تأثیر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا و سطوح مختلف فسفر بر برخی جنبه‌های رشد گیاه لیزیانتوس

عزیزاله خندان میرکوهی[1*]،مرتضی شیخ اسدی[1]، محمدرضا طاهری[1] و مصباح بابالار[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۷)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر ویژگی‌های کمی و کیفی رشد ریشه، شاخه و گل لیزیانتوس، تلقیح با دو گونه آربوسکولار میکوریزا (*Glomus mosseae* و *G. intraradices*) و مخلوط این دو گونه، تحت سطوح مختلف فسفر (۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی تحت شرایط گلخانه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که گیاهان تلقیح شده، رشد و تولید بیوماس بیشتری در مقایسه با گیاهان شاهد داشتند. تلقیح با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا به‌طور قابل توجه و معنی‌داری تعداد روز لازم تا گل‌دهی را کاهش و خصوصیات ساقه‌ی گل‌دهنده شامل طول و تعداد ساقه گل‌دهنده، تعداد و قطر گل و وزن تر کل گل در بوته را افزایش داد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که در سطح مناسبی از فسفر، تلقیح هر دو گونه قارچ ریوسکولار **میکوریزا نسبت به کاربرد هر یک از آنها به تنهایی در افزایش کارایی شاخص‌های مورد بررسی مؤثرتر بود.**

واژه‌های کلیدی: گونه قارچ، بیوماس، گیاه زینتی، ارگانیک، باغبانی پایدار

مقدمه

لیزیانتوس (*Eustoma grandiflorum*, syn. *E. russelianum*, Gentianaceae) یک محصول زینتی ارزشمند در بازارهای جهانی است که به دلیل داشتن گل‌های درشت شبیه رز، عمر پس از برداشت بسیار عالی و رنگ آبی گل‌ها، خیلی سریع جزء ده گل شاخه بریده‌ی برتر سراسر جهان قرار گرفته است (۱۲). این گل همچنین به طور گسترده به عنوان گل گلدانی و باغچه‌ای استفاده می‌شود. علاوه بر رنگ آبی، در دامنه وسیعی از رنگ‌ها در دسترس است (۱۲).

مسائل و مشکلات ناشی از کشاورزی رایج، توجه به کشاورزی ارگانیک را افزایش داده است. به منظور حصول اطمینان از تأمین مواد غذایی کافی و ایمن برای نسل های آینده و فعلی بایستی اثرهای زیست‌محیطی منفی فعالیت‌های کشاورزی متوقف شود. در حال حاضر، بسیاری از فعالیت‌های کشاورزی را نمی‌توان سازگار با محیط‌زیست در نظر گرفت (۲۶). طبیعت ناپایدار کشاورزی به دلیل استفاده از مقادیر زیادی از کودهای شیمیایی می‌باشد. استفاده از روش‌های مدیریت پایدار در بخش کشاورزی باعث می‌شود آسیب‌های زیست‌محیطی و مصرف کودهای شیمیایی به حداقل رسانده شود. در طول دو دهه‌ی اخیر این نوع نگرش باعث گسترش سریع کشاورزی ارگانیک در بسیاری از کشورهای توسعه یافته شده است (۲۰).

گیاهان زینتی از جمله محصولاتی هستند که بر پایه تفکر نادرست، مواد شیمیایی (به‌ویژه کود) بسیاری در پرورش آن‌ها مصرف می‌شود و این مصرف بی‌رویه، مشکلات فراوانی را به طبیعت تحمیل می‌نماید. بنابراین، توجه به جنبه‌های کشاورزی

۱. گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: khandan.mirkohi@ut.ac.ir

توسعه پایدار کشاورزی بر منابع پایدار، امری ضروری است. توسعه پایدار کشاورزی بر منابع موجود در داخل اکوسیستم کشاورزی تأکید و تکیه دارد. در این راستا، نقش میکروارگانیزم‌های موجود در خاک، به عنوان عوامل اصلی در چرخه عناصر غذایی، از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از مهمترین میکروارگانیسم‌های مفید خاک، قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا می‌باشند.

مزایای استفاده از آربوسکولار میکوریزا از چندین دهه گذشته شناخته شده است. اثرهای میکوریزا بر رشد و نمو گیاهان مطالعه شده و در بسیاری از مقالات شرح داده شده است (۲۱، ۲۴، ۲۵ و ۳۱). این مطالعات نشان داده‌اند که در محیط‌های کنترل شده، قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا با ایجاد رابطه همزیستی با گیاهان می‌توانند در جنبه‌های مختلف رشد و نمو آن‌ها مفید واقع شوند. این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند دستیابی گیاه به مواد معدنی خاک را به‌وسیله پویش خاک بهبود بخشند و گیاه را به مقاومت بهتر در برابر تنش‌های محیطی قادر سازند. این قارچ‌ها می‌توانند همه‌ی ۱۵ عنصر پرمصرف و کم‌مصرف ضروری برای رشد گیاه را جذب و انتقال دهند (۱۳ و ۲۱). در همزیستی میکوریزی، هیف‌های قارچ به نحوی نقش ریشه‌ی مویین گیاه را دارند و به عنوان سیستم ریشه‌ی گسترش یافته عمل می‌کنند. اثرهای سودمند قارچ آربوسکولار میکوریزا از یک یا چند مکانیسم از جمله افزایش سطح جذب، بیشتر شدن منطقه نفوذ ریشه، طول عمر بیشتر ریشه جاذب و استفاده بهتر از مواد مغذی کم‌فراهم ناشی می‌شود (۹).

با این حال، مطالعات نشان می‌دهند که نوع خاک (۴)، فسفر خاک (۲۲) و گونه‌های میکوریزا (۱۶) می‌توانند در کارآیی این قارچ‌ها مؤثر باشند. اثبات شده که فسفر مؤثرترین عنصر در توسعه و کارآیی میکوریزی است (۲۳). مطالعات متعددی گزارش داده‌اند که تلقیح با آربوسکولار میکوریزا باعث افزایش فراهمی فسفر و رشد گیاه در شرایط کمبود فسفر می‌شود. در حالی که مقادیر این شاخص‌ها تحت شرایط فسفر زیاد کاهش می‌یابد (۱۵).

مطالعه‌ی حاضر، پاسخ گل شاخه‌بریده‌ی لیزیانتوس به تلقیح میکوریزی در سطوح متفاوت فسفر را بررسی می‌کند. در این مطالعه، بر اساس آنچه تاکنون در باره‌ی تأثیر تلقیح میکوریزی بر ویژگی‌های رشد شناخته شده است و با توجه به اینکه این اثرها می‌توانند بسته به گونه‌های مختلف آربوسکولار میکوریزا و سطوح متفاوت فسفر متفاوت باشند، واکنش گل شاخه بریده لیزیانتوس به گونه‌های مختلف قارچ مورد آزمایش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار طی سال‌های ۹۲-۱۳۹۱ در گلخانه‌های گروه علوم باغبانی دانشگاه تهران انجام شد. فاکتورهای مورد آزمایش شامل چهار مایه تلقیح قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا [عدم تلقیح (m_0)، *Glomus mosseae* (m_1)، *Glomus intraradices* (m_2) و *G. intraradices* + *G. mosseae* (m_3)] و سه سطح فسفر [۱۰ (فسفر اولیه موجود در خاک به عنوان شاهد)، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به ترتیب به عنوان فسفر کم (P_1)، متوسط (P_2) و زیاد (P_3)] بود.

آماده‌سازی بستر کشت و اعمال تیمارها

خاک سطحی (عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر) با بافت لوم رسی و فراوانی رس، شن و سیلت به ترتیب برابر با ۳۵، ۳۵ و ۳۰ درصد از ایستگاه تحقیقات علوم باغبانی دانشگاه تهران، کرج، جمع‌آوری شد (جدول ۱). خاک به نسبت حجمی ۲:۱ با ماسه‌ی ریز- متوسط مخلوط شد و پس از اتوکلاو شدن (در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۵۰ دقیقه برای دو روز پیاپی) به عنوان بستر کشت گیاهان لیزیانتوس استفاده شد. به منظور اعمال تیمار سطوح فسفر، بستر کشت آماده شده (با میزان ۱۰ میلی‌گرم فسفر قابل جذب در کیلوگرم خاک) بدون افزودن هیچ فسفری، به عنوان سطح کم فسفر (P_1) در نظر گرفته شد. جهت برقراری دو سطح متوسط (P_2) و زیاد (P_3)

جدول ۱. برخی خصوصیات خاک مورد استفاده در بستر کشت

مشخصه	مقدار
بافت خاک	لوم- رسی
pH	۷/۶۳
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۹/۸۹
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۴۹۰
نیتروژن کل (٪)	۰/۱۸

فسفر، به بستر مورد استفاده مقادیر مناسبی از کود سوپرفسفات تریپل اضافه شد و کاملاً مخلوط گردید. سپس در حد ۶۰-۷۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری شد و به مدت ۵۰ روز در دمای اتاق (حدود ۲۴ درجه سلسیوس) به‌منظور متعادل‌سازی به حال خود رها شد. پس از گذشت این مدت و متعادل سازی، مقادیر ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به ترتیب برای سطوح متوسط و زیاد ثبت شد.

تلقیح با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا

مایه تلقیح مورد استفاده از بخش بیولوژی گروه علوم خاک دانشگاه تهران تهیه شد. مایه تلقیح مورد استفاده شامل هیف، اسپور و قطعات ریشه‌ی کلونیزه شده بود. جهت تلقیح، هنگام انتقال نشا، به میزان ۱۰ گرم از مایه تلقیح (با میانگین ۵۰ اندام فعال قارچی در هر گرم) مورد نظر در چاله‌ی کاشت هر نشا اضافه شد.

نشاهای ۱۲ هفته‌ای یکنواخت از نظر ارتفاع و تعداد برگ لیزیانتوس (رشد یافته از بذرهای کولتیوار 'mariachi blue' شرکت Sakata) انتخاب و به گلدان‌های ۲/۵ لیتری حاوی بستر کشت (با میزان فسفر مشخص) انتقال داده شدند. پس از اعمال مراحل تلقیح، گلدان‌های حاوی گیاه به گلخانه منتقل شدند. گلدان‌ها، بسته به نیاز گیاه، در فواصل زمانی یک یا دو بار در هفته به میزان ۶۰-۷۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری و هر دو هفته یک‌بار با محلول غذایی فاقد فسفر تغذیه شدند.

اندازه‌گیری شاخص‌های رویشی و زینتی

فاصله بالاترین گل یا جوانه گل تا قاعده‌ی ساقه و فاصله‌ی بین نوک گلبرگ تا نوک گلبرگ متقابل، به‌ترتیب به عنوان طول ساقه و قطر گل محاسبه شد. سطح برگ با استفاده از سطح‌سنج (ΔT - England) اندازه‌گیری شد. وزن‌تر گل‌ها، شاخه‌ها (ساقه + برگ) و ریشه‌ها به طور جداگانه اندازه‌گیری شده و سپس برای محاسبه‌ی وزن خشک، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار داده شدند. تعداد روزها از زمان انتقال نشا تا باز شدن اولین گل به عنوان تعداد روز لازم از کاشت تا گل‌دهی ثبت شد. به منظور تعیین عمر گلجای، ساقه‌هایی که یک گل آن‌ها شروع به باز شدن کرده بود از هر تیمار انتخاب و پس از یکنواخت‌سازی طول (۴۰ سانتی‌متر) به ظروف شیشه‌ای شفاف حاوی ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر انتقال داده شدند و درون یک اتاق با دمای ۲±۲۳ درجه سلسیوس قرار گرفتند. طی مدت آزمایش، انتهای ساقه‌ها تحت عمل بازبرش قرار گرفت. تعداد روز تا پژمردگی گل باز، ثبت شد. لازم به ذکر است که به دلیل اختلاف در زمان ظهور گل تیمارهای متفاوت، اعمال مراحل ذکر شده برای هر تیمار به صورت مجزا در زمان متفاوت انجام شد.

اندازه‌گیری مقدار کلروفیل

به منظور اندازه‌گیری مقدار کلروفیل، از برگ‌های کامل و جوان نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل شد. برش نازکی از این برگ‌های تازه تهیه، و سپس ۰/۱ گرم از هر نمونه جهت استخراج رنگیزه‌ها به لوله‌های آزمایش حاوی استون ۸۰٪ منتقل شد. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان جذب در طول موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر قرائت و مقدار کلروفیل a، b و کل بر حسب میلی‌گرم در گرم برگ تازه محاسبه شد (۱۹).

طول و درصد کلونیزاسیون ریشه

ریشه‌ها پس از برداشت، کاملاً با آب شسته شدند. طول کل ریشه بر اساس روش خطوط مشبک محاسبه شد (۳۳). مقداری از ریشه‌های شسته شده‌ی مناسب جدا و درون لوله‌های آزمایش قرار گرفت. سپس، تا جایی که ریشه‌ها غوطه‌ور شوند

به لوله‌های آزمایش هیدروکسید پتاسیم (KOH) هشت درصد اضافه و به مدت پنج دقیقه اتوکلاو (۱۲۱ درجه سلسیوس، ۱ اتمسفر) شدند. ریشه‌های اتوکلاو شده چندین بار با آب شست‌وشو داده شدند. سپس به مدت ۳ دقیقه در اسید کلریدریک ۱٪ قرار گرفتند. رنگ‌آمیزی ریشه‌ها با تریپان‌بلو ۰/۵ درصد در لاکتوگلیسرول انجام شد. ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده چندین بار با آب مقطر شست‌وشو و درون یک پتری‌دیش پخش شدند. تعداد ۵۰ عدد ریشه‌ی یک سانتی‌متری انتخاب و مشاهده‌ی میزان آلودگی ریشه و محاسبه‌ی درصد کلونیزاسیون، با استفاده از دستگاه استریومیکروسکوپ در بزرگنمایی ×۵۰ بر اساس روش جیووانتی و موس (۱۱) انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل و میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد.

نتایج

وزن تر و خشک اندام هوایی

آربوسکولار میکوریزا توانست در هر دو موج گل‌دهی اثر مثبتی بر وزن تر و خشک ساقه‌ی گیاهان لیزیانتوس اعمال کند. بیشترین وزن تر و خشک ساقه در گیاهان تلقیح شده با آربوسکولار میکوریزا مشاهده شد. با این وجود بین گیاهان میکوریزی در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی در موج اول در بیشترین سطح فسفر (P_3) و کمترین سطح فسفر (P_1) و در موج دوم در بیشترین سطح فسفر تفاوت معنی‌داری در وزن تر و خشک ساقه مشاهده نشد. گیاهان تلقیح شده‌ی لیزیانتوس (در هر دو موج گل‌دهی) در سطح متوسط فسفر، بیشترین میانگین وزن تر و خشک ساقه را نسبت به گیاهان سایر تیمارها دارا بودند. گونه‌های مختلف قارچ و ترکیب بین دو گونه از نظر تأثیر بر وزن تر و خشک در هیچیک از سطوح فسفر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل‌های ۱- ج و - و).

ارتفاع ساقه

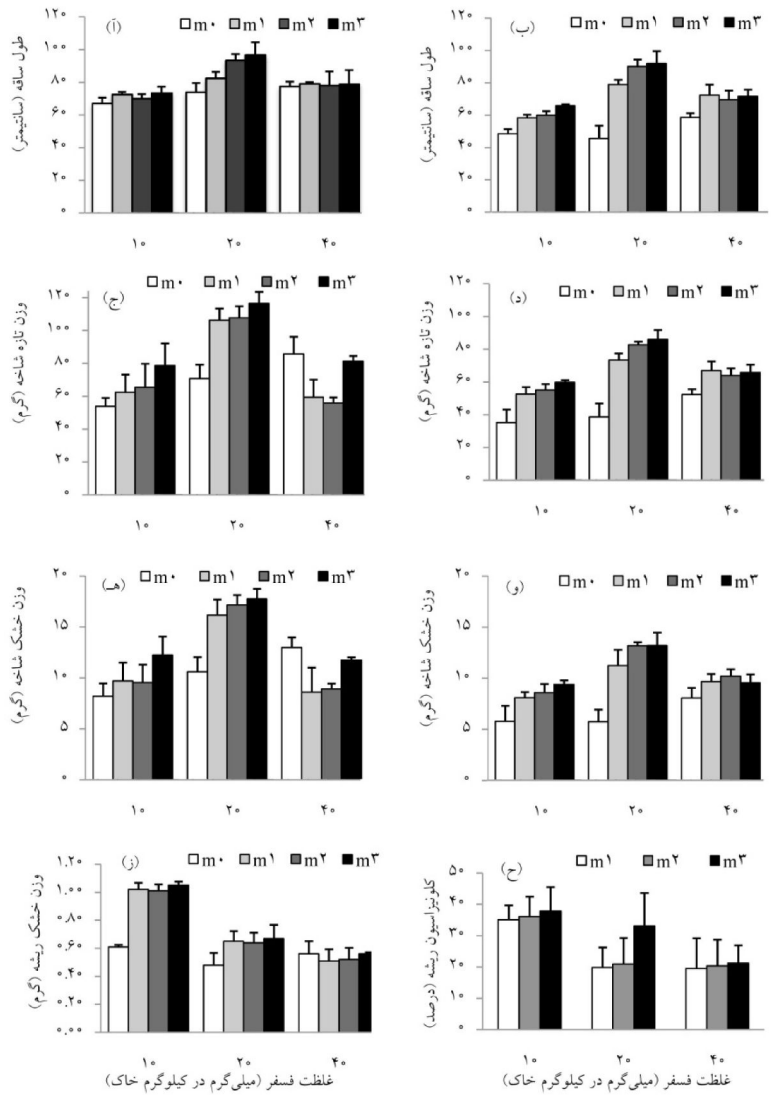
طبق نتایج حاصل، صرف‌نظر از نوع میکوریزای به‌کار رفته، افزایش فسفر سبب افزایش ارتفاع ساقه گردید. در مجموع، بین گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی در موج اول گل‌دهی فقط در سطح فسفر متوسط و در موج دوم علاوه بر سطح متوسط، در کمترین سطح فسفر نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین میانگین ارتفاع در گیاهان رشد یافته در سطح متوسط فسفر در گیاهان تلقیح شده با مخلوط *G. intraradices* + *G. mosseae* (۹۶/۴۱ و ۹۱/۹۵ سانتی‌متر) به‌ترتیب در موج‌های اول و دوم گل‌دهی ثبت شد که نشان می‌دهد این دو تیمار قارچی بهتر عمل کردند (شکل‌های ۱- آ و - ب).

تعداد ساقه‌ی گل‌دهنده

اثر متقابل تیمارهای مختلف بر تعداد ساقه‌ی لیزیانتوس در هیچیک از موج‌های اول و دوم معنی‌دار نبود (جدول ۲). اما مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد بین گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. تیمار با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا تعداد ساقه‌ی گیاهان لیزیانتوس را افزایش داد به طوری‌که بیشترین میانگین تعداد ساقه در گیاهان تیمار شده با *G. intraradices* + *G. mosseae* (۲/۲۸ و ۲/۸۵ به ترتیب در موج اول و دوم گل‌دهی) ثبت شد؛ به هر حال تفاوتی بین گیاهان غیرمیکوریزی و گیاهان تلقیح شده با *G. mosseae* و یا *G. intraradices* مشاهده نشد، و این نشان می‌دهد مخلوط دو قارچ از هر کدام از قارچ‌ها به تنهایی کارآتر است. هرچند در موج اول گل‌دهی افزایش سطح فسفری اثر معنی‌داری بر تعداد ساقه نداشت، اما در موج دوم گل‌دهی، افزایش سطح فسفر توانست به طور معنی‌داری تعداد ساقه را افزایش دهد (جدول ۳).

شاخص سطح برگ

تلقیح گیاهان با آربوسکولار میکوریزا توانست شاخص سطح برگ را به طور معنی‌داری افزایش دهد، هر چند *G. mosseae*



شکل ۱. اثر تلقیح میکوریزی بر برخی شاخص‌های رشد و درصد کلونیزاسیون ریشه در سطوح مختلف فسفر: m_0، m_1، m_2 و m_3 به ترتیب نشان دهنده‌ی عدم تلقیح، تلقیح با *G. mosseae*، *G. intraradices* و مخلوط دو گونه *G. mosseae* و *G. intraradices*.

(آ، ج، هـ ح و ز: موج اول گل‌دهی؛ ب، د و و: موج دوم گل‌دهی)

اثر معنی‌داری بر این شاخص اعمال نکرد (جدول ۳). افزایش سطح فسفر تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سبب افزایش سطح برگ شد.

وزن تر و خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثر متقابل فسفر و آربوسکولار میکوریزا در مورد وزن تر ریشه معنی‌دار نیست. اما مقایسه میانگین اثرهای ساده (جدول ۳) نشان داد که با افزایش سطح فسفر از ۱۰ به ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، وزن تر ریشه‌ی لیزیانتوس کاهش یافت. بیشترین میانگین وزن تر در کمترین سطح فسفر مشاهده شد. تلقیح گیاهان با آربوسکولار میکوریزا توانست تأثیر مثبتی بر وزن تر ریشه بگذارد و این شاخص را افزایش دهد. اما به هر حال گیاهان تلقیح شده با *G. mosseae* و گیاهان تلقیح نشده تفاوت معنی‌داری در این شاخص نداشتند. همان‌طور که شکل (۱- ز) نشان می‌دهد تلقیح گیاهان با آربوسکولار میکوریزا

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر فسفر و آربوسکولار میکوریزا بر برخی شاخص‌های رویشی و زینتی لیزیانتوس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (صفات)					
		سطح برگ	وزن تازه ریشه	طول ریشه	تعداد ساقه (۱)	تعداد ساقه (۲)	تعداد گل در ساقه (۱)
تکرار	۲	۱۰۴۳۰۲۱۰ ns	۲/۳۵ ns	۴۶۳۵۹۸ ns	۰/۶۴ ns	۰/۰۱ ns	۸/۱۱ ns
P	۲	۱۸۵۴۶۸۴۰۴ *	۱۵/۳۷ ***	۳۵۷۲۸۱۵ ***	۰/۳۸ ns	۰/۸۴ **	۳۴/۶۶ **
M	۳	۱۸۶۲۳۴۵۵۴ *	۲/۸۱ *	۹۶۰۰۰۵ *	۰/۴۲ *	۰/۷۱ **	۲۴/۷۹ **
P × M	۶	۶۲۴۱۹۶۲۵ ns	۰/۵۸ ns	۱۴۸۵۸۶ ns	۰/۰۸ ns	۰/۲۲ ns	۵/۳۱ ns
خطا	۲۲	۵۵۱۱۱۴۷۷	۰/۹۴	۳۱۴۳۲۷	۰/۱۲	۰/۱۷	۵/۵۲
ضریب تغییرات		۲۰/۵۸	۱۷/۱۰	۲۴/۷۸	۱۷/۳۲	۱۶/۰۲	۲۴/۶۳

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (صفات)					
		تعداد گل در ساقه (۲)	قطر گل	وزن تازه کل گل	وزن تازه گل	وزن خشک گل	عمر گلجای
تکرار	۲	۲۸/۱۲ *	۵/۳۲ ns	۴۷/۵۵ ns	۰/۱۱ ns	۰/۰۰ ns	۶/۸۶ ns
P	۲	۱۸/۷۳ *	۱/۴۸ ns	۴۳۸/۵۸ **	۰/۱۱ ns	۰/۰۱ ns	۱۲/۱۱ ns
m	۳	۱۹/۹۳ *	۱۰۸/۴ **	۲۵۸/۴۸ *	۰/۲۰ ns	۰/۰۰ ns	۰/۸۹ ns
P × m	۶	۱۴/۷۲ ns	۲۱/۴۹ ns	۶۴/۷۳ ns	۰/۱۶ ns	۰/۰۰ ns	۱/۲۲ ns
خطا	۲۲	۵/۲۹	۲۵/۱۵	۷۶/۷۰	۰/۱۴	۰/۰۰	۷/۴۴
ضریب تغییرات		۲۸/۱۳	۵/۵۱	۳۰/۹۳	۱۲/۶۹	۱۴/۳۵	۲۵/۰۴

[a] P، m و P × m به ترتیب نشان دهنده‌ی فسفر، تلقیح میکوریزی و اثر متقابل فسفر و تلقیح میکوریزی.

[b] (۱) و (۲) به ترتیب نشان دهنده‌ی موج‌های اول و دوم گل‌دهی است.

***، **، *و ns به ترتیب نشان دهنده‌ی معنی‌داری در سطوح ۰/۱، ۱ و ۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

توانست وزن خشک ریشه را به طور معنی‌داری افزایش دهد؛ اما این اثر فقط در کمترین سطح فسفر حاصل شد، به‌طوری که در سطوح زیاد فسفر هیچ اختلاف معنی‌داری بین گیاهان تلقیح شده و شاهد نبود. بین سه تیمار مختلف از نظر تأثیر بر وزن تر و خشک ریشه هیچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

طول ریشه

نتایج نشان می‌دهد طول ریشه بین سطوح متفاوت فسفر اختلاف نشان می‌دهد، به‌طوری که با افزایش سطح فسفر، طول ریشه کاهش معنی‌داری یافت. اثر تلقیح با آربوسکولار میکوریزا نیز معنی دار بود. تلقیح گیاهان لیزیانتوس با آربوسکولار میکوریزا توانست طول ریشه را به طور معنی داری افزایش دهد، به‌طوری که کمترین میزان طول ریشه در گیاهان تلقیح نشده به ثبت رسید. تیمارهای متفاوت آربوسکولار میکوریزا اثر یکسانی بر طول ریشه اعمال کردند (جدول ۳).

کلونیزاسیون ریشه

در گیاهان تلقیح نشده هیچ کلونیزاسیونی مشاهده نشد. در گیاهان تلقیح شده، با افزایش سطح فسفر در بستر کشت، درصد کلونیزاسیون به طور معنی‌داری کاهش یافت. نوع مایه تلقیح نیز اثر معنی‌داری بر درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها گذاشت، به نحوی که مخلوط دو قارچ (m_3) بهتر عمل کرد و بیشترین میزان کلونیزاسیون (۳۷/۸ درصد) در کمترین سطح فسفر و با همین ترکیب قارچی ثبت شد (شکل ۱- ح).

جدول ۳. اثر تلقیح با آربوسکولار میکوریزا و سطوح مختلف فسفر بر برخی شاخص‌های رویشی و زینتی لیزیانتوس

تیمار		سطح برگ (سانتی‌متر مربع در گیاه)	وزن تازه ریشه (گرم)	طول ریشه کل (سانتی‌متر)	تعداد ساقه در گیاه (۱)	تعداد ساقه در گیاه (۲)	تعداد گل در ساقه (۱[c])
فسفر[a]	P1	۳۶۱۰۰ ab	۶/۹۳ a	۲۸۴۳ a	۱/۸۳ b	۲/۳۳ b	۷/۹۲ b
	P2	۴۰۰۰۰ a	۵/۳۸ b	۲۱۸۴ b	۲/۱۹ a	۲/۵۲ ab	۱۱/۳۱ a
	P3	۳۲۱۳۷ b	۴/۷۲ b	۱۷۶۰ b	۲/۰۰ ab	۲/۸۵ a	۹/۳۷ ab
میکوریزا[b]	m_0	۳۱۱۱۹ b	۴/۸۶ b	۱۷۸۳ b	۱/۷۵ b	۲/۲۱ b	۷/۳۶ b
	m_1	۴۰۲۵۸ a	۵/۹۴ a	۲۳۴۶ a	۱/۹۷ ab	۲/۵۵ ab	۹/۳۹ ab
	m_2	۳۳۳۳۱ ab	۵/۷۸ ab	۲۴۱۳ a	۲/۰۳ ab	۲/۶۲ ab	۱۰/۰۷ a
	m_3	۴۰۲۵۸ a	۶/۱۲ a	۲۵۰۷ a	۲/۲۸ a	۲/۸۹ a	۱۱/۳۳ a

تیمار		تعداد گل در ساقه (۲)	قطر گل (میلی‌متر)	وزن تازه کل گل (گرم)	وزن تازه گل (گرم)	وزن خشک گل (گرم)	عمر گلجای (روز)
فسفر	P_1	۶/۸۲ b	۹۰/۹۲ a	۲۲/۴۴ b	۲/۸۴ a	۰/۴۹ a	۹/۸۳ a
	P_2	۸/۴۳ ab	۹۰/۵۹ a	۳۴/۵۱ a	۳/۰۲ a	۰/۵۵ a	۱۱/۰۰ a
	P_3	۹/۲۹ a	۹۱/۳۰ a	۲۸/۰۰ ab	۲/۹۳ a	۰/۵۰ a	۱۱/۸۳ a
میکوریزا	m_0	۶/۲۱ b	۸۵/۷۷ b	۲۱/۶۱ b	۲/۹۰ a	۰/۵۰ a	۱۰/۴۴ a
	m_1	۸/۰۸ ab	۹۲/۵۸ a	۲۸/۸۵ ab	۳/۰۴ a	۰/۵۲ a	۱۰/۸۹ a
	m_2	۸/۶۴ a	۹۲/۳۰ a	۲۸/۰۹ ab	۲/۷۳ a	۰/۵۱ a	۱۱/۱۱ a
	m_3	۹/۷۸ a	۹۳/۱۱ a	۳۴/۷۱ a	۳/۰۵ a	۰/۵۴ a	۱۱/۱۲ a

[a] P_1، P_2 و P_3 به ترتیب نشان دهنده‌ی ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک. [b] m_0، m_1، m_2 و m_3 به ترتیب نشان دهنده‌ی عدم تلقیح، تلقیح با *G. mosseae*، *G. intraradices* و مخلوط دو گونه *G. mosseae* و *G. intraradices*. [C] (۱) و (۲) به ترتیب نشان دهنده‌ی موج‌های اول و دوم گل‌دهی است. حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده‌ی عدم اختلاف معنی‌دار است.

تعداد گل در ساقه

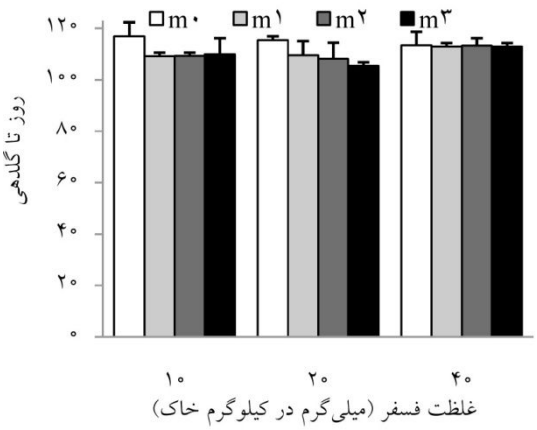
اثر متقابل تیمارهای مختلف آربوسکولار میکوریزا و سطوح مختلف فسفر بر تعداد گل در ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۲). اما مقایسه میانگین اثر ساده‌ی سطوح متفاوت فسفر نشان داد که اختلاف تعداد گل در ساقه معنی‌دار است. افزایش میزان فسفر باعث افزایش تعداد گل در ساقه شد، هر چند که بین تیمارهای P_2 و P_3 اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. تلقیح گیاهان با آربوسکولار میکوریزا گونه *G. intraradices* و مخلوط دو گونه *G. mosseae* و *G. intraradices* باعث افزایش معنی‌دار تعداد گل در ساقه در هر دو موج اول و دوم گل‌دهی شد (جدول ۳).

قطر گل

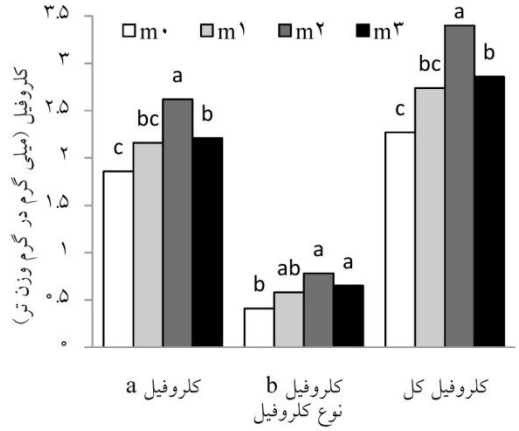
در قطر گل تیمارهای تلقیح شده با آربوسکولار میکوریزا و بدون میکوریزا اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳)، به نحوی که تلقیح با قارچ آربوسکولار میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح باعث افزایش قطر گل در گیاهان لیزیانتوس شد. در عین حال، تفاوت معنی‌داری بین گونه‌های مختلف آربوسکولار میکوریزا در مورد این شاخص مشاهده نشد. کمترین میزان قطر گل در گیاهان تلقیح نشده ثبت شد. همچنین، بین سطوح متفاوت فسفر نیز هیچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

تعداد روز لازم تا گل‌دهی

نتایج نشان داد که آربوسکولار میکوریزا اثر مثبتی بر تعداد روز



شکل ۲. اثر میکوریزا بر تعداد روز لازم تا گل‌دهی لیزیانتوس تحت سطوح مختلف فسفر. m_0، m_1، m_2 و m_3 به ترتیب نشان دهنده‌ی عدم تلقیح، تلقیح با *G. mosseae*، *G. intraradices* و مخلوط دو گونه *G. mosseae* و *G. intraradices*



شکل ۳. اثر آربوسکولار میکوریزا بر محتوای کلروفیل لیزیانتوس. m_0، m_1، m_2 و m_3 به ترتیب نشان دهنده‌ی عدم تلقیح، تلقیح با *G. mosseae* و *G. intraradices* و مخلوط دو گونه *G. mosseae* و *G. intraradices* است.

لازم تا گل‌دهی گیاهان لیزیانتوس دارد. به‌طوری که تعداد روز لازم تا گل‌دهی لیزیانتوس را به طور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۲). تلقیح گیاهان با مخلوط *G. intraradices* + *G. mosseae* در سطح متوسط فسفر باعث شد تا گیاهان لیزیانتوس ۱۲ روز زودتر نسبت به گیاهان تلقیح نشده در کمترین سطح فسفر به گل روند (شکل ۲).

عمر گلجای

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر هیچیک از تیمارها بر عمر گلجای گیاهان لیزیانتوس معنی‌دار نیست (جدول ۲).

محتوای کلروفیل

اثر متقابل فسفر و تلقیح میکوریزی در مورد هیچیک از شاخص‌های کلروفیل a، b و کل معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین اثرهای ساده نشان داد که تفاوت معنی‌داری در محتوای کلروفیل در سطوح مختلف فسفر وجود ندارد (شکل ۳). اما تلقیح با آربوسکولار میکوریزا به طور معنی‌داری محتوای کلروفیل را افزایش داد. بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل در گیاهان تلقیح شده با *G. intraradices* ثبت شد. به هر حال، محتوای کلروفیل گیاهان تلقیح شده با *G. mosseae* و گیاهان تلقیح نشده اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳).

بحث

کلونیزاسیون ریشه

با افزایش سطح فسفر، میزان کلونیزاسیون کاهش یافت (شکل ۱- ح) که با گزارش‌های بسیاری از محققین دیگر هم‌خوانی دارد (۲۵، ۲۸ و ۳۰). میزان کلونیزاسیون با بیشتر شدن میزان فسفر از یک سطح مشخص متوقف می‌شود و در سطوح زیاد فسفر هیچ آربوسکولی تشکیل نمی‌شود. بیان شده که کلونیزاسیون کمتر در سطوح زیاد فسفر ممکن است به دلیل کاهش رشد هیف قارچ باشد (۲۵).

پارامترهای رویشی

طول ساقه

بیشترین طول ساقه در گیاهان میکوریزی رشد یافته در سطح متوسط فسفر حاصل شد، که با نتایج پراساد و همکاران (۲۵) روی گیاه داوودی (*Chrysanthemum indicum* L.) هم‌خوانی دارد. افزایش طول ساقه در اثر تلقیح با آربوسکولار میکوریزا در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (۱۰ و ۲۵). افزایش

طول ساقه می‌تواند در نتیجه افزایش جذب عناصر باشد (۳). قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا می‌توانند با افزایش توان جذب آب و مواد معدنی توسط گیاه سبب تقویت رشد رویشی شوند و همچنین مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی را افزایش دهند (۲۹). سون و همکاران (۳۱) نیز بیان داشتند که گیاهان میکوریزی ارتفاع بیشتری دارند و این افزایش ارتفاع را به افزایش جذب عناصر به‌وسیله‌ی ریشه‌های میکوریزی نسبت دادند.

زیست‌توده گیاه

تلقیح با آربوسکولار میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار زیست‌توده گیاه لیزیانتوس شد. افزایش وزن خشک شاخه و ریشه با گزارش‌های محققین دیگر هم‌خوانی دارد (۱، ۲۴ و ۳۵). فنگ و همکاران (۸) طی مطالعه‌ای روی ذرت دریافتند که گیاهان میکوریزی در دو سطح کم و زیاد فسفر رشد بهتری دارند و به دنبال آن زیست‌توده بیشتری تولید می‌کنند. قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا می‌توانند جذب عناصر غذایی و در نتیجه رشد و وزن گیاه میزبان را افزایش دهند (۷ و ۱۳). افزایش سطح هورمون‌ها در همزیستی میکوریزی مشاهده شده است (۶). با افزایش این هورمون‌ها، به‌ویژه سایتوکینین، نرخ فتوسنتز از طریق عواملی همچون باز شدن روزنه‌ها، تأثیر بر انتقال یون‌ها و تنظیم مقدار کلروفیل بیشتر می‌شود (۱۴). زیاد شدن نرخ فتوسنتز می‌تواند با تحریک رشد سبب افزایش تولید زیست‌توده در گیاهان میکوریزی شود.

افزایش سطح برگ گیاهان لیزیانتوس میکوریزی با نتایج پراساد و همکاران (۲۵) و سون و همکاران (۳۱) هم‌خوانی دارد. تأثیر تلقیح با آربوسکولار میکوریزا در سطح برگ می‌تواند در ارتباط با اثر آن در افزایش جذب فسفر و طی آن افزایش رشد گیاه باشد (۲۷). افزایش جذب فسفر و نیتروژن در گیاهان میکوریزی در مطالعه حاضر مشاهده شد (نتایج ارائه نشده است). مطالعات نشان می‌دهند که غلظت نیتروژن در بافت گیاهان میکوریزی بیشتر است (۱۸). افزایش سطح برگ گیاهان میکوریزی در مطالعه‌ی حاضر همچنین ممکن است به دلیل افزایش میزان نیتروژن در بافت آن‌ها باشد.

طول ریشه

در این مطالعه، در تیمار تلقیح با میکوریزا، افزایش طول ریشه مشاهده شد که این نتیجه مشابه نتایج دیگر محققین بود (۲۵ و ۲۸). سون و همکاران (۳۱) در مطالعه‌ی اثر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا در گیاه داوودی (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) نشان دادند که تلقیح در مرحله‌ی انتقال با این قارچ‌ها طول ریشه را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. این محققین اظهار داشتند که افزایش جذب عناصر به‌وسیله‌ی ریشه‌های میکوریزی می‌تواند دلیل این امر باشد. آربوسکولار میکوریزا انشعابات ریشه را افزایش می‌دهد (۲) و در نتیجه، از این طریق نیز می‌تواند طول کل ریشه را افزایش دهد. همچنین، در مطالعه‌ی انجام شده، بیشترین میزان طول ریشه در کمترین مقدار فسفر حاصل شد. یکی از مکانیزم‌های ممکن در افزایش طول ریشه می‌تواند القای تغییرات مورفولوژیک ریشه (تولید بیشتر ریشه‌های موئین و انشعابات ریشه) برای تأمین نیاز فسفر گیاه باشد (۳۴).

محتوای کلروفیل

افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان تلقیح شده‌ی لیزیانتوس نسبت به گیاهان تلقیح نشده، با مطالعه‌ی دمیر (۵) هم‌خوانی دارد. این محقق نشان داد که میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در گیاهان تلقیح شده با *G. intraradices* به ترتیب ۱۴، ۱۲ و ۱۸ درصد نسبت به گیاهان تلقیح نشده بیشتر است. نتایج فوق توسط فنگ و همکاران (۸) در گیاه ذرت نیز گزارش شده است.

شاخص‌های زینتی

نتایج نشان می‌دهد که در تیمار تلقیح با قارچ‌های میکوریزا تعداد روز لازم برای گل‌دهی لیزیانتوس به طور معنی‌داری

کاهش یافت (شکل ۲). این اثر فوق‌العاده‌ی آربوسکولار میکوریزا در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (۲۴ و ۳۱). سوبرامانیان و همکاران (۳۲) طی پژوهشی روی گوجه‌فرنگی نشان دادند که تلقیح گیاهان با *Glomus intraradices* تعداد گل در بوته را نسبت به گیاهان تلقیح نشده به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. این محققین افزایش مشاهده شده در تعداد گل را به بهبود جذب آب و تغذیه نسبت دادند. همچنین، آربوسکولار میکوریزا رشد و نمو را تسریع می‌کند. بنابراین، گیاهان تلقیح شده زودتر به مرحله‌ی گل‌دهی می‌رسند (۲۴).

تعداد ساقه‌ی گل‌دهنده، تعداد گل در ساقه، قطر گل و وزن تازه کل گل‌ها در گیاهان میکوریزی به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد بیشتر بود. مطالعات نشان می‌دهند که تلقیح میکوریزی به‌طور قابل‌توجهی رشد رویشی و زایشی گیاهان زینتی را بهبود می‌بخشد (۳۱). افزایش وزن تر کل و قطر گل در گیاهان میکوریزی لیزیانتوس، با نتایج سون و همکاران (۳۱) هم‌خوانی دارد. همان‌طور که نتایج مشخص می‌سازد، گیاهان میکوریزی لیزیانتوس رشد بیشتری داشتند و به دنبال آن تعداد گل بیشتری تولید کردند. لی و بزاز (۱۷) بیان داشتند که تعداد گل تولیدی به‌وسیله‌ی گیاه با رشد گیاه و محتوای عناصر متناسب است. نتیجه مطالعه‌ی گور و همکاران (۱۰) در مورد *Petunia hybrida*، افزایش تعداد گل در گیاهان میکوریزی لیزیانتوس را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که رشد گیاهان لیزیانتوس تلقیح شده با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا به طور قابل توجهی بهبود یافت. البته این نتیجه در ارتباط با سطح فسفر مورد استفاده و نوع گونه قارچ آربوسکولار میکوریزا قابل ارزیابی است. باکیفیت‌ترین ساقه‌های گل (با زیست‌توده و ارتفاع بیشتر) در مخلوط دو گونه و نیز در سطح متوسط فسفر (۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) حاصل شد. ویژگی‌های کمی و کیفی گل از جمله تعداد ساقه‌ی گل‌دهنده، تعداد گل در ساقه، قطر گل و وزن کل گل تولیدی در تیمار با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بهبود یافت. مهم‌تر اینکه زمان لازم برای گل‌دهی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بنابراین، به‌کارگیری این قارچ‌ها برای تولیدکنندگان این گل شاخه بریده قابل توصیه می‌باشد.

منابع مورد استفاده

1. Al-Karaki, G.N. 1998. Benefit, cost and water-use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. Mycorrhiza 8(1): 41-45.
2. Berta, G., A. Fusconi and A. Trotta. 1993. VA mycorrhizal infection and the morphology and function of root systems. Environ. Exp. Bot. 33(1): 159-173.
3. Cooper, K.M. 1984. Physiology of VAM associations. PP. 155-186. *In:* Powell, C.L. and D.J. Bagyaraj (Eds.), VA Mycorrhiza, CRC Press, Inc.
4. Daft, M.J. and E. Hacskaylo. 1997. Growth of endomycorrhizal and nonmycorrhizal red maple seedlings in sand and anthracite spoil. Forest Sci. 23(2): 207-216.
5. Demir, S. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. Turk. J. Biol. 28: 85-90.
6. Edriss, M.H., R.M. Davis and D.W. Burger. 1984. Influence of mycorrhizal fungi on cytokinin production in sour orange. J. Am. Soc. Hort. Sci. 109(4): 587-590.
7. Eissenstat, D.M., J.H. Graham, J.P. Syvertsen and D.L. Drouillard. 1993. Carbon economy of sour orange in relation to mycorrhizal colonization and phosphorus status. Ann. Bot. 71(1): 1-10.
8. Feng, G., F.S. Zhang, X.L. Li, C.Y. Tian and C. Tang. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza 12: 185-190.
9. Garg, N. and S. Chandel. 2010. Arbuscular mycorrhizal networks: Process and functions. A review. Agron. Sustain. Dev. 30(3): 581-599.
10. Gaur, A., A. Gaur and A. Adholeya. 2000. Growth and flowering in *Petunia hybrida*, *Callistephus chinensis* and *Impatiens balsamina* inoculated with mixed AM inocula or chemical fertilizers in a soil of low P fertility. Sci. Hort.

84(1): 151-162.
11. Giovannetti, M. and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84(3): 489-500.
12. Harbaugh, B.K. 2007. Lisianthus. PP. 645-663. *In:* Anderson, N.O. (Ed.), Flower Breeding and Genetics, Springer.
13. Jeffries, P., S. Gianinazzi, S. Perotto, K. Turnau and J.M. Barea. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. Biol. Fert. Soils 37(1):1-16.
14. Johnson, C.R. 1984. Phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization, photosynthesis, growth and nutrient composition of *Citrus aurantium*. Plant Soil 80(1): 35-42.
15. Kaeppler, S.M., J.L. Parke, S.M. Mueller, L. Senior, C. Stuber and W.F. Tracy. 2000. Variation among maize inbred lines and detection of quantitative trait loci for growth at low phosphorus and responsiveness to arbuscular mycorrhizal fungi. Crop Sci. 40(2): 358-364.
16. Kafkas, S. and I. Ortas. 2009. Various mycorrhizal fungi enhance dry weights, P and Zn uptake of four Pistacia species. J. Plant Nutr. 32(1): 146-159.
17. Lee, T.D. and F.A. Bazzaz. 1982. Regulation of fruit maturation pattern in an annual legume, *Cassia fasciculata*. Ecol. 63: 1374-1388.
18. Leigh, J., A. Hodge and A.H. Fitter. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi can transfer substantial amounts of nitrogen to their host plant from organic material. New Phytol. 181: 199-207.
19. Lichtenthaler, H.K., and A.R. Wellburn. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. Biochem. Soc. Trans. 11: 591-592.
20. Lockeretz, W. 2007. Organic Farming: An International History. CABI, Wallingford, UK.
21. Mortimer, P.E., M.A. Pérez-Fernández and A.J. Valentine. 2008. The role of arbuscular mycorrhizal colonization in the carbon and nutrient economy of the tripartite symbiosis with nodulated *Phaseolus vulgaris*. Soil Biol. Biochem. 40(5): 1019-1027.
22. Ortas, I. 2003. Effect of selected mycorrhizal inoculation on phosphorus sustainability in sterile and non-sterile soils in the Harran Plain in South Anatolia. J. Plant Nutr. 26(1): 1-17.
23. Ortas, I. 2012. The effect of mycorrhizal fungal inoculation on plant yield, nutrient uptake and inoculation effectiveness under long-term field conditions. Field Crops Res. 125: 35-48.
24. Ortas, I., N. Sari, Ç. Akpinar and H. Yetisir. 2011. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. Sci. Hort. 128: 92-98.
25. Prasad, K., A. Aggarwal, K. Yadav and A. Tanwar. 2012. Impact of different levels of superphosphate using arbuscular mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* on *Chrysanthemum indicum* L. J. Soil Sci. Plant Nutr. 12(3): 451-462.
26. Raviv, M. 2010. The use of mycorrhiza in organically-grown crops under semi arid conditions: A review of benefits, constraints and future challenges. Symbiosis 52(2-3): 65-74.
27. Schmidt, B., M. Domonkos, R. Şumălan and B. Biró. 2010. Suppression of arbuscular mycorrhiza's development by high concentrations of phosphorous at *Tagetes patula* L. Res. J. Agric. Sci. 42(4): 156-162.
28. Schroeder, M.S. and D.P. Janos. 2005. Plant growth, phosphorus nutrition, and root morphological responses to arbuscular mycorrhizas, phosphorus fertilization, and intraspecific density. Mycorrhiza 15(3): 203-216.
29. Sharma, A. and S. Yadav. 2013. Review on role of vam fungi in crop plant-soil system. Int. J. Agric. Sci. Res. 3(1): 17-24.
30. Smith S.E. and D.J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd Edition, Academic Press, Cambridge.
31. Sohn, B.K., K.Y. Kim, S.J. Chung, W.S. Kim, S.M. Park, J.G. Kang, Y.S. Rim, J.S. Cho, T.H. Kim and J.H. Lee. 2003. Effect of the different timing of AMF inoculation on plant growth and flower quality of chrysanthemum. Sci. Hort. 98(2): 173-183.
32. 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. Hort. 107(3): 245-253.
33. Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. J. Ecol. 995-1001.
34. Wittenmayer, L. and W. Merbach. 2005. Plant responses to drought and phosphorus deficiency: Contribution of phytohormones in root-related processes. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168(4): 531-540.
35. Wright, D.P., J.D. Scholes and D.J. Read. 1998. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repens* L. Plant Cell Environ. 21(2): 209-216.