نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۸ شماره ۱ صفحه‌های ۸۳ تا ۹۴ / سال ۱۳۹۷

برهمکنش قارچ های میکوریز آربوسکولار و منابع آهن بر ویژگی‌های رشد و جذب عناصر غذایی پایه مکزیکن لایم

علیرضا شهسوار[۱*]، طارق مقدم[۲]، مهدی زارعی[۳]، الهام اصل مشتاقی[۴]

تاریخ دریافت:۹۵/۵/۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۳۱

۱-دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲-دانشجوی پیشین کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۳-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۴-دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Shahsava@shirazu.ac.ir

چکیده

به منظور مطالعه اثر قارچ‌های میکوریزی، منابع و سطوح مختلف آهن بر رشد و جذب عناصر غذایی پایه مکزیکن لایم(*Citrus aurantifolia* L) (که یکی از پایه‌های بسیار مهم مرکبات در مناطق جنوب کشور محسوب می‌شوند)، آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با سه فاکتور و چهار تکرار انجام گرفت. فاکتورها شامل قارچ میکوریز در سه سطح (شاهد بدون قارچ میکوریز، *Rhizophagus irregularis*، *Glomus versiforme*)، منابع آهن در دوسطح (کلات آهن و سولفات آهن) و هرکدام از این منابع در۳ سطح (۰، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم) بود. نتایج نشان داد که برهمکنش قارچ و منابع آهن به‌طور موثری باعث بهبود صفات رشدی و غلظت عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز گیاه می‌شود. نتایج نشان داد که در تیمارهای مایه‌زنی با قارچ، با افزایش سطوح آهن، غلظت عناصر غذایی آهن، روی، مس و منگنز در گیاه افزایش یافته است که احتمالا بدلیل اثرات متعادل کنندگی همزیستی میکوریزی بر غلظت عناصر غذایی در گیاه می‌باشد. تیمارهای کاربرد همزمان قارچ با سولفات آهن به‌نظر می‌رسد که بر روی صفات رشدی مختلف تاثیر مناسب داشته است و به‌جای کلات آهن یا در کاهش مصرف آن می‌تواند موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: آهن، پایه مکزیکن لایم، عناصر غذایی، مرکبات، همزیستی میکوریزی

Interaction between Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Iron Sources on Growth Parameters and Nutrients Uptake of Mexican Lime

ARShahsavar[1]*, T Moghadam[2], M Zarei[3], E Aslmoshtaghi[4]

Received:2016.07.28 Accepted: 2017.6.21
1- Assoc. Prof., Dept. of Horticulture Science, Faculty of Agric., Shiraz Univ., Shiraz, Iran
2-Former M.Sc. Student, Dept. of Horticulture Science, Faculty of Agric., Shiraz Univ, Shiraz, Iran
3- Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., Shiraz Univ., Shiraz, Iran
4- Ph.D. Student, Dept. of Horticulture Science, Faculty of Agric., Shiraz Univ., Shiraz, Iran
* Corresponding Author, Email: shahsava@shirazu.ac.ir

Abstract

In order to evaluate the effect of mycorrhizal fungi, different sources and levels of iron on growth and nutrients uptake in Mexican lime (*Citrus aurantifolia* L) (one of the important rootstock in citrus growing regions in south of Iran), greenhouse experiments were conducted with factorial arrangement in a completely randomized design with three factors and four replications. Treatments consisted of three levels of mycorhizal fungus (without fungal inoculation, inoculation with *Rhizophagus intraradices*, inoculation with *Glomus versiforme*), two sources of iron (iron chelate, iron solphate), and three iron levels (0, 7.5, 15 mg kg^{-1} Fe). The results indicated that co-application of mycorrhizal fungal species and iron sources improved plant growth charactrices and the concentration of nitrogen, potassium, iron, zinc, copper, and manganese. In the treatments inoculated with mycorrhizal fungi, with an increase in iron levels, the nutrient concentrations of iron, zinc, copper and manganese in soil were increased, likely because of the balancing effect of mycorrhizal symbiosis on nutrient concentrations in plants. It seemed that co-application treatments of fungi with iron sulphate were effective on different growth indices of plant and could reduce iron chelate consumption or be used instead of it.

Keywords: Citrus, Iron, Mexican Lime Rootstock, Mycorrhizal symbiosis, Nutrient elements,

مقدمه

ایران از کشورهای عمده تولیدکننده مرکبات به‌شمار می‌رود. مناطق مرکبات‌خیز ایران را به ۳ دسته تقسیم می‌کنند که شامل سواحل دریای خزر (این نواحی از گرگان تا آستارا کشیده شده)، ناحیه مرکزی (شامل استان‌های سیستان و بلوچستان، خوزستان، فارس، کرمان، کرمانشاه و منطقه جیرفت و کهنوج) و ناحیه بندرعباس و دریای عمان (حاشیه خلیج فارس و دریای عمان) می‌باشد (فتوحی‌قزوینی۱۹۹۹).

دستیابی به یک باغ مطلوب، متضمن انتخاب پایه‌ای است که سیستم ریشه مناسبی را تشکیل دهد. مکزیکن لایم با نام علمی *Citrus aurantifolia* L. در ایران به لیمو شیشه، لیموجهرمی، لیموعمانی، لیمو آب، لیمو شیرازی و نظایر آن‌ها معروف است و کاملاً با لیموی اورکاو[1] لیسبون[2] که آن‌ها هم لیموترش نامیده می‌شوند و در حقیقت لیموترش واقعی هستند تفاوت بسیار دارد ولی در زبان فارسی هر دو به نام لیموترش گفته می‌شود که از نظر علمی صحیح نمی‌باشد. این رقم بومی مکزیک است ولی اختلاف عقیده در این مورد وجود دارد و به همین دلیل این لایم در محافل بین‌المللی به سه نام

[1] Eureka lemon
[2] Lisbon lemon

Mexican Lime, Key Lime, West Indian Lime معروف است که در حقیقت یک رقم است و به شکل‌های گرد و کشیده دیده می‌شود. از ارقام گرمسیری مرکبات بوده و حساس‌ترین رقم آن به سرماست و به‌همین دلیل در مناطقی که درجه حرارت محیط آن در زمستان به صفر درجه می‌رسد با خطر سرمازدگی روبروست. میوه آن پر آب، بسیار اسیدی، با تعداد بذر محدود است. درخت آن چتری و پر محصول و از رشد زیادی برخوردار است. از سالیان دراز در ایران کشت می‌شده است آب و هوای گرم و عاری از سرما احتیاج دارد. مناطقی نظیر سرخون، میناب در بندرعباس، دشت جیرفت، ممسنی کشت خوبی دارد. حساس به تریستزا و شانکر باکتریایی می باشد (فتوحی قزوینی ۱۹۹۹). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با ریشه گیاهان مختلف ازجمله مرکبات رابطه همزیستی ایجاد می‌کنند و تأثیر گسترده‌ای بر رشد آنها دارند. ریشه‌های ضخیم مرکبات تمایل زیادی برای برقراری رابطه با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار دارند (گراهام و سیورتسین ۱۹۸۵). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار رایج ترین همزیستی بین گیاهان و ریزجانداران خاکزی می‌باشند. این قارچ‌ها دارای اثرات مهمی در رشد و نمو گیاهان و مقاومت آن‌ها در شرایط نامساعد محیطی هستند و به تقریب در تمام خاک‌ها وجود داشته و ۵ تا ۳۵ درصد زیست توده خاک و ۵ تا ۵۰ درصد زیست توده ریزجانداران خاک را در زمین‌های کشاورزی شامل می‌شوند (گوسلینگ و همکاران ۲۰۰۶، موکرجی و چاملا ۲۰۰۳). به طور کلی گیاهانی که دارای همزیستی میکوریزی هستند به دلیل این که عناصر غذایی و آب بیشتری از خاک جذب می‌کنند، رشد و عملکرد بهتری داشته و می‌توانند تحمل بیشتری در برابر تنش‌های محیطی اعم از تنش‌های زنده و غیرزنده داشته باشند (گراهام و سیورتسین ۱۹۸۴؛ دیویس و همکاران ۱۹۹۳). قارچ‌ها و وباکتریهای ریزوسفری محرک رشد گیاه از راههای مختلف مانند تولید فیتوهورمون‌ها، ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه و افزایش فرم قابل جذب عناصر غذایی می‌توانند بر رشد گیاه اثرات مثبت بگذارند (آیوجی ۲۰۰۴). تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که نیتروژن، پتاسیم، گوگرد، کلسیم، آهن و به خصوص عناصر غیر متحرک مثل فسفر، روی، مس و آمونیوم توسط هیف-های قارچ میکوریزجذب شده و به گیاه منتقل می‌شوند. در بین عناصر غذایی بیشترین نقش قارچ میکوریز در جذب فسفر است (فرول و همکاران ۲۰۰۲). استفاده از قارچ *Glomus versiforme* در دانهال‌های نارنگی می‌تواند میزان عناصر پتاسیم در برگ‌ها، کلسیم و منیزیم در برگ و ریشه را تحت تنش خشکی افزایش دهد (وو و زیا ۲۰۰۶). همچنین در پژوهشی دیگر قارچ *Glomus versiforme* نشان داد که می تواند جذب عناصر کلسیم، منیزیم و پتاسیم در دانهال‌های نارنج سه برگ تحت تنش خشکی را افزایش دهد (وو و همکاران ۲۰۱۱). استفاده از قارچ *Glomus etunicatum* در پسته باعث افزایش عناصر فسفر، پتاسیم، روی و مس در گیاهان دارای آب کافی و گیاهان تحت تنش خشکی و افزایش عناصر نیتروژن و کلسیم در گیاهان تحت تنش خشکی گردید، همچنین این قارچ نتوانست تغییری در غلظت منیزیم ایجاد کند (عباسپور و همکاران ۲۰۱۱). میزان عناصر فسفر، پتاسیم و کلسیم در برگ‌ها و فسفر، کلسیم و آهن در ریشه‌های دانهال نارنج دارای قارچ *Glomus versiforme* تحت شرایط آب کافی و تنش خشکی افزایش یافت (وو و زو ۲۰۰۹). استفاده از این قارچ منجر به اثرات مثبتی در جذب عناصر غذایی شده است. استفاده از قارچ *Rhizophagus intraradices* در پایه نارنج، میزان نیتروژن در برگهای بالغ و جوان، میزان کلسیم در برگهای جوان، میزان آهن و منیزیم در برگهای بالغ را نسبت به شاهد افزایش داد (سیویسترن و همکاران ۱۹۹۰). با استفاده از قارچ *Glomus versiforme*در پایه نارنج سه برگ، میزان عناصر پتاسیم، فسفر، آهن، کلسیم، منیزیم و مس در برگ و ریشه و میزان‌روی در ریشه و منگنز در برگ افزایش یافت. همچنین بیان شده است که کاربرد قارچ میکوریز همراه با پلی آمین در نارنج سه برگ، وزن خشک کل، غلظت پتاسیم وفسفر در برگ و غلظت آهن، روی، منیزیم وفسفر در ریشه را نسبت به گیاهان شاهد

افزایش داد (وو و همکاران ۲۰۰۶). استفاده از قارچ میکوریز آربوسکولار همراه با اضافه کردن سطوح متفاوت مس و روی در قهوه، میزان مس در ساقه و برگ گیاه تیمار شده با قارچ را افزایش داد، اما میزان روی وابسته به قارچ میکوریز نبود (آندراد و همکاران ۲۰۱۰). حقیقت نیا و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که کلنی سازی میکوریزی پایه مرکبات ولکامرانیا، بویژه تلقیح گیاه با گونه *Rhizophagus intraradices* بواسطه تأثیر مثبت بر پارامترهای مورفولوژیک، جذب عناصر غذایی (پتاسیم، فسفر و کلسیم)، مقدار کلروفیل و رطوبت نسبی آب برگ تحت شرایط تنش خشکی، سبب اصلاح مقاومت به تنش خشکی در گیاه گردیده است (حقیقت نیا و همکاران ۲۰۱۱). استفاده از *Glomus versiforme* برای پایه های نارنج سه برگ و نارنگی در پ‌هاش‌های مختلف باعث افزایش رشد گیاه، غلظت کلروفیل و آهن فعال شد. همچنین نسبت Fe/Pو نسبت 50(10P+K)/Feدر گیاهان تیمار شده با قارچ کم گردید. همچنین میزان فعالیت کلات‌های احیا کننده آهن در گیاهان میکوریزی بهبود یافت. نتایج آنها نشان می‌دهد که جذب و انتقال آهن در گیاهان میکوریزی بیشتر شده است و می‌تواند به عنوان راهکاری برای مشکل کمبود آهن در مرکبات استفاده شود (وانگ و همکاران ۲۰۰۸). استفاده از قارچ *Rhizophagus intraradices*در نارنگی کلئوپاترا به طور معنی‌داری میزان آهن و منگنز را در ریشه افزایش داد اما در میزان آهن و منگنز برگ و ساقه تاثیر معنی‌داری نداشت. همچنین میزان روی و مس نیز در ریشه ها افزایش یافت (دسنا و همکاران ۲۰۰۲). استفاده از قارچ *Glomus versiforme* در نارنگی ، باعث افزایش رشد گیاه، میزان کلروفیل برگ، میزان قند محلول، نسبت فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، محتوی رطوبتی آب می-شود. محتوی رطوبت نسبی در گیاهان تیمار شده با قارچ تحت هر نوع شرایط آبی(مناسب و نامناسب) افزایش می‌یابد (وو و همکاران ۲۰۰۶). .نتایج حاصل از اثر اسپری برگی کود Fe-EDDHA روی پرتقال واشنگتن ناول نشان داد که این کود باعث بهبود صفات کیفی و عملکرد پرتقال می‌شود. اسپری Fe-EDDHA باعث افزایش پتاسیم و آهن برگ می‌شود ولی روی، مس و منگنز برگ کاهش می‌یابد (ال-شازلی و همکاران ۲۰۰۰). یک رابطه منفی بین غلظت کل آهن و غلظت عناصر روی،مس و منگنز در نهال های هلو وجود دارد و غلظت آهن برگ‌ها با استفاده از کودهای سکوسترین و سولفات آهن افزایش می‌یابد (دسنا و همکاران ۲۰۰۲). هدف از این پژوهش بررسی پاسخ‌های رشدی و میزان جذب عناصر غذایی در پایه مکزیکن لایم به عنوان یک پایه مهم مرکبات جنوب کشور تحت تیمارهای مختلف آهن و در حضور و عدم حضور قارچ‌های *Rhizophagus intraradices* و *Glomus versiforme* می‌باشد.

مواد و روش‌ها

میوه لیموی آب شیرازی (*Citrus aurantifolia*) از یک - نهالستان معروف و قابل اعتماد در شهرستان خفر تهیه گردید. میوه ها به خوبی با آب شستشو داده شده و سپس با محلول ۱۰ درصد کلراکس (سفید کننده‌های تجاری که حاوی ۵٪ هیپوکلریت سدیم هستند) به مدت ۱۰-۱۵ دقیقه ضدعفونی شدند. سپس بذرها را از میوه ها جدا کرده و خشک شدند. جعبه های کشت حاوی بستری با نسبت حجمی ۶:۴ شامل پیت ماس: پرلایت آماده گردید. تعداد سیصد عدد از بذرهای لیمو در جعبه‌های کشت به صورت جداگانه کشت شدند. و به طور میانگین هر ۴ روز یکبارآبیاری شدند. بعد از گذشت سه ماه از کاشت، نهال‌های یکسان و هم اندازه جهت کشت اصلی به گلدان‌های مورد نظر انتقال یافتند. مقداری از افق A خاک به گلخانه منتقل شد. پس از خشک شدن در هوای آزاد و عبور از الک ۲ میلی‌متری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت خاک (گی و بادر ۱۹۸۶)، پ هاش در خمیر اشباع خاک به وسیله الکترود شیشه‌ای (توماس۱۹۹۶) و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (رودز ۱۹۹۶)، فسفر قابل جذب (اولسن و همکاران ۱۹۵۴) نیتروژن کل (برمنر۱۹۹۶)، پتاسیم با استات آمونیوم نرمال (کنودسن و همکاران ۱۹۸۲)، ماده آلی به روش اکسایش تر با اسید کرومیک و سپس تیتره کردن با فرو آمونیوم سولفات (نلسون وسامرز ۱۹۹۶)، غلظت آهن، مس، منگنز و روی با عصاره گیر دی. تی. پی آ. (لیندسی و نورول ۱۹۷۸) و به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه گیری و تعیین شد.

برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. بسترهای مورد استفاده در این تحقیق با استفاده از اتوکلاو در د مای ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴۵ دقیقه (بخارمرطوب)در کیسه های کنفی پاستوریزه شدند (صالحی و همکاران، ۲۰۰۸). گلدان‌های دارای زهکش انتخاب گردیده و به میزان۳/۵ کیلوگرم خاک به هر گلدان اضافه گردید. عناصر غذایی شامل سولفات روی، سولفات مس، مونو کلسیم فسفات و سولفات آمونیوم بر اساس آزمون خاک به خاک گلدان‌ها افزوده شد. مایه تلقیح قارچها از بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز تهیه شد. مایه تلقیح قارچ های *Rhizophagus intraradices* (Ri) و*Glomus versiforme* (Gv) با گیاه ذرت بعنوان میزبان تکثیر گردید. برای تلقیح قارچ های میکوریز آربوسکولار مقدار ۵۰ گرم از مایه تلقیح قارچها شامل اسپور (۱۲-۹اسپور در هر گرم بستر)،هیف و قطعات کلنیزه شده (۸۵-۸۰ درصد) و کلنیزه نشده ریشه‌ای در عمق ۵ سانتی متری از خاک گلدان قرار داده شد و با خاک زیر مخلوط گردید. به منظور حفظ جمعیت میکروبی غیر از قارچ میکوریز و یکسان شدن وزن گلدان‌ها، مقدار ۵۰ گرم از بستر گلدان‌های شاهد تلقیح نشده با قارچ که در مرحله کشت تکثیر نگهداری شده بودند به تیمارهای بدون قارچ در کشت اصلی اضافه گردید. دان‌نهال‌ها به تعداد یک عدد در هر گلدان قرار داده شد. پس از گذشت یک ماه تیمارهای آهن (کلات و سولفات آهن) به صورت کاربرد خاکی با غلظتهای مورد نظر ۰، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک اعمال گردید و پس از گذشت ۶ ماه از تیمار قارچی برداشت صورت گرفت. آبیاری گیاهان هفته‌ای یکبار انجام شد. ۶ ماه بعد از اعمال تیمارهای قارچ و آهن درجه سبزی برگ با دستگاه کلروفیل‌سنج[3]، میزان فتوسنتز خالص به وسیله دستگاه فتوسنتز متر[4]اندازه‌گیری گردید. رنگ آمیزی و اندازه گیری درصد کلنیزاسیون ریشه به روش کورمانیک و مک گرو (۱۹۸۲) انجام گردید. اندام‌های گیاه با استفاده از آب مقطر شستشو و در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا زمانی که وزن خشک آن‌ها ثابت شود قرار داده شدند. در ادامه وزن خشک اندام هوایی (برگ و ساقه) و ریشه محاسبه گردید. اندام هوایی (برگ و ساقه) خشک توسط آسیاب پودر شده و برای اندازه گیری غلظت عناصرمورد استفاده قرار گرفت. یک گرم از نمونه های پودر شده در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس در کوره الکتریکی خاکستر شده و سپس در ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال حل کرده و محلول حاصله صاف شده و پس از شستشوی مواد باقیمانده بر سطح کاغذ صافی با آب مقطر، حجم نهایی به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. غلظت فسفر به روش مولیبدات وانادات (کیو ۱۹۹۶)،غلظت‌های مس، روی، منگنز و آهن توسط دستگاه جذب اتمی[5] غلظت نیتروژن به روش کلدال (برمنر ۱۹۹۶) و همچنین غلظت پتاسیم (کیو ۱۹۹۶)با دستگاه شعله سنجی نوری[6]اندازه‌گیری شدند. تجزیه آماری با نرم افزار SPSS ver.16 و مقایسه میانگین با آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج اثرات قارچ‌های Ri و Gv در برهمکنش با منابع آهن بر وزن خشک شاخساره مکزیکن لایم نشان داد که بیشترین وزن خشک شاخساره مربوط به تیمار قارچ Ri با سطح کلات آهن ۱۵ بود (۶/۶۱ گرم) و از نظر آماری با تیمار بدون قارچ و آهن به طور معنی‌داری افزایش داشت و کمترین وزن خشک شاخساره در تیمار بدون قارچ و بدون سولفات آهن بود. نتایج اثرات قارچ Ri و Gv در برهمکنش با منابع آهن بر وزن خشک ریشه مکزیکن لایم نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار قارچ Gv با سطح سولفات آهن ۱۵ بود (۵ گرم) و از نظر آماری با تیمار بدون قارچ و بدون آهن به طور معنی داری تفاوت داشت و کمترین وزن خشک ریشه در تیمار بدون قارچ و بدون سولفات آهن بود (جدول ۲).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

مشخصات خاک	واحد	نوع/مقدار
بافت خاک		لوم رسی شنی
pH		۷/۹۶
ECe	($dS\ m^{-1}$)	۰/۳۳
OM	(%)	۰/۹۳
P**	($mg\ kg^{-1}$)	۹
Fe*	($mg\ kg^{-1}$)	۲/۶۶
Mn*	($mg\ kg^{-1}$)	۴/۳۰
Zn*	($mg\ kg^{-1}$)	۰/۹۷
Cu*	($mg\ kg^{-1}$)	۱/۵

*قابل استخراج با دی.تی.پی.ا **قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم

[3] SPAD-502
[4] Lci
[5] Shimatzu AA-670
[6] Jenway-pep7

نتایج نشان می‌دهد که در حضور قارچ‌های Gv و Ri و منابع آهن بر افزایش وزن خشک ریشه تاثیر مناسبی دارند (جدول ۲). قارچ های Gv و Ri در اثر بهبود جذب آب و عناصر غذایی سبب رشد ساقه میشوند. گزارش‌های متعددی وجود دارد که قارچ های Gv وRi می‌توانند با گسترش هیف های خود بر روی تارهای کشنده سبب بهبود جذب آب و عناصر غذایی گردد و یا به طور غیر مستقیم با تحریک ریشه سبب گسترش آن در خاک گردد و در نتیجه سبب دسترسی ریشه به منابع آبی و غذایی اطراف خود شود (وانگ و همکاران ۲۰۰۸). نتایج این پژوهش نشان داد که قارچ-های Gv و Ri سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه می‌شود که به علت تحریک به رشد ریشه و همچنین ذخیره کربوهیدرات‌ها در ریشه می‌باشد. گزارش‌های متعددی وجود دارد که قارچ‌های Gv و Ri سبب افزایش وزن ریشه می‌گردند. نتایج این پژوهش با پژوهش وانگ و همکاران (۲۰۰۸) همسویی دارد. تلقیح گونه‌های مختلف مرکبات با قارچ های میکوریزی مختلف می‌تواند کلنیزاسیون ریشه گیاه را افزایش دهد (وانگ و همکاران ۲۰۰۸، پیکاو و همکاران ۲۰۰۷، نوگیورا و همکاران ۲۰۰۶). نتایج اثرات قارچهای Ri و Gv در برهمکنش با منابع آهن نشان داد که بیشترین کلنیزاسیون ریشه مربوط به تیمار حضور قارچ Gv با سطح کلات آهن ۷/۵ بود (۷۵/۷ درصد) و از نظر آماری با تیمار بدون قارچ و بدون آهن به طور معنی-داری تفاوت داشت و کمترین کلنیزاسیون ریشه در تیمار بدون قارچ و تمامی سطوح آهن بود. همچنین نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد حضور هر دو گونه قارچ سطح ۷/۵ منابع کلات و سولفات آهن در افزایش کلنیزاسیون به‌طور معمول مؤثرتر از سطح ۱۵ بود (جدول ۲). یکی از شاخص‌های مهم فعالیت قارچ‌های میکوریزی، میزان کلنیزاسیون سیستم ریشه‌ای گیاه توسط این قارچ‌ها می‌باشد. کلنیزه شدن گیاهان بوسیله قارچ سبب تنظیم اسمزی بهتر و بهبود وضعیت آب گیاه می‌شود. قارچ باعث افزایش میزان جذب آب در گیاه نسبت به تیمارهای بدون قارچ می شود و افزایش جذب آب، سبب تورژسانس در سلول‌ها می-گردد که خود یک عامل محرک در طویل شدن سلول ها است. قارچ سبب گسترش سیستم هیف در اطراف ریشه و متعاقباً افزایش تماس ریشه با خاک می‌شود و در نتیجه توانایی جذب آب در آنها بیشتر می‌گردد.

علاوه بر این قارچ موجب افزایش جذب عناصر غذایی از خاک و افزایش فعالیت آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی می‌گردد که سبب افزایش رشد ریشه و اندام هوایی و عملکرد ماده خشک آنها می‌باشد (وو و زیا ۲۰۰۶). قارچ Gv توانست کلنیزاسیون ریشه دو پایه نارنگی و نارنج سه برگ را تحت تیمار کلات آهن در پهاش‌های مختلف افزایش دهد (وانگ و همکاران ۲۰۰۸). خاد و همکاران (۲۰۰۹)گزارش کردند که استفاده از قارچ های میکوریز آربوسکولار می‌تواند باعث افزایش کلنیزاسیون ریشه در دانهال‌های پاپایا شود.

بیشترین کلروفیل مربوط به تیمار قارچ Gv با سطح سولفات آهن ۱۵ بود (۲/ ۵۵میلی‌گرم برگرم وزن تر). نتایج نشان می‌دهد که در حضور قارچ‌های Ri و Gv و افزایش سطوح منابع مختلف آهن شاخص کلروفیل افزایش می‌یابد. همچنین در صورت عدم وجود قارچ با افزایش سطوح سولفات آهن شاخص کلروفیل نیز افزایش می‌یابد (جدول۲). نتایج نشان داد که بیشترین فتوسنتز مربوط به تیمار حضور قارچ Gv با سطح سولفات آهن ۱۵ بود (۴/۳۸ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) و کمترین فتوسنتز در تیمار بدون قارچ و بدون سولفات آهن بود. نتایج نشان می‌دهد با وجود قارچ Gv با افزایش سطوح منابع مختلف آهن میزان فتوسنتز افزایش می-یابد (جدول۲). شاخص کلروفیل در گیاه به طور معمول بازتابی از میزان آهن در گیاه می‌باشد. درصورتی که میزان آهن در گیاه به حد کافی نباشد سنتز پیش سازهای کلروفیل مختل می‌شود (وانگ و همکاران ۲۰۰۸).

در این پژوهش به دلیل وجود منابع و سطوح مختلف آهن، شاخص کلروفیل گیاه نسبت به گیاهان شاهد افزایش پیدا کرد. همچنین مشخص شده‌است که قارچ های میکوریز آربوسکولار می‌توانند با بهبود صفات رشدی و با افزایش جذب عناصر مانند منیزیم، آهن و نیتروژن سبب ساخت بیشتر کلروفیل شوند (وو و همکاران ۲۰۰۶؛وانگ و همکاران ۲۰۰۸؛ ارتاس و همکاران ۲۰۰۶) که این گزارش‌ها با پژوهش حاضر همسویی دارد. همچنین اثرات مثبت قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و آهن بر روی بهبود فتوسنتز گیاه نیز گزارش شده است (وانگ و همکاران ۲۰۰۸).

جدول ۲- اثر قارچ‌های *Rhizophagus intraradices* و *Glomus versiforme* در غلظت‌های مختلف کلات و سولفات آهن بر وزن خشک اندام هوایی، ریشه، کلنیزاسیون ریشه، شاخص کلروفیل و فتوسنتز مکزیکن لایم.

	سولفات آهن mgFe kg^{-1}			کلات آهن mgFe kg^{-1}		
	۰	۷/۵	۱۵	۰	۷/۵	۱۵
	وزن خشک اندام (g pot^{-1}) هوایی					
NM	۱/۳۷^{i}	۱/۹۲^{i}	۲/۸۴^{gh}	۱/۸^{i}	۳/۱۹^{gh}	۱/۸۲^{i}
Gv	۴/۴^{de}	۴/۹۹^{cd}	۵/۹۴^{b}	۳/۹۸^{ef}	۳/۴۷^{fg}	۴/۸۲^{cd}
Ri	۴/۰۱^{def}	۵/۳۱^{bc}	۴/۹۶^{cd}	۴/۸۲^{cd}	۵/۷۰^{b}	۶/۶۱^{a}
	وزن خشک (g pot^{-1}) ریشه					
NM	۱/۸۵^{f}	۲/۰۲^{f}	۳/۵۴^{e}	۱/۹۶^{f}	۳/۸۴^{cde}	۱/۷۱^{f}
Gv	۴/۳۸^{bcd}	۳/۸^{de}	۵^{a}	۴/۵^{abc}	۳/۶۸^{e}	۳/۹۹^{cde}
Ri	۳/۵۴^{e}	۳/۳۱^{e}	۳/۵۷^{e}	۳/۳۳^{e}	۴/۶۲^{ab}	۴/۵۱^{abc}
NM	۰^{i}	۰^{i}	۰^{i}	۰^{i}	۰^{i}	۰^{i}
Gv	۵۵^{e}	۷۲^{b}	۶۰/۷^{d}	۵۹/۵^{d}	۷۵/۷^{a}	۶۴/۳^{c}
Ri	۴۵/۶^{h}	۵۵/۲^{e}	۵۱/۲^{fg}	۴۸/۳^{gh}	۶۷^{c}	۶۷/۸^{c}
	شاخص کلروفیل					
NM	۳۱/۴۷^{g}	۳۶/۰۵^{g}	۴۲/۸۷^{ef}	۳۱/۳۵^{g}	۵۰/۳۲^{bc}	۴۷/۲۲^{cde}
Gv	۳۶/۲۷^{g}	۴۷/۹۷^{cd}	۵۵/۲^{a}	۴۱/۵^{f}	۴۹/۹^{bc}	۵۴/۳^{ab}
Ri	۳۲/۳^{g}	۴۴/۷^{def}	۴۶/۲^{cde}	۳۵^{g}	۵۳/۳^{ab}	۵۳/۸۵^{ab}
	فتوسنتز (μmol CO_2. m^{-2}s^{-1})					
NM	۰/۶۷^{f}	۲/۴^{bcde}	۲/۵^{bcd}	۱/۶۱^{cdef}	۱/۸۱^{cdef}	۱/۸۱^{cdef}
Gv	۰/۸۵^{ef}	۲/۸^{bc}	۴/۳۸^{a}	۱/۱۸^{def}	۲/۵۳^{bcd}	۲/۶۷^{bcd}
Ri	۱/۸۴^{cdef}	۳/۷۴^{ab}	۲/۰۱^{bcd}	۱/۱۹^{def}	۲/۵۹^{bcd}	۱/۱^{def}

میانگین‌های که دارای حروف مشابه (حروف کوچک مربوط به برهمکنش، حروف بزرگ مربوط به اثرات اصلی) هستند، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

NM :عدم تلقیح قارچ، ***Gv*:*Glomus versiforme*، *Ri*: *Rhizophagus intraradices*.**

یکی از شاخص‌های فیزیولوژیک مهم که به محتوای کلروفیل گیاه وابسته است، فتوسنتز می‌باشد. قارچ میکوریز از طریق ایجاد روابط همزیستی با گیاه درجذب کارآمد برخی عناصر مانند فسفر، که به عنوان عنصری کلیدی در انتقال انرژی طی فرآیند فتوسنتز مطرح است، افزایش محتوای کلروفیل و به دنبال آن افزایش فتوسنتز می‌باشد (ارتاس و همکاران ۲۰۰۶). تانگ و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی خود روی گیاه ذرت مشاهده کردند که مایه زنی ذرت با قارچ، مقدار کلروفیل و فتوسنتز گیاه را افزایش داد. آن‌ها علت این امر را به افزایش جذب نیتروژن توسط گیاهان میکوریزی نسبت داده‌اند.

جدول ۳- اثر قارچ‌های *Rhizophagus intraradices* و *Glomus versiforme* در غلظت‌های مختلف کلات و سولفات آهن بر میزان نیتروژن، پتاسیم، فسفر و روی اندام هوایی مکزیکن لایم.

	سولفات آهن mgFe kg^{-1}			کلات آهن mgFe kg^{-1}		
	۰	۷/۵	۱۵	۰	۷/۵	۱۵
	نیتروژن (٪)					
NM	۱/۲۸^{ef}	۱/۲۴^{ef}	۱/۲۹^{ef}	۱/۱۵^{f}	۱/۴۷^{def}	۱/۷۹^{cdef}
Gv	۲/۱^{cdef}	۲/۲۲^{abcd}	۲/۳۱^{abcd}	۲/۶۴^{abc}	۲/۷۴^{abc}	۳/۱۷^{a}
Ri	۱/۹۴^{cdef}	۲/۵^{abc}	۲/۶^{abc}	۲/۴^{abcd}	۲/۴۶^{abcd}	۲/۹^{a}
	پتاسیم (٪)					
NM	۱/۳۲^{fg}	۱/۱۶^{g}	۱/۱۹^{fg}	۱/۳۵^{fg}	۱/۸۵^{def}	۲/۲^{cd}
Gv	۱/۸۵^{def}	۱/۷^{defg}	۲/۱۱^{de}	۲/۰۹^{de}	۲/۷^{cd}	۲/۷۸^{abc}
Ri	۱/۵^{efg}	۲/۲۵^{cd}	۱/۷^{defg}	۲/۷۶^{abc}	۲/۹۹^{ab}	۳/۳۱^{a}
	فسفر (٪)					
NM	۰/۹^{efgh}	۰/۷۴^{fghi}	۰/۳۳^{j}	۰/۹۱^{efgh}	۰/۷^{ghi}	۰/۵^{ij}
Gv	۲/۴۸^{b}	۱/۱^{ef}	۱/۵۲^{cd}	۳/۰۶^{a}	۱/۶۵^{c}	۱/۰۹^{ef}
Ri	۲/۸^{a}	۱/۲۳^{de}	۱/۰۳^{efg}	۲/۸۳^{a}	۱/۵^{cd}	۱/۱^{ef}
	روی (mg kg^{-1})					
NM	۲۱^{ef}	۳۰/۵^{de}	۲۸/۷^{def}	۱۶/۲^{f}	۱۹/۷^{f}	۳۶/۵^{cde}
Gv	۳۸/۶^{cde}	۴۵/۸^{cde}	۵۲/۱۷^{cde}	۶۳/۹^{cde}	۶۵/۶^{cde}	۱۳۳^{b}
Ri	۳۲/۱^{de}	۶۵/۱^{cde}	۹۶/۶^{bcd}	۴۶/۷^{cde}	۱۴۹/۶^{b}	۲۴۲/۳^{a}

میانگین‌های که دارای حروف مشابه (حروف کوچک مربوط به برهمکنش، حروف بزرگ مربوط به اثرات اصلی) هستند، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

NM :عدم تلقیح قارچ، ***Gv*:*Glomus versiforme*، *Ri*: *Rhizophagus intraradices*.**

نتایج اثرات قارچ‌های Ri و Gv در برهمکنش با منابع آهن بر میزان نیتروژن مکزیکن لایم نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن مربوط به تیمار قارچ Gv با سطح کلات آهن ۱۵ بود (۱۷/ ۳ درصد) و کمترین میزان نیتروژن در تیمار بدون قارچ و بدون کلات آهن بود. نتایج نشان می‌دهد که در حضور قارچ‌های Ri و Gv و افزایش سطوح منابع مختلف آهن میزان نیتروژن افزایش می‌یابد همچنین با افزایش سطوح مختلف کلات آهن در صوررت وجود قارچ Gv و Ri یا عدم وجود قارچ میزان نیتروژن افزایش می‌یابد. در صورت حضور قارچ نیز با افزایش سطوح سولفات آهن میزان نیتروژن افزایش می‌یابد (جدول۳).

نتایج اثرات قارچ Ri و Gv در برهمکنش با منابع آهن بر پتاسیم مکزیکن لایم نشان داد که بیشترین میزان پتاسیم مربوط به تیمار حضور قارچ Ri با سطح کلات آهن ۱۵ بود (۳/۳۱میلی گرم برکیلوگرم ماده خشک) و از نظر آماری با تیمار بدون قارچ و بدون آهن به طور معنی‌داری تفاوت داشت و کمترین میزان پتاسیم در تیمار بدون قارچ و بدون سولفات آهن بود. نتایج نشان می‌دهد که در حضور قارچ و افزایش سطوح منابع مختلف آهن میزان پتاسیم افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش سطوح مختلف کلات آهن در صوررت وجود قارچ یا عدم وجود قارچ میزان پتاسیم افزایش می‌یابد . همچنین نتایج نشان می‌دهد که در صورت عدم وجود قارچ سطوح مختلف سولفات آهن

تاثیر چندانی بر غلظت پتاسیم ندارند (جدول ۳). نتایج اثرات قارچ‌های Ri و Gv در برهمکنش با منابع آهن بر فسفرمکزیکن لایم نشان داد که بیشترین میزان فسفرمربوط به تیمار قارچ Gv و عدم حضورکلات آهن بود (۳/۰۶میلی گرم برکیلوگرم ماده خشک) و کمترین فسفر در تیمار بدون قارچ و سطح ۱۵ سولفات آهن بود. نتایج نشان می‌دهد که در قارچ‌های Ri و Gv و افزایش سطوح منابع مختلف آهن میزان فسفر کاهش می‌یابد (جدول ۳).

نتایج اثرات قارچ Ri وGv در برهمکنش با منابع آهن بر میزان روی مکزیکن لایم نشان داد که بیشترین میزان روی مربوط به تیمار حضور قارچ Gv با سطح کلات آهن ۱۵ بود (۲۴/۳میلی گرم برکیلوگرم ماده خشک) و کمترین میزان روی در تیمار بدون قارچ و بدون کلات آهن بود نتایج نشان می‌دهد که در حضور قارچ های Ri و Gv و افزایش سطوح منابع مختلف آهن میزان روی افزایش می‌یابد همچنین با افزایش سطوح مختلف کلات آهن در صوررت وجودقارچGv و Ri یا عدم وجود قارچ میزان روی افزایش می‌یابد. در صورت حضور قارچ نیز با افزایش سطوح سولفات آهن میزان روی افزایش می‌یابد (جدول ۳).

بیشترین میزان آهن مربوط به تیمار قارچ Ri با سطح کلات آهن ۷/۵ بود (۲۳۵/۱میلی گرم برکیلوگرم ماده خشک) و کمترین میزان آهن در تیمار بدون قارچ و بدون کلات آهن بود. نتایج نشان می‌دهد که حضور قارچ های Ri و Gv بر میزان آهن اثرات معنی‌داری دارد. نتایج مشخص می‌کند در صورت عدم حضور قارچ های مختلف با افزایش سطوح مختلف منابع آهن، میزان آهن افزایش می یابد (جدول ۴).

بیشترین میزان مس مربوط به تیمار حضور قارچ Gv با سطح سولفات آهن ۱۵ بود (۶۰/۳میلی گرم برکیلوگرم ماده خشک) و کمترین میزان مس در تیمار بدون قارچ و بدون سولفات آهن بود. نتایج نشان می-دهد که حضور قارچ‌های Ri و Gv بر میزان مس اثرات معنی‌داری دارد و با افزایش سطوح آهن میزان مس افزایش می‌یابد (جدول۴).

جدول ۴- اثر قارچ‌های *Rhizophagus intraradices* و *Glomus versiforme* در غلظت‌های مختلف کلات و سولفات آهن بر میزان آهن، مس و منگنز اندام هوایی مکزیکن لایم.

	سولفات آهن mgFe kg^{-1}			کلات آهن mgFe kg^{-1}		
	۰	۷/۵	۱۵	۰	۷/۵	۱۵
			آهن (mg kg^{-1})			
NM	۳۱/۲^{fg}	۳۴/۱f^{g}	۳۷/۲^{fg}	۲۳/۶^{g}	۳۴/۵^{fg}	۳۶/۲^{fg}
Gv	۷۹^{defg}	۱۴۰/۴^{bcd}	۱۷۲/۹^{b}	۷۴/۷e^{fg}	۱۵۰/۹^{bc}	۱۴۶/۴^{bc}
Ri	۹۶/۹۳^{cef}	۱۵۷/۵^{bc}	۱۸۱/۴^{ab}	۷۰/۸e^{fg}	۲۳۵/۱^{a}	۱۲۴/۶^{bcde}
			مس (mg kg^{-1})			
NM	۳۳/۱^{g}	۴۴/۸^{e}	۵۲/۱^{d}	۳۳/۵^{g}	۴۳/۹^{e}	۴۵/۳^{e}
Gv	۵۶/۲^{bc}	۵۵/۴^{bc}	۶۰/۳^{a}	۴۰/۴^{f}	۵۷/۶^{abc}	۵۸/۶^{ab}
Ri	۴۲/۹^{ef}	۵۲/۱^{d}	۵۵/۸^{bc}	۴۰/۵^{f}	۵۵/۱^{c}	۵۶/۵^{bc}
			منگنز (mg kg^{-1})			
NM	۲۶/۴^{g}	۲۵/۷^{g}	۲۵/۳^{g}	۲۱/۲^{h}	۲۸/۹^{f}	۰/۳^{f}
Gv	۱۶/۲^{i}	^{a}۳۹	۳۶/۴^{bc}	۲۱/۳^{h}	۳۲/۸^{e}	۳۲/۳^{e}
Ri	۲۶^{g}	۳۵/۲^{cd}	۳۴/۱^{de}	۳۰/۴^{f}	۳۶/۱^{bc}	۳۷/۸^{ab}

میانگین‌های که دارای حروف مشابه (حروف کوچک مربوط به برهمکنش، حروف بزرگ مربوط به اثرات اصلی) هستند، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

NM :عدم تلقیح قارچ، ***Gv*:*Glomus versiforme*، *Ri*: *Rhizophagus intraradices*.**

نتایج نشان داد که بیشترین میزان منگنز مربوط به تیمار حضور قارچ Gv با سطح سولفات آهن ۷/۵ بود (۳۹میلی گرم برکیلوگرم ماده خشک) و کمترین میزان منگنز در تیمار بدون قارچ و بدون کلات آهن بود. نتایج نشان می‌دهد که حضور قارچ‌های Ri و Gv در برهمکنش با سطوح مختلف منابع آهن اثرات مثبتی بر غلظت منگنز دارد (جدول ۴).

در این پژوهش مشخص شده است که برهمکنش تیمارهای قارچ و آهن باعث بهبود غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز می‌شود. با افزایش سطوح آهن کاربردی غلظت‌های عناصر کم مصرف روی، مس و منگنز کاهش نیافته بلکه افزایش داشته است. گزارش شده است که با کاربرد برخی عناصر بدلیل اثرات آنتاگونیستی، غلظت عناصر دیگر کاهش می‌یابد (ال-شازلی و همکاران ۲۰۰۰ ، ارتاس و همکاران ۲۰۰۶). بهبود جذب و برقراری تعادل در غلظت عناصرغذایی در همزیستی‌های مسالمت آمیز گیاهان با ریزجانداران خصوصا همزیستی میکوریزی گزارش شده است. افزایش انواع ترکیبات کلات کننده در حضور قارچ‌های میکوریزی در مقایسه با شرایط بدون قارچ گزارش شده است (اسمیت و رد ۱۹۹۷) که احتمالا در برقراری تعادل عناصر غذایی در گیاه نقش دارند.

در این پژوهش افزایش غلظت عناصر غذایی توسط قارچ های میکوریز آربوسکولار در پایه‌های مرکبات صورت گرفته است. در پژوهش وانگ و همکاران (۲۰۰۸) نیز قارچ Gv توانست جذب و غلظت آهن را در پایه‌های نارنگی و نارنج سه برگ افزایش دهد. افزایش در غلظت و جذب عناصر غذایی می‌تواند به افزایش کلنیزاسیون ریشه که توسط قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار صورت می‌گیرد نسبت داده شود (خاد و همکاران ۲۰۰۹). قارچ‌های میکوریز سبب تغییر در شکل و حجم ریشه از دو جنبه می‌شوند ۱- تغییر وضعیت تغذیه ای گیاه ۲- تغییر در سطح ترکیبات هورمونی گیاه (یائو و همکاران ۲۰۰۶). تغییر در انشعابات و حجم ریشه تحت تأثیر عناصر غذایی بخصوص فسفر قرار دارد (لوپز-بایسو و همکاران ۲۰۰۳). از طرف دیگر این موضوع اثبات شده است که تغییر در تعداد انشعابات ریشه در اثر همزیستی قارچ میکوریز به علت تغییر در میزان هورمون‌های گیاهی از جمله ترکیبات پلی فنولیک که مانع اکسیداسیون اکسین می‌شوند، است (پریز-پریز ۲۰۰۷). تغییر در تعداد انشعابات ریشه مرکبات همزیست با قارچ میکوریز بیشتر به علت جذب عناصر غذایی است زیرا گیاهان مرکبات دارای ریشه‌های ضخیم با انشعابات کم می-باشند بنابراین انشعابات ریزتر که توانایی جذب عناصرغذایی را دارند در این نوع از ریشه‌ها به تعداد کم وجود دارد (پریز-پریز ۲۰۰۷).

مشاهده شده است که در برخی موارد حضور انفرادی کلات آهن بر جذب عناصر غذایی غیر از آهن از جمله عنصر روی، نیز موثر بوده‌است که به عقیده نویسندگان احتمالا ترکیبات کلات کننده اضافه شده به خاک، قادر است که علاوه بر افزایش غلظت عنصر مورد نظر(بطور مثال در اینجا آهن)، غلظت سایر عناصر کاتیونی کم مصرف دیگر را نیزافزایش دهد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که برهمکنش قارچ و منابع آهن به طور موثری باعث بهبود صفات رشدی و جذب عناصر غذایی گیاه می‌شود.

نتایج نشان داد که در تیمارهای مایه زنی با قارچ، با افزایش سطوح آهن، غلظت عناصر غذایی آهن، روی، مس و منگنز در گیاه افزایش یافته است که احتمالا بدلیل اثرات متعادل کنندگی همزیستی میکوریزی بر غلظت عناصر غذایی در گیاه می‌باشد.

تیمارهای کاربرد همزمان قارچ با سولفات آهن به‌نظر می‌رسد که بر روی صفات رشدی مختلف تاثیر مناسب داشته است و به‌جای کلات آهن یا در کاهش مصرف آن می‌تواند موثر باشد. کلات ها فرم‌های آلی آهن هستند که به سادگی حتی در پی‌اچ‌های بالا قابل جذب هستند اما سولفات آهن در خاک به راحتی قابل جذب نیست و مقداری از آن رسوب می‌کند اما قیمت آنها ارزان است در حالی که کلات ها خیلی گران هستند (توماس۱۹۹۶).

هر دوگونه قارچ مورد استفاده در این آزمایش در بهبود صفات اندازه‌گیری شده موثر بوده، گرچه در برخی صفات مورد انداه‌گیری، تفاوت معنی‌داری نسبت به همدیگر داشته اند. بدیهی است که این دو قارچ از نظر ژنتیکی و مرفولوژیکی با هم متفاوت هستند و یا از نظر فعالیت‌های متابولیک و عوامل محرک رشد از جمله آنزیم‌ها و هورمون‌ها می‌توانند فعالیت‌های متفاوتی از خود نشان دهند.

نتایج این پژوهش بعد از تایید در مطالعات مزرعه‌ای می‌تواند برای بهبود صفات رشدی مرکبات و همچنین کاهش مصرف کود آهن بخصوص ترکیبات کلات آن توصیه شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از بخش‌های علوم باغبانی و علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز به خاطر حمایت‌های موثر در راستای اجرای این پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abbaspour H, SaeidSarand S, Afshar H. 2011. Improving drought tolerance of *Pistacia vera* L. seedlings by arbuscular mycorrhiza under greenhouse conditions. Journal of Medicinal Plants Research 5:7065-7072.

Andrade SA, Silveira PD, and Mazzefera P, 2010. Arbuscular mycorrhiza alters metal uptake and the physiological response of *Coffea arabica* seedlings to increasing Zn and Cu concentrations in soil. Science of the Total Environment 408: 5381-5391.

Auge RM, 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. Canadian Journal of Soil Science 84:373–8.

Bremner J M, 1996. Nitrogen-total. pp. 1085–1121. Sparks D L, (Ed.). In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America. and American Society of Agronomy, Madison, WI.

Davies FT, Potter JR, and Linderman RG, 1993. Drought resistance of mycorrhizal pepper plants independent of leaf P concentration response in gas exchange and water relations. Physiologia Plantarum 87:45-53.

Desena J, Labate C A, and Cardoso EN, 2002. Micronutrient accumulation in mycorrhizal citrus under different phosphorus regimes. Acta Scientiarum. Maringá 24: 1265-1268.

El-shazly S, Abdel Naser M, Harhash M. 2000. Physiological and biochemical indices in Washington Novel orange trees as influenced by iron foliar application. Alexandria Journal of Agricultural Research 45:287-306.

Ferrol N, Barea JM, Azcon-Aguilar C, 2002. Mechanisms of nutrient transport across interfaces in arbuscular mycorrhizas. Plant and Soil 244(1-2): 231-237.

Fotouhi Ghazvini R, 1999. Citrus Growing in Iran. Published by University of Guilan, Iran. 158 pp.

Gee GW, and Bauder JW, 1986. Particle size analysis. A. Klute (ed.), Methods of Soil Analysis. 9(1): 383-411. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd Edition, American Society of Agronomy, Madison, WI.

Graham JH, and Syvertsen JP,1985. Host determinants of mycorrhizal dependency of citrus rootstock seedlings. New Phytologist 101:667-676.

Graham H, and Syvertsen JP,1984. Infuence of vesicular–arbuscular mycorrhiza on the hydraulic conductivity of roots of two citrus rootstocks. New Phytologist 97: 277–284.

Gosling P, Hodge A, Goodless G, and Bending G D, 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 113: 17–35.

Haghighatnia H, Nadian HA, and Rejali F, 2011. Effects of mycorrhizal colonization on growth, nutrients uptake and some other characteristics of *Citrus volkameriana* rootstock under drought stress. World Applied Sciences Journal 13 (5):1077-1084.

Khade SH, Wand Bernard F R, 2009. Studies on effects of Arbuscular *mycorrhizal* (am.) fungi on mineral nutrition of *Carica papaya* L. NotulaeBotanicae Horti Agrobotanici. Cluj 37 (1):183-186.

Kormanik P P, and McGraw AC, 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant root. In: Methods and Principles of Mycorrhizal Reseach, (Ed. by N. C. Schenck) , pp. 37-45. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota.

Knudsen D, Peterson GA, and Pratt PF, 1982. Lithium, Sodium and Potassium. pp. 225-246. In: AL Page et al (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison.

Kuo S, 1996. Phosphorus. In Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods; Sparks, Madison, Wisconsin,869–919.

Lopez-Bucio J, Cruz-Ramirez A, Herrera-Estrella L, 2003. The role of nutrient availability in regulating root architecture. Current Opinion in Plant Biology 6:280–287.

Lindsay WL, and Norvell WA, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of American Journal 42: 241-428.

Mukerji, KG, and Chamola BP, 2003. Compendium of Mycorrhizal Research. A. P. H. Publisher, New Delhi. 310 pp.

Nelson DW and Sommers LE, 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Method of Soil Analysis. Part III. Chemical Methods. WI. pp. 961-1010. Sparks DL (Ed). Soil Science Society of America Journal and American Society of Agronomy, Madison.

Nogueira MA, and Cardoso EB, 2006. Plant growth and phosphorus uptake in mycorrhizal rangpour lime seedling under different levels of phosphorous. Bras. Brasilia, 41:93-99.

Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS and Dean LA, 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. United states Department of Agriculture. Circular 939.

Ortas I, Ortakçi D, Kaya Z, Cinarand A, Onelge N, 2006. Mycorrizal dependency of sour orange in relation to nitrogen and zinc nutriation. Journal of Plant Nutrition 25(6):1263-1279.

Perez-Perez JM., 2007. Hormone signaling and root development: an update on the latest *Arabidopsis thaliana* research. Funct. Plant Biology 34:163–171.

Pixão CM, Oliveira A R and Amoria RTD, 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi effect on growth and nutrition of citrus rootstock. Magistra 19: 47-59.

Rhoades JD, 1996. Salinity: Electrical conductivity and total Dissolved Solids, Madison WI.417-435. Sparks D L (Ed). In: Methods of Soil Analysis, Part 3. chemical Methods. Soil Science Society of America, and American Society of Agronomy.

Salehi F, Moradi Ghahdrijani M, Mirabolfathi M and Aliasgharzadeh N, 2008. Effect of VA mycorrhizal colonization and different levels of phosphorus on P, K, Ca, Mg and Zn uptake and vegetative traits of pistachio. Pajouhesh va Sazandgi, 20(4): 48-56.

Smith SE and Read DJ, 1997. Mycorrhizal Symbiosis. San Diego: Academic Press, 815 pp.

Syvertsen J P and Graham JH, 1990. Influence of vesicular arbuscular mycorrhizae and leaf age on net gas exchange of citrus leaves. Plant Physiology 94: 1424-1428.

Tang M, Chen H, Huang JC and Tian ZQ, 2009. Arbuscular mycorrhiza fungi effects on the growth and physiology of (*Zea mays* L.) seedlings under diesel stress. Soil Biology and Biochemistry 41: 936–940.

Thomas GW, 1996. Soil pH and Soil Acidity. Madison, WI. pp. 475-490.

Wang M, Christie P, Xiao Z, Wang P, Lio J, and Xia R, 2008. Arbuscular mycorrhizal enhancement of iron concentration by *Poncirus trifoliata* L. Raf and *Citrus reticulata* Blanco grown on sand medium under different pH. Biology and Fertility of Soils 45:65-72.

Wu Q S, and Xia R X and Zou Y N, 2006. Reactive oxygen metabolism in nonmycorrhizal citrus (*Poncirus trifoliata*) seedlings subjected to water stress. Journal of Plant Physiology 163:1101-1110.

Wu QS and Xia RX, 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163:417-425.

Wu Q S, Xia RX and Zou YN, 2008. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. European Journal of Soil Biology 44(1):122-128.

Wu QS, and Zou YN, 2009. The effect of dual application of arbuscular mycorrhizal fungi and polyamin upon growth and nutrient uptake of trifoliate orange seedling. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 37 (2):95-98.

Wu QS, Zou YN, He X, and Luo P, 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi can alter some root characters and physiological status in trifoliate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.) seedlings. Plant Growth Regulation 65:273-278.

Yao Q, Zhu H H, Chen JZ, 2005. Growth responses and endogenous IAA and iPAs changes of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) seedlings induced by arbuscular mycorrhizal fungal inoculation. Horticultural Science 105(1):145–151.