تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر خصوصیات ریخت‌شناسی و غلظت عناصر پُرمصرف گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط گلخانه

مهدی محمودزاده[۱]، میرحسن رسولی صدقیانی[۱] و حمایت عسگری لجایر[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۱۲)

چکیده

به منظور بررسی اثر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر ویژگی‌های رشدی و غلظت عناصر پرمصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) در گیاه دارویی نعناع فلفلی، آزمایشی گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه طراحی و اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل سه گونه باکتریایی از گروه باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (*Azotobacter*، *Bacillus* و *Pseudomonas*) و سه گونه قارچ میکوریزی (*Glomus fasciculatum*، *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae*) و تیمار بدون تلقیح باکتریایی و قارچی (شاهد) بودند. نتایج نشان داد که کاربرد تیمارهای باکتریایی و قارچی منجر به افزایش معنی‌دار ($P\leq0/05$) در تمام صفات رویشی اندازه‌گیری شده، درصد کلونیزاسیون ریشه و غلظت عناصر غذایی پرمصرف نسبت به شاهد گردید. بیشترین ارتفاع بوته (۷۹/۴۲ سانتی‌متر)، قطر ساقه (۳/۰۴ میلی‌متر)، تعداد برگ (۶۵۴)، مجموع طول شاخه‌های جانبی (۶۴۱/۳۳ سانتی‌متر)، عملکرد وزن تر و خشک اندام هوایی (به ترتیب ۱۰۹/۷۵ و ۲۱/۹۴ گرم در گلدان) و غلظت فسفر، پتاسیم و منیزیم اندام هوایی (به‌ترتیب ۴/۹۰، ۶۶/۳۰ و ۱۹/۳۰ گرم بر کیلوگرم) از تیمار تلقیح با باکتری *Pseudomonas* حاصل شد. همچنین، بیشترین وزن خشک ریشه و غلظت کلسیم از تیمار تلقیح با قارچ *Glomus fasciculatum* و غلظت نیتروژن از تیمار تلقیح با باکتری *Azotobacter* به‌دست آمد. با توجه به نتایج آزمایش، می‌توان بیان کرد که کاربرد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا نقش مفید و مؤثری در بهبود خصوصیات رشدی و غلظت عناصر غذایی در گیاه دارویی نعناع فلفلی دارد.

واژه‌های کلیدی: تلقیح، ویژگی‌های رشدی، عناصر پُرمصرف، کیفیت خاک

مقدمه

رویکرد روز افزون به استفاده از گیاهان دارویی در سطح جهان، اهمیت کشت و تولید این گیاهان را دوچندان می‌کند. در حال حاضر، تقاضا برای گیاهان دارویی به عنوان تولیدات قابل مصرف در صنایع بهداشتی و دارویی در حال افزایش است (۶). نعناع فلفلی، با نام علمی *Mentha piperita* L. و نام رایج Peppermint، گیاهی است متعلق به خانواده نعناع (Lamiaceae) که از قدیم به عنوان یک گیاه معطر و اشتهاآور به‌کار می‌رفته است. از خواص درمانی نعناع فلفلی می‌توان به خاصیت ضد اسپاسم، ضد نفخ و خنک‌کنندگی آن اشاره نمود (۱۲). مهم‌ترین ماده شیمیایی این گیاه دارویی، اسانس آن است. ترکیبات اصلی اسانس آن را منتول (۳۵ تا ۵۵ درصد)، منتون (۱۰ تا ۴۰ درصد) و متیل استات (۱ تا ۳ درصد) تشکیل می‌دهند (۱۵). میزان مصرف اسانس نعناع فلفلی در جهان به

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h-asgari@tabrizu.ac.ir

حدود ۷۰۰۰ تن در سال می‌رسد. لذا، یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی می‌باشد (۱۷).

به‌منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح، عملیات زراعی متعددی نظیر مصرف کودهای شیمیایی صورت می‌گیرد. نتیجه این فعالیت طی سالیان اخیر، کاهش میزان باروری خاک، کاهش تنوع زیستی، افت کیفیت محصولات کشاورزی، بروز مشکلات متعدد زیست‌محیطی نظیر آلودگی منابع آب، خاک و محیط‌زیست و انتقال زنجیره‌وار آنها به منابع غذایی انسان‌ها و تهدید سلامت جامعه بشری است (۳). به همین منظور، در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در راستای بهبود و حفظ باروری خاک، بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و حذف آلاینده‌های زیست‌محیطی انجام شده است. کاهش این مخاطرات زیست‌محیطی، همگام با افزایش عملکرد گیاهان زراعی، مخصوصاً در گیاهان دارویی، نیازمند به‌کارگیری تکنیک‌های نوین بهره‌برداری است (۵). یکی از این تکنیک‌ها، مطرح شدن مجدد استفاده از کودهای آلی و زیستی برای استفاده در کشاورزی جهت دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار و اُرگانیک می‌باشد (۶). کودهای زیستی شامل مواد نگهدارنده‌ای با جمعیت متراکم یک یا چند موجود زنده مفید خاک‌زی و یا به صورت فرآورده متابولیک این موجودات می‌باشد که قادر به افزایش حاصلخیزی خاک، افزایش رشد گیاه و عملکرد محصول هستند (۳۹ و ۵۲). به طور کلی، از مزایای کودهای زیستی می‌توان به تأمین عناصر غذایی به صورت کاملاً متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، کمک به تنوع زیستی، تشدید فعالیت‌های حیات، بهبود کیفیت و حفظ سلامت محیط‌زیست و در مجموع حفظ و حمایت از سرمایه‌های ملی (آب، خاک و منابع انرژی غیرقابل تجدید) اشاره نمود (۴۶). ریزجانداران مورد استفاده در کودهای زیستی قادر به آماده‌سازی عناصر مغذی از حالت غیرقابل جذب به حالت قابل جذب در فرایند زیستی می‌باشند (۴۵). از جمله این ریزجانداران می‌توان به باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR)، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و ریز جانداران حل کننده فسفات اشاره نمود که هر کدام برای منظور خاصی مثل تثبیت نیتروژن، انحلال یونهای فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول آن‌ها استفاده می‌شوند (۳۰). اصطلاح PGPR برای باکتری‌های فعال ریزوسفری همانند آزوسپیریلوم، ازتوباکتر، باسیلوس و سودوموناس اطلاق می‌گردد که تأثیر مشخصی در افزایش رشد گیاه دارند (۲۱ و ۳۷). ازتوباکتر در تثبیت بیولوژیک نیتروژن (۵۰) و باسیلوس و سودوموناس در تبدیل شکل‌های نامحلول فسفر به شکل‌های محلول و قابل دسترس گیاه (۴۰) اهمیت دارند. همچنین، این باکتری‌ها از طریق سازوکارهای مختلف دیگری مانند تولید سیدروفورها، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و تولید هورمون‌های گیاهی سبب تحریک رشد گیاه می‌گردند (۳۸ و ۵۰). تأثیر باکتری‌های مختلف محرک رشد گیاه بر رشد و نمو گیاهان به‌خوبی شناخته شده است. در این رابطه، راثی پور و علی اصغرزاده (۱۱) طی تحقیقی در شرایط گلخانه‌ای اعلام داشتند که تلقیح سویا با باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی، غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن در اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و تعداد گره‌های روی ریشه شد. نتایج تحقیق راتی و همکاران (۴۱) نشان داد که مصرف یک گونه باکتری حل‌کننده فسفات همراه با یک نوع فسفات معدنی غیرمحلول به نام تری کلسیم فسفات، موجب بهبود بارز غلظت فسفر ساقه و افزایش چشمگیر درصد ژرانیول در اسانس نسبت به تیمار شاهد گردید.

قارچ‌های میکوریزا دارای کارکرد چندمنظوره‌ای در بوم‌نظام‌های زراعی هستند؛ به طوری که سبب بهبود کیفیت فیزیکی خاک (از طریق گسترش ریسه‌های قارچ)، کیفیت شیمیایی خاک (از طریق افزایش جذب عناصر غذایی) و کیفیت بیولوژیک خاک (از طریق شبکه غذایی خاک) می‌گردند (۲۲). جوشی و همکاران (۳۵)، در آزمایشی روی گیاه دارویی بشقابی (*Scutellaria integrifolia*) نشان دادند که تلقیح ریشه این گیاه با میکوریزا نه تنها در افزایش رشد و تکثیر گیاه، خصوصاً رشد ریشه مؤثر بوده، بلکه توانایی گیاه را برای رشد در خاک‌های دچار کمبود فسفر افزایش می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای.

بافت خاک	pH	EC (dS/m)	$CaCO_3$ (٪)	ماده آلی (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)
لوم شنی	۷/۲	۰/۴۵	۷/۲	۱۳	۹/۶۵	۱۶۵

با توجه به اهمیت گیاه دارویی نعناع فلفلی در صنایع مختلف، تأثیرات مثبت برخی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا در تولیدات گیاهان دارویی و نقش تحریک‌کنندگی این ریزجاندارن در تحریک مسیر بیوسنتزی برخی متابولیت‌های ثانویه (۵۳)، این تحقیق با هدف بررسی اثر کاربرد برخی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر رشد، عملکرد و میزان عناصر پُرمصرف در گیاه دارویی نعناع فلفلی به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در سال ۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه گونه میکوریز [گلوموس موسه (*Glomus mosseae*, Gm)، گلوموس فسیکولاتوم (*Glomus fasciculatum*, Gf) و گلوموس اینترارادیسز (*Glomus intraradices*, *Gi*)] و سه گونه باکتریایی [ازتوباکتر (Azotobacter, A)، باسیلوس (Bacillus, B) و سودوموناس (Pseudomonas, P)] و شاهد (بدون تلقیح، C) بودند. برای انجام این آزمایش، در ابتدا بستر کشت همراه با مقداری شن اتوکلاو شده (به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس و فشار بخار یک اتمسفر) استریل گردید (۲۹). مقدار ده کیلوگرم خاک در داخل ۶۳ گلدان پلاستیکی (۳۰۰×۲۰۰mm) با حجم ده لیتری و استریل شده با الکل ریخته شد. خصوصیات خاک مورد استفاده در کشت گلدانی در جدول ۱ نشان داده شده است. ریزوم‌های نعناع فلفلی از گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه تهیه و در اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۹ به تعداد دو عدد برای هر گلدان کشت شدند. برای تلقیح با مایکوریز، حدود ۵۰ گرم مایه تلقیح گونه‌های میکوریزی با تعداد اسپور یکسان، به هر گلدان در اطراف ریزوم‌ها به هنگام کاشت اضافه شد و سپس حدود ۱۵ سانتی‌متر روی ریزوم‌ها خاک ریخته و پس از اتمام کار آبیاری شدند. سوسپانسیون باکتریایی نیز با غلظت نهایی CFU/mL 10^9 تهیه گردیده و ۴۰ میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتریایی برای هر گلدان و در اطراف ریشه‌ی اصلی گیاه استفاده گردید. در تیمارهای شاهد نیز کشت گیاه در خاک استریل و بدون تلقیح میکروبی انجام گرفت. آبیاری تا پایان آزمایش به‌وسیله آب مقطر و با توزین روزانه گلدان‌ها ادامه داشت. مقدار مناسب آب هر گلدان، تا رسیدن رطوبت به دامنه ۷۰ تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، محاسبه و اضافه گردید. همچنین، تمامی اقدامات زراعی از قبیل نیاز غذایی، نور و دما در شرایط بهینه تنظیم گردید. تا پایان آزمایش، گلدان‌ها هر هفته به طور تصادفی روی سینک گلخانه جابه‌جا شدند. آزمایش به مدت ۴ ماه ادامه یافت و پس از رسیدن به مرحله گل‌دهی کامل، صفاتی مانند ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی و مجموع طول شاخه‌های جانبی اندازه‌گیری و سپس برداشت گیاهان انجام شد. برای برداشت، در هر واحد آزمایشی یک گلدان به طور تصادفی گزینش و بوته‌های موجود در یک ریزوم آن به حالت کف‌بر خارج شدند. بدین صورت، شاخساره و ریشه از هم جدا شدند. اندام هوایی برداشت شده با آب مقطر شستشو و هواخشک گردید و پس از قرار گرفتن در پاکت کاغذی، به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا وزن آنها به مقدار ثابتی برسد. سپس، ریشه‌ها به دقت از خاک خارج گردیدند. حدود یک گرم از ریشه‌های ظریف و ریز از هر گلدان انتخاب کرده و پس از شستشو با آب مقطر به

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا (AMF) بر درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه نعناع فلفلی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
		کلونیزاسیون ریشه (٪)
تیمار	۲	۴۱/۲۹**
اشتباه آزمایشی	۶	۳/۱۹
ضریب تغییرات		۴/۱۴

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین تأثیر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا (AMF) بر درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه نعناع فلفلی.

تیمارهای قارچی	Gm	Gi	Gf
کلونیزاسیون ریشه (٪)	۴۰/۰۰ b	۴۲/۳۳ b	۴۷/۲۶ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن ندارند. Gm: گلوموس موسه، Gi: گلوموس اینترارادیسز و Gf: گلوموس فسیکولاتوم.

آزمایشگاه منتقل و رنگ آمیزی شدند. برای رنگ آمیزی از روش فیلیپس و هایمن (۳۹) استفاده گردید. در نهایت، با روش تقاطع خطوط شبکه (۲۴) درصد کلونیزاسیون ریشه محاسبه گردید. باقیمانده ریشه‌ها نیز پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۴۸ ساعت تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک گردید. سپس، ریشه و اندام هوایی خشک با ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم توزین شدند. برای اندازه‌گیری فسفر گیاه از روش رنگ‌سنجی و محلول آمونیوم مولیبدو وانادات استفاده شد (۲). برای اندازه‌گیری نیتروژن کل از روش تیتراسیون بعد از تقطیر با دستگاه کجلدال استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت پتاسیم از دستگاه فیلم فتومتر به روش نشر شعله‌ای و غلظت کلسیم و منیزیم از دستگاه جذب اتمی استفاده شد (۲). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. برای مقایسه میانگین تیمارها نیز از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد کلونیزاسیون ریشه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان‌دهنده اثر معنی‌دار شدن قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا در سطح آماری ۱٪ بر درصد کلونیزاسیون ریشه می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که بین تیمارهای قارچی از نظر درصد کلونیزاسیون ریشه تفاوت معنی‌داری وجود دارد. در کل، نتایج تحقیق حاکی از آن است که گلوموس فسیکولاتوم قدرت کلونیزاسیون بیشتری نسبت به گلوموس موسه و گلوموس اینترارادیسز دارد. به طوری که بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه مربوط به قارچ گلوموس فسیکولاتوم و کمترین آن نیز مربوط به قارچ گلوموس موسه می‌باشد. اختلاف بین گونه‌های قارچی در کلونیزاسیون ریشه می‌تواند به بیولوژی میکروارگانیسم‌ها، قدرت رقابت آنها با سایر میکروب‌ها، خصوصیات ریشه گیاه، خواص فیزیکی خاک و محیط گیاه میزبان وابسته باشد (۳۴).

عملکرد تر و خشک اندام هوایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر عملکرد تر و خشک اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر باکتری‌های محرک رشد و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا در جدول ۵ نشان داده شده

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تأثیر باکتری‌های ریزوسفری (PGPR) و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا (AMF) بر برخی خصوصیات رویشی گیاه نعناع فلفلی.

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع بوته	قطر ساقه	تعداد برگ	تعداد شاخه‌های جانبی	مجموع طول شاخه‌های جانبی	عملکرد ماده تر	عملکرد ماده خشک	وزن خشک ریشه
تیمار	۶	۳۵۳/۲۹**	۰/۳۴۴۲*	۵۲۳۲۲/۷۱**	۴۲۹/۳۱**	۱۰۴۴۱۹/۹۰**	۱۲۱۹/۲۳**	۴۲/۵۵**	۰/۶۱۰۷**
خطا	۱۴	۱۳/۵۱	۰/۱۱۸۴	۱۷۳۳/۶۱	۴۶/۶۶	۱۳۷۶/۱۰	۱۲۲/۹۱	۷/۳۷	۰/۱۱۴۸
ضریب تغییرات (٪)		۵/۲۳	۱۲/۶۰	۸/۹۶	۱۹/۷۸	۸/۴۶	۱۲/۴۵	۱۴/۶۹	۱۶/۶۰

** و* به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین‌های تأثیر باکتری‌های ریزوسفری (PGPR) و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا (AMF) بر برخی خصوصیات رویشی گیاه نعناع فلفلی.

تیمار	ارتفاع بوته (cm)	قطر ساقه (mm)	تعداد برگ	تعداد شاخه‌های جانبی	مجموع طول شاخه‌های جانبی (cm)	عملکرد ماده تر (g/pot)	عملکرد ماده خشک (g/pot)	وزن خشک ریشه (g)
C	۵۱/۷۸ c	۲/۰۶ b	۲۸۰ d	۱۵ c	۱۴۰/۳۳ d	۵۲/۸۶ b	۱۱/۹۰ c	۱/۵۴۰ c
Gm	۶۹/۰۸ b	۲/۸۳ a	۴۰۶ c	۲۳ bc	۲۹۶/۳۳ c	۷۰/۷۶ b	۱۴/۶۸ bc	۲/۰۴۶ bc
Gi	۶۸/۷۵ b	۲/۶۰ ab	۳۶۸ c	۳۴ ab	۳۹۴/۱۷ b	۹۱/۷۸ a	۱۸/۷۰ ab	۲/۵۲۰ ab
Gf	۷۷/۱۶ a	۲/۸۸ a	۴۱۶ c	۴۶ a	۳۹۱/۳۳ b	۹۴/۶۷ a	۲۰/۹۰ a	۲/۷۶۶ a
A	۶۹/۵۰ b	۲/۶۴ ab	۵۵۰ b	۴۷ a	۵۸۹/۰۰ a	۹۹/۲۶ a	۲۱/۰۹ a	۱/۷۴۶ c
P	۷۹/۴۲ a	۳/۰۴ a	۶۵۴ a	۴۵ a	۶۴۱/۳۳ a	۱۰۹/۷۵ a	۲۱/۹۴ a	۱/۹۷۳ c
B	۷۵/۶۷ ab	۳/۰۳ a	۵۷۶ b	۴۲ a	۶۱۶/۶۷ a	۱۰۳/۹۶ a	۲۰/۰۸ a	۱/۶۹۰ c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن ندارند. C: کنترل (بدون تلقیح)، Gm: گلوموس موسه، Gi: گلوموس اینترارادیسز، Gf: گلوموس فسیکولاتوم و A، P و B به‌ترتیب ازتوباکتر، سودوموناس و باسیلوس.

است. بر این اساس، بین تیمار شاهد با سایر تیمارها از نظر تأثیر در عملکرد تر و خشک اندام هوایی، به استثنای گلوموس موسه، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بین تیمارهای باکتریایی و تیمارهای قارچی گلوموس اینترارادیسز و گلوموس فسیکولاتوم از نظر تأثیر در عملکرد تر و خشک اندام هوایی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. بیشترین عملکرد تر (۱۰۹/۷۵ گرم بر گلدان) و عملکرد خشک (۲۱/۹۴ گرم بر گلدان) اندام هوایی در تیمار باکتریایی سودوموناس و کمترین آن‌ها به ترتیب به میزان ۵۲/۸۶ و ۱۱/۹۰ گرم بر گلدان در تیمار عدم تلقیح باکتریایی و قارچی (شاهد) مشاهده شد. اثر مثبت کاربرد باکتری‌های محرک رشد و قارچ‌های میکوریزی بر افزایش عملکرد تر و خشک اندام هوایی گیاهان مختلف توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش گردیده است (۴، ۷ و ۸). در رابطه با تأثیر مثبت کاربرد تیمارهای قارچی بر عملکرد تر و خشک می‌توان بیان نمود که قارچ میکوریز از طریق گسترش هیف و توسعه سیستم ریشه، سطح جذب آب بیشتری برای گیاه فراهم کرده و به‌دنبال جذب آب بیشتر، مواد غذایی بیشتری نیز جذب شده که منجر به تولید و تجمع ماده خشک بیشتری در گیاه می‌گردد (۱۹و ۲۳). در رابطه با اثر تحریکی باکتری‌های محرک رشد نیز می‌توان بیان داشت که باکتری‌های محرک رشد از طریق سازوکارهای مختلف، از جمله تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، تولید سیدروفور، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن را در گیاه تنظیم می‌کنند، سبب تحریک رشد گیاه می‌شوند (۴۶). وند بروک (۴۹) در بررسی تأثیر کود بیولوژیک حاوی باکتری ازتوباکتر و آزوسپیریلوم در گیاه دارویی مریم گلی به افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی اشاره کرده است. شالان (۴۳) گزارش داد که افزایش حاصلخیزی خاک با کودهای بیولوژیک، نظیر ازتوباکتر و سودوموناس، باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه دارویی سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) می‌شود. از طرفی، نتایج به‌دست آمده با یافته‌های شیرمحمدی و علی اصغرزاد (۱۴) همخوانی ندارد. این محققین، در یک آزمایش گلخانه‌ای با سیستم کشت بدون خاک روی گیاه سورگوم، نشان دادند که همزیستی مایکوریزی سبب کاهش وزن تر گیاه شد. دلیل تأثیر منفی همزیستی مایکوریزی بر وزن تر گیاه، کاهش کلروفیل و به دنبال آن کاهش توان فتوسنتزی گیاهان همزیست ذکر گردیده است.

وزن خشک ریشه

با توجه به داده‌های تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر باکتری‌های محرک رشد و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر وزن خشک ریشه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ داشت. با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵)، همه تیمارهای باکتریایی و قارچی باعث افزایش وزن خشک ریشه شده‌اند. این افزایش، در تیمارهای قارچی نسبت به باکتریایی بیشتر بوده، هرچند این افزایش فقط در مورد قارچ‌های گلوموس فسیکولاتوم و گلوموس اینترارادیسز نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. بیشترین میزان وزن خشک ریشه (۲/۷۶ گرم بر گلدان) و کمترین میزان آن (۱/۵۴ گرم بر گلدان) به ترتیب در تیمار گلوموس فسیکولاتوم و تیمار شاهد به دست آمد. در رابطه با تغییرات وزن خشک ریشه گیاه نعناع فلفلی تحت تأثیر تیمارها می‌توان بیان داشت که با اینکه ویژگی‌های سیستم ریشه ارثی است ولی می‌تواند توسط فاکتورهای محیطی تحت تأثیر قرار گیرد (۱۸). مواد تنظیم‌کننده رشد مانند اکسین، اتیلن و سیتوکینین به عنوان یکی از فاکتورهای متغیر محیطی می‌توانند تغییراتی در ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه به‌وجود آورند (۲۳). ترشح مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه و تولید هورمون‌های محرک رشد توسط قارچ‌ها و باکتری‌های مورد استفاده می‌تواند باعث تحریک توسعه و گسترش ریشه و در نتیجه اثر مثبت بر وزن خشک این اندام گردد. نتایج این پژوهش با یافته‌های فصیحی و همکاران (۱۶)، اگامبردیوا (۲۵) و شیپرز و همکاران (۴۲) مطابقت دارد. شیپرز و همکاران (۴۲) معتقدند که بعضی از باکتری‌های محرک رشد گیاه با تولید ریزوبیوتوکسین، تولید اتیلن را در گیاه کاهش داده و باعث افزایش رشد ریشه

می‌شوند. فصیحی و همکاران (۱۶) گزارش دادند که قارچ‌های مایکوریز با افزایش سطح جذب ریشه‌ها و همچنین آزادسازی اسیدها و اسیدی کردن محیط ریزوسفر، عناصر کم‌تحرک را حل و برای گیاه میزبان قابل استفاده می‌کنند. همچنین، اثبات شده که تناسب صحیح بین نیتروژن و فسفر باعث افزایش عملکرد و رشد ریشه می‌شود (۱۸). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تیمارهای قارچی نسبت به تیمارهای باکتریایی، با فراهم آوردن تناسب صحیح بین نیتروژن و سایر عناصر کم‌تحرک، مانند فسفر و عناصر کم‌مصرف، باعث تأثیر مثبت و معنی‌دار بر وزن خشک ریشه گردیده‌اند.

اجزای عملکرد

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) مشاهده می‌گردد که اثر کاربرد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی و مجموع طول شاخه‌های جانبی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. ولی اثر این تیمارها بر قطر ساقه در سطح ۵٪ معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین‌های مربوط به تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر صفات رویشی مورد بررسی در جدول ۵ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در تمام تیمارهای مورد آزمایش، ارتفاع بوته، تعداد برگ و مجموع طول شاخه‌های جانبی به طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. ولی در مورد تعداد شاخه‌های جانبی، به‌غیر از تیمار گلوموس موسه، و در مورد قطر ساقه، به‌غیر از تیمار گلوموس اینترارادیسز و ازتوباکتر، تأثیر بقیه تیمارها افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد داشت. بیشترین میزان ارتفاع بوته (۷۹/۴۲ سانتی‌متر)، قطر ساقه (۳/۰۴ میلی‌متر)، تعداد برگ (۶۵۴ عدد) و مجموع طول شاخه‌های جانبی (۶۴۱/۳۳ سانتی‌متر) از تیمار باکتریایی سودوموناس و بیشترین تعداد شاخه جانبی (۴۷ عدد) از تیمار باکتریایی ازتوباکتر حاصل شد. همچنین، در تمام صفات اشاره شده، کمترین مقدار در تیمار شاهد به‌دست آمد. این مطالب گویای این امر است که با کاربرد تیمارهای باکتریایی و قارچی، کمیت مربوط به صفات رویشی گیاه دارویی نعناع فلفلی افزایش می‌یابد. در ارتباط با تأثیر باکتری‌های محرک رشد و قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا بر صفات رویشی گیاهان، سازوکارهای مختلفی بیان شده است. با توجه به این واقعیت که باکتری‌های محرک رشد و قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا از یک طرف از طریق تأثیر بر جذب عناصر غذایی پرمصرف مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم (۳۳ و ۴۷) و از طرف دیگر از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه مانند جیبرلین (تأثیر در رشد طولی سلول‌ها، به‌ویژه میانگره‌های ساقه)، اکسین و سیتوکینین (تأثیر در تقسیم سلولی) سبب افزایش صفات رویشی گیاه می‌گردند (۳۱). اثر افزایشی تیمارهای به‌کار برده شده بر ارتفاع بوته را می‌توان به تولید اکسین و جیبرلین و تأمین بهینه عناصر غذایی تعمیم داد. گزارش‌های متعددی به تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد و قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا بر ارتفاع بوته گیاهان مختلف اشاره کرده‌اند (۴، ۱۰ و ۲۶). به طوری که دهقانی مشکانی و همکاران (۱۰) طی تحقیقی اعلام داشتند که تیمارهای کود زیستی (ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و باسیلوس) نسبت به تیمار کود شیمیایی کامل و شاهد به طور معنی‌داری سبب افزایش ارتفاع بوته بابونه شده‌اند. ال- یزید و همکاران (۲۶) با بررسی تأثیر کود زیستی از نوع باسیلوس بر گیاه کدو گزارش دادند که صفات رویشی شامل ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد برگ و سطح برگ و جذب عناصر مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و بور افزایش یافت. در رابطه با صفت قطر ساقه می‌توان بیان نمود که قطر ساقه از لحاظ میزان ذخیره مواد آسیمیلات شده و انتقال این مواد به گل‌ها در زمان گل‌دهی گیاه نقش قابل ملاحظه‌ای دارد. هر چه قطر ساقه بیشتر باشد، پتانسیل تولید مطلوب در گیاه افزایش خواهد یافت. همچنین، دلیل افزایش قطر ساقه را می‌توان تجمع مواد و وزن تر و خشک بیشتر اندام هوایی دانست (۱). شمشیری پور (۱۳)، افزایش قطر ساقه را به نیتروژن حاصل از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نسبت داد که با مصرف

کربوهیدرات‌ها در سلول‌های رویشی، سبب افزایش قطر ساقه می‌شوند. حمیدی و همکاران (۹) نیز اثر مثبت باکتری‌های محرک رشد گیاه بر قطر ساقه ذرت را گزارش کرده‌اند. در رابطه با تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی و طول شاخه‌های جانبی نیز باید اظهار نمود که افزایش در این صفات را می‌توان با رشد بیشتر اندام هوایی در تیمارهای باکتریایی و قارچی مرتبط دانست. به طوری که با کاربرد تیمارهای به‌کار برده شده، به دلیل جذب و انتقال بهتر عناصر معدنی (به‌ویژه عناصری مانند فسفر، پتاسیم، نیتروژن، منیزیم، آهن، روی و منگنز) و نقش این عناصر در رشد و توسعه گیاه، پارامترهایی نظیر تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی و طول شاخه‌های جانبی افزوده می‌گردند. نتایجی مشابه در مورد اثر مثبت تیمارهای باکتریایی و قارچی بر تعداد برگ توسط فصیحی و همکاران (۱۶) و تعداد شاخه‌های جانبی توسط یاسری و همکاران (۵۲) نیز گزارش گردیده است.

عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای باکتریایی و قارچی بر غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم (جدول ۶) نشان داد که تأثیر این تیمارها بر پنج عنصر اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷)، کاربرد تمام تیمارهای باکتریایی و قارچی باعث افزایش غلظت عناصر غذایی مورد اندازه‌گیری گردید؛ هرچند این افزایش در برخی تیمارها نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین و کمترین میزان نیتروژن (۲۱/۲۶ گرم بر کیلوگرم و ۱۶/۹۳ گرم بر کیلوگرم) به ترتیب مربوط به تیمار ازتوباکتر و شاهد بود؛ هرچند که اختلاف معنی‌داری با برخی تیمارهای دیگر نداشت. در رابطه با تأثیر تیمارهای باکتریایی و قارچی می‌توان بیان نمود که جذب عناصر غذایی توسط گیاه تابع دو عامل رشد و توسعه ریشه و فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌باشد (۱). بنابراین، می‌توان از دلایل قابل ذکر در این زمینه به توسعه سطح ریشه و جذب بیشتر نیتروژن از خاک اشاره نمود که موجب زیاد شدن میزان نیتروژن در اندام هوایی گردیده است. فلورس و همکاران (۲۷) گزارش کردند که باکتری‌های ریزوسفری، میزان هورمون سیتوکینین گیاه میزبان را افزایش می‌دهند. این هورمون، سرعت انتقال نیترات از ریشه به شاخساره گیاه را افزایش می‌دهد. باگو و همکاران (۲۰) گزارش کردند که قارچ‌های میکوریزی تأثیر عمیقی بر فیزیولوژی ریشه گیاه گذاشته که سبب فعال ساختن گلوتأمین سنتتاز، آرژیناز و اوره‌آز شده و از این طریق غلظت نیتروژن را در گیاهان میزبان افزایش می‌دهند. آرژیناز و اوره‌آز از آنزیم‌های کلیدی در انتقال نیتروژن از میسلیوم به داخل ریشه گیاه میزبان طی فرایند همزیستی می‌باشند. نیتروژن توسط میسلیوم‌های خارجی به فرم نیترات یا آمونیوم جذب و به‌وسیله گلوتأمین سنتتاز به ترکیبات آلی تبدیل می‌گردد (۲۰).

بیشترین و کمترین میزان فسفر (۴/۹ گرم بر کیلوگرم و ۲/۹ گرم بر کیلوگرم) به ترتیب در تیمار باکتریایی سودوموناس و شاهد به‌دست آمد؛ هرچند این افزایش نسبت به برخی تیمارهای دیگر از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در رابطه با افزایش غلظت فسفر در تیمارهای باکتریایی و قارچی دلایل مختلفی بیان شده است، از جمله تولید اسیدهای معدنی (اسید کربنیک و اسید سولفوریک)، اسیدهای آلی (اگزالیک، سیتریک و لاکتیک) و تولید آنزیم‌های فسفاتاز و در نتیجه انحلال فسفات‌های آلی و معدنی (۴۸) را می‌توان نام برد. رنجکار و همکاران (۴۰) نیز گزارش کردند که توان باکتری‌ها در حل کردن فسفات‌های نامحلول بیشتر از قارچ‌هاست. بنابراین، با این توضیحات، افزایش بیشتر میزان فسفر در تیمار باکتریایی سودوموناس مستدل خواهد بود. لیو و همکاران (۳۶) گزارش کردند که میزان فسفر گیاه شیرین بیان در اثر همزیستی با دو گونه قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus versiform*) افزایش یافت. گوپتا و همکاران (۳۰) تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات، فسفر قابل جذب خاک، جذب فسفر توسط گیاه و رشد گیاه را افزایش داد، که نتایج این محققین، یافته‌های پژوهش حاضر را مورد تأیید قرار می‌دهد.

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس تأثیر باکتری‌های ریزوسفری (PGPR) و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا (AMF) بر غلظت برخی عناصر پرمصرف در گیاه نعناع فلفلی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم
تیمار	۶	۰/۰۶۱۶**	۰/۰۱۶۴*	۳/۱۵۰۰**	۰/۹۶۹۳**	۰/۳۲۵۲**
خطا	۱۴	۰/۰۰۹۹	۰/۰۰۴۳	۰/۵۰۳۳	۰/۲۱۳۳	۰/۰۷۷۶
ضریب تغییرات		۵/۰۶	۱۶/۶۷	۱۲/۷۴	۲۱/۹۷	۱۵/۴۷

**و* به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۷. نتایج مقایسهٔ میانگین‌های تأثیر باکتری‌های ریزوسفری (PGPR) و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا (AMF) بر غلظت برخی عناصر پرمصرف در گیاه نعناع فلفلی.

تیمار	نیتروژن (g/kg)	فسفر (g/kg)	پتاسیم (g/kg)	کلسیم (g/kg)	منیزیم (g/kg)
C	۱۶/۹۳ c	۲/۹۰c	۳۶/۳۰c	۱۱/۶۰c	۱۳/۳۰ c
Gm	۱۹/۱۳ b	۴/۳۰ab	۵۳/۰۰ab	۲۳/۳۰a	۱۷/۰۰bc
Gi	۲۰/۲۰ ab	۴/۱۳abc	۵۶/۶۰ ab	۲۳/۹۰ a	۱۶/۷۰bc
Gf	۲۰/۶۳ ab	۴/۶۶a	۶۳/۳۰ab	۲۷/۳۰ a	۱۸/۳۰ab
A	۲۱/۲۶ a	۳/۶۳abc	۶۳/۰۰ab	۲۱/۹۰ab	۱۸/۳۰ab
P	۲۰/۴۰ ab	۴/۹۰a	۶۶/۳۰a	۲۴/۳۰ a	۱۹/۳۰a
B	۱۹/۱۶b	۳/۲۳c	۵۱/۰۰b	۱۴/۶۰bc	۱۸/۱۰ ab

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. C: کنترل (بدون تلقیح)؛ Gm، گلوموس موسه، Gi: گلوموس اینترارادیسز، Gf: گلوموس فسیکولاتوم، A، P و B به‌ترتیب ازتوباکتر، سودوموناس و باسیلوس.

بیشترین میزان پتاسیم (۶۶/۳ گرم بر کیلوگرم) و بیشترین میزان منیزیم (۱۹/۳ گرم بر کیلوگرم) از تیمار کاربرد باکتری سودوموناس و بیشترین میزان کلسیم (۲۷/۳ گرم بر کیلوگرم) از تیمار کاربرد قارچ گلوموس فسیکولاتوم و کمترین میزان آنها (به‌ترتیب ۳۶/۳، ۱۳/۳ و ۱۱/۶ گرم بر کیلوگرم) از تیمار عدم تلقیح (شاهد) به‌دست آمد؛ هر چند که اختلاف معنی‌داری با برخی دیگر از تیمارها نداشت. در رابطه با پتاسیم، می‌توان بیان نمود که از بین شکل‌های مختلف این عنصر، فقط شکل‌های محلول و تبادلی آن قابل استفاده گیاه هستند و بقیه شکل‌ها تقریباً غیرقابل استفاده می‌باشند. لذا، برای تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، این عنصر بایستی به طریقی از شکل‌های تثبیت شده و معدنی به شکل‌های تبادلی و محلول تبدیل شود (۳۲). شادی و همکاران (۴۴) گزارش کردند که ریز جانداران متعدد شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها و مخمرها قادرند سیلیکات را تجزیه کرده و عناصری چون پتاسیم، فسفر، آهن، روی و سیلیسیم را آزاد کنند. در این میان، باکتری‌ها از اهمیت زیادی برخوردارند. لذا، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که باکتری سودوموناس از طریق تجزیه سیلیکات‌ها و انحلال کانی‌ها باعث آزادسازی پتاسیم و به تبع آن باعث بیشترین افزایش در میزان پتاسیم اندام هوایی گردیده است. در رابطه با کلسیم و منیزیم نیز می‌توان اظهار نمود که افزایش جذب این عناصر احتمالاً ناشی از توسعه سیستم ریشه و متعاقب آن جذب بهتر این عناصر می‌باشد. نتایج این تحقیق مبنی بر افزایش میزان کلسیم و منیزیم با گزارش یائو و همکاران (۵۱) و جورج و همکاران (۲۸) مطابقت دارد، به طوری که این محققین گزارش دادند که تلقیح بذر پنبه با سودوموناس منجر به افزایش جذب کلسیم و منیزیم در این گیاه گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های میکوریزی سبب افزایش صفات رویشی (شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، مجموع طول شاخه‌های جانبی، عملکرد وزن تر و خشک گیاه و وزن خشک ریشه) و غلظت عناصر غذایی در گیاه دارویی نعناع فلفلی شد. این افزایش می‌تواند به تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، توسعه ریشه و به تبع آن جذب آب و مواد غذایی از خاک نسبت داده شود. در بین سه گونه قارچی به‌کار برده شده در این پژوهش، قارچ گلوموس فسیکولاتوم بیشترین تأثیر را بر درصد کلونیزاسیون ریشه داشت. بنابراین، با استناد به نتایج این تحقیق، استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا در کشت‌های گلخانه‌ای نعناع فلفلی قابل توصیه می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. احتشامی، م.، م. پور ابراهیمی و ک. خاوازی. ۱۳۹۲. تأثیر باکتری *Pseudomonas fluorescens* strain 103 به همراه کود فسفر بر غلظت عناصر غذایی و عملکرد زیستی در دو رقم جو در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۴(۱۶): ۱۵-۲۶.

۲. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. انتشارات دانشگاه تهران.

۳. امیدی، ح.، ح. نقدی بادی، ع. گلزاد، ح. ترابی و م. فتوکیان. ۱۳۸۸. تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی زعفران (*Crocus sativus* L.). فصلنامه گیاهان دارویی ۸(۲): ۹۸- ۱۰۸.

۴. انصاری، ا.، ج. رزمجو، ح. کریم مجنی و م. زارعی. ۱۳۹۳. تأثیر تلقیح با میکوریز و پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف خشکی بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد بزرک. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ۴(۱۲): ۱۸۱-۱۹۴.

۵. اینانلوفر، م.، ح. امیدی و ع. پازکی. ۱۳۹۲. تغییرات مورفولوژیکی، زراعی و محتوی روغن گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.)

تحت تأثیر خشکی و کود زیستی/ شیمیایی نیتروژن. فصلنامه گیاهان دارویی ۱۲(۴): ۱۷۰-۱۸۴.

۶. آقاعلیخانی، م.، ا. ایرانپور و ح. نقدی بادی. ۱۳۹۲. تغییرات عملکرد زراعی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) تحت تأثیر اوره و کود زیستی. فصلنامه گیاهان دارویی ۱۲(۲): ۱۲۱-۱۳۶.

۷. حق بهاری، م. و ر. سید شریفی. ۱۳۹۳. مطالعه عملکرد کمی و کیفی، محتوای کلروفیل و برخی شاخص‌های رشدی گندم در پاسخ به پیش‌تیمار بذر با باکتری PGPR در سطوح مختلف شوری خاک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۵(۱۸): ۵۱-۶۴.

۸. حمزه‌ئی، ج. و ف. صادقی می‌آبادی. ۱۳۹۳. اثر دور آبیاری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر شاخص کلروفیل، عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ۴(۱۲): ۲۱۱-۲۲۰.

۹. حمیدی، ا.، ا. اصغرزاد، ر. چوگان، م. دهقان شعار، ا. قلاوند و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۸. اثر استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR) بر فنولوژی دورگ‌های دیررس ذرت. علوم زراعی ایران ۱۱(۳): ۱۲۷-۱۳۷.

۱۰. دهقانی مشکانی، م. ر.، ح. نقدی بادی، م. درزی، ع. مهرآفرین، ش. رضازاده و ز. کدخدا. ۱۳۸۹. تأثیر کودهای زیستی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه بابونه شیرازی (*Matricaria recutita* L.). فصلنامه گیاهان دارویی ۱۰(۲): ۳۵-۴۷.

۱۱. راثی پور، ل. و ن. علی اصغرزاد. ۱۳۸۶. اثرات متقابل باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*Bradyrhizobium japanicum*) بر شاخص‌های رشد، غده‌بندی و جذب برخی عناصر غذایی در سویا. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) ۱۱(۴۰): ۵۳-۶۳.

۱۲. زرگری، ع. ۱۳۶۷. گیاهان دارویی. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۳. شمشیری پور، م. ۱۳۸۷. کاربرد باکتری‌های فیلوسفری محرک رشد گیاه برای افزایش رشد و عملکرد ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.

۱۴. شیرمحمدی، ا. و ن. علی اصغرزاد. ۱۳۹۳. تأثیر همزیستی قارچ گلوموس اتونیکاتوم و گلوموس اینترارادیسز بر شاخص کلروفیل برگ سورگوم در شرایط کمبود عناصر کم‌مصرف در سیستم کشت بدون خاک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۵(۱۸): ۱-۸.

۱۵. فروزنده، م.، ع. ر. سیروس مهر، ا. قنبری، م. اصغری پور و ع. خمری. ۱۳۹۰. تأثیر سطوح تنش خشکی و کمپوست زباله شهری بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha Piperita* L.). پژوهش‌های زراعی ایران ۹(۴): ۶۷۰-۶۷۷.

۱۶. فصیحی، م.، م. ح. شمشیری، ح. ر. کریمی و ح. ر. روستا. ۱۳۹۳. اثر قارچ میکوریز آربوسکولار (*Glomus moseae*) بر رشد رویشی گیاه خیار گلخانه‌ای رقم ناهید (NIZ 51 484) در سطوح مختلف بیکربنات سدیم آب آبیاری. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۵(۱۷): ۵۳-۶۲.

۱۷. کاظم الوندی، ر.، ا. شریفان و م. آقازاده مشگی. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر شیمیایی و اثر ضد میکروبی اسانس گیاه نعناع فلفلی. پژوهش‌های زراعی ایران ۷(۴): ۳۵۵-۳۶۴.

۱۸. نقدی بادی، ح.، م. لطفی زاد، ن. قوامی، ع. مهرآفرین و ک. خاوازی. ۱۳۹۲. پاسخ عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی سنبل‌الطیب (*Valeriana Officinalis* L.) به کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی فسفره. فصلنامه گیاهان دارویی ۱۲(۲): ۲۵-۳۷.

19. Auge, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11: 3-42.
20. Bago, B., P. Pfeffer and Y. Shachar-Hill. 2001. Could the urea cycle be translocating nitrogen in the arbuscular mycorrhizal symbiosis? New Phytol. 149: 4-8.
21. Benizri, E., A. Courtade, C. Picard and A. Guckert. 1998. Role of maize root exudates in the production of auxins by *Pseudomonas fluorescens* M.3.1. Soil Biol. Biochem. 30: 1481-1484.
22. Cardoso, I.M. and T.M. Kuyper. 2006. Mycorrhizal and tropical soil fertility. Agric. Ecosyst. Environ. 116: 72-84.
23. Casson, S.A. and K. Lindsey. 2003. Genes and signalling in root development. New Phytol. 158: 11-38.

24. Dalp, Y. 1993. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza. Canadian Society of Soil Science, Lewis Pub., pp. 287-301.
25. Egamberdiyeva, D. 2007. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. Appl. Soil Ecol. 36: 184-189.
26. El-Yazeid, A.A., H.E. Abou-Aly, M.A. Mady and S.A.M. Moussa. 2007. Enhancing growth, productivity and quality of squash plants using phosphate dissolving microorganisms (bio phosphor) combined with boron foliar spray. Res. J. Agric. Biol. Sci. 3(4): 274-286.
27. Flores, E., J.M. Frias and A. Herrero. 2005. Photosynthetic nitrate assimilation in cyanobacteria. Photosynth. Res. 83: 117-133.
28. George, E., K.U. Haussler, D. Vetterlien, E. Gorgus and H. Marschner. 1992. Water and nutrient translocation of *Glomus mosseae*. Can. J. Bot. 70: 2130-2137.
29. 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. Bioresour.Technol. 81: 77-79.
30. Gupta, M., S.H. Kiran, A. Gulati, B. Singh and R. Tewari. 2012. Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria able to enhance the growth and aloin-A biosynthesis of *Aloe barbadensis* Miller. Microbiol. Res. 167: 358-363.
31. Gutierrez-Manero, F.J., B. Ramos-Solano, A. Probanza, J. Mehouachi, F.R. Tadeo and M. Talon. 2001. The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. Plant Physiol. 111: 206-211.
32. Haby, V.A., M.D. Russelle and E.O. Skogley. 1990. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. PP. 181-227. *In:* Mickelson, S.H. (Ed.), Soil Testing and Plant Analysis, Madison, WI, USA.
33. James, B., D. Rodel, U. Lorettue, E. Reynaldo and H. Tariq. 2008. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna spectabilis*. Pak. J. Bot. 40: 2217-2224.
34. Jarstfer, A.C., P. Farmer and D.M. Sylvia. 1998. Tissue magnesium and calcium effects on arbuscular mycorrhizal development and fungal reproduction. Mycorrhiza 7: 237-242.
35. Joshee, N., S.R. Mentreddy and K. Yadav. 2007. Mycorrhizal fungi and growth and development of micropropagated *Scutellaria integrifolia* plants. Indus. Crops Prod. 25: 169-177.
36. Liu, J., L. WU, S. H. Wei, X. Xiao, C. Su, P. Jiang, Z. Song, T. Wang and Z. Yu. 2007.Effects of arbuscularmycorrhizal fungi on the growth, nutrient uptake and glycyrrhizin production of licorice (*Glycyrrhizauralensis*Fisch). Plant. Growth. Regul. 52: 29-39
37. Mikovacki, N., J. Marinkovic, N. Cacic and D. Bgelic. 2010. Microbial abundance in rhizosphere of sugarbeet in dependence of fertilization and inoculation with *Azotobacter Chroococcum*. Res. J. Agric. Sci. 42(3): 260-264.
38. Pal, K.K., K.V. Tilak, A.K. Saxena, R. Dey and C.S. Singh. 2001. Suppression of maize root diseases caused by *Macrophomia phaseolina*, *Fusarium moniliforme* and *Fusarium graminaerum* by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiol. Res. 156: 209-223.
39. 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. The Brit. Mycol. Soc. 55: 158-161.
40. Ranjkar, P.N., D.H. Tambekar and S.R. Wate. 2007. Study of phosphate solubilization efficiencies of fungi and bacteria isolated from saline belt of Purna River basin. Res. J. Agric. Biol. Sci. 3: 701-703.
41. Ratti, N., S. Kumar, H.N. Verma and S.P. Goutam. 2001. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. Motia by rhizobacteria, AMF and Azospirillum inoculation. Microbiol. Res. 9: 145-156.
42. Schippers, B., A.W. Bakker, P.A. Bakker and R. Vanpeer. 1990. Beneficial and deleterious effects of HCN-production Pseudomonas on rhizosphere interaction. Plant Soil 129: 75-83.
43. Shaalan, M.N. 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian J. Agric. Res. 83: 18-28.
44. Shady, M.A., I. Ibrahim and A.H. Afify. 1984. Mobilization of elements and their effects on certain plant growth characteristics as influenced by some silicate bacteria. Egyptian J. Bot. 27(1-7): 17-30.
45. Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, pp. 1-407.
46. Stajkovic, O., D. Delic, D. Josic, D. Kuzmanovic, N. Rasulic and J. Knezevic-Vukcevic. 2011. Improvement of common bean growth-promoting bacteria. Rom. Biotech. Lett. 16(1): 5919-5926.
47. Sundara, B., V. Natarajan and K. Hari. 2001. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on soil available P-status and sugarcane development on a tropical Vertisol. Proc. Interaction Soc. Sugarcane Technol. 24: 47-51.
48. Tilak, K.V.B.R., N. Ranganayaki, K.K. Pal, R. De, A.K. Saxena, C. Shekhar Nautiyal, Shilpi Mittal, A.K. Tripathi and B.N. Johri. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Curr. Sci. 89: 136-150.
49. Vande Broek, A. 1999. Auxins upregulate expression of the indol-3-pyruvate decarboxylase gene in *Azospirillum*

brasilense. J. Bacteriol. 181: 1338-1342.
50. Wensing, A., S.D. Braun, P. Buttner, D. Expert, B. Volksch, M.S. Ullrich and H. Weingart. 2010. Impact of siderophore production by *Pseudomonas syringae* pv. Syringae 22d/93 on epiphytic fitness and biocontrol activity against *Pseudomonas syringae* pv. Glycinea 1a/96. Appl. Environ. Microbiol. 76(9): 2704-2711.
51. Yao, L., Z. Wu, Y. Zheng, I. Kaleem and C. Li. 2010. Growth promotion and protection against salt stress by *Pseudomonas putida* Rs-198 on cotton. Eur. J. Soil Biol. 46: 49-54.
52. Yasari, E., A.M. Patwardhan, V.S. Ghole, O. Ghasemi Chapi and A. Asgarzadeh. 2007. Biofertilizers impact on canola (*Brassica napus* L.) seed yield and quality. Asian J. Microbiol., Biotech., Environ. Sci. 9(3): 701-707.
53. Zhao, J., L.C. Davis, X.Y. Tang and R. Verpoorte. 2005. Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. Biotech. Adv. 23: 283-333.