دوماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۳۱، شماره ۳، صفحه ۵۳۸-۵۲۷ (۱۳۹۴)

تأثیر کاربرد باکتری‌های ریزوسفری افزاینده رشد و قارچ میکوریز آربسکولار بر جذب عناصر NPK و عملکرد کمّی در گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak)

فرزانه بهادری[۱*]، ابراهیم شریفی عاشورآبادی[۲]، مهدی میرزا[۲]، محمد متینی‌زاده[۳] و وحید عبدوسی[۴]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، پست الکترونیک: farbahadori@gmail.com

۲- دانشیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۳- دانشیار، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۴- استادیار، گروه باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۲ تاریخ اصلاح نهایی: آبان ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۲

چکیده

برای ارزیابی برهم‌کنش قارچ‌های میکوریز آربسکولار و باکتری‌های ریزوسفری افزاینده رشد گیاه، بر جذب شماری از عناصر غذایی و عملکرد خشک آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak)، آزمایشی به صورت فاکتوریل ۳×۲ با پایه بلوکهای کامل تصادفی با ۶ تیمار و ۳ تکرار در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (در منطقه شهمیرزاد) اجرا شد. تیمارهای بررسی شده شامل عامل قارچ میکوریز در دو سطح: ۱- عدم تلقیح با قارچ میکوریز آربسکولار (NM) و ۲- تلقیح با قارچ میکوریز آربسکولار گونه *Glomus moseae* (GM) و عامل باکتری افزاینده رشد در سه سطح شامل: ۱- عدم تلقیح با باکتری (NB)، ۲- تلقیح با باکتری *Bacillus subtilis* (BS) و ۳- تلقیح با باکتری *Pseudomonas fluorescens* (PF) بودند. بر پایه نتایج بدست آمده، اندازه پتاسیم برگی و درصد کلونیزاسیون ریشه با کاربرد قارچ *G. moseae* در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش چشمگیری نشان داد. افزایش معنی‌دار غلظت فسفر برگ نیز در تیمار با باکتری *B. subtilis* دیده شد. کاربرد همزمان قارچ میکوریز *G. moseae* و باکتری *P. fluorescens* اثرات آنتاگونیستی مشهودی را نشان داد و سبب کاهش جذب عناصر نسبت به تیمارهای دیگر گردید و در پی آن کاهش معنی‌دار عملکرد خشک آویشن دنایی دیده شد. اثربخش‌ترین تیمار وابسته به کاربرد همزمان *G. moseae* و *B. subtilis* بود که سبب افزایش چشمگیر در میزان جذب عناصر NPK و عملکرد خشک گیاه نسبت به کاربرد هر کدام از دو میکروارگانیسم به تنهایی و همچنین گیاهان شاهد گردید. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد که همیاری اثربخش قارچ میکوریز *G. moseae* و باکتری *B.subtilis* نقش سودمندی در تولید ارگانیک و پایدار گیاه آویشن دنایی دارد.

واژه‌های کلیدی: آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak)، قارچ میکوریز آربسکولار، باکتری‌های ریزوسفری افزاینده رشد، جذب مواد غذایی، کشاورزی پایدار.

مقدمه

گیاه آویشن متعلق به خانواده نعناعیان شامل گونه‌های چندساله است. از این جنس در ایران ۱۴ گونه شناسایی شده که ۴ گونه آن ازجمله *Thymus daenensis* انحصاری ایران هستند (Reshinger, 1982). در حال حاضر یکی از مهمترین تغییرات اساسی که در سیاستهای تولید غذا و همچنین در تحقیقات کشاورزی بوجود آمده اینست که برخلاف گذشته افزایش تولید و رساندن آن به بالاترین سطح ممکن به‌عنوان تنها هدف محسوب نمی‌شود، بلکه امروزه تلاش برای دستیابی به افزایش محصول بر مبنای اصول و اهداف کشاورزی پایدار و اکولوژیک برنامه‌ریزی می‌شود (Arun, 2002). نظام‌های کشاورزی اکولوژیک و کم‌نهاده می‌توانند به‌عنوان جایگزینی برای سیستم‌های رایج در نظر گرفته شده و باعث توسعه کشاورزی پایدار و حفظ سلامت محیط زیست گردند (Poudel *et al.*, 2002؛ Wallace, 2001). در دو دهه اخیر رویکرد به سوی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم با الهام از طبیعت سرعت گرفته است. در این میان کاربرد قارچ‌های میکوریزی و بهبود جذب عناصر غذایی و فعال کردن محیط زنده خاک و تحریک چرخه‌های مواد غذایی مورد توجه پژوهشگران علوم کشاورزی و منابع طبیعی قرار گرفته است (Sharma, 2002). نتایج تحقیقات نشان داده که باکتری‌های خاکزی تحریک کننده رشد به همراه قارچ‌های میکوریز آربسکولار می‌توانند سبب افزایش توده زیستی و جذب مواد معدنی حتی در شرایط تنش‌زا شوند (Adesemoye *et al.*, 2009). Kapoor و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که با کاربرد دو گونه قارچ میکوریز آربسکولار از جنس گلوموس با سه توده محلی *Artemisia annua* افزایش عملکرد تر و خشک و مواد معدنی پیکر رویشی مشاهده شد. آزمایش‌های Kapoor و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که کاربرد دو گونه قارچ میکوریز *Glomus fasciculatum* و *Glomus macrocarpum* در گیاه رازیانه مایه افزایش رشد و میزان اسانس شد. Kohler و همکاران (۲۰۰۶) در آزمایشی که با تلقیح قارچ میکوریز آربسکولار *Glomus intraradices* و باکتری *Bacillus subtilis* بر گیاه کاهو انجام دادند نتیجه گرفتند که حداکثر رشد و عملکرد در اثر کاربرد دوگانه باکتری و قارچ بدست آمد. در این پروژه گیاه چند منظوره و بومی آویشن دنایی جهت بررسی کارایی این روش انتخاب شد. در این تحقیق برای نخستین بار اثر قارچ‌های میکوریز آربسکولار و همچنین باکتری‌های محرک رشد و برهم‌کنش آنها بر گیاه بومی و ارزشمند ایران (آویشن دنایی) مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روشها

برای ارزیابی اثر برهم‌کنش قارچ‌های میکوریز آربسکولار و باکتری‌های ریزوسفری افزاینده رشد گیاه، بر جذب شماری از عناصر غذایی و عملکرد خشک گیاه دارویی *Thymus daenensis*، آزمایشی به صورت فاکتوریل ۳×۲ با پایه بلوکهای کامل تصادفی با ۶ تیمار و ۳ تکرار در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (در منطقه شهمیرزاد) اجرا شد. تیمارهای بررسی شده شامل عامل قارچ میکوریز در دو سطح: ۱- عدم تلقیح با قارچ میکوریز آربسکولار (NM) و ۲- تلقیح با قارچ میکوریز آربسکولار گونه *Glomus moseae* (GM) و عامل باکتری افزاینده رشد در سه سطح شامل: ۱- عدم تلقیح با باکتری (NB)، ۲- تلقیح با باکتری *Bacillus subtilis* (BS) و ۳- تلقیح با باکتری *Pseudomonas fluorescens* (PF) بودند. ویژگی‌های بررسی شده شامل: ارزیابی جذب عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، همچنین درصد کلونیزاسیون ریشه و عملکرد خشک در هکتار در گیاه دارویی *T. daenensis* بود. در ابتدا نشاء آویشن در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان در شرایط غیر استریل تولید شد. مایه تلقیح میکوریزایی به صورت اندام فعال قارچی (شامل اسپور، هیف و ریشه) از شرکت زیست‌فناور توران تهیه گردید، که به صورت مخلوط با بذر (۲۰ گرم مخلوط با بذر آویشن برای هر متر مربع) مورد استفاده

قرار گرفت. گونه‌های مورد نظر باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس از مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران تهیه شدند و پس از تکثیر به میزان مورد نظر (در حدود ۱۰۷ باکتری فعال در هر میلی‌لیتر مایع) نسبت به آغشته‌سازی بذرها هنگام کشت در کرتهای آماده شده برای تولید نشاء در گلخانه اقدام شد. بذرهای آویشن دنایی مورد استفاده در این تحقیق، توسط بخش گیاهان دارویی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان فراهم گردید. بذرهای آویشن در تاریخ ۹۰/۱۰/۲۶ در کرتهای آماده شده در گلخانه کشت شدند. هر کرت آزمایشی در گلخانه شامل ۸ خط کاشت به فواصل ۱۰ سانتی‌متر و به طول ۱ متر و آبیاری به گونه سیستم مه‌افشان (میست) بود. زمین اصلی در محل مزرعه شهمیرزاد در ایستگاه مرکز خدمات ترویجی، واقع در ۸ کیلومتری شهرستان مهدیشهر با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و ۵۶ ثانیه، طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۱ دقیقه و ۱۱ ثانیه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۹۰۰ متر، حداقل درجه حرارت ۴/۹ درجه سانتی‌گراد و حداکثر درجه حرارت ۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد، طبقه آب و هوایی نیمه خشک سرد، میانگین بارندگی ۳۰ ساله ۲۴۵/۵۳ میلی‌متر بود (جلالی، ۱۳۸۳). هر کرت آزمایشی در زمین اصلی شامل ۶ عدد خط ۴ متری با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها در هر ردیف ۳۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین دو کرت ۱ متر و فاصله بین دو تکرار نیز ۲ متر در نظر گرفته شد. قبل از کاشت نشاء در زمین اصلی، جهت تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری بعمل آمد و نمونه‌های خاک در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان ارزیابی شدند (جدول ۱). نشاهای آماده شده در تاریخ ۹۱/۲/۲ به زمین اصلی منتقل گردید. نخستین آبیاری پس از کاشت نشاء و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر ۵ روز یک‌بار با سیستم آبیاری قطره‌ای انجام شد. مبارزه با علفهای هرز مزرعه نیز در سه نوبت به گونه مکانیکی و با دست انجام شد. در تاریخ ۹۱/۵/۱۵ در مرحله ۷۰٪ گلدهی گیاهان آویشن دنایی برداشت شدند. هنگام برداشت دو خط از طرفین حذف و از هر طرف کرت نیز یک متر به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. محصول تر هر کرت توزین گردید. سپس نمونه‌هایی از آن در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. مانده اجزای محصول نیز در سایه و در جریان باد، خشک شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در نمونه‌های گیاهی پس از خشک شدن در آون و پودر شدن، عصاره (به روش هضم توسط اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک، آب اکسیژنه و سلنیم) تهیه شده و برای ارزیابی میزان عناصر، استفاده شد. بدین ترتیب درصد نیتروژن کل به روش تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کجلدال، درصد فسفر کل به روش نورسنجی با معرف مولیبدات-وانادات و با دستگاه اسپکتروفتومتر و میزان پتاسیم کل به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه فلیم فتومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند (امامی، ۱۳۷۵). جهت اندازه‌گیری درصد همزیستی ریشه‌ها با قارچ میکوریز آربسکولار، همزمان با برداشت بوته‌ها، از ریشه‌های آنها به‌ویژه ریشه‌های مویین و نازک نیز نمونه‌برداری بعمل آمد. سپس ریشه‌ها به دقت با آب مقطر شستشو شده و از محلول FAA (Formalin Acetic Acid Allcohol) برای تثبیت ریشه‌ها استفاده شد. مراحل رنگ‌بری ریشه‌ها و سپس رنگ‌آمیزی آنها طبق روش Phillips و Hayman (۱۹۷۰) صورت گرفت. درصد آغشتگی میکوریزی ریشه به روش خطوط متقاطع (Gridlin Intersect Method) تعیین شد (Rajapakes & Miller, 1992). جهت تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده و محاسبه ضریب‌های همبستگی از نرم‌افزار Spss، برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌های بدست آمده توسط آزمون LSD در سطح ۵٪ انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کاشت

بافت خاک	عمق (cm)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	نیتروژن (٪)	مواد آلی (٪)	Caco3 (٪)	EC (ds/m)	pH
لومی	۰-۳۰	۱۷۵/۵۴	۱۰/۲۵	۰/۰۶	۱/۷	۱۱/۲	۱/۸	۷/۸

نتایج

جذب فسفر

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین میزان فسفر برگ در هکتار در تیمار با باکتری باسیلوس سابتلیس معادل ۳۴/۷۲ $kg.ha^{-1}$ مشاهده شد که منجر به ۷۰٪ افزایش معنی‌دار فسفر برگ در هکتار در گیاه آویشن دنایی نسبت به تیمار شاهد با ۲۰/۱۳ $kg.ha^{-1}$ و تیمار باکتری سودوموناس فلورسنس با ۱۵/۸ $kg.ha^{-1}$ شد (جدول ۴). اثر متقابل میکوریز و باکتری‌های محرک رشد نیز مشخص نمود که کمترین میزان جذب فسفر در هکتار در تیمار کاربرد توأم میکوریز و باکتری سودوموناس فلورسنس معادل $kg.ha^{-1}$ ۹/۷ دیده شد و بیشترین میزان جذب فسفر برگی معادل ۵۲/۲۵ $kg.ha^{-1}$ مربوط به تیمار کاربرد توأم میکوریز و باکتری باسیلوس سابتلیس بود که نسبت به تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

جذب ازت

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده کاربرد میکوریز بر جذب ازت برگ در هکتار معنی‌دار نشد، ولی اثر ساده کاربرد باکتری‌های ریزوسفری افزاینده رشد گیاه و همچنین اثر متقابل کاربرد میکوریز و باکتری‌های ریزوسفری افزاینده رشد گیاه بر ازت برگ در هکتار در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه بر جذب ازت نشان داد که کمترین میزان جذب ازت معادل ۱۳۳/۵ $kg.ha^{-1}$ مربوط به تیمار باکتری سودوموناس فلورسنس بود که ۳۶٪ نسبت به تیمار شاهد با ۱۸۱/۴ $kg.ha^{-1}$ کاهش نشان داد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نیز نشان داد که بیشترین میزان جذب ازت با ۲۸۳/۸ $kg.ha^{-1}$ مربوط به تیمار کاربرد همزمان میکوریز و باکتری باسیلوس سابتلیس بود و کمترین آن در تیمارهای کاربرد باکتری باسیلوس سابتلیس به تنهایی با ۶۵/۵ $kg.ha^{-1}$ و همچنین کاربرد توأم میکوریز و باکتری سودوموناس فلورسنس با جذب ازتی معادل ۷۲/۲ $kg.ha^{-1}$ مشاهده گردید. کاربرد همزمان میکوریز و باکتری باسیلوس سابتلیس با نشان دادن اثر هم‌افزایی سبب افزایش جذب ازت برگی نسبت به کاربرد تکی هر کدام از این دو میکروارگانیسم شد و جذب ازت را نسبت به گیاهان شاهد ۶۰٪ افزایش داد (جدول ۵).

جذب پتاسیم

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد بیشترین میزان جذب پتاسیم معادل ۱۸۰/۶ $kg.ha^{-1}$ در تیمار با میکوریز دیده شد این تیمار منجر به ۸۰٪ افزایش جذب پتاسیم در برگ شد که اختلاف معنی‌دار با میزان پتاسیم گیاهان شاهد با ۱۴۵/۷ $kg.ha^{-1}$ داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد باکتری‌های ریزوسفری افزاینده رشد گیاه نیز مشخص نمود که کمترین میزان پتاسیم در تیمار باکتری سودوموناس فلورسنس معادل ۵۸/۹ $kg.ha^{-1}$ دیده شد، این تیمار ۷۰٪ کاهش در جذب پتاسیم نسبت به گیاهان شاهد با ۱۰۰/۴ $kg.ha^{-1}$ ایجاد کرد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریز و باکتری‌های محرک رشد گیاه مشخص کرد که کمترین میزان پتاسیم برگی معادل $kg.ha^{-1}$ ۴۳/۹ مربوط به کاربرد باکتری باسیلوس سابتلیس به تنهایی بود و بیشترین میزان جذب پتاسیم در تیمار توأم میکوریز و باکتری باسیلوس سابتلیس با ۱۴۷/۱۹ $kg.ha^{-1}$ دیده شد که نسبت به کاربرد هر کدام از دو میکروارگانیسم به تنهایی و تیمار شاهد افزایش چشمگیری نشان داد (جدول ۵).

درصد کلونیزاسیون ریشه

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش، اثر ساده کاربرد میکوریز و باکتری‌های محرک رشد و همچنین اثر متقابل میکوریز و باکتری‌های محرک رشد بر درصد کلونیزاسیون ریشه همگی در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که کاربرد قارچ میکوریز سبب ۵۷٪ آغشتگی ریشه در گیاه آویشن دنایی شد، در حالیکه در گیاهان شاهد درصد آغشتگی ریشه ۷/۸٪ بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریز و باکتری‌های محرک رشد مشخص کرد که بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه به‌ترتیب مربوط به کاربرد میکوریز به تنهایی با ۸۰/۶٪، کاربرد توأم میکوریز و باکتری باسیلوس سابتلیس با ۴۷/۳۲٪، کاربرد همزمان میکوریز و باکتری سودوموناس فلورسنس با ۴۲/۴٪ و کمترین میزان کلونیزاسیون مربوط به گیاهان شاهد با ۵٪ و کاربرد باکتری سودوموناس فلورسنس به تنهایی با ۳/۷۶٪ بود (جدول ۵).

عملکرد خشک گیاه آویشن دنایی در هکتار

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین عملکرد در تیمار میکوریزا و معادل ۴ تن در هکتار بود که منجر به ۵۹٪ افزایش در عملکرد خشک گیاه آویشن دنایی نسبت به تیمار عدم تلقیح با قارچ با عملکردی برابر ۲/۵ تن در هکتار شد (جدول ۳). اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد نیز مشخص نمود که تیمار باکتری باسیلوس سابتلیس با تولیدی معادل ۴ تن در هکتار سبب ۱۵٪ افزایش معنی‌دار عملکرد گیاه نسبت به تیمار عدم تلقیح با باکتری با عملکرد ۳/۴ تن در هکتار شد، در حالیکه تیمار با باکتری سودوموناس فلورسنس با تولیدی برابر ۲/۵ تن در هکتار سبب ۳۶٪ کاهش در عملکرد نسبت به گیاهان شاهد گردید (جدول ۴). مقایسه میانگین برهم‌کنش میکوریز و باکتری‌های محرک رشد نیز بیانگر آن بود که بیشترین میزان عملکرد گیاه خشک در هکتار مربوط به کاربرد توأم میکوریز و باکتری باسیلوس سابتلیس با ۶ تن در هکتار و در سطح بعدی تیمار با قارچ میکوریز به تنهایی با تولید ۴ تن در هکتار قرار داشت که نسبت به تیمارهای دیگر افزایش معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

ضریب‌های همبستگی بین درصد کلونیزاسیون ریشه و شاخص‌های مورد ارزیابی (جدول ۶) نشان داد که درصد کلونیزاسیون ریشه با میزان جذب پتاسیم برگها در هکتار (r=۰/۶۷۲) در سطح ۱٪ و عملکرد خشک گیاه در هکتار (r=۰/۴۶۹) در سطح ۵٪ همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد. در خصوص ضریب‌های همبستگی بین درصد کلونیزاسیون ریشه و شاخص‌های مورد ارزیابی در بین تیمارهای مختلف هیچگونه همبستگی معنی‌دار مشاهده نشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل همزیستی میکوریزی و تیمار با باکتری‌های محرک رشد بر صفات مورد ارزیابی

منابع تغییرات	درجه آزادی	فسفر	نیتروژن	پتاسیم	کلونیزاسیون	عملکرد خشک
تکرار	۲	۳/۷۴ ns	۹۲/۵۶ ns	۲۲۹/۱۲ ns	۴۱۳/۴۲ ns	۶۰۹۱/۵۸ ns
تیمار قارچ میکوریز	۱	۴۷۵/۲۴ ns	۵۵۰۴/۴۵ ns	۱۱۴۲۶/۱۹**	۲۶۹۹۷۰/۴**	۱۰۶۷۷۷۴۴**
تیمار باکتری‌های محرک رشد	۲	۵۸۹/۶۶ **	۴۰۲۱/۲۲**	۳۰۸۵/۶۰**	۱۵۲۸۸/۸۶**	۳۲۶۱۳۲۶**
برهم‌کنش میکوریز و باکتری‌ها	۲	۸۴۱/۵۷ **	۴۴۳۰۴/۲۹**	۴۴۷۸/۹۷**	۲۰۱۱۵/۳۸**	۱۱۵۶۶۹۵۹**
خطا	۱۰	۵/۳۹	۳۴۲/۳۵	۸۸/۶۴	۳۱۳/۷۳	۱۹۹۰۳/۸۳
CV%		۹/۸۵	۱۱/۳۴	۱۱/۰۸	۱۰/۹۷	۴/۲۱

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار، * و **، به‌ترتیب در سطح ۵٪ و ۱٪ معنی‌دار است.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثرات ساده قارچ میکوریز (*Glomus moseae*) بر صفات مورد ارزیابی در گیاه *T. daenensis*

تیمارها	فسفر (kg.ha^{-1})	نیتروژن (kg.ha^{-1})	پتاسیم (kg.ha^{-1})	کلونیزاسیون (٪)	عملکرد خشک (kg.ha^{-1})
عدم کاربرد میکوریز	۱۸/۴۲ a	۱۴۵/۷۱ a	۵۹/۸۱ b	۷/۸۱ b	۲۵۸۴/۳۶ b
کاربرد میکوریز	۲۸/۶۹ a	۱۸۰/۶۹ a	۱۱۰/۲۰ a	۵۶/۸ a	۴۱۲۴/۷۶ a

در هر ستون بین تیمارهایی که دارای حروف مشابه هستند براساس آزمون LSD در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثرات ساده کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر صفات مورد ارزیابی در گیاه *T. daenensis*

تیمارها	فسفر (kg.ha^{-1})	نیتروژن (kg.ha^{-1})	پتاسیم (kg.ha^{-1})	کلونیزاسیون (٪)	عملکرد خشک (kg.ha^{-1})
عدم کاربرد باکتری	۲۰/۱۴ b	۱۸۱/۴۱ a	۱۰۰/۴۶ a	۴۲/۸۷ a	۳۴۸۵/۵۳ b
سودوموناس فلورسنس	۱۵/۸۱ c	۱۳۳/۵۷ b	۵۸/۹۷ b	۲۲/۷۵ c	۲۵۶۰/۵۸ c
باسیلوس سابتلیس	۳۴/۷۳ a	۱۷۴/۶۳ a	۹۵/۶۰ a	۳۱/۳۰ b	۴۰۱۷/۵۵ a

در هر ستون بین تیمارهایی که دارای حروف مشابه هستند براساس آزمون LSD در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل کاربرد قارچ میکوریز و باکتری‌های محرک رشد بر صفات مورد ارزیابی در گیاه *T. daenensis*

تیمار میکوریز	تیمار باکتری	فسفر (kg.ha^{-1})	نیتروژن (kg.ha^{-1})	پتاسیم (kg.ha^{-1})	کلونیزاسیون (٪)	عملکرد خشک (kg.ha^{-1})
عدم کاربرد میکوریز	عدم کاربرد باکتری	۱۶/۱۸ c	۱۷۶/۶۶ b	۷۳/۵۱ c	۵/۰۶ d	۲۸۸۲/۴۳ c
	سودوموناس فلورسنس	۲۱/۸۸ b	۱۹۴/۹۳ b	۶۱/۹۳ cd	۳/۷۶ d	۳۰۸۷/۷۳ c
	باسیلوس سابتلیس	۱۷/۲ c	۶۵/۵۵ c	۴۴ d	۱۴/۶۰ c	۱۷۸۲/۹ d
کاربرد میکوریز	عدم کاربرد باکتری	۲۴/۱۰ b	۱۸۶/۱۶ b	۱۲۷/۴ b	۸۰/۶۶ a	۴۰۸۸/۶۳ b
	سودوموناس فلورسنس	۹/۷۳ d	۷۲/۲۰ c	۵۶/۰۱ cd	۴۱/۷۳ b	۲۰۳۳/۴۳ d
	باسیلوس سابتلیس	۵۲/۲۵ a	۲۸۳/۷۰ a	۱۴۷/۲۰ a	۴۸ b	۶۲۵۲/۲ a

در هر ستون بین تیمارهایی که دارای حروف مشابه هستند براساس آزمون LSD در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۶- ضریب‌های همبستگی (Pearson) بین درصد کلونیزاسیون ریشه با صفات مورد ارزیابی در گیاه *T. daenensis*

	فسفر	نیتروژن	پتاسیم	کلونیزاسیون (٪)	عملکرد خشک
درصد کلونیزاسیون	۰/۳۱۵ ns	۰/۲۰۳ ns	۰/۶۷۲ns	۱	۰/۴۶۹ *

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار، * و **، به‌ترتیب در سطح ۵٪ و ۱٪ معنی‌دار است.

بحث

در پژوهش حاضر کاربرد مایه تلقیح قارچ میکوریز آربسکولار *G. moseae* سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه در حدود ۷/۲ برابر گیاهان آویشن غیر میکوریزی شد و در پی آن افزایش چشمگیر جذب پتاسیم مشاهده شد. همچنین افزایش عملکرد خشک گیاه آویشن دنایی در هکتار در حدود ۶۰٪ بیشتر از گیاهان شاهد از دیگر نتایج کاربرد این گونه میکوریز آربسکولار بود. در این آزمایش کاربرد مایه تلقیح *G. moseae* اثر معنی‌داری بر جذب فسفر و ازت در گیاه ایجاد نکرد. درصد کلونیزاسیون ریشه با میزان جذب پتاسیم و عملکرد خشک گیاه در هکتار همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد، اما همبستگی معنی‌داری با میزان جذب فسفر و ازت نشان نداد. Giri و همکاران (۲۰۰۷) نیز با انجام آزمایشی بر روی گیاه *Acacia niiotica* گزارش کردند که گیاهان تیمار شده با قارچ *G. moseae* غلظت بالاتری از پتاسیم را نشان داده‌اند. DeClerck و همکاران (۱۹۹۴) نیز افزایش معنی‌دار مقدار پتاسیم در گیاه موز میکوریزی را گزارش کرده‌اند. پژوهشگران دیگری نیز در مورد تأثیر کاربرد قارچ‌های میکوریز آربسکولار بر افزایش غلظت یون پتاسیم در گیاهان میکوریزی شده به نتایج مشابهی دست یافته‌اند (Harley & Smith, 1983) که تأییدی بر نتایج این پژوهش است. میزان بالاتر تجمع پتاسیم به‌وسیله گیاهان میکوریزی بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک و خاکهای شور با بالابردن نسبت K/Na و ایجاد تعادل یونی در سیتوپلاسم و کاهش جذب سدیم، گیاهان را در برابر تنش‌های محیطی حمایت و حفاظت می‌کند. شماری از پژوهش‌های انجام شده افزایش غلظت فسفر در اثر کاربرد قارچ‌های میکوریزی را گزارش کرده‌اند؛ مانند: اصلانی و همکاران (۱۳۹۱) که در بررسی اثر دو گونه قارچ آربسکولار میکوریزا *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* بر میزان جذب فسفر در گیاه ریحان اظهار نمودند که گیاهان تلقیح شده با این قارچ‌ها در مقایسه با گیاهان شاهد از رشد، عملکرد و میزان فسفر بیشتری هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط بدون تنش برخوردار بودند. Kapoor و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که با کاربرد دو گونه قارچ میکوریز آربسکولار از جنس گلوموس با سه توده محلی *Artemisia annua* افزایش عملکرد تر و خشک و مواد معدنی پیکر رویشی مشاهده شد. این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی ندارد. برخی ازیافته‌های منتشر شده گویای آنست که اگر گیاهان از نظر فسفر دچار کمبود باشند، در گیاهان میکوریزی جذب بیشتر فسفر اتفاق می‌افتد، در غیر این‌صورت میزان غلظت فسفر در گیاهان میکوریزی و غیر میکوریزی مشابه خواهد بود (Ebel *et al.*, 1996؛ Bethlenfalvay *et al.*, 1988). پژوهش‌هایی نیز در خصوص عدم تأثیر معنی‌دار بر اندازه فسفر برگی در تعدادی از گیاهان دارویی منتشر شده است؛ مانند: یافته‌های Toussaint و همکاران (۲۰۰۶) درباره ریحان و Rapparini و همکاران (۲۰۰۸) در گیاه *Artemisia annua* که همزیستی با قارچ‌های میکوریزی تأثیری بر غلظت فسفر نداشته است که البته با نتایج این پژوهش همخوانی دارند. Faber و همکاران (۱۹۹۱) افزایش ماده خشک در گیاهان میکوریزی شده را گزارش کردند که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. این محققان افزایش طول و تراکم ریشه‌ها در اثر وجود هیف‌های قارچ و به‌دنبال آن جذب آب بیشتر را علت افزایش ماده خشک گیاه میکوریزی برشمردند. اثرات مثبت همزیستی میکوریزی بر اندام هوایی می‌تواند نشان دهنده توزیع بیشتر کربوهیدراتها به سمت اندام هوایی نسبت به بافت ریشه باشد. به نظر می‌رسد پیامد توزیع بیشتر کربوهیدراتها به سمت اندام هوایی در گیاهان میکوریزی در این پژوهش سبب بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش وزن خشک آویشن دنایی شده است. در این تحقیق تیمار بذرهای آویشن دنایی با باکتری *B. subtilis* میزان جذب فسفر گیاه آویشن دنایی در هکتار را نسبت به تیمار شاهد ۷۰٪ افزایش داد و همچنین سبب ۱۵٪ افزایش عملکرد خشک در گیاهان تیمار شده نسبت به گیاهان شاهد گردید. کاهش درصد کلونیزاسیون ریشه در گیاه آویشن دنایی در اثر کاربرد باکتری *B. subtilis* مشاهده شد، اما این تیمار بر جذب پتاسیم و ازت در هکتار اثر معنی‌داری نشان نداد. در حالیکه باکتری *P. fluorescens* بکار رفته در این آزمایش سبب کاهش معنی‌دار در جذب فسفر، ازت، پتاسیم و همچنین کاهش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون ریشه و عملکرد

خشک گیاه در هکتار نسبت به گیاهان شاهد گردید. در رابطه با افزایش جذب فسفر در اثر کاربرد باکتری *B. subtilis*، نتایج مشابهی توسط تعدادی از پژوهشگران منتشر شده است. Toro و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند که باکتری *Bacillus subtilis* به‌عنوان حل کننده فسفات عمل کرده و جذب فسفر را توسط گیاه افزایش می‌دهد. افزایش حلالیت مواد غذایی در اثر کلات کننده‌های مختلف ازجمله سیدروفورها توسط باکتری‌های محرک رشد در تحقیقات Glick و همکاران (۲۰۰۷) نیز مورد تأیید قرار گرفت. تحقیقات Weller و Thomashow (۱۹۹۴) نشان داد که گیاهان کاهو تلقیح شده با *Bacillus subtilis* میزان فسفر بیشتری نسبت به گیاهان شاهد نشان دادند. یافته‌های پژوهش حاضر با گزارشهای انتشار یافته مطابقت دارد. کاربرد همزمان *G. moseae* و *B. subtilis* نسبت به تیمارهای دیگر سبب افزایش چشمگیر در میزان جذب فسفر، ازت و پتاسیم در گیاه آویشن دنایی شد. گرچه تیمار توأم این دو میکروارگانیسم سبب کاهش درصد کلونیزاسیون در مقایسه با تیمار میکوریز به تنهایی شد اما اثرات هم‌افزایی این ترکیب در جذب عناصر NPK همچنین در افزایش عملکرد خشک آویشن دنایی به حدود ۶ تن در هکتار کاملاً مشهود بود. در بسیاری از موارد برهم‌کنش قارچ‌های میکوریز آربسکولار و باکتری‌های تحریک کننده رشد بر رشد گیاه اثر هم‌افزایی نشان داده‌اند (Smith & Read, 2008). Vosatka و Gryndler (۲۰۰۰) اثر هم‌افزایی بر رشد و بهبود وضعیت جذب مواد غذایی ناشی از تلقیح دوگانه قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری‌های مناسب در سیب‌زمینی، Floresa و همکاران (۲۰۱۰) اثر هم‌افزایی در اثر کاربرد توأم میکوریز آربسکولار و باکتری خاکزی تحریک کننده رشد در کشت گل همیشه‌بهار و Kohler و همکاران (۲۰۰۶) اثر هم‌افزایی میکوریز آربسکولار *Glomus intraradices* و باکتری *Bacillus subtilis* بر روی گیاه کاهو را گزارش کردند. Rodriguez و Fraga (۱۹۹۹) اعلام کردند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد می‌تواند سبب آزاد شدن یونهای فسفر غیر قابل حل از منابع آن شده و سپس توسط میسیلیوم قارچهای میکوریز گرفته شده به گیاه انتقال یابد. اثر چشمگیر افزایش فسفر و ازت برگی در گیاه آویشن دنایی در اثر کاربرد توأم *G. moseae* و *B. subtilis* با یافته‌های (Artursson *et al.*, 2006؛ Kim *et al.*, 1998) که اثر هم‌افزایی قارچهای میکوریز آربسکولار و باکتری‌های حل کننده فسفات را گزارش کردند، مطابقت دارد. باکتری *P. fluorescens* بکار رفته در این آزمایش سبب کاهش معنی‌دار در جذب فسفر، ازت، پتاسیم و همچنین کاهش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون ریشه و عملکرد خشک گیاه در هکتار نسبت به گیاهان شاهد گردید. در یک آزمایش، تلقیح بذرهای کلزا با جدایه‌ای از باکتری‌های سودوموناس پوتیدا با قدرت تولید سطوح پائین اکسین، منجر به افزایش ۲ الی ۳ برابر طول گیاهچه شد (Patten & Glick, 1996). نتایج این آزمایش با یافته‌های این پژوهش همخوانی ندارد. این در حالیست که تحقیقات دیگری به‌طور واضح کاهش در میزان بیوماس و حجم ریشه در گیاهان گندم تیمار شده با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد را گزارش کرده‌اند (Bashan, 1986، Kucey, 1988). احتمالاً علت تناقضات اشاره شده در منابع برای اثر باکتری بر شاخص‌های رشد گیاه، مربوط به سویه باکتری، غلظت مایه تلقیح یا ژنوتیپ ارقام مورد کشت بوده است. Sahin و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که اثر مفید باکتری‌های حل کننده فسفات بر روی رشد گیاه به‌طور معنی‌داری اختلاف نشان می‌دهد و این تغییرات تحت تأثیر شرایط محیطی، سویه باکتری، گیاه میزبان و شرایط خاکی است. کاربرد توأم میکوریز *G. moseae* و باکتری *P. fluorescens* اثرات آنتاگونیستی مشهودی را نشان داد و سبب کاهش جذب عناصر NPK مورد بررسی در این پژوهش نسبت به تیمارهای دیگر گردید و به دنبال آن کاهش معنی‌دار عملکرد خشک آویشن دنایی در هکتار مشاهده شد. تاکنون اثرات خنثی و یا حتی اثر منفی استفاده همزمان از چند میکروارگانیسم در برخی از پژوهش‌ها مورد تأکید قرار گرفته است (Piotrowski *et al.*, 2004). Green و همکاران (۱۹۹۹) در کاربرد توأم *G. intraradices* و *Trichoderma harzianum* ظهور اثرات آنتاگونیستی و کاهش عملکرد در خیار را گزارش کردند. Ravnskov و همکاران (۲۰۰۶) نیز پیامد زیانبار کاربرد دوگانه *G. intraradices* و باکتری‌های

ریزوسفری افزاینده رشد گیاه را منتشر کردند که با نتایج کاربرد دوگانه میکوریز *G. moseae* و باکتری *P. fluorescens* در این پژوهش همخوانی دارند. یافته‌های Requena و همکاران (۱۹۹۷) اختصاصی بودن برهم‌کنش گیاه، قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد را گزارش کردند که با یافته‌های پژوهش حاضر تطابق دارد. Whipps (۲۰۰۴) تأکید کرد که برای مشخص شدن اثربخشی کاربرد همزمان ریزجاندارهای سودمند بر سلامت و رشد گیاه باید در خصوص هر گیاه و ریزجاندار آزمایش جداگانه انجام شود. سودوموناس‌های فلورسانس بکار رفته در این پژوهش یک سویه وارداتی و غیر بومی بود که متابولیت‌های ضد قارچی هم تولید می‌کرد. گرچه تولید این متابولیتها می‌تواند سبب کاهش بیماریهای قارچی شود، ممکن است باعث کاهش فعالیت میکوریز بکار رفته در این پژوهش نیز شده باشد. فرضیه دیگر نیز می‌تواند تولید اکسین بیش از حد معمول در این سویه از باکتری باشد. Rillig و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که باکتری‌های کمکی میکوریزی به‌صورت اختصاصی برای هر قارچ عمل می‌کنند، اما این حالت اختصاصی را برای گیاه ندارند. گزارشهای منتشر شده گویای آنست که تنها تعداد معدودی از سویه‌های باکتری‌ها با قارچ‌های میکوریزی می‌توانند به صورت مؤثر بکار رفته و اثر هم‌افزایی نشان دهند (Ruiz-Lozano & Bonfante, 2000). در سیتوپلاسم قارچ‌های میکوریزی ساختارهایی شبه باکتریایی موجود است که سبب این گونه تلفیق و اثر هم‌افزایی در قارچ و باکتری اختصاصی آن می‌شود (Artursson *et al.*, 2006). در پژوهش حاضر اثر آنتاگونیستی در کاربرد توأم *G. moseae* و *P. fluorescens* و اثر هم‌افزایی در کاربرد توأم *G. moseae* و *B. subtilis* در جذب عناصر غذایی NPK و عملکرد خشک گیاه آویشن دنایی در هکتار مشاهده شد. کاربرد میکوریز به تنهایی بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه را ایجاد کرد ولی ترکیب میکوریزا و *B. subtilis* و تیمار توأم *G. moseae* و *P. fluorescens* هر دو سبب کاهش درصد کلونیزاسیون شدند. گرچه درصد کلونیزاسیون ریشه در کاربرد همزمان میکوریزا و باسیلوس نسبت به کاربرد میکوریزا به تنهایی کاهش نشان داد، اما اثربخشی بر جذب مواد مغذی و رشد گیاه در کاربرد توأم این دو میکروارگانیسم با هم مشاهده شد. Powell (۱۹۹۱) گزارش کرد که افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه میزبان با میکوریز، راهنمای خوبی برای قضاوت بر میزان اثربخشی میکوریز بر گیاه نیست. در آزمایشهایی که بر روی گیاهان سیب‌زمینی و توت‌فرنگی انجام شد، میزان کلونیزاسیون در ریشه گیاه میزبان ضرورتاً همبستگی با فواید حاصل از آن تیمار برای گیاه نشان نداد (Plenchette *et al.*, 1982، Vosatka & Gryndler, 2000). نتایج تحقیقات منتشر شده نیز با یافته‌های این پژوهش همخوانی دارد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از مایه تلقیح تجاری قارچ میکوریز آربسکولار *G. moseae* برای تولید نشاء آویشن دنایی می‌تواند سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه در مزرعه شود. از سوی دیگر براساس نتایج بدست آمده در این پژوهش، برهم‌کنش باکتری‌های ریزوسفری افزاینده رشد با قارچ‌های میکوریز آربسکولار در گیاه آویشن دنایی به صورت اختصاصی بوده، به گونه‌ای که همیاری اثربخش قارچ میکوریز *G. moseae* و باکتری *B. subtilis* در افزایش چشمگیر عملکرد کمّی این گونه بومی آویشن را می‌توان به بهبود رشد رویشی در نتیجه بهبود تغذیه گیاه و جذب بیشتر عناصر NPK نسبت داد.

منابع مورد استفاده

- اصلانی، ز.، حسنی، ع.، رسولی صدقیانی، م.ح.، سفیدکن، ف. و برین، م.، ۱۳۹۱. تأثیر دو گونه قارچ آربوسکولار مایکوریزا بر رشد، مقادیر کلروفیل و جذب فسفر در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت شرایط تنش خشکی. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۷(۳): ۴۸۶-۴۷۱.
- امامی، ع.، ۱۳۷۵. روشهای تجزیه گیاه. جلد اول، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ۱۲۸ صفحه.
- بهبود، م.، گلچین، ا. و بشارتی، ح.، ۱۳۹۱. تأثیر فسفر و باکتری‌های محرک رشد (PGPR) سودوموناس فلورسنس بر عملکرد و کیفیت گیاه سیب‌زمینی (*Solana tuberosum* L.) رقم آگریا. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶(۲): ۲۷۱-۲۶۰.
- جلالی، ل.، ۱۳۸۳. تأثیر هیدرومورفولوژی شهمیرزاد بر مورفولوژی شهری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، ۱۵۰ صفحه.

- Abdul-Jaleel, C., Manivannan, B., Sankar, A., Kishorekumar, R., Gopi, R., Omasundaram and Panneerselvam, R. 2007. *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 60: 7-11.
- Adesemoye, A., Torbert, H. and Kloepper, J., 2009. Plant growth- promoting rhizobacteria Allow reduced application rates of chemical fertilizers Microbial Ecology., 58: 921-929.
- Artursson ,V., Finlay, R. and Jansson, J., 2006. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. Environmental Microbiology, 8: 1-10.
- Arun, K., 2002. A Handbook of Organic Farming. Agrobios, India, 180p.
- Aseri, G., Jain, N., Panwar, J., Rao, A. and Meghwal, P., 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. Scientia Horticulturae, 117: 130-135.
- Banerjee, M., Yesmin, L. and Vessey, J., 2006. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. In: Rai MK (ed) Handbook of microbial biofertilizers. Haworth Press, New York, 250p.
- Bashan,Y., 1986. Significance of tining and level of inoculation with rhizosphere bacteria on wheat plants. Soil Biology and Biochemistry, 18: 297-301.
- Bethlenfalvay, G., Brown, M., Ames, R. and Thomas, R., 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. Physiol Plant, 72: 565-571.
- Clark, R.B. and Zeto, S.K., 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. Journal of Plant Nutrition, 23: 867-902.
- DeClerck, S., Devos, B., Delvaux, B. and Plenchette, C., 1994. Growth response of micropropagated banana plants to VAM inoculation. Fruits, 49: 103-109.
- Eason, W.R., Scullion, J. and Scott, E.P., 1999. Soil parameters and plant responses associated with arbuscular mycorrhizas from contrasting grassland management regimes. Agriculture, Ecosystems and Environment., 73: 245-255.
- Ebel, R.C., Welbaum, G.E., Gunatilake, M., Nelson, T. and Auge, R.M., 1996. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and nonhydraulic signailing of soil drying in *Vigna unguiculate* (L.) Walp. Mycorrhiza, 6: 119-127.
- Faber, B.A., Zasoske, R.J., Munns, D.N. and Shackel, K., 1991. A method for measuring hyphal nutrition and water uptake in mycorrhizal plants. Canadian Journal of Botany, 69: 87-94.
- Floresa, A.C., Lunab, A. and Portugalb, V.O., 2010. Yield and Quality Enhancement of Marigold Flowers by Inoculation with *Bacillus subtilis* and *Glomus fasciculatum.* Journal of Sustainable Agriculture, 31(1): 21-31.
- Giri, B., Kapoor, R. and Mukerji, K.G., 2007. Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt Stress by arbuscular mycorrhiza *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues Microbial Ecology, 54: 753-760.
- Glick, B.R., Todorovic, B., Czarny, J., Cheng, Z., Duan, J. and McConkey, B., 2007. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. Critical Reviews in Plant Sciences, 26: 227-242.
- Green, H., Larsen, J., Olsson, P.A., Jensen, D.F. and Jakobsen, I., 1999. Suppression of the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* by mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in root-free soil. Applied and Environmental Microbiology, 65: 1428-1434.
- Harley, J.L. and Smith, S.E., 1983. Mycorrhizal symbiosis. London: Academic Press, 403p.
- Kapoor, R., Chaudhary, V. and Bhatnagar, A., 2007. Effect of the arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. Mycorrhiza, 17: 581-587.
- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G., 2002. *Glomus macrocarpum*: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in Dill (*Anethum graveolens* L.) and Carum (*Trachyspermum* Ammi (L.) Sprague). World Journal of Microbiology and Biotechnology, 18(5), 459-463.
- Kapoor, R., Giri, B., Krishna, G. and Mukerji, I., 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.
- Kim, K.Y., Jordan, D. and McDonald ,G.A., 1998. Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. Biology and Fertility of Soils, 26: 79-87.
- Kohler, J., Caravaca, F., Carrasco, L. and Roldan, A., 2006. Contribution of *Pseudomonas mendocina* and *Glomus intraradices* to aggregate stabilization and promotion of biological fertility in rhizosphere soil of lettuce plants under field conditions. Soil Use and Management, 22: 298-304.
- Kucey, R.M.N., 1988. Alteration of size of wheat root systems and nitrogen fixation by associative nitrogen-fixing bacteria measured under field conditions. Canadian Journal of Microbiology, 34: 735-739.

- Patten, C.L. and Glick, B.R., 1996. Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. Canadian Journal of Microbiology,, 42: 207-220.
- Phillips, J.M. and Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society., 55: 158-161.
- Piotrowski, J.S., Denich, T., Klironomos, J.N., Graham, J.M. and Rillig, M.C., 2004. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. New Phytologist. 164: 365-373.
- Plenchette, C., Furlan,V. and Fortin, J.A., 1982. Effects of different endomycorrhizal fungi on five host plants grown on calcined montmorillonite clay. Journal of the American Society for Horticultural Science., 107: 535-538.
- Poudel, D.D., Hoawath, W.R., Lanini, W.T., Temple, S.R. and VanBruggen, A.H.C., 2002. Comparison of soil N availability and conventional farming systems in northern California. Agriculture, Ecosystems and Environment, 90: 125-137.
- Powell, C.L., 1991. Mycorrhizas in hill country soils. I. Spore bearing mycorrhizal fungi in thirty-seven soils. New Zealand Journal of Agricultural Research.. Annual Review of Ecology and Systematics., 18: 209-235.
- Rajapakes, S. and Miller, J., 1992. Methods for studing vesicular- arbuscular mycorrhizal root colonization and related root physical properties. Methods in Microbiology. Volum 24. IBSN 0- 12: 521-524-X.
- Rapparini, F., Liusia, J. and Penuelas, J., 2008. Effect of arbuscular mycorrhiza colonization on terpen emission and content of *Artemisia annua* L. Plant Biology, 10(1): 108-122.
- Ravnskov, S., Jensen, B., Knudsen, I.M.B., Bodker, L., Jensen, D.F., Karlinski, L. and Larsen, J., 2006. Soil inoculation with the biocontroi agent *Clonostachy rosea* and mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* results in mutual inhibition, plant growth promotion and alteration of soil microbial communities. Soil biology and biochemistry, 38: 3453-3462.
- Rechinger, K.H., 1982. Flora Iranica. 1 ed. Akademische druck-und verlagsanstalt, Austria, No. 152.
- Requena, N., Jimenez, I., Toro, M. and Barea, J.M., 1997. Interactions between plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR), arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* spp. in the rhizosphere of *Anthyllis cytisoides*, a model legume for revegetation in Mediterranean semi-arid ecosystems. New Phytologist, 136: 667-677.
- Rillig M.C., Lutgen, E.R., Ramsey, P.W., Klironomos, J.N. and Gannon, J.E., 2005. Microbiota accompanying different arbuscular mycorrhi- Appl Microbiol Biotechnol zal fungal isolates influence soil aggregation. Pedobiology, 49: 251-259.
- Rodriguez, H. and Fraga, R., 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances, 17: 319-339.
- Ruiz-Lozano, J.M. and Bonfante, P., 2000. Intracellular Burkholderia of the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita* possesses the vac Bgene, which is involved in host cell colonization by bacteria. Microbial Ecology, 39: 137-144.
- Sahin, F., Çakmakçi, R. and Kantar, F., 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N2-fixing and phosphate solubilizing bacteria. Plant Soil, 265: 123-129.
- Sharma, A.K., 2002. Biofertilizers For Sustainable Agriculture. Agrobios, India, 407p.
- Smith, S.E. and Read, D.J., 2008. Mycorrhizal Symbiosis. The third edition of Academic, San Diego, 800p.
- 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 and nutrient cycling. Applied and Environmental Microbiology, 63(11): 4408-4412.
- Toussaint, J.P., Smith, F.A. and Smith, S.E., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi can induce the production of phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition. Mycorrhiza, 17(4): 291-297.
- Vessey, J.K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil, 255: 271-586.
- Vosatka, M. and Gryndler, M., 2000. Response of micropropagated potatoes transplanted to peat media to post-vitro inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria. Applied Soil Ecology. 15: 145-152.
- Wallace, J., 2001. Organic Field Crop Handbook. Publication of Canadian Organic Growers. Ottana, Ontario. 265p.
- Weller, D.G. and Thomashow, L.S., 1994. Current challenges in introducing beneficial micro organisms into rhizosphere. In: O'Gara, F., Dowling, D.N., Boesten, B. (Eds.), Molecular Ecology of Rhizosphere Microorganisms: Biotechnology and the Release of GMOs. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, pp. 1–13.
- Whipps, J.M., 2004. Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens. Canadian Journal of Botany, 82: 1198-1227.

The effects of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on N, P and K uptake and yield of *Thymus daenensis* Clak

F. Bahadori[*1], E. Sharifi Ashorabadi[2], M. Mirza[2], M. Matinizade[2] and V. Abdosi[3]

1*- Corresponding author, Department of Natural Resources, Semnan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Semnan, Iran, E-mail: farbahadori@gmail.com
2- Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran
3- Department of Horticulture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: April 2013 Revised: November 2013 Accepted: December 2013

Abstract

In order to study the effects of interactions between the arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on some elements content, dry matter yield and root colonisation in organic cultivation of *Thymus daenensis* Celak, an experiment was conducted at semnan natural resource research field at shahmirzad, in 2011-2012. Treatments included: A: the fungus of *Glomus moseae* (1-inoculated (AM) and 2- no inoculated) and B: PGPR inoculums (1- *Bacillus subtilis* 2- *Pseudomonas fluorescens* 3- control). A factorial experiment design was applied in a randomized complete blocks design with six treatments and three replications. Results showed that foliar K contents and root colonisation increased significantly with the *G. moseae* inoculation and the foliar P contents increased significantly with the *B. subtilis* inoculation alone. There was negative interactions between *G. moseae* and *P. fluorescens* on dry matter yield and nutrient uptake. The most effective treatment was observed in the co- inoculation with *G. moseae* and *B. subtilis*, which synergistically increased dry matter yield and nutrient uptake campared with singly inoculated or non- inoculated plants.

Keywords: *Thymus daenensis* Celak, arbuscular mycorrhizal fungi, alant growth promoting rhizobacteria, nutrient uptake, sustainable agriculture.