggregatum*) سبب افزایش قابل توجه عملکرد بیولوژیک و درصد همزیستی ریشه گردید (Ratti et al., 2001). در همین خصوص طی مطالعه دیگری که بر روی نعنای (*Mentha arvensis*) انجام گرفت، گوپتا و همکاران (Gupta et al., 2002) گزارش کردند که تلقیح گیاه نعنای با گونه ای قارچ میکوریزای VAM به طور قابل ملاحظه ای عملکرد بیولوژیک و درصد همزیستی ریشه را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده، افزایش داد. در پژوهشی که روی گیاهان دارویی شوید (*Anethum graveolens*) و نوعی زیره (*Trachyspermum ammi* Sprague)، انجام شده بود، ملاحظه گردید که کاربرد دو گونه قارچ VAM به طور قابل توجهی درصد همزیستی ریشه و بیوماس گیاهان مذکور را بهبود بخشید (Kapoor et al., 2002). راتی و همکاران (Ratti et al., 2001) نیز در تحقیق خود بر روی علف لیمو مشاهده کردند که کاربرد چندین سوس از باکتریهای حل کننده فسفات، عملکرد بیولوژیک را در مقایسه با شاهد افزایش داد. پژوهش هازاریکا و همکاران (Hazarika et al., 2000) نیز که بر روی گیاه چای (*Camellia sinensis*) و در شرایط مزرعه ای انجام گرفت، نشان داد که کاربرد یک گونه از باکتری حل کننده فسفات در حضور سنگ فسفات معدنی موجب افزایش قابل توجه بیوماس و درصد کلونیزاسیون ریشه گردید. کاربرد یک میکروارگانیزم حل کننده فسفات در یک بستر حاوی پرلیت و ورمی

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 در آمد. میانگین بارش سالیانه ایستگاه ۳۳۴/۲ میلی متر و میانگین دمای آن در حدود ۱۱ درجه سانتیگراد می باشد. قبل از کشت، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری نمونه برداری بعمل آمد و مشخص گردید که بافت خاک لومی رسی و pH آن برابر ۷/۳ می باشد (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=۶۰ کیلوگرم در هکتار) و عامل ورمی کمپوست (V) در سه سطح (V1=۰، V2=۵ و V3=۱۰ تن در هکتار) در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با هیجده تیمار و سه تکرار انجام گرفت. همچنین، یک کرت به عنوان شاهد کود شیمیایی با مصرف NPK به میزان ۹۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار از نوع آور، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم در هر تکرار قرار داده شد و مقایسه آن با تیمارهای کودهای زیستی نیز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نوزده تیمار و سه تکرار صورت گرفت. مایه تلقیح قارچ میکوریزایی VAM بنام *Glomus intraradices* که به صورت اندام فعال قارچی (شامل اسپور، هیف و ریشه) بوده از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه گردید. تیمار با قارچ میکوریزایی

کاربرد ورمی کمپوست موجب بهبود چشمگیری در عملکرد بیولوژیک شد (Kumawat et al., 2006). در تحقیقی دیگر که روی گیاه نخود انجام شد، مشخص گردید که مصرف سه تن در هکتار ورمی کمپوست، باعث افزایش بارز عملکرد بیولوژیک در مقایسه با شاهد گردید (Jat and Ahlawt, 2004, 2006). گزارش زالر (Zaller, 2007) نیز مبین آن بود که استعمال ورمی کمپوست موجب بهبود معنی دار عملکرد بیولوژیک ارقام گوجه فرنگی، نسبت به تیمار شاهد گردید. در مطالعه انجام گرفته روی ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*)، نیز مشخص شد که استعمال ورمی کمپوست موجب افزایش قابل توجه عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد گردید (Hameeda et al., 2006).

از آنجا که رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت استفاده از نظام های کشاورزی پایدار و بکارگیری روش های مدیریتی آنها نظیر کاربرد کودهای زیستی به منظور ارتقاء عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی می باشد، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر قارچ میکوریزا، ورمی کمپوست و کود فسفات زیستی بر گلدهی، عملکرد بیولوژیک و درصد همزیستی ریشه در گیاه دارویی رازیانه بود.

مواد و روش ها

این تحقیق در طی دو سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در مزرعه ایستگاه تحقیقات همنند دماوند وابسته به مؤسسه

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Some physical and chemical soil properties in experimental site

| مس Cu | روی Zn | منگنز Mn | آهن Fe | منیزیم Mg | کلسیم Ca | پتاسیم K | فسفر P | نیتروژن N | کربن آلی O.C | هدایت الکتریکی EC | اسیدیته pH | ساختار Texture |
|---------------------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-------------|-------------|-----------|--------------|-----------------|----------------------|---------------|------------------------|
| میلی گرم در کیلوگرم mg/kg | | | | | | | | | (%) | (ds/m) | | لومی رسی Loamy-Clay |
| 2.60 | 0.68 | 9.9 | 7.4 | - | - | 726 | 16 | 8.19 | 0.70 | 0.92 | 7.3 | |

* Available form of nutrients was measured.

* فرم قابل جذب عناصر غذایی اندازه گیری شد.

ورمی کمپوست بکار رفته در آزمایش نیز با استفاده از کود دامی و گونه‌ای کرم خاکی بنام *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.

بصورت تلقیح بذر انجام گرفت به طوری که هر بذر آغشته به مایه تلقیح میکوریزایی در حدود ۲۵۰-۲۰۰ اندام فعال قارچی دریافت کرد. کود فسفات زیستی نیز که مورد تأیید مؤسسه مذکور بوده، حاوی سنگ فسفات معدنی (Rock Phosphate) و یک گونه از باکتری های حل کننده فسفات بنام *Pseudomonas striata* بود که در هر گرم از آن در حدود ۱۰۵ باکتری فعال وجود داشت.

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست مورد استفاده

Table 2. Some chemical characteristics of used vermicompost

| مس Cu | روی Zn | منگنز Mn | آهن Fe | منیزیم Mg | کلسیم Ca | پتاسیم K | فسفر P | نیتروژن N | کربن آلی O.C | هدایت الکتریکی EC | اسیدیته pH |
|---------------------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-------------|-------------|-----------|--------------|-----------------|----------------------|---------------|
| mg/kg میلی گرم در کیلوگرم | | | | | | | | | (%) | (ds/m) | |
| 26 | 124 | 638 | 17000 | 14000 | 46000 | 4400 | 4600 | 8200 | 10.53 | 5.32 | 7.5 |

می باشد لذا فقط در سال اول آزمایش کشت گردید. همچنین بر مبنای تجزیه خاک و ورمی کمپوست تنها به میزان ۳۰ کیلوگرم نیتروژن از نوع کود اوره در هکتار در مرحله ساقه دهی برای کرت های حاوی کودهای زیستی مصرف گردید. عملیات مبارزه با علف های هرز مزرعه در چهار نوبت به روش مکانیکی و به وسیله دست صورت گرفت. عملیات آبیاری نیز در طول دوره رشد، هر ۷ روز یک بار انجام شد. در سال دوم آزمایش نیز، تیمارهای مصرف کود زیستی دقیقاً در کرت های سال اول قرار گرفتند و کلیه عملیات مربوط به سال اول (بجز کاشت بذر و تنک کردن بوته ها)، برای سال دوم نیز تکرار گردید. در این تحقیق صفات تعداد چتر در بوته، عملکرد بیولوژیک و درصد همزیستی ریشه با قارچ میکوریزا مورد بررسی قرار گرفتند. جهت تعیین تعداد چتر در بوته (در مرحله برداشت)، دو خط کناری هر کرت آزمایشی به عنوان حاشیه در نظر گرفته شده و از دو خط میانی به تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی، انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. به منظور اندازه گیری عملکرد بیولوژیک، بوته هایی از هر کرت برای تعیین

زمین محل انجام آزمایش در چند سال قبل به صورت آیش بود. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، عملیات تهیه زمین در اسفند ماه و با مساعد شدن شرایط آب و هوایی انجام گردید. به منظور اجرای آزمایش، اندازه هر کرت به ابعاد ۵ × ۳ متر و با ۶ ردیف کاشت لحاظ گردید. فاصله بین کرتها یک متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شدند. کاشت رازیانه و اعمال تیمارهای آزمایشی بعد از مساعد شدن هوا در بهار انجام گرفت. 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 ورمی کمپوست را در داخل شیاری ریخته و به وسیله شن کش روی آن خاک داده شد. کاشت رازیانه در تاریخ ۲۸ فروردین سال ۱۳۸۴ و پس از اینکه بخشی از بذرهای مورد نیاز با مایه تلقیح میکوریزایی تلقیح شدند، انجام گردید و بلافاصله آبیاری صورت گرفت. سپس در مرحله ظهور سومین برگ رشته ای، تراکم کاشت براساس صد هزار بوته در هکتار (۲۰ × ۵۰ سانتیمتر) تنظیم گردید. لازم به ذکر است از آنجا که رازیانه یک گیاه چند ساله

نتایج و بحث

تعداد چتر در بوته

نتایج حاصل از تجزیه مرکب سال‌های آزمایش، مبین آن بود که تأثیر عوامل تلقیح میکوریزایی و ورمی کمپوست در سطح یک درصد و عامل کود فسفات زیستی در سطح پنج درصد بر تعداد چتر در بوته معنی‌دار گردید اما اثرات متقابل میان عوامل تأثیر معنی‌داری بر تعداد چتر در بوته نداشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین سطوح تلقیح میکوریزایی تفاوت قابل توجهی وجود دارد به طوری که تعداد چتر در بوته در تلقیح با میکوریزا (۴۱/۵ چتر) در مقایسه با عدم تلقیح (۳۴/۹ چتر) در حدود ۱۸/۹ درصد بیشتر بود (جدول ۴). می‌توان استنباط کرد که همزیستی میکوریزایی از طریق تغذیه مناسب و افزایش بیوماس گیاه رازیانه، موجبات تسریع در گلدهی و بهبود تعداد چتر در بوته را فراهم آورد. این موضوع با نتیجه تحقیق کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) مطابقت دارد. آنها تعداد چتر بیشتر در بوته رازیانه را به بهبود تغذیه معدنی به ویژه فسفر و افزایش عملکرد بیولوژیک در تیمار تلقیح میکوریزایی نسبت دادند. همچنین پژوهشی دو ساله که توسط سوبرامانیان و همکاران (Subramanian et al., 2006) بر روی گوجه فرنگی انجام گرفت، نیز مشاهده گردید که همزیستی ریشه گوجه فرنگی با یک گونه از قارچ میکوریزا موجب افزایش بارز تعداد گل در بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید. افزایش گلدهی در این تحقیق، به بهبود جذب آب و تغذیه گیاه که در اثر همزیستی میکوریزایی حاصل گردیده بود، نسبت داده شد. مقایسه میانگین تیمارها بیانگر آن بود که میان سطوح مختلف کود فسفات زیستی اختلاف معنی‌داری وجود دارد به نحوی که تعداد چتر در بوته در سطح سوم آن (۳۸/۹ چتر)، در حدود ۴/۶ درصد بیشتر از سطح اول (۳۷/۲ چتر) گردید (جدول ۴). در رابطه با اثر ورمی کمپوست بر تعداد چتر در بوته نیز، مقایسه میانگین‌ها نشان دهنده آن بود که

وزن خشک در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس عملکرد بیولوژیک بر اساس میانگین وزن خشک بوته در هر کرت محاسبه گردید (Akbarinia, Kapoor et al., 2004). جهت اندازه‌گیری درصد همزیستی ریشه‌ها با میکوریزا، همزمان با برداشت بوته‌ها، از ریشه‌های آنها به ویژه ریشه‌های مویین و نازک، نیز نمونه‌برداری بعمل آمد. سپس ریشه‌ها به دقت با آب مقطر شستشو شده و از محلول FAA (Formalin Acetic Acid Alcohol) برای تثبیت ریشه‌ها استفاده گردید. مراحل رنگ‌بری ریشه‌ها و سپس رنگ‌آمیزی آنها طبق روش فیلیپس و هیمن (Philips and Hayman, 1970) صورت گرفت. ابتدا برای بی‌رنگ کردن ریشه‌ها از محلول ده درصد KOH به مدت ۳ ساعت استفاده شد و بعد نمونه‌ها با آب مقطر بخوبی شستشو شدند. برای رنگ‌آمیزی ریشه‌ها از محلول حاوی ۰/۰۵ درصد تریان‌بلو در لاکتوگلیسرول استفاده گردید. به منظور تعیین درصد همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه رازیانه، از روش خطوط متقاطع (Gridline Intersect Method) استفاده شد (Giovannetti and Mosse, 1980). بدین صورت که در مورد هر تیمار، ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به قطعات یک سانتی‌متری برش داده شدند و به همراه محلول رنگ بر لاکتوگلیسرول روی پلیت شیشه‌ای قرار داده شدند. سپس قطعات ریشه از نظر وجود اندام‌های قارچی در محل تلاقی خطوط افقی و عمودی کاغذ شطرنجی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به صورت درصد بیان شد.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌های نتایج هر سال آزمایش و نتایج دو سال آزمایش به صورت تجزیه مرکب داده‌ها، از نرم‌افزارهای آماری (SAS, SPSS, MSTAT-c) استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

طوری که دو تیمار کود زیستی شامل تلقیح با میکوریزا، کاربرد ۳۰ کیلوگرم کود فسفات زیستی و ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست (۵۴/۷ چتر) و تلقیح با میکوریزا، مصرف ۶۰ کیلوگرم کود فسفات زیستی و ۱۰ تن ورمی کمپوست (۵۵/۲ چتر) به ترتیب ۳۰/۵ و ۳۱/۷ درصد برتری بیشتری در مقایسه با تیمار شاهد (۴۱/۹ چتر) نشان دادند (جدول ۶). تیمارهای کودهای زیستی مطلوب در مقایسه با تیمار شاهد شیمیایی، به مراتب شرایط مناسب تری را برای بهبود فعالیت های میکروبی مفید در خاک مهیا کردند و از طریق جذب مطلوب عناصر معدنی پر مصرف و کم مصرف توسط ریشه رازیانه، موجب افزایش رشد و گلدهی (تعداد چتر در بوته) شدند. این یافته با نتایج بسیاری از تحقیقات مرتبط با کشاورزی پایدار که مبتنی بر استفاده از منابع آلی و بیولوژیک همراه با مصرف متعادل کودهای شیمیایی می باشد و در آنها مورد تأیید و تأکید قرار گرفته است (Sharma, 2002b; Kapoor et al., 2004; Roy and Singh, 2006) موافقت دارد.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه مرکب داده های دو سال آزمایش مبین آن بود که اثر هر سه عامل به تنهایی و نیز اثر متقابل دو عامل تلقیح میکوریزایی و ورمی کمپوست در سطح یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین سطوح تلقیح میکوریزایی تفاوت قابل توجهی وجود دارد به طوری که عملکرد بیولوژیک در تلقیح با میکوریزا (۵۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با عدم تلقیح (۴۴۸۰ کیلوگرم در هکتار) در حدود ۱۹/۴ درصد بیشتر بود (جدول ۷). در خصوص اثر همزیستی میکوریزایی بر روی عملکرد بیولوژیک رازیانه، می توان استنباط کرد که بهبود میزان فتوسنتز و رشد، موجب افزایش بیوماس بوته و در نهایت عملکرد بیولوژیک می گردد. در همین زمینه، کاپور و همکاران

بین سطوح ورمی کمپوست اختلاف معنی داری وجود دارد به نحوی که تعداد چتر در بوته در سطح سوم (۵۰/۷ چتر) ۳۵/۲ درصد بیشتر از سطح دوم (۳۷/۵ چتر) و ۹۲/۸ درصد بیشتر از سطح اول (۲۶/۳ چتر) بود (جدول ۴). تأثیر ورمی کمپوست نیز بر میزان گلدهی و تعداد چتر در رازیانه مثبت ارزیابی می شود. به عبارت دیگر مصرف مقادیر مناسب ورمی کمپوست از طریق بهبود فعالیت های میکروبی خاک و تولید تنظیم کننده های رشد گیاه توسط این موجودات و نیز فراهمی جذب بیشتر عناصر غذایی، سبب افزایش میزان فتوسنتز و ماده خشک گیاهی گردیده که این مسئله در نهایت به افزایش گلدهی می انجامد. نتیجه مطالعه آرانکون و همکاران (Arancon et al., 2004) بر ویژگی تعداد گلها در توت فرنگی، مبین همین مطلب است. همچنین پانندی (Pandey, 2005) در مطالعه خود که روی گیاه دارویی درمنه انجام گرفت، نشان داد که مصرف ورمی کمپوست، موجب بهبود قابل ملاحظه گلدهی این گیاه در مقایسه با شاهد گردید. در این پژوهش ملاحظه گردید که بکارگیری ورمی کمپوست از طریق کنترل آفات و بیماری های خاکزی و بهبود واکنش های حیاتی مفید در خاک و نیز جذب آب و عناصر غذایی، باعث افزایش رشد و نمو و گلدهی گیاه می گردد. در تحقیقی دیگر که توسط روی و سینگ (Roy and Singh, 2006) انجام شد، مشاهدات بیانگر آن بود که کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست در مقایسه با عدم کاربرد آن، سبب افزایش قابل توجه تعداد سنبله در بوته جو گردید. آنها دریافتند که استفاده از ورمی کمپوست از طریق تحریک میکروارگانیزم های مفید خاک و عرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی به گیاه، موجب این افزایش شد.

نتایج بدست آمده از تجزیه مرکب دو سال آزمایش، حاکی از آن بود که تیمارهای مختلف کودهای زیستی و شاهد اثر معنی داری بر تعداد چتر در بوته داشتند (جدول ۵). مقایسه میانگین بین شاهد و تیمارهای کودهای زیستی، نیز دارای تفاوت معنی داری بود به

جدول ۳- خلاصه تجزیه واریانس مرکب اثر کودهای زیستی بر برخی صفات رازیانه

Table 3. Summary of combined analysis of variance of effect of biofertilizers on some characteristics in fennel

| S. O. V. | منابع تغییرات | df | MS میانگین مربعات | | |
|-----------------------------|--|----|---|-------------------------------------|--|
| | | | تعداد چتر در بوته Umbrella no./plant | عملکرد بیولوژیک Biological Yield | درصد همزیستی ریشه Root colonization percent |
| Year (Y) | سال | 1 | 9671.905 ^{ns} | ** 163389436.2 | * 232.731 |
| Replication (Y) | تکرار سال | 4 | 1.158 | 81964.3 | 10.140 |
| Mycorrhizal Inoculation (M) | تلقیح میکوریزایی | 1 | ** 1198.667 | ** 20428827.4 | ** 18084.426 |
| M × Y | تلقیح میکوریزایی × سال | 1 | ** 114.577 | ** 2175806.8 | ** 105.495 |
| Phosphate Biofertilizer (P) | کود فسفات زیستی | 2 | * 28.534 | ** 714533.0 | ** 247.980 |
| P × Y | کود فسفات زیستی × سال | 2 | 8.479 ^{ns} | 205309.9 ^{ns} | 4.154 ^{ns} |
| M × P | تلقیح میکوریزایی × کود فسفات زیستی | 2 | 2.277 ^{ns} | 7585.3 ^{ns} | ** 43.518 |
| M × P × Y | تلقیح میکوریزایی × کود فسفات زیستی × سال | 2 | 1.239 ^{ns} | 17362.6 ^{ns} | 0.234 ^{ns} |
| Vermicompost (V) | ورمی کمپوست | 2 | ** 538.717 | ** 82267566.9 | ** 713.565 |
| V × Y | ورمی کمپوست × سال | 2 | ** 537.723 | ** 14590730.3 | 5.953 ^{ns} |
| M × V | تلقیح میکوریزایی × ورمی کمپوست | 2 | 5.639 ^{ns} | ** 484281.5 | 18.142 ^{ns} |
| M × V × Y | تلقیح میکوریزایی × ورمی کمپوست × سال | 2 | 0.796 ^{ns} | ** 360237.1 | 0.279 ^{ns} |
| P × V | کود فسفات زیستی × ورمی کمپوست | 4 | 2.419 ^{ns} | 43320.3 ^{ns} | ** 48.852 |
| P × V × Y | کود فسفات زیستی × ورمی کمپوست × سال | 4 | 0.744 ^{ns} | 33565.1 ^{ns} | 0.394 ^{ns} |
| M × P × V | تلقیح میکوریزایی × کود فسفات زیستی × ورمی کمپوست | 4 | 0.350 ^{ns} | 16111.0 ^{ns} | ** 29.098 |
| M × P × V × Y | تلقیح میکوریزایی × کود فسفات زیستی × ورمی کمپوست × سال | 4 | 0.429 ^{ns} | 26424.4 ^{ns} | 0.671 ^{ns} |
| Error | خطا | 68 | 6.093 | 67206.4 | 6.109 |

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* and **: Significant at 5 and 1% levels of probability, respectively.

ns: غیر معنی دار.

ns: Non-significant.

جدول ۴- میانگین تعداد چتر در بوته در سطوح مختلف کودهای زیستی در سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵

Table 4. Means for umbrella no./plant in different levels of biofertilizers in 2005 and 2006 cropping seasons

| تیمار Treatment | تعداد چتر در بوته umbrella no./plant | | میانگین Mean |
|--------------------|---|----------|-----------------|
| | 2005 | 2006 | |
| | تلقیح میکوریزایی Mycorrhizal Inoculation | | |
| M1= non-inoculated | 26.43 b | 43.30 b | 34.9 b |
| M2= inoculated | 31.03 a | 52.02 a | 41.5 a |
| | کود فسفات زیستی (کیلوگرم در هکتار) Phosphate Biofertilizer (kg/ha) | | |
| P1= 0 | 28.31 a | 46.14 b | 37.2 b |
| P2= 30 | 28.73 a | 48.03 ab | 38.4 ab |
| P3= 60 | 29.15 a | 48.81 a | 39.0 a |
| | ورمی کمپوست (تن در هکتار) Vermicompost (ton/ha) | | |
| V1= 0 | 20.45 c | 32.18 c | 26.3 c |
| V2= 5 | 28.54 b | 46.48 b | 37.5 b |
| V3= 10 | 37.21 a | 64.31 a | 50.7 a |

میانگین هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی دار ندارند. Means, in each column for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۵- خلاصه تجزیه واریانس مرکب اثر کودهای زیستی بر برخی صفات رازیانه

Table 5. Summary of combined analysis of variance for biofertilizers effect on some characteristics in fennel

| S. O. V. | منابع تغییرات | درجه آزادی df | میانگین مربعات MS | | |
|-----------------|---------------|------------------|---|-------------------------------------|--|
| | | | تعداد چتر در بوته umbrella no./plant | عملکرد بیولوژیک Biological Yield | درصد همزیستی ریشه Root colonization (%) |
| Year (Y) | سال | 1 | ** 17161.067 | ** 176362556.3 | ** 223.832 |
| Replication (Y) | تکرار سال | 4 | 3.126 | 77511.9 | 8.183 |
| Treatment (T) | تیمار | 18 | ** 403.575 | ** 10528845.1 | ** 1380.815 |
| T × Y | تیمار × سال | 18 | ** 86.485 | ** 1841925.8 | 7.786 ^{ns} |
| Error | خطا | 72 | 20.304 | 63755.7 | 5.972 |

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* and **: Significant at 5 and 1% levels of probability, respectively.

ns: غیر معنی دار.

ns: Non-significant.

روی شوید و نوعی زیره، گوپتا و جاناردهانان (Gupta and Janardhanan, 1991) و راتی و همکاران (Ratti et al., 2001) روی علف لیمو نیز مؤید این مطلب است که همزیستی میکوریزایی سبب بهبود عملکرد بیولوژیک در گیاهان دارویی مذکور شد. مقایسه میانگین تیمارها بیانگر آن بود که میان سطوح مختلف کود فسفات زیستی اختلاف معنی داری

(Kapoor et al., 2004) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. یافته های گوپتا و همکاران (Gupta et al., 2002) نیز مشخص کرد که همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاه نعنای از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی، موجب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و بهبود عملکرد بیولوژیک گردید. نتایج تحقیقات کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2002)

جدول ۶- میانگین تعداد چتر در بوته در اثر کودهای زیستی در سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵

Table 6. Means of umbrella no./plant as affected by biofertilizers in 2005 and 2006 cropping seasons

| تیمار Treatment | تعداد چتر در بوته Umbrella no./plant | | میانگین Mean | درصد تغییر نسبت به شاهد % Change to control |
|------------------------------------|---|---------|-----------------|--|
| | 2005 | 2006 | | |
| M1P1V1 | 17.5 j | 26.3 h | 21.9 f | -47.7 |
| M1P1V2 | 26.2 gh | 41.4 ef | 33.8 d | -19.3 |
| M1P1V3 | 34.0 bcd | 56.6 bc | 45.2 b | +7.8 |
| M1P2V1 | 18.7 j | 28.3 h | 23.5 f | -43.9 |
| M1P2V2 | 26.2 gh | 42.7 e | 34.4 d | -17.9 |
| M1P2V3 | 35.2 b | 60.6 b | 47.9 b | +14.3 |
| M1P3V1 | 18.3 j | 29.3 h | 23.8 f | -43.2 |
| M1P3V2 | 27.1 fg | 43.7 e | 35.4 d | -15.5 |
| M1P3V3 | 34.7 bc | 61.1 b | 47.9 b | +14.3 |
| M2P1V1 | 21.9 i | 35.2 g | 28.6 e | -31.7 |
| M2P1V2 | 30.7 de | 49.7 d | 40.4 c | -3.5 |
| M2P1V3 | 39.2 a | 67.9 a | 53.5 a | +27.6 |
| M2P2V1 | 22.7 i | 36.5 fg | 29.6 e | -29.3 |
| M2P2V2 | 29.8 ef | 50.4 d | 40.1 c | -4.2 |
| M2P2V3 | 39.9 a | 69.6 a | 54.7 a | +30.5 |
| M2P3V1 | 23.6 hi | 37.4 fg | 30.5 e | -27.2 |
| M2P3V2 | 31.0 de | 51.0 d | 41.0 c | -2.1 |
| M2P3V3 | 40.2 a | 70.3 a | 55.2 a | +31.7 |
| Control (NPK: 90, 60 and 90 Kg/ha) | 31.6 cde | 52.2 cd | 41.9 c | - |

میانگین هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی دار ندارند. Means, in each column for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

(Omar, 1998) در خصوص اهمیت مصرف میکروارگانیزم های حل کننده فسفات در خاک های قلیایی انجام شده بود، روشن گردید که کاربرد این میکروارگانیزم ها همراه با سنگ فسفات، ضمن افزایش حلالیت فسفر و فراهمی مناسب آن برای گندم، موجب بهبود رشد و عملکرد بیولوژیک این گیاه و حفظ سلامت خاک شد. تحقیق آنامالای و همکاران (Annamalai et al., 2004) نیز مبین بهبود معنی دار عملکرد بیولوژیک در اثر مصرف باکتری های حل کننده فسفات در یک گیاه دارویی از خانواده فریفون در مقایسه با تیمار شاهد بود. نتایج تحقیقات کابلو و همکاران (Cabello et al., 2005) روی نعناع و دفریتاس و همکاران (Defreitas et al., 1997)

وجود دارد به نحوی که عملکرد بیولوژیک در سطح دوم (۴۹۵۷ کیلوگرم در هکتار)، در حدود ۴/۲ درصد بیشتر از سطح اول (۴۷۵۷ کیلوگرم در هکتار) گردید (جدول ۷). ممکن است کود فسفات زیستی نیز با جذب بیشتر فسفر و افزایش میزان فتوسنتز موجب بهبود عملکرد بیولوژیک شد. این موضوع با نتایج پژوهش راتی و همکاران (Ratti et al., 2001) بر روی گیاه دارویی علف لیمو مطابقت دارد. آنها اظهار داشتند که علاوه بر تأثیر مثبتی (که بهبود جذب فسفر می تواند بر روی افزایش وزن خشک این گیاه داشته باشد، احتمال آن نیز وجود دارد که باکتری های حل کننده فسفات از طریق ساخت برخی هورمون های رشد گیاهی در این مهم دخیل باشند. در پژوهش دیگری که توسط عمر

جدول ۷- میانگین عملکرد بیولوژیک در سطوح مختلف کودهای زیستی و اثر متقابل آن ها در سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵

Table 4. Means for biological yield in different levels of biofertilizers and their intractions in 2005 and 2006 cropping seasons.

| تیمار Treatment | عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological Yield (Kg/ha) | | |
|--------------------|--|--------|-----------------|
| | 2005 | 2006 | میانگین Mean |
| | تلفیح میکوریزایی Mycorrhizal Inoculation | | |
| M1= non-inoculated | 3392 b | 5568 b | 4480 b |
| M2= inoculated | 3978 a | 6722 a | 5350 a |
| | کود فسفات زیستی (کیلوگرم در هکتار) Phosphatic Biofertilizer (Kg/ha) | | |
| P1= 0 kg/ha | 3610 b | 5906 b | 4757 b |
| P2= 30 kg/ha | 3712 a | 6203 a | 4957 a |
| P3= 60 kg/ha | 3734 a | 6326 a | 5029 a |
| | ورمی کمپوست (تن در هکتار) Vermicompost (ton/ha) | | |
| V1= 0 ton/ha | 2794 c | 3928 c | 3361 c |
| V2= 5 ton/ha | 3718 b | 6289 b | 5003 b |
| V3= 10 ton/ha | 4544 a | 8218 a | 6380 a |
| | تلفیح میکوریزایی × ورمی کمپوست M × V | | |
| M1V1 | 2435 f | 3334 f | 2884 f |
| M1V2 | 3470 d | 5929 d | 4699 d |
| M1V3 | 4271 b | 7441 b | 5856 b |
| M2V1 | 3153 e | 4522 e | 3837 e |
| M2V2 | 3965 c | 6650 c | 5307 c |
| M2V3 | 4816 a | 8994 a | 6904 a |

میانگین هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی دار ندارند.

Means, in each column for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

موجبات افزایش رشد اندام هوایی نظیر ارتفاع و تعداد چتر در بوته و متعاقب آن تولید ماده خشک را نیز فراهم کرده است. در همین رابطه در پژوهشی که با استفاده از مقادیر مختلف ورمی کمپوست روی گیاه دارویی ریحان صورت گرفت، انور و همکاران (Anwar *et al.*, 2005) نشان دادند که مصرف پنج تن در هکتار ورمی کمپوست همراه با کود شیمیایی NPK به میزان ۵۰، ۲۵ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار) برتری محسوسی از نظر عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد داشت. آنها اظهار داشتند که افزودن ورمی کمپوست به خاک با بهبود بخشیدن شرایط بیولوژیکی خاک، ضمن فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، موجبات افزایش رشد

روی کلزا، نیز مؤید نتایج پژوهش حاضر می باشد. در رابطه با اثر ورمی کمپوست بر عملکرد بیولوژیک نیز مقایسه میانگین ها نشان دهنده آن بود که بین سطوح مصرف ورمی کمپوست اختلاف معنی داری وجود دارد، به نحوی که عملکرد بیولوژیک در سطح سوم (۶۳۸۰ کیلوگرم در هکتار) ۲۷/۵ درصد بیشتر از سطح دوم (۵۰۰۳ کیلوگرم در هکتار) و ۸۹/۸ درصد بیشتر از سطح اول (۳۳۶۱ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۷). افزودن ورمی کمپوست به خاک ممکن است نه تنها فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش داده است بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه،

افزایش مقادیر ورمی کمپوست در تیمارهایی که حاوی قارچ میکوریزا می باشند، عملکرد بیولوژیک نیز به طور معنی داری افزایش یافت. بنظر می رسد که مصرف ورمی کمپوست از طریق تأثیر مثبتی که بر درصد همزیستی میکوریزایی و گسترش هیف های خارجی اعمال کرد و متعاقب آن تأثیری که قارچ میکوریزا بر گسترش و رونق رشد ریشه گیاه میزبان داشت، موجب بهبود رشد و نمو و سرانجام افزایش عملکرد بیولوژیک رازیانه گردید. یافته های ساینز و همکاران (Sainz *et al.*, 1998) بر روی گیاهان شبدر قرمز و خیار نیز با نتیجه این تحقیق مطابقت دارد. آنها دریافته اند که کاربرد مقادیر مناسب ورمی کمپوست توأم با تلقیح میکوریزایی، ضمن بهبود شرایط بیولوژیکی خاک، قادر است از طریق جذب مطلوب عناصر معدنی و افزایش رشد گیاه، سبب بهبود عملکرد بیولوژیک آن شود. همچنین کاوندر و همکاران (Cavender *et al.*, 2003) در پژوهشی روی گیاه سورگوم دانه ایی، مشاهده نمودند که کاربرد توأم میکوریزا و ورمی کمپوست موجب افزایش محسوس عملکرد بیولوژیک گردید. آنها اظهار داشتند که این افزایش ناشی از اثر مستقیم ورمی کمپوست بر درصد همزیستی میکوریزایی نبود، بلکه حاصل اثر عناصر غذایی موجود در ورمی کمپوست بر روی توسعه و گسترش مستقیم و غیر مستقیم شبکه قارچ و تأثیر آن بر تحریک رشد ریشه گیاه میزبان بود.

بر اساس نتایج تجزیه مرکب داده های سال های انجام آزمایش، عملکرد بیولوژیک در اثر تیمارهای مختلف کودی در سطح یک درصد معنی دار گردید (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمارها نیز مبین آن بود که بین شاهد و تیمارهای مطلوب کودهای زیستی تفاوت قابل ملاحظه ای وجود دارد به نحوی که عملکرد بیولوژیک در دو تیمار کود زیستی شامل تلقیح با میکوریزا، مصرف ۳۰ کیلوگرم کود فسفات زیستی و ۱۰ تن ورمی کمپوست (۶۸۸۶ کیلوگرم در هکتار) و در تلقیح با میکوریزا، مصرف ۶۰ کیلوگرم کود فسفات

پیکره رویشی و تولید بیوماس را نیز فراهم آورده است. یافته های کوماوات و همکاران (Kumawat *et al.*, 2006) نیز مؤید آن بود که استفاده از ورمی کمپوست در گیاه جو، موجب بهبود چشمگیر عملکرد بیولوژیک گردید، آنها این تأثیر مثبت را به قابلیت تحریک کنندگی فعالیت میکروب های مفید خاک توسط ورمی کمپوست و توانایی آن در بهبود جذب عناصر معدنی پر مصرف و کم مصرف نسبت دادند. ساینز و همکاران (Sainz *et al.*, 1998) نیز در پژوهش خود روی گیاهان شبدر قرمز و خیار، گزارش کردند که مصرف ورمی کمپوست حاصل از ضایعات آلی شهری موجب افزایش قابل ملاحظه عملکرد بیولوژیک در مقایسه با شاهد شد. آنها اظهار داشتند که فضولات کرم های خاکی حاوی عناصر معدنی پر مصرف و کم مصرف قابل استفاده فراوانی بوده که موجب تغذیه مستقیم گیاهان مذکور شده و از طریق بهبود رشد و نمو، سبب افزایش عملکرد بیولوژیک گردید. نتایج مطالعات کاوندر و همکاران (Cavender *et al.*, 2003)، آسه ودو و پایر (Acevedo and Pire, 2004)، کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2005)، جت و آلاوات (Jat and Ahlawat, 2004 and 2006)، هامیدا و همکاران (Hameeda *et al.*, 2006) و زالر (Zaller, 2007) به ترتیب روی سورگوم دانه ای، خربزه درختی، سورگوم علوفه ایی، نخود، ارزن مروارید و گوجه فرنگی، با نتیجه این تحقیق مطابقت دارد. مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح میکوریزایی × ورمی کمپوست نشان داد که بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی داری وجود داشت به نحوی که عملکرد بیولوژیک در تیمارهای تلقیح با میکوریزا در سطوح مختلف مصرف ورمی کمپوست (به ترتیب ۳۸۳۷، ۵۳۰۷، ۶۹۰۴ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با تیمارهای شامل عدم تلقیح میکوریزایی در سطوح مختلف مصرف ورمی کمپوست (به ترتیب ۲۸۸۴، ۴۶۹۹، ۵۸۵۶ کیلوگرم در هکتار) به طور بارزی افزایش یافت (جدول ۷). به عبارت دیگر با

زیستی و ۱۰ تن ورمی کمپوست (۷۰۹۷ کیلوگرم در هکتار) برتری چشمگیری به ترتیب در حدود ۲۵ و ۲۹ درصد نسبت به شاهد (۵۴۹۴ کیلوگرم در هکتار) داشتند (جدول ۸). در تفسیر نتیجه حاصله می توان بیان نمود که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی به همراه مصرف ۳۰ کیلوگرم نیتروژن، ضمن بهبود احتمالی فرآیندهای حیاتی خاک و افزایش باروری آن و نیز اثرات متقابل تشدید کننده ای که بین کودهای زیستی نظیر قارچ میکوریزا و ورمی کمپوست ایجاد شد، قادر می باشد از طریق ایجاد یک محیط کشت مناسب و فراهمی عناصر غذایی، موجب بهبود رشد و نمو گیاه رازیانه و افزایش عملکرد بیولوژیک آن در مقایسه با تیمار شاهد شیمیایی گردید. نتایج مطالعات برخی از محققین دیگر در رابطه با مصرف کودهای زیستی و آلی بر بهبود بیوماس گیاهان مختلف نیز مؤید همین مطلب است (Sainz et al., 1998; Cavender et al., 2003; Akbarinia, 2003).

جدول ۸- میانگین عملکرد بیولوژیک در اثر کودهای زیستی در سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵

Table 6. Means of biological yield as affected by biofertilizers in 2005 and 2006 cropping seasons

| تیمار Treatment | عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological Yield (Kg/ha) | | | درصد تغییر نسبت به شاهد %Change to control |
|------------------------------------|--|----------|-----------------|---|
| | 2005 | 2006 | میانگین Mean | |
| M1P1V1 | 2414 i | 3204 j | 2808 i | -48.9 |
| M1P1V2 | 3476 g | 5628 h | 4552 g | -17.1 |
| M1P1V3 | 4177 cde | 7123 cd | 5649 de | +2.8 |
| M1P2V1 | 2404 i | 3380 j | 2892 i | -47.4 |
| M1P2V2 | 3515 g | 5986 gh | 4750 g | -13.5 |
| M1P2V3 | 4272 cd | 7489 bc | 5880 cd | +7.0 |
| M1P3V1 | 2486 i | 3420 j | 2952 i | -46.3 |
| M1P3V2 | 3420 g | 6173 fgh | 4796 g | -12.7 |
| M1P3V3 | 4366 c | 7712 b | 6039 c | +9.9 |
| M2P1V1 | 3011 h | 4345 i | 3678 h | -33.0 |
| M2P1V2 | 3858 f | 6397 efg | 5127 f | -6.7 |
| M2P1V3 | 4724 b | 8738 a | 6731 b | +22.5 |
| M2P2V1 | 3342 g | 4584 i | 3963 h | -27.9 |
| M2P2V2 | 4046 def | 6699 def | 5372 ef | -2.2 |
| M2P2V3 | 4691 b | 9083 a | 6886 ab | +25.3 |
| M2P3V1 | 3106 h | 4638 i | 3872 h | -29.5 |
| M2P3V2 | 3991 ef | 6854 de | 5422 ef | -1.3 |
| M2P3V3 | 5033 a | 9161 a | 7097 a | +29.2 |
| Control (NPK: 90, 60 and 90 Kg/ha) | 4002 ef | 6986 cde | 5494 e | - |

میانگین هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی دار ندارند. Means, in each column for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

سه عامل با هم در سطح یک درصد بر درصد همزیستی ریشه معنی دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین سطوح تلقیح میکوریزایی تفاوت قابل توجهی وجود داشت، به طوری که درصد همزیستی

درصد همزیستی ریشه با میکوریزا تجزیه مرکب داده های سال های آزمایش، بیانگر آن بود که اثر هر سه عامل به تنهایی و نیز اثر متقابل تلقیح میکوریزایی × کود فسفات زیستی و اثر متقابل هر

و همکاران (Hazarika et al., 2000) روی گیاه چای با یافته های پژوهش حاضر مطابقت دارد. آنها مشاهده کردند که کاربرد یک گونه از باکتری حل کننده فسفات (*Bacillus polymyxa*) در حضور سنگ فسفات معدنی موجب افزایش چشمگیر درصد کلونیزاسیون ریشه گردید. آنها گزارش کردند در خاکهای اسیدی که سمیت آلومینیوم و کمبود فسفر وجود دارد، مصرف این باکتری ها ضمن بهبود همزیستی میکوریزایی سبب عرضه کافی فسفر به گیاه چای و افزایش رشد و نمو آن شد. همچنین در دو مطالعه دیگری که در خصوص کاربرد میکروارگانیزم های حل کننده فسفات روی گیاهان گندم و ماش سبز انجام گرفت، آشکار شد که مصرف یک باکتری (*Bacillus circulans*) و یک گونه قارچ (*Cladosporium herbarum*) در حضور سنگ فسفات سبب بهبود قابل ملاحظه درصد همزیستی ریشه نسبت به شاهد گردید (Singh and Kapoor, 1998, Singh and Kapoor, 1999). آنها اظهار داشتند که ممکن است تولید هورمون های گیاهی که توسط این میکروارگانیزم ها صورت می گیرد، دارای تأثیر تحریک کننده بر آلودگی میکوریزایی باشد و موجب افزایش کلونیزاسیون ریشه گردد. همچنین مقایسه میانگین ها نشان داد که بین سطوح ورمی کمپوست تفاوت معنی داری وجود دارد به طوری که درصد همزیستی ریشه در سطح دوم (۴۳/۳۷٪) در حدود ۲۳/۶ درصد بیشتر از سطح اول (۳۵/۱۰٪) و در حدود ۳ درصد بیشتر از سطح سوم (۴۲/۱۱٪) بود (جدول ۹). استنباط می شود که عناصر غذایی موجود در ورمی کمپوست از طریق تحریک رشد ریشه رازیانه، موجب بهبود درصد همزیستی ریشه با میکوریزا شده باشند. این موضوع در نتیجه تحقیق کیل و همکاران (Kale et al., 1987) روی گیاه دارویی مریم گلی نیز قابل مشاهده است. گزارش شیواپوترا و همکاران (Shivaputra et al., 2004) نیز مبین آن بود که مصرف ورمی کمپوست تحت شرایط گلخانه ای در گیاه خربزه درختی، سبب بهبود قابل

ریشه در تلقیح با میکوریزا (۵۳/۱۳٪) در حدود ۹۵ درصد بیشتر از عدم تلقیح (۲۷/۲۵٪) بود (جدول ۹). می توان استنباط کرد که تلقیح میکوریزایی، شرایط مناسبی برای بهبود درصد همزیستی ریشه در رازیانه فراهم آورد. در همین رابطه کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند. آنها مشاهده نمودند که درصد همزیستی ریشه رازیانه در تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزایی *Glomus fasciculatum* (۸۴٪) و *G. macrocarpum* (۸۰٪) به طرز چشمگیری بیشتر از تیمار عدم تلقیح (۱۰٪) گردید. در پژوهش دیگر گوپتا و همکاران (Gupta et al., 2002) نیز نشان دادند که تلقیح یک گونه از قارچ میکوریزا (*Glomus fasciculatum*)، با ریشه نعنای، سبب افزایش محسوس درصد همزیستی گردید. نتایج تحقیقات راتی و همکاران (Ratti et al., 2001) و آریاگادا و همکاران (Arriagada et al., 2007) به ترتیب روی گیاهان دارویی علف لیمو و اوکالیتوس نیز مؤید این مطلب است. نتیجه تحقیقات کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2002) روی شوید و نوعی زیره مبین آن بود که تلقیح ریشه این دو گیاه با گونه های مختلف میکوریزا، موجب افزایش بارز درصد همزیستی ریشه گردید، به نحوی که به طور میانگین میزان این همزیستی در دو گیاه مذکور به ترتیب در حدود ۷۹ و ۷۳ درصد گردید و این در حالی بود که مقدار آن در تیمار شاهد فقط در حدود دو درصد بود. مقایسه میانگین ها بیانگر آن بود که میان سطوح کود فسفات زیستی اختلاف معنی داری وجود داشت، به نحوی که درصد همزیستی ریشه با میکوریزا در سطح سوم (۴۳/۱۲٪)، در حدود ۱۳/۳ درصد بیشتر از سطح اول (۳۸/۰۶٪) و در حدود ۹/۴ درصد بیشتر از سطح دوم (۳۹/۴۰٪) گردید (جدول ۹). کاربرد کود فسفات زیستی از طریق رها سازی آهسته و مداوم فسفر ممکن است موجب تحریک همزیستی میکوریزایی و متعاقب آن افزایش درصد همزیستی ریشه رازیانه شده باشد. نتیجه تحقیق هازاریکا

جدول ۹- میانگین درصد همزیستی ریشه در سطوح مختلف کودهای زیستی در سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵

Table 7. Means for root colonization percent in different levels of biofertilizers in 2005 and 2006 cropping seasons.

| تیمار Treatment | درصد همزیستی ریشه Root colonization (%) | | |
|--------------------|--|-----------|-----------------|
| | 2005 | 2006 | میانگین Mean |
| | تلقیح میکوریزایی Mycorrhizal Inoculation | | |
| M1= non-inoculated | 26.77 b | 27.73 b | 27.25 b |
| M2= inoculated | 50.68 a | 55.59 a | 53.13 a |
| | کود فسفات زیستی (کیلوگرم در هکتار) Phosphatic Biofertilizer (Kg/ha) | | |
| P1= 0 kg/ha | 36.97 b | 39.14 c | 38.06 c |
| P2= 30 kg/ha | 37.81 b | 40.99 b | 39.40 b |
| P3= 60 kg/ha | 41.40 a | 44.85 a | 43.12 a |
| | ورمی کمپوست (تن در هکتار) Vermicompost (ton/ha) | | |
| V1= 0 ton/ha | 34.08 b | 63.13 c | 35.10 c |
| V2= 5 ton/ha | 41.54 a | 45.20 a | 43.37 a |
| V3= 10 ton/ha | 40.56 a | 43.65 b | 42.11 b |
| | تلقیح میکوریزایی × کود فسفات زیستی M × P | | |
| M1P1 | 24.28 d | 24.48 d | 24.38 e |
| M1P2 | 27.04 c | 28.41 c | 27.72 d |
| M1P3 | 29.00 c | 30.31 c | 29.65 c |
| M2P1 | 49.67 b | 53.80 b | 51.73 b |
| M2P2 | 48.57 b | 53.58 b | 51.08 b |
| M2P3 | 53.79 a | 59.39 a | 56.59 a |
| | تلقیح میکوریزایی × کود فسفات زیستی × ورمی کمپوست M × P × V | | |
| M1P1V1 | 17.77 f | 17.13 j | 17.45 j |
| M1P1V2 | 27.47 e | 28.43 gh | 27.95 h |
| M1P1V3 | 27.61 e | 27.87 h | 27.74 h |
| M1P2V1 | 22.16 f | 22.49 i | 22.32 i |
| M1P2V2 | 28.47 e | 30.80 gh | 29.63 gh |
| M1P2V3 | 30.50 e | 31.93 gh | 31.22 g |
| M1P3V1 | 27.97 e | 28.27 gh | 28.12 gh |
| M1P3V2 | 30.07 e | 32.43 g | 31.25 g |
| M1P3V3 | 28.97 e | 30.23 gh | 29.60 gh |
| M2P1V1 | 42.57 d | 45.27 f | 43.92 f |
| M2P1V2 | 53.40 b | 58.90 bc | 56.15 b |
| M2P1V3 | 53.03 b | 57.23 bcd | 55.13 b c |
| M2P2V1 | 46.20 cd | 50.21 e | 48.20 e |
| M2P2V2 | 50.05 bc | 55.67 c d | 52.86 c d |
| M2P2V3 | 49.47 bc | 54.87 d | 52.17 c d |
| M2P3V1 | 47.80 c | 53.43 d e | 50.62 d e |
| M2P3V2 | 59.77 a | 64.97 a | 62.37 a |
| M2P3V3 | 53.81 b | 59.77 b | 56.79 b |

میانگین هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی دار ندارند. Means, in each column for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

لیمو نیز با نتیجه تحقیق حاضر هماهنگی دارد. آنها مشاهده نمودند که کاربرد توأم گونه های میکوریزا (*Glomus aggregatum*) و باکتری حل کننده فسفات (*Bacillus polymyxa*) دارای یک اثر هم افزایی روی درصد همزیستی ریشه بود به طوری که درصد همزیستی ریشه در تیمار دارای هر دو میکروارگانیزم (۷۳/۵٪) در مقایسه با تیمار فقط دارای میکوریزا (۴۳/۵٪) در حدود ۶۹ درصد بیشتر بود. دلیل این برتری بارز، به تحریک همزیستی میکوریزایی توسط باکتری حل کننده فسفات مذکور نسبت داده شد. هازاریکا و همکاران (Hazarika et al., 2000) نیز در مطالعه خود روی گیاه چای به نتیجه مشابهی دست یافتند. آنها مشاهده کردند که کاربرد توأم قارچ میکوریزا (*Glomus fasciculatum*) و باکتری حل کننده فسفات (*Bacillus polymyxa*) در حضور سنگ فسفات معدنی سبب تشدید درصد همزیستی میکوریزایی با ریشه گیاه چای گردید. مقایسه میانگین-های اثر متقابل هر سه عامل نیز اختلاف معنی داری را نشان داد و مشاهده گردید که با کاربرد توأم سطوح مختلفی از سه عامل، در برخی از تیمارها بر درصد همزیستی افزوده شد به نحوی که درصد همزیستی ریشه در تیمار تلقیح با میکوریزا، مصرف ۶۰ کیلوگرم کود فسفات زیستی و پنج تن در هکتار ورمی کمپوست (۶۲/۳۷٪) برتری چشمگیری نسبت به سایر تیمارها داشت (جدول ۹). استنباط می شود که مصرف توأم برخی از مقادیر هر سه کود زیستی سبب بروز یک اثر تشدید کننده و مثبت بر همزیستی میکوریزایی با ریشه گیاه میزبان می شود و متعاقب آن درصد کلونیزاسیون ریشه بهبود می یابد. نتایج مطالعات برخی محققین نظیر عمر (Omar, 1998)، هازاریکا و همکاران (Hazarika et al., 2000)، کومار و سینگ (Kumar and Singh, 2001) و راتی و همکاران (Ratti et al., 2001) نیز مؤید وجود یک رابطه افزایشی بین کودهای زیستی بر درصد همزیستی ریشه می باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده از تجزیه مرکب

ملاحظه درصد همزیستی ریشه در مقایسه با شاهد گردید. در برخی از پژوهش ها نتیجه متناقض با تحقیق حاضر نیز بدست آمده است. در این خصوص، ساینز و همکاران (Sainz et al., 1998) در یک تحقیق گلخانه ای که روی گیاهان شبدر قرمز و خیار انجام دادند، مشاهده نمودند که مصرف ورمی کمپوست حاصل از ضایعات آلی شهری موجب کاهش معنی دار درصد کلونیزاسیون ریشه در گیاه شبدر قرمز گردید. این محققین دلیل کاهش در همزیستی میکوریزایی را به مصرف زیاد این نوع ورمی کمپوست و متعاقب آن به فراهمی زیاد فسفر در محیط رشد ریشه نسبت دادند و نتیجه گرفتند که برای حفظ مطلوب همزیستی میکوریزایی در سیستم های کشاورزی پایدار، ابتدا باید مبادرت به تعیین دقیق عناصر غذایی مورد نیاز کرد و سپس برای مصرف مقادیر مناسب ورمی کمپوست اقدام کرد. مقایسه میانگین های اثر متقابل تلقیح میکوریزایی × کود فسفات زیستی نیز دارای اختلاف معنی داری بود به نحوی که درصد همزیستی ریشه در تیمارهای دارای تلقیح میکوریزایی (به ترتیب ۵۱/۷۳٪، ۵۱/۰۸٪، ۵۶/۵۹٪) بودند، برتری چشمگیری نسبت به تیمارهای دارای عدم تلقیح میکوریزایی (به ترتیب ۲۴/۳۸٪، ۲۷/۷۲٪، ۲۹/۶۵٪) داشتند (جدول ۹). این اثر معنی دار در تیمار تلقیح با میکوریزا و مصرف ۶۰ کیلوگرم کود فسفات زیستی (۵۶/۵۹٪) در مقایسه با تیمار عدم تلقیح و کاربرد ۶۰ کیلوگرم کود فسفات زیستی (۲۹/۶۵٪) بیشتر بارز بود، به نحوی که در حدود ۹۱ درصد برتری مشاهده شد. در تفسیر نتایج حاصله می توان بیان داشت، که یک اثر تشدید کننده بین قارچ میکوریزا و مجموعه باکتری حل کننده فسفات و سنگ فسفات وجود دارد به طوری که باکتری مذکور از طریق رها سازی کند فسفر از سنگ فسفات، می تواند به تحریک همزیستی میکوریزایی با ریشه گیاه رازیانه و متعاقب آن به بهبود درصد همزیستی کمک کند. نتیجه تحقیق راتی و همکاران (Ratti et al., 2001) روی گیاه دارویی علف

بروز اثرات متقابل تشدید کننده و مفید در بین آنها همراه بود، مهیا کردند و سبب افزایش درصد همزیستی ریشه رازیانه با میکوریزا شدند. از طرف دیگر مصرف کودهای شیمیایی حاوی فسفر محلول، به عنوان یک مانع اصلی در ایجاد همزیستی میکوریزایی بشمار می رود و از این جهت می توان گفت که سیستم های کشاورزی متداول که مبتنی بر مصرف فراوان کودهای شیمیایی هستند غالباً از مزایای این همزیستی محروم می باشند (Sharma, 2002a and b; Kapoor *et al.*, 2004; Gholami, 1999) به همین دلیل در تیمار شاهد ما نیز کاهش زیاد درصد همزیستی ریشه به وضوح مشاهده شد.

داده های سال های آزمایش، درصد همزیستی ریشه با میکوریزا در تیمارهای مختلف کودهای زیستی و شاهد در سطح یک درصد معنی دار گردید (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمارها بین شاهد و تیمارهای کودهای زیستی نیز مبین اختلاف قابل توجهی بود، به طوری که تیمار کودهای زیستی شامل تلقیح با میکوریزا، مصرف ۶۰ کیلوگرم کود فسفات زیستی و پنج تن در هکتار ورمی کمپوست (۶۲/۳۷٪) برتری محسوسی در حدود ۴۰۵ درصد نسبت به شاهد (۱۲/۳۳٪) داشتند (جدول ۱۰). بنابراین تیمارهای کودهای زیستی مطلوب در مقایسه با تیمار شاهد کود شیمیایی، به مراتب شرایط مناسب تری برای بهبود فعالیت های میکروبی مفید در خاک که با

جدول ۱۰- میانگین درصد همزیستی ریشه در اثر کودهای زیستی در سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵

Table 8. Means of root colonization percent as affected by biofertilizers in 2005 and 2006 cropping seasons

| تیمار Treatment | درصد همزیستی ریشه Root colonization (%) | | | درصد تغییر نسبت به شاهد % Change to control |
|------------------------------------|--|-----------|-----------------|--|
| | 2005 | 2006 | میانگین Mean | |
| M1P1V1 | 17.62 g | 17.13 j | 17.45 j | +41.5 |
| M1P1V2 | 27.47 e | 28.43 gh | 27.95 h | +126.7 |
| M1P1V3 | 27.61 e | 28.87 h | 27.74 h | +125.0 |
| M1P2V1 | 22.16 f | 22.49 i | 22.32 i | +81.0 |
| M1P2V2 | 28.47 e | 30.80 gh | 29.63 gh | +140.3 |
| M1P2V3 | 30.50 e | 31.93 gh | 31.22 g | +153.2 |
| M1P3V1 | 27.97 e | 28.27 h | 28.12 h | +128.0 |
| M1P3V2 | 30.07 e | 32.43 g | 31.25 g | +153.4 |
| M1P3V3 | 28.97 e | 30.23 gh | 29.60 h | +140.0 |
| M2P1V1 | 42.57 d | 45.27 f | 43.92 f | +256.2 |
| M2P1V2 | 53.40 b | 58.90 bc | 56.15 b | +355.4 |
| M2P1V3 | 53.03 b | 57.23 bcd | 55.13 bc | +347.1 |
| M2P2V1 | 46.20 cd | 50.21 e | 48.20 e | +290.9 |
| M2P2V2 | 50.05 bc | 55.67 cd | 52.86 cd | +328.7 |
| M2P2V3 | 49.47 bc | 54.87 d | 52.17 d | +323.1 |
| M2P3V1 | 47.80 c | 53.43 de | 50.62 de | +310.5 |
| M2P3V2 | 59.77 a | 64.97 a | 62.37 a | +405.8 |
| M2P3V3 | 53.81 b | 59.77 b | 56.79 b | +360.6 |
| Control (NPK: 90, 60 and 90 Kg/ha) | 12.13 h | 12.53 k | 12.33 k | - |

میانگین هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی دار ندارند. Means, in each column for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

سپاسگزاری

تحقیق با نگارندگان داشتند، کمال سپاسگزاری و تشکر را داریم. از همکاری و زحمات کارکنان بخش بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور نیز کمال تشکر را می‌نمائیم.

بدینوسیله از رئیس و کارکنان ایستگاه تحقیقات همنند دماوند وابسته به مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور که همکاری صمیمانه‌ای در طول اجرای

References

منابع مورد استفاده

- Acevedo, I. C. and R. Pire. 2004.** Effects of vermicompost as substrate amendment on the growth of papaya (*Carica papaya* L.). *Interciencia*. 29: 274-279.
- Akbarinia, A. 2003.** Study on yield and effective substance of ajowan (*Trachyspermum ammi*) under conventional, organic and integrated systems. Ph.D. Thesis in Agronomy. Faculty of Agriculture, The University of Tarbiat Modarres.
- Annamalai, A., P. T. V. Lakshmi, D. Lalithakumari and K. Murugesan. 2004.** Optimization of biofertilizers on growth, biomass and seed yield of *Phyllanthus amarus* (Bhumyamalaki) in sandy loam soil. *J. Medicinal and Aromatic Plants Sci.* 26: 21-28.
- Anwar, M., D. D. Patra, S. Chand, K. Alpesh, A. A. Naqvi and S. P. S. Khanuja. 2005.** Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Communications in Soil Sci. and Plant Analysis*. 36: 1737-1746.
- Arancon, N., C. A. Edwards, P. Bierman, C. Welch and J. D. Metzger. 2004.** Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technol.* 93: 145-153.
- Arriagada, C. A., M. A. Herrera and J. A. Ocampo. 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. *J. Environmental Management*. 84: 93-99.
- Bajaj, Y. P. S. 1989.** Biotechnology in agriculture and forestry. Vol 7. Medicinal and Aromatic Plants 2. Springer-Verlag Press. 480 pp.
- Cabello, M., G. Irrazabal, A. M. Bucsinszky, M. Saparrat and S. Schalamuk. 2005.** Effect of arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*, and a rock- phosphate-solubilizing fungus, *Penicillium thomii*, on *Mentha piperita* growth in a soilless medium. *J. Basic Microbiol.* 45: 182-189.
- Cavender, N. D., R. M. Atiyeh and M. Knee. 2003.** Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *sorghum bicolor* at the expense of plant growth. *Pedobiologia*. 47: 85-89.
- Darzi, M. T., M. T. Hadj Seyed Hadi and N. Yasa. 2005.** Effects of sowing date and plant density on seed yield and quality of active substance in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 2: 27-36.
- Defreitas, J. R., M. R. Banerjee and J. J. Germida. 1997.** Phosphate solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not the phosphorus uptake of canola. *Biol. Fert Soils*. 24: 358-364.

- Gholami, A. 1999.** Evaluating the effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi on growth characteristics of corn. Ph.D. Thesis in Agronomy. Faculty of Agriculture, The University of Tarbiat Modarres.
- Giovannetti, M. and B. Mosse. 1980.** An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*. 84: 489-500.
- Gupta, M. L. and K. K. Janardhanan. 1991.** Mycorrhizal association of *Glomus aggregatum* with palmarosa enhances growth and biomass. *Plant and Soil*. 131: 261-263.
- Gupta, M. L., A. Prasad, M. Ram and S. kumar. 2002.** Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* 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 Technol.* 81: 77-79.
- Gyaneshwar, P., G. Naresh Kumar, L. J. Parekh and P. S. Poole. 2002.** Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil*. 245: 83-93.
- Hameeda, B., O. P. Rupela, G. Reddy and K. Satyavani. 2006.** Application of plant growth-promoting bacteria associated with composts and macrofauna for growth promotion of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Biol. Fert. Soils*. 44: 260-266.
- Hazarika, D. K., N. C. Taluk Dar A. K. Phookan, U. N. Saikia, B. C. Das and P. C. Deka. 2000.** Influence of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria on nursery establishment and growth of tea seedlings in Assam. Symposium No. 12, Assam Agricultural University, Jorhat-Assam, India.
- Jat, R. S. and I. P. S. Ahlawat. 2004.** Effect of vermicompost, biofertilizer and phosphorus on growth, yield and nutrient uptake by gram (*Cicer arietinum*) and their residual effect on fodder maize (*Zea mays*). *Indian J. Agric. Sci.* 74: 359-361.
- Jat, R. S. and I. P. S. Ahlawat. 2006.** Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. *J. Sustainable Agric.* 28: 41-54.
- Kale, R. D., K. Bano, M. N. Sreenivasa and D. J. Bagyaraj. 1987.** Influence of worm cast on the growth and mycorrhizal colonization of two ornamental plants. *South Indian Horticulture*. 35: 433-437.
- Kapoor, R., B. Giri, and K. G. Mukerji. 2002.** *Glomus macrocarpum*: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in Dill (*Anethum graveolens* L.) and carum (*Trachyspermum ammi* Sprague). *World J. Microbiol. Biotechnol.* 18: 459-463.
- Kapoor, R., B. Giri, and K. G. Mukerji. 2004.** Improved growth and essential oil yield and quality in *foeniculum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technol.* 93: 307-311.
- Khan, M. M. A., S. H. A. Samiullah and M. M. R. K. Afridi. 1992.** Yield and quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in relation to basal and foliar application of nitrogen and phosphorus. *J. Plant Nutrition*. 15: 2505-2515.
- Kumar, S., C. R. Rawat, S. Dhar and S. K. Rai. 2005.** Dry matter accumulation, nutrient uptake and changes in soil fertility status as influenced by different organic sources of nutrients to forage sorghum (*Sorghum bicolor*).

- Indian J. Agric. Sci. 75: 340-342.
- Kumar, V. and K. P. Singh. 2001.** Enriching vermicompost by nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Bioresource Technol.* 76: 173-175.
- Kumawat, P. D., N. L. Jat and S. S. Yadavi, 2006.** Effect of organic manure and nitrogen fertilization on growth, yield and economics of barley (*Hordeum vulgare*). *Indian J. Agric. Sci.* 76: 226-229.
- Marotti, M., V. Dellacecca, R. Piccaglia and E. Giovaneli. 1993.** Agronomic and chemical evaluation of three varieties of *Foeniculum vulgare* Mill. *Acta Horticulture.* 331: 63-69.
- 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 J. Microbiol. Biotechnol.* 14: 211-218.
- Omidbaigi, R. 1997.** Approaches to production and processing of medicinal plants. *Tarrahan Nashr.* 424 pp.
- Pandey, R. 2005.** Mangement of *Meloidogyne incognita* in *Artemisia pallens* with bio-organics. *Phytoparasitica.* 33: 304-308.
- Philips, J. M. and D. S. Hayman. 1970.** Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol.* 55: 158-161.
- Rashed Mohassel, M. H. and A. Nezami. 1998.** Effects of sowing date and plant density on growth and seed yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in Mashhad climatic condition. Final report of research project, The University of Ferdosi.
- Ratti, N., S. Kumar, H. N. Verma and S. P. Gautam, 2001.** Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. motia by rhizobacteria, AMF and azospirillum inoculation. *Microbiol. Res.* 156: 145-149.
- Roy, D. K. and B. P. Singh. 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 J. Agron.* 51: 40-42.
- Sainz, M. J., M. T. Taboada-Castro and A. Vilarino. 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.
- Saleh Rastin, N. 2001.** Biofertilizers and their role in order to reach to sustainable agriculture. A compilation of papers of necessity for the production of biofertilizers in Iran. 1-54 pp.
- Sephidkon, F. 2001.** Study of quantitative and qualitative of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) essential oil in different growth stages. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 7: 85-104.
- Sharifi Ashorabadi, E., G. R. Amin, M. Mirza and M. Rezvani. 2002.** Effect of plant nutrition systems (chemical, intermediate and organic systems) on quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Pajouhesh & Sazandegi.* 56 and 57: 78-87.
- Sharma, A. K. 2002a.** Biofertilizers for Sustainable Agriculture. *Agrobios, India.* 407 pp.
- Sharma, A. K. 2002b.** A handbook of organic farming. *Agrobios, India.* 627 pp.

- Shivaputra, S. S., C. P. Patil, G. S. K. Swamy and P. B. Patil. 2004.** Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi and vermicompost on drought tolerance in papaya. *Mycorrhiza News*. 16: 12-13.
- Singh, S. and K. K. Kapoor. 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 K. K. Kapoor. 1999.** Inoculation with phosphate-solubilizing microorganisms and a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter, yield, nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. *Biol. Fert. Soils*. 28: 139-144.
- Subramanian, K. S., P. Santhanakrishnan and P. Balasubramanian. 2006.** Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Sci. Horticulturae*. 107: 245-253.
- 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. *Sci. Horticulturae*. 112: 191-199.

Effect of mycorrhiza, vermicompost and phosphate biofertilizer application on flowering, biological yield and root colonization in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)

Darzi, M.T.¹, A. Ghalavand² and F. Rejali³

ABSTRACT

Darzi, M.T., A. Ghalavand and F. Rejali. 2008. Effect of mycorrhiza, vermicompost and phosphate biofertilizer application on flowering, biological yield and root colonization in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). **Iranian Journal of Crop Sciences. 10 (1):88-109.**

In order to study the effect of biofertilizers on flowering, biological yield and root colonization in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), an experiment was conducted in 2005 and 2006 growing seasons. The factors were mycorrhizal inoculation (inoculated and non-inoculated), phosphate biofertilizer (0, 30, 60 Kg/ha) and vermicompost (0, 5, 10 Ton/ha). The treatments were arranged as factorial in a randomized complete blocks design with eighteen treatments and three replications. These treatments together with a chemical fertilizer control treatment (NPK: 90, 60 and 90 Kg/ha) were also evaluated using a randomized complete blocks design with nineteen treatments and three replications. Results showed that the highest umbrella no./plant, biological yield and root colonization percent were obtained with mycorrhiza treatment. Phosphate biofertilizer also showed significant effect on these traits. The maximum umbrella no./plant and root colonization percent were related to the plots with application of 60 Kg/ha of phosphate biofertilizer. The highest biological yield were obtained with application of 30 Kg/ha phosphate biofertilizer. The maximum umbrella no./plant and biological yield were obtained from vermicompost (10 ton/ha). The highest root colonization percent were also obtained with application of five ton/ha vermicompost. There were positive and synergistic interactions between factors. For example, interactions between mycorrhizal inoculation × vermicompost on biological yield. Differences between control and biofertilizer treatments were significant, as umbrella no./plant and biological yield in treatment of inoculation with mycorrhiza, application of 60 kg/ha phosphate biofertilizer and 10 ton/ha vermicompost were higher than control. Root colonization percent in treatment of inoculation with mycorrhiza, application of 60 Kg/ha phosphate biofertilizer and five ton/ha vermicompost was also greater than control.

Key words: Fennel, Mycorrhiza, Phosphate biofertilizer, Vermicompost, Flowering, Biological yield, Root colonization.

Received: December 2007

1- Assistant professor, Islamic Azad University, Roodhen Unit, Roodhen, Iran (Corresponding author)

2- Associate professor, Faculty of Agriculture, The University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran

3- Assistant professor, Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran