اثرات قارچ‌های میکوریز آربسکولار و سطوح آبیاری بر عملکرد و ویژگی‌های رشد درختان لیمو (*Citrus aurantifolia*) در داراب

حسن حقیقت نیا[1] و فرهاد رجالی

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، فارس، ایران؛ **hasan.haghighatnia@yahoo.com**

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **frejali@yahoo.com**

دریافت: **1400/7/26** و پذیرش: **1400/10/29**

چکیده

لیمو بدلیل تازه خوری و استفاده در بسیاری صنایع جانبی، از جمله صنایع غذایی و نیز ارزش اقتصادی بالا، در بین مرکبات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌منظور بررسی اثرات تلقیح با قارچ میکوریز آربسکولار تحت شرایط تنش و بدون تنش بر درختان لیمو، آزمایشی بصورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار، طی دو سال، در داراب اجراء شد. پلات های اصلی شامل سه سطح آبیاری (60، 80 و 100درصد نیاز آبی لیمو) و پلات-های فرعی شامل استفاده از مایه تلقیح قارچ میکوریزا آربسکولار در سه سطح صفر، 1000 و 2000 گرم به ازای هر درخت لیمو بود. مایه تلقیح قارچ میکوریزا مخلوطی از سه گونه *Funneliformis mosseae, Rhizophagus irregularis, Claroideoglomus etunicatum* بود. نتایج نشان داد که تنش رطوبتی صرفنظر از تلقیح یا عدم تلقیح قارچ میکوریزا، سبب کاهش معنی دار اکثر صفات اندازه گیری شده بجز کارایی مصرف آب که روند معکوسی را نشان داد، گردید. استفاده از قارچ میکوریزا صرفنظر از اعمال تنش رطوبتی، اکثر صفات اندازه گیری شده را افزایش داد، بطوری‌که استفاده از دو کیلوگرم قارچ میکوریز آربسکولار به ازای هر درخت سبب افزایش معنی‌دار عملکرد میوه، وزن میوه، کلروفیل برگ، غلظت فسفر برگ، رطوبت نسبی برگ، کارایی مصرف آب و کلنی سازی ریشه، بترتیب به میزان 22/1، 53/3، 42/0، 19/5، 15/3، 24/0 و 508 درصد شد. استفاده از قارچ میکوریزا تحت شرایط تنش ملایم و شدید رطوبتی، سبب بهبود برخی صفات گردید. از جمله عملکرد میوه را به‌ترتیب 20/2 و 37/6 درصد بهبود بخشید. بعنوان نتیجه گیری کلی می توان اظهار نمود که استفاده از قارچ میکوریزا علاوه بر تاثیر بر عملکرد و برخی ویژگی های رشد درختان، احتمالاً سبب افزایش مقاومت به تنش رطوبتی بواسطه بهبود غلظت فسفر و روابط آبی در گیاه، نظیر تنظیم اسمزی، هدایت هیدرولیکی آب و کنترل روزنه‌ای گردیده است.

واژه‌های کلیدی: " تنش رطوبتی "، " فسفر "، "قارچ میکوریزا"، "کارایی مصرف آب"، "لیمو"

[1] نویسنده مسئول، آدرس: بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، فارس، ایران

مقدمه

خشکی یکی از جدی ترین تنش‌های محیطی است که به میزان زیادی رشد و تولید محصولات را بواسطه صدمه به مراحل فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نظیر جذب، فتوسنتز و متابولیسم سلولی محدود و مهار می‌کند (ژانگ و همکاران، 2020). بیش از 82 درصد از مناطق ایران در ناحیه خشک و نیمه خشک با متوسط بارندگی حدود 250 میلی‌متر واقع گردیده، که کمتر از یک سوم متوسط بارندگی جهانی (860 میلی‌متر) است (امیری و اسلامیان، 2010). علاوه بر این، خشکسالی‌های پیاپی نیز به این مسئله دامن زده است. بنابراین ضرورت بهینه سازی مدیریت مصرف آب از طریق استفاده کمتر از این منبع طبیعی بیش از گذشته احساس می‌گردد.

گیاهان باغی بر خلاف گیاهان زراعی، گیاهانی ثابت و دائمی هستند و مدیریت خاص خود را در دراز مدت طلب می‌کنند. لذا بایستی با نگرشی فراتر از محصولات زراعی به آن نگریست. به‌عبارت دیگر سرمایه گذاری در این زیربخش ظرف مدت طولانی‌تری نتیجه بخش خواهد بود و هر گونه تهدیدی از جمله کم آبی می‌تواند صدمات جبران ناپذیری را به تولید کنندگان در این بخش وارد نماید. مرکبات در کشور با سطح زیر کشت 225000 هکتار و تولید 3/4 میلیون تن جایگاه دوم را در بین سایر محصولات باغبانی به خود اختصاص داده است (آمارنامه کشاورزی، 1399). لذا توجه به پایداری تولید این محصول از اهمیت بالایی برخوردار است. لیمو یکی از انواع مرکبات است که سطح زیر کشت آن در جنوب کشور زیاد بوده و بدلیل قیمت بالا، این سطح مرتباً رو به افزایش است. با توجه به همیشه سبز بودن این گیاه، نیاز آبی آن نیز بالاست و بنابراین مدیریت مصرف آب در این گیاه امری ضروری است. در راستای کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری مصرف، روش‌های مختلفی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به اصلاح روش‌های آبیاری، مدیریت مصرف در باغ، استفاده از پایه‌های مقاوم‌تر به خشکی اشاره نمود. علاوه بر این، اثبات گردیده که تعدادی میکروارگانیسم‌های خاک، از جمله قارچ‌های میکوریزی قادرند تا علائم تنش را تخفیف دهند. گیاهانی که دارای همزیستی میکوریزی هستند، به‌دلیل اینکه عناصر غذایی و آب بیشتری از خاک جذب می‌نمایند دارای رشد بهتری خواهند بود، عملکرد بیشتری خواهند داشت و مقاومت بیشتری در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده از خود نشان می‌دهند (لاراینزار و وین کوپ، 2017). زارعی و همکاران (2016) اثرات قارچ میکوریز *Funneliformis mosseae* را تحت چهار رژیم رطوبتی روی دو پایه مرکبات طی یک آزمایش گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که تلقیح میکوریزایی بطور قابل توجهی بر جذب عناصر غذایی و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت در مرکبات مؤثر بوده و افزایش این پارامترها تنش آبی را تخفیف داده است. وو و ژیا (2006_a) تأثیر قارچ میکوریزای *گلوموس ورسیفورم* را بر رشد، تنظیم اسمزی و فتوسنتز در کشت گلدانی *Citrus tanjerin* تحت شرایط با و بدون تنش آبی مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفتند که همزیستی این قارچ بطور معنی‌داری سبب تحریک رشد و بیومس گیاه، بدون توجه به مقدار آب گردید. همچنین نهال‌های تلقیح شده دارای پتانسیل آب برگ، میزان تعرق، میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، مقدار نسبی آب برگ و کاهش دمای برگ بالاتری نسبت به تلقیح نشده‌ها بودند.

این محققین پیشنهاد کردند که افزایش مقاومت به تنش خشکی در نهال‌های تلقیح شده در نتیجه افزایش کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی، پتاسیم، کلسیم و منیزیم بوده است. تحت همین شرایط آزمایش، محققین فوق (وو و ژیا ، 2006_b) اعلام کردند که ارتفاع گیاه، تعداد برگ در هر گیاه و قطر ساقه بطور قابل توجهی در دانهال-های تلقیح شده بالاتر بود. اصلاح تغذیه در گیاهان میکوریزایی دلیلی برای مقاومت به تنش خشکی در مرکبات عنوان گردیده است (وو و زو، 2009_a) . حقیقت نیا و همکاران (1390)، تأثیر دو گونه قارچ میکوریزا

آربوسکولار بر جذب عناصر غذایی و برخی ویژگی‌های دیگر روی پایه مرکبات *Citrus volkameriana* تحت تنش خشکی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد، کلنی سازی میکوریزایی، به واسطه تاثیر مثبت بر جذب فسفر، کلسیم، و برخی ویژگی های فیزیولوژیک تحت شرایط تنش، سبب اصلاح مقاومت به تنش خشکی در گیاه گردید. مطالعه دو تیمار تنش آبی روی دانهال های نارنگی تحت تأثیر پنج گونه قاچ میکوریزا نشان داد که وزن خشک شاخه و ریشه در شرایط تنش خشکی بدون کاهش بود ولی وزن خشک کل گیاه کاهش معنی‌داری داشت (وو و همکاران، 2007). تحت شرایط تنش خشکی، همزیستی میکوریزایی گیاه را به‌وسیله مکانیسم-هایی نظیر ابقاء پتانسیل آب برگ و فشار تورژسانس، افزایش در سطوح بیان ژن‌های مقاوم به خشکی، کنترل تولید آبسزیک اسید و افزایش بازیابی گیاه به شرایط نرمال بعد از رهایی از تنش کمک می‌نماید (آهنگر و همکاران، 2014). بعلاوه هیف‌های میکوریزی جذب اشکال قابل دسترس عناصر غذایی توسط افزایش در حجم موثر خاک و تنظیم ویژگی‌های شیمیایی خاک را بر عهده دارند (سمبک و همکاران، 2015).

همچنین سونار و همکاران (2013) بر این نکته تأکید کردند که هیف های میکوریزایی یک مکانیسم جایگزین برای جذب آب و عناصر غذایی با تحرک پایین نظیر فسفر، روی و مس می‌باشند. گزارش گردیده که قارچ‌های میکوریز آربسکولار در بهبود جذب آب، جذب عناصر غذایی، فتوسنتز، ساختمان ریشه، سیستم های دفاعی آنتی اکسیدانی، پلی‌آمین و اسیدهای چرب همگرا، تنظیم اسمزی، ساختمان خاک، بالانس هورمونی برای مقاومت به کم آبی خاک مؤثرند (وو و همکاران، 2013 و 2019؛ فرناندز-لیزارازو و مورنو-فنسکا، 2016؛ هی و همکاران، 2020 ؛ زو و همکاران، 2020)

با توجه به اینکه ارزش عملی استفاده از قارچ‌های میکوریزی بویژه در اراضی باغی برای دستیابی به حداکثر نقش آنها در حاصلخیزی پایدار و نیز مقابله با تنش های محیطی از جمله خشکی، منوط به فهم بهتر مکانیسم های اکولوژیکی و تکاملی مسئول برای ایجاد عملکرد میکوریزی مثبت، منفی و یا خنثی تحت این شرایط است، از طرفی نظر به اینکه تاکنون تأثیر قارچ‌های میکوریزی روی درختان مرکبات، بویژه لیمو، بخصوص در خاک‌های آهکی کشور کمتر مورد بررسی قرار گرفته، تحقیق حاضر به‌منظور تعیین میزان تأثیر قارچ میکوریزا بر کاهش تنش خشکی و نیز مولفه‌های رشدی و تغذیه‌ای این گیاه تحت شرایط تنش رطوبتی، در خاک‌های قلیایی و آهکی جنوب کشور صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات سطوح مصرف آب و استفاده از مایه تلقیح قارچ میکوریزا آربسکولار بر درختان لیموی 12 ساله، آزمایشی بصورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و هر تکرار شامل دو درخت و در مجموع تیمارهای آزمایش شامل 54 درخت بود. آزمایش طی دو سال، در یک خاک آهکی در حسن آباد داراب با طول جغرافیایی 54 درجه و 25 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 28 درجه و 80 دقیقه شمالی و ارتفاع 1110 متر از سطح دریا اجراء شد. پلات های اصلی شامل سه سطح آبیاری (60، 80 و 100 درصد نیاز آبی لیمو) و پلات های فرعی در سه سطح شامل تلقیح با دو سطح 1000 و 2000 گرم از مایه تلقیح قارچ میکوریزای آربسکولار (مخلوطی از سه گونه *Funneliformis mosseae, Rhizophagus irregularis, Claroideoglomus etunicatum*) به ازای هر درخت و یک تیمار بدون تلقیح، بعنوان شاهد بود. این سه گونه با جمعیت تقریباً برابر بر مبنای 100 اندام فعال قارچ در هر گرم (اسپور و قطعات ریشه همزیست شده با قارچ) بر اساس روش MPN تهیه گردید. مبنای انتخاب سطوح مصرفی قارچ بر اساس جمعیت فعال قارچ در مایه تلقیح و در نهایت میزان اندام فعال قارچ که به هر درخت می رسد، یعنی اندام فعال ضرب در مقدار گرم مصرف شده بود. همچنین این مقادیر میانگین توصیه شرکت‌های بین-المللی مختلف تولید کننده مایه تلقیح این قارچ‌ها نیز

می‌باشد. فاصله درختان از یکدیگر بصورت 6×6 متر و بنابراین کل فضای اختصاص یافته به آزمایش حدود 2000 متر مربع بود. لازم به ذکر است که قبل از اجرای آزمایش برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی باغ با روش‌های مرسوم در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید که نتایج در جدول (1) آمده است. در اواخر بهمن ماه سال اول آزمایش، بر اساس نقشه طرح به ازای هر درخت میزان پیش‌بینی شده از مایه تلقیح قارچ‌های مورد نظر در پای ریشه‌ها و در سایه انداز درختان لیموی 12 ساله با روش چالکود اضافه و چاله‌ها در همه تیمارها اعم از شاهد و سایر تیمارها با کود دامی گوسفندی پوسیده شده به میزان 10 کیلوگرم بطور ثابت برای هر درخت پر شد. کمبودهای غذایی بر اساس آزمون خاک، بجز فسفر و با توجه به توصیه‌های کودی در استان (تدین و همکاران، 1384)، جبران گردید. بدین صورت که نیتروژن از منبع سولفات آمونیوم به میزان 1500 گرم برای هر درخت طی سه نوبت در اسفند، اواخر فروردین و اواخر اردیبهشت ماه، پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به میزان 800 گرم در اواخر بهمن ماه، آهن از منبع سکوسترون آهن 138 به میزان 40 گرم برای هر درخت طی دو نوبت در اسفند و اردیبهشت ماه و روی و منگنز به‌ترتیب از منبع سولفاته آنها و بصورت محلولپاشی با غلظت دو در هزار طی سه نوبت از اواخر فروردین هر دو هفته یکبار مصرف گردید.

میزان آب مصرفی مورد نیاز در تیمارهای مختلف پس از محاسبه، توسط کنتور حجمی تنظیم و اعمال شد.

جدول 1- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

بافت	pH	EC ($ds.m^{-1}$)	O.C (%)	Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	P*	K	Fe	Zn	Mn	Cu
									($mg.kg^{-1}$)			
لوم شنی	8/0	1/05	0/71	13/4	19/3	67/3	9/3	215	4/5	0/9	6/2	1/3

* بخش قابل استفاده فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس

بطوری‌که نیاز آبی پس از تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ضرب آن در ضریب گیاهی(Kc) با استفاده از داده های ایستگاه هواشناسی حسن آباد داراب و به کمک فرمول فائو-پنمن مانتیس محاسبه شد. بدلیل تفاوت ضریب گیاهی برای ماه‌های مختلف سال، بنابراین برای تعیین این ضریب با توجه به توصیه فائو (دورنباس و پروییت، 1984) برای مناطق خشک، با وزش باد ملایم و متوسط و برای گیاه کاملاً بالغ، در شرایط کنترل علف هرز تعیین گردید. با در نظر گرفتن سطح متوسط سایه انداز درختان، میزان تعرق یا مصرف واقعی درختان محاسبه و مقدار آبیاری با در نظر گرفتن ضریب تعرق (در دوره حداکثر تعرق برابر 1/05) برای خاک با بافت متوسط و عمق ریشه حدود 80 سانتی‌متر (کلر و بلیسنر، 1990) و راندمان کاربرد مطلوب برای آبیاری با روش قطره ای (90%) برای ماه‌های مختلف سال برآورد شد. بر این اساس میزان مصرف در تیمارهای مختلف نیز تعیین شد که میانگین مصرف سالیانه برای هر درخت، در تیمار 100 درصد نیاز آبی برابر 48/6 متر مکعب، برای تیمار 80 درصد نیاز آبی برابر 38/95 متر مکعب و برای تیمار 60 درصد نیز آبی برابر 29/25 متر مکعب بود. به منظور تعیین زمان آبیاری، نمونه برداری از رطوبت خاک در سه عمق 0-20، 20-40 و 40-60 سانتیمتری خاک با روش وزنی قبل از آبیاری برای یک دوره یک ماهه در فصل گرم و سرد سال انجام شد.

در تیرماه نمونه برگ از تیمارهای مختلف تهیه و فسفر برگ تعیین شد. بدین‌صورت‌که پس از شستشوی نمونه برگ و خشک کردن در آون به مدت 48 ساعت در دمای 68 درجه سانتیگراد و سپس آسیاب نمودن، نمونه‌ای یک گرمی از هر تیمار، درون کوره الکتریکی در دمای 550 درجه سانتیگراد خاکستر شد و سپس در 5 میلی لیتر

اسیدکلریدریک دو نرمال حل و پس از عبور دادن از کاغذ صافی با اضافه نمودن آب مقطر، حجم به 50 میلی لیتر رسانده شد. سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV-2100 و با استفاده از روش رنگ سنجی بروش زرد در طول موج 450 نانومتر قرائت گردید (مورفی و ریلی، 1962). در شهریور ماه علاوه بر اندازه گیری عملکرد هر درخت، میزان کلروفیل برگ با دستگاه کلروفیل سنج Spad مدل 502، اندازه میوه با کولیس ورنیه، وزن میوه با ترازوی دیجیتال، اسیدیته آبمیوه با دستگاه pH متر و مقدار رطوبت نسبی برگ با استفاده از روش وو و ژیا (2006_a) بدست آمد. بدین صورت که پنجمین برگ کامل از نوک ساقه جدا و پس از شستشو با آب مقطر، بمدت 24 ساعت تحت دمای معمولی اتاق، درون آب مقطر قرار گرفت تا اشباع گردد. همچنین این برگ‌ها قبل و بعد از اشباع توزین گردیدند. سپس برگ اشباع شده بمدت 48 ساعت در دمای 65 درجه سانتیگراد درون گرمخانه قرار گرفت و از رابطه (1) مقدار نسبی آب برگ بدست آمد:

(رابطه 1)

100× (وزن خشک برگ - وزن اشباع برگ) / (وزن خشک برگ - وزن تازه برگ) = مقدار نسبی آب برگ

کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency) از تقسیم عملکرد میوه لیمو بر میزان مصرف آب در تیمارهای مختلف تعیین شد (حیدری، 1393). همچنین جهت تعیین درصد کلنی‌سازی ریشه از روش فیلیپس و هیمن (1970) استفاده شد. نمونه‌های تهیه شده از ریشه‌ها (ریشه‌های مویین) ابتدا در داخل محلول آماده، با نسبت حجمی 50 درصد آب مقطر و 50 درصد الکل سفید در دمای 4 درجه سانتیگراد نگهداری شد. برای رنگ آمیزی ریشه، 3 گرم از نمونه ریشه با آب شستشو و به لوله آزمایش با گنجایش 100 میلی‌لیتر انتقال داده شد. سپس حدود 30 میلی‌لیتر از محلول KOH با غلظت 10درصد به آن افزوده گردید. درب لوله آزمایش با قطعه فویلی پوشانده و در بن ماری به مدت یک ساعت در دمای 90 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس ریشه چندین مرتبه با آب شستشو داده شد. برای سفید شدن ریشه از محلول H_2O_2 قلیایی به میزان حدود 30 میلی‌لیتر به هر لوله اضافه شد و به مدت 30 دقیقه در دمای آزمایشگاه قرار داده شد. بعد از اتمام مرحله فوق، ریشه‌ها چندین مرتبه با آب شستشو داده شدند. بعد از تیمار ریشه‌ها با محلول‌های KOH و H_2O_2، چون بسیار قلیایی هستند بایستی قبل از مرحله رنگ‌آمیزی اسیدی شوند تا رنگ به اندام‌های میکوریز AM متصل شود. بنابراین از محلول HCl یک درصد به میزان تقریبی 30 میلی‌لیتر به هر لوله استفاده شد. بعد از اتمام مدت زمان اسیدی شدن، محلول اسیدی را به آرامی خالی کرده، پس از شستشو با آب مقطر ریشه‌ها در محلول رنگی تریپان بلو اضافه گردید. ریشه‌ها به مدت 12 ساعت در محلول رنگی در دمای آزمایشگاه قرار داده شد. بعد از اتمام مرحله رنگ آمیزی، رنگ اضافی را خالی کرده و ریشه‌ها را با آب شستشو داده شد. در نهایت نمونه ریشه را به پلیت شیشه‌ای انتقال داده و با بینوکولار بررسی گردید.

در نهایت داده های دو سال آزمایش در قالب طرح آماری بلوک کامل تصادفی و با کمک نرم افزار SAS تجزیه آماری شد. سپس میانگین‌های بدست آمده از هر صفت با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شدند، که در بخش نتایج مورد بحث قرار خواهند گرفت.

نتایج و بحث

الف- اثرات اصلی سال، سطوح آبیاری و سطوح قارچ میکوریز آربسکولار بر صفات مورد مطالعه

نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که اثرات اصلی سال تنها بر صفات عملکرد میوه، وزن میوه و کارایی مصرف آب، در سطح 1% معنی‌دار بود. تأثیر سطوح آبیاری و سطوح قارچ میکوریزا بر همه صفات در سطح 1% معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد که میانگین عملکرد، وزن میوه و کارایی مصرف آب در سال اول آزمایش بطور معنی‌داری بیش از سال دوم بود. برای مثال عملکرد از 94/7 کیلوگرم در هر

درخت در سال اول به 85/1 کیلوگرم در هر درخت در سال دوم آزمایش کاهش یافت. این موضوع بدلیل تغییرات اقلیمی مانند دما، نور، رطوبت هوا و غیره از سالی به سال دیگر است که تحت شرایط طبیعی باغ می‌تواند بر ویژگی‌های رشد گیاه از جمله عملکرد مؤثر باشد. مطابق جدول 3، تیمار آبیاری بدون تنش (I_3) در همه صفات اندازه‌گیری شده نسبت به تیمارهای تحت تنش (I_2 و I_1) برتری معنی داری داشت، بجز در مورد غلظت فسفر برگ که برترین تیمار 80% نیاز آبی (I_2) بود و کارایی مصرف آب، که روند معکوسی را نشان داد.

بطوری‌که کاهش عملکرد، وزن میوه و اسیدیته آبمیوه در تیمارهای تنش شدید و ملایم نسبت به شرایط بدون تنش به‌ترتیب 26/9 و 19/0، 19/3 و 13/8، 4/9 و 0/65 درصد و برعکس کارایی مصرف آب 20/7 و 12/7 درصد بیشتر از شاهد بدون تنش بود. بیش‌ترین غلظت فسفر برگ نیز به تیمار تنش ملایم (I_2) اختصاص داشت. نتایج این تحقیق با نتایج برخی محققین دیگر همخوانی دارد. برای مثال وو و ژیا (2006_a) طی آزمایشی روی پایه مرکبات نارنج سه برگ با سه سطح رطوبت خاک شامل، 20% (بدون تنش)، 16% (تنش ملایم) و 12% (تنش شدید) عنوان نمودند که با افزیش تنش خشکی ویژگی‌های رشد نهال‌های مرکبات شامل قطر ساقه، ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، ریشه و کل گیاه کاهش یافت. تنش کمبود آب با تاثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی سبب کاهش رشد و نمو بافت‌های گیاهی و در نهایت افت عملکرد گیاه می‌گردد (عرفانو و همکاران، 2019). کاهش کلنی‌سازی ریشه در اثر افزایش تنش خشکی، ممکن است پیامد کاهش کربن قابل دسترس برای قارچ همزیست از سوی گیاه میزبان، در نتیجه‌ی تنش خشکی باشد، که می‌تواند منجر به کاهش تولید اسپور و کلنی‌سازی ریشه شود (وو و زو، 2009_b).

استفاده از مخلوطی از سه قارچ میکوریزا در هر دو سطح یک و دو کیلوگرم نسبت به عدم مصرف قارچ (تیمار شاهد) افزایش معنی داری را در همه صفات اشاره شده در جدول 3 ایجاد نمود. بطوری‌که افزایش عملکرد، وزن میوه، اسیدیته آبمیوه، رطوبت نسبی برگ، غلظت فسفر برگ و کارایی مصرف آب در تیمارهای M_1 و M_2 نسبت به تیمار شاهد (M_0) بترتیب برابر 9/8 و 22/1، 21/4 و 53/4، 0/7 و 1/6، 8/9 و 15/3، 10 و 19/5، 11/5 و 24 درصد بود

(جدول 3). افزایش عملکرد و ویژگی های رشد می‌تواند به دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ میسیلیوم قارچ در خاک و بالطبع دسترسی گیاه زراعی به حجم بیشتری از خاک (سونار و همکاران، 2016)، فراهمی بیشتر عناصر غذایی معدنی بویژه فسفر و برخی عناصر کم مصرف و مقاومت در برابر تنش‌های محیطی باشد (بگوم و همکاران، 2019). همچنین کلنی‌سازی ریشه در اثر مصرف قارچ میکوریزا افزایش قابل توجهی نسبت به تیمار شاهد ایجاد نمود. بعبارت دیگر کلنی سازی ریشه از 5/76 درصد در تیمار شاهد به 29/24 درصد در تیمار مصرف دو کیلوگرم قارچ به ازای هر درخت رسید.

ب- برهمکنش سال، سطوح آبیاری و سطوح قارچ میکوریز آربسکولار بر صفات مورد مطالعه

در ارتباط با برهمکنش‌ها، گرچه در جدول تجزیه واریانس تنها برهمکنش سطوح آبیاری در سطوح قارچ میکوریزا بر قطر میوه و کلنی‌سازی ریشه در سطح 1% و بر کلروفیل برگ در سطح 5% معنی‌دار بود و به همین دلیل نتایج اثرات عوامل اصلی آزمایش در رابطه با این صفات ذکر نگردید، ولی در مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در مورد سایر صفات اندازه‌گیری شده نیز اختلافات معنی‌داری ملاحظه گردید و بنابراین در جدول 4 همه صفات آورده شده اند.

جدول 2- تجزیه واریانس مرکب تأثیر سطوح آبیاری و سطوح مختلف قارچ میکوریزا بر صفات اندازه گیری شده

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		عملکرد میوه	وزن تک میوه	قطر میوه	اسیدیته آبمیوه	کلروفیل برگ	رطوبت نسبی برگ	غلظت فسفر برگ	کلنی سازی ریشه	کارایی مصرف آب
سال (Y)	1	1261/50**	102/89**	6/41 ^{ns}	0/000 ^{ns}	24/16 ^{ns}	9/80 ^{ns}	0/000 ^{ns}	28/73 ^{ns}	2/13**
تکرار x سال (Y×R)	4	96/26 ^{ns}	5/15 ^{ns}	3/78 ^{ns}	0/001 ^{ns}	18/10 ^{ns}	12/04 ^{ns}	0/000 ^{ns}	7/44 ^{ns}	0/07 ^{ns}
سطوح آبیاری (I)	2	3504/96**	19/21**	71/77**	0/006 **	312/26**	75/84**	0/003**	486/08**	0/89**
برهمکنش (Y×I)	2	66/89^{ns}	6/73^{ns}	1/24 ^{ns}	0/000^{ns}	9/29^{ns}	5/52^{ns}	0/000^{ns}	1/83^{ns}	0/10^{ns}
خطا	8	48/54	5/32	3/30	0/000	14/41	7/65	0/000	7/62	0/04
سطوح قارچ میکوریزا (M)	2	1455/35**	729/43**	251/25**	0/005**	436/41**	681/32**	0/004**	2889/36**	1/16**
برهمکنش (Y×M)	2	7/39 ^{ns}	8/47 ^{ns}	0/167 ^{ns}	0/000 ^{ns}	1/90 ^{ns}	0/36 ^{ns}	0/000 ^{ns}	2/73 ^{ns}	0/01 ^{ns}
برهمکنش (I×M)	4	56/85^{ns}	12/14 ^{ns}	13/96 **	0/001^{ns}	20/01*	4/62^{ns}	0/000^{ns}	66/38**	0/12^{ns}
برهمکنش (Y×I×M)	4	6/94 ^{ns}	1/51 ^{ns}	1/16 ^{ns}	0/000 ^{ns}	5/26 ^{ns}	1/69 ^{ns}	0/000 ^{ns}	1/60 ^{ns}	0/002 ^{ns}
خطای آزمایش	24	61/22	9/99	2/23	0/000	5/50	7/20	0/000	5/93	0/04
ضریب تغییرات (درصد)		8/89	10/67	4/16	0/95	8/23	3/10	8/89	12/03	8/21

** در سطح 1% و * در سطح 5% معنی‌دار هستند. ns معنی دار نیست.

جدول 3- مقایسه میانگین عوامل اصلی سطوح آبیاری (I) و سطوح قارچ های میکوریزی (M) بر برخی صفات اندازه گیری شده با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن (α=0/05)

سطوح فاکتورها	عملکرد (کیلوگرم در هر درخت)	وزن تک میوه (گرم)	pH آبمیوه	رطوبت نسبی برگ (درصد)	غلظت فسفر برگ (درصد)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
سطوح آبیاری (I)						
I_1	74/72 ^{c} *	26/86 ^{c}	2/095 ^{c}	84/17 ^{b}	0/1428 ^{c}	2/559 ^{a}
I_2	82/83 ^{b}	28/71 ^{b}	2/189 ^{b}	88/05 ^{a}	0/1678 ^{a}	2/389^{b}
I_3	102/2 ^{a}	33/29 ^{a}	2/203 ^{a}	87/26 ^{a}	0/1638 ^{b}	2/119 ^{c}
سطوح قارچ میکوریزا (M)						
M_0	81/28 ^{c}	23/71 ^{c}	2/146 ^{c}	80/03 ^{c}	0/1440 ^{c}	2/106 ^{c}
M_1	89/22 ^{b}	28/79 ^{b}	2/161 ^{b}	87/16 ^{b}	0/1584 ^{b}	2/349 ^{b}
M_2	99/22 ^{a}	36/36 ^{a}	2/181 ^{a}	92/28 ^{a}	0/1721 ^{a}	2/612 ^{a}

I_1: 60% نیاز آبی لیمو ، I_2 : 80% نیاز آبی لیمو و I_3 : 100% نیاز آبی لیمو

M_0: بدون استفاده از قارچ میکوریزی و M_1: یک کیلوگرم قارچ میکوریزا و M_2: دو کیلوگرم قارچ میکوریزا

* برای هر عامل جداگانه در هر ستون، حروف غیر مشابه بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف آماری در سطح 5% را نشان می دهد.

همانطور که از داده‌های این جدول مشخص است، اولاً برترین تیمار تقریباً در همه صفات اندازه‌گیری شده بجز کارائئ مصرف آب که روند معکوسی را نشان داد، مربوط به مصرف دو کیلوگرم قارچ میکوریزا به ازای هر درخت، تحت شرایط بدون تنش رطوبتی (I_3M_2) و کمترین مقدار هر صفت نیز به عدم مصرف قارچ میکوریزا و تحت تنش شدید رطوبتی (I_1M_0) بود. ثانیاً تحت شرایط تنش شدید رطوبتی استفاده از قارچ

میکوریزا بویژه در سطح دو کیلوگرم در هر درخت، سبب برتری معنی‌دار، تقریباً در همه صفات گردید. بطوری‌که مصرف یک و دو کیلوگرم قارچ میکوریزا تحت شرایط تنش شدید رطوبتی سبب افزایش عملکرد، وزن میوه، قطر میوه، کلـروفیل برگ، رطوبت نسبی برگ، غلظـــت فسفر برگ و کارایی مصرف آب بترتیب به میزان 21/1 و 37/6، 37/2 و 64/3، 23/2 و 31/1، 12/4 و 27/8، 9/3 و 13/7، 7/6 و 29/9، 21/1 و 37/6 درصد گردید. همچنین استفاده از یک و دو کیلوگرم قارچ میکوریزا نسبت به تیمار عدم مصرف قارچ (شاهد) کلنی‌سازی ریشه را بترتیب 4/24 و 4/87 برابر نمود. تحت شرایط تنش رطوبتی ملایم (تیمار I_2) نیز مصرف دو کیلوگرم قارچ میکوریزا، سبب افزایش معنی‌دار همه صفات اندازه-گیری شده گردید و مصرف یک کیلوگرم قارچ میکوریزا به ازای هر درخت سبب افزایش معنی دار قطر میوه، اسیدیته آبمیوه، کلروفیل برگ، رطوبت نسبی برگ، غلظت فسفر برگ و کلنی‌سازی ریشه شد.

کلروفیل برگ یکی از ویژگی‌های زیست شیمیایی است که نقش مهمی در فتوسنتز گیاه و در نتیجه در رشد گیاه و تجمع زیست توده دارد. در این تحقیق تنش خشکی برمقدار کلروفیل برگ تاثیر منفی ولی در مقابل، تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش کلروفیل برگ شد. این نشان می دهد که تلقیح با قارچ توانسته است اثرات سوء تنش خشکی بر کلروفیل و در نتیجه بر رشد گیاه را کاسته و در واقع بدین وسیله مقاومت گیاه در برابر تنش، بیشتر نماید. تاثیر مثبت قارچ میکوریزا بر غلظت فسفر برگ توسط پوزش شیرازی و همکاران (1397) نیز گزارش گردیده است. بطور کلی خاک‌هایی که بلحاظ فسفر بومی در سطح پایین‌تری قرار دارند و فسفر محلول در خاک کم بوده یا در اثر خشکی، ضریب پخشیدگی عنصر فسفر بسیار کاهش یافته است، اثرات مثبت تلقیح میکوریزایی در آنها مشهودتر می‌باشد (ابیجبیجن و همکاران، 1996). رابطه همزیستی تشکیل شده بین گیاه و قارچ‌های میکوریز آربسکولار، به گیاه این امکان را می‌دهد که بواسطه ریسه‌های خارجی امتداد یافته در ناحیه‌ای فراتر از محل تخلیه فسفر، حجم بیشتری از خاک را در جستجوی فسفر در اختیار گیرد (سونار و همکاران، 2013). در تحقیق وو و زو (2009_b) نیز افزایش غلظت فسفر برگ در نهال‌های مرکبات *Poncirus trifoliata* در اثر تلقیح با میکوریزا گزارش گردیده است.

در این تحقیق افزایش مقدار نسبی آب برگ در راستای افزایش میزان کلنی‌سازی ریشه بوده است. از آنجایی که مقدار نسبی آب برگ یکی از مولفه های موثر در بهبود تنظیم اسمزی در گیاه تحت شرایط تنش خشکی است، لذا می توان نتیجه‌گیری کرد که احتمالاً یکی از علل افزایش رشد و عملکرد گیاهان تلقیح شده، افزایش تنظیم اسمزی بوده است. محققین زیادی اشاره کرده‌اند که تحت شرایط تنش خشکی، مقدار نسبی آب برگ کاهش می‌یابد. کریشنا و همکاران (2005) اعلام نمودند که گیاهان انگور تلقیح شده با چند گونه قارچ میکوریزا در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزایی مقدار نسبی آب برگ بیشتری داشته و بدین طریق گیاه را در مواجهه با تنش خشکی کمک نموده است. از نتایج دیگر این تحقیق افزایش کارایی مصرف آب تحت شرایط استفاده از قارچ میکوریزی بود که با نتایج محققین دیگری نیز مشابهت دارد (پیرزاد و محمد زاده، 2018). همچنین کارایی مصرف آب با افزایش کلنی سازی ریشه ارتقاء یافته است. این نتیجه با یافته های تاسوکه و همکاران (2015) مطابقت دارد. یکی از مکانیسم‌های پیشنهادی برای بهبودی کارایی مصرف آب، افزایش بیومس ریشه‌ها در نتیجه استفاده از قارچ‌های میکوریزی است، که پیامد آن تاثیر مثبت بر رشد گیاه است و این موضوع بدلیل حلالیت بیشتر فسفر، تحت این شرایط می‌باشد (سابرامانیان، 2006).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، چنین بر می‌آید که تلقیح میکوریزایی بؤیژه به میزان دو کیلوگرم به ازای هر درخت لیمو سبب افزایش قابل

توجهی در کلنی‌سازی ریشه گردیده و این موضوع علاوه بر بهبود رشد و عملکرد گیاه سبب افزایش کارایی مصرف آب هم تحت شرایط تنش و هم بدون تنش گردیده است. بعبارت دیگر استفاده از قارچ‌های میکوریزی توانسته است ثرات سوء تنش رطوبتی، بویژه در تنش ملایم بر گیاه لیمو را تخفیف دهد. این موضوع احتمالاً به دلیل بهبود جذب فسفر و نیز بهبود روابط آبی، از جمله تنظیم اسمزی در گیاه بوده است. بنابراین استفاده از این قارچ‌ها در باغات مرکبات، بویژه در مراحل اولیه کاشت نهال در خاک‌های آهکی جنوب کشور توصیه می‌گردد و این امر می‌تواند کمک مؤثری در کاهش مصرف آب و عناصر غذایی بؤیژه فسفر، نماید.

سپاسگزاری

بدین وسیله از بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب بخاطر در اختیار قرار دادن مایه تلقیح قارچ میکوریزا و آقای مهندس آیینه بدلیل در اختیار قرار دادن باغ لیمو جهت انجام آزمایش و نیز آقای مهندس ضیائیان دارابی برای انجام تجزیه های آزمایشگاهی صمیمانه قدردانی می‌گردد.

جدول 4- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح آبیاری و سطوح قارچ میکوریزا بر صفات اندازه گیری شده

صفات	I_1			I_2			I3		
	M_0	M_1	M_2	M_0	M_1	M_2	M_0	M_1	M_2
عملکرد (کیلو گرم در هر درخت)	62/5 f *	75/7 e	86/0 d	85/5 d *	90/2 d	102/8 ab	95/8 bc *	101/8 ab	108/8 a
وزن تک میوه (گرم)	20/07 d	27/54 c	32/97 b	23/69 cd	26/14 c	36/29 ab	27/37 c	32/68 b	39/82 a
قطر میوه (میلی‌متر)	28/97 f	35/68 cd	37/98 b	31/68 e	34/97 d	40/00 a	36/03 cd	37/27 bc	41/12 a
اسیدیته آبمیوه	2/086 h	2/083 i	2/115 g	2/167 f	2/190 d	2/212 b	2/185 e	2/210 c	2/214 a
کلروفیل برگ	22/34 ef	25/10 de	28/55 c	21/65 f	26/77 cd	32/35 b	26/21 cd	34/63 b	38/79 a
رطوبت نسبی برگ (درصد)	78/17 c	85/45 b	88/88 b	81/07 c	88/33 b	94/75 a	80/87 c	87/70 b	93/22 a
غلظت فسفر برگ (درصد)	0/1259 h	0/1355 g	0/1635 d	0/1533 e	0/1743 b	0/1758 a	0/1492 f	0/1653 c	0/1770 a
کلنی سازی ریشه (درصد)	4/28 e	18/17 d	20/85 d	5/87 e	27/78 c	31/92 b	7/12 e	31/25 b	34/97 a
کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	2/140 cd	2/592 b	2/945 a	2/200 cd	2/323 c	2/645 b	1/977 d	2/133 cd	2/247 c

I_1: 60% نیاز آبی لیمو ، I_2 : 80% نیاز آبی لیمو و I_3 : 100% نیاز آبی لیمو

M_0: بدون استفاده از قارچ میکوریزی و M_1 :یک کیلوگرم قارچ میکوریزا و M_2 : دو کیلوگرم قارچ میکوریزا

* برای هر عامل جداگانه در هر ردیف، حروف غیر مشابه بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف آماری در سطح 5% را نشان می دهد.

فهرست منابع:

1. احمدی، ک.، عبادزاده، ح ر.، حاتمی، ف.، حسین پور، ر. و عبدشاه، ه. 1399. آمارنامه کشاورزی سال98. معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، وزارت جهاد کشاورزی. جلد سوم. محصولات باغبانی.
2. تدین، م س.، خوگر ز.، معافپوریان، غ ر.، ضیائیان، ع. ح.، کشاورز، ه.، نوابی، ف.، همتی، ا.، حقیقت‌نیا، ح.، رستگار، ح.، میرزاوند، ج. ب. و ملکوتی، م. ج. 1384. توصیه بهینه کودی برای محصولات زراعی و باغی استان فارس. نشریه فنی شماره 456. انتشارات سنا، تهران، ایران.
3. پوزش شیرازی، م.، حقیقت نیا، ح.، خادمی، ر. 1397. تأثیر همزیستی میکوریزی بر جذب عناصر غذایی و کارایی مصرف آب در گوجه فرنگی تحت شرایط تنش خشکی. نشریه آب و خاک، دانشگاه فردوسی مشهد 22(4): 820-809.
4. حقیقت‌نیا، ح.، رجالی، ف.، نادیان، ح. 1390. تأثیر دو گونه قارچ میکوریزا آربسکولار بر برخی پارامترهای رشد رویشی پایه مرکبات *citrus volkameriana* تحت تنش خشکی. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز، ایران.

5. حیدری، ن. 1393. ارزیابی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی و عملکرد سیاست ها و برنامه‌های مدیریت آب کشور در این زمینه. 78 :199-177.

6. Ahanger, M.A., Hashem, A., Abd-Allah, E.F., and Ahmad P. 2014. Arbuscular mycorrhiza in crop improvement under environmental stress, pp 69-95. In: Ahmad P. (eds) Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance, Elsevier Publication.
7. Amiri, M.J., and Eslamian, S.S. 2010. Investigation of climate change in Iran. Journal of Environmental Science and Technology, 3(4): 208-216.
8. Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan M.I., Ashraf, M., Ahmed, N. and Zhang, L. 2019. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. Frontiers in Plant Science, 10:1-15.
9. Doorenbos, J., and Pruitt, W.O. 1984. Crop water requirements, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Irrigation and Drainage Paper No.24, Revised, Room, Italy.
10. Fernández-Lizarazo, J.C., and Moreno-Fonseca, L.P. 2016. Mechanisms for tolerance to water-deficit stress in plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. A review. Agron. Colomb. 34: 179–189.
11. He, J.D., Zou, Y.N., Wu, Q.S., and Kuˇca, K. 2020. Mycorrhizas enhance drought tolerance of trifoliate orange by enhancing activities and gene expression of antioxidant enzymes. Sci. Hortic. 262:108745.
12. Ibijbijen, J., Urquiaga, S., Ismaili, M., Alves, B.J.R., and Boddey, R.M. 1996. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition and nitrogen fixation of three varieties of common beans. New Phytol. 134: 353-360.
13. Keller, J., and Blisner, R.D. 1990. Sprinkler and trickle irrigation, Van Nostrand Reinbold, Newyork, 10003, 642p.
14. Krishna, H., Singh, S.K., Sharma, R.R., Khawale, R.N., Grover, M., and Patel, V.B. 2005. Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular-mycorrhizal fungi (AMF) inoculation during ex vitro acclimatization. Scientia Hortic. 106:554-567.
15. Larrainzar, E., Wienkoop, S. 2017. A proteomic view on the role of legume symbiotic interactions. Frontiers in Plant Science, 8:1-13.
16. Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta. 27:31-36.
17. Orfanou, A., Pavlou, D., Porter, W.M. 2019. Maize yield and irrigation applied in conservation and conventional tillage at various plant densities. Water, 11: 1726-1748.
18. Pirzad, A.R, Mohammadzadeh, S. 2018. Water use efficiency of three mycorrhizal Lamiaceae species (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus Officinalis* and *Thymus vulgaris*). Agriculture Water Management, 204:1-10.
19. Phillips, J.M., and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures clearing roots and staining parasitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc. 55: 158-161.
20. Sembok, W.W., Abu-Kassim, N., Hamzah, Y., and Rahman, ZA. 2015. Effect of Mycorrhizal Inoculation on Growth and Quality of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Grown in Soiless Culture System. Malaysian Appl. Biol. 44(1): 57-62.
21. Sonar, B.A., Kamble, V.R., and Chavan, P.D. 2013. Native AM fungal colonization in three Hibiscus species under NaCl induced salinity. J. Pharm. Biol. Sci. 5(6): 7-13.
22. Subramanian, K.S., Santhanakrishnan, P., and Blasubramanian, P. 2006. Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhyzal fungal colonization under varying intensities of drought stress. Scientia Horticulturae, 107:245-253.

23. Tauschke, M., Behrendt, A., Monk, J., Lentzsch, P., Eulenstein, F., and Monk, S. 2015. Improving the water use efficiency of crop plants by application of mycorrhizal funji. Horticulturae, 1-8.
24. Wu, Q.S., Srivastava, A.K. and Zou, Y.N. 2013. AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: a review. Sci. Horti. 164: 77-87.
25. Wu, Q.S., He, J.D., Srivastava, A.K., Zou, Y.N., and Kuˇca, K. 2019. Mycorrhizas enhance drought tolerance of citrus by altering root fatty acid compositions and their saturation levels. Tree Physiol. 39: 1149–1158.
26. Wu, Q.S., and Xia, R.X. 2006_a. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. J. Plant Physiol. 163(4):417-425.
27. Wu, Q.S., and Xia, R.X. 2006_b. Effects of water stress and Arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxygen metabolism and antioxidant production by citrus (*Citrus tanjerin*) roots. Europ. J. Soil Biol. 42(3):166-172.
28. Wu, Q.S., and Zou, Y.N. 2009_a. The effect of Dual application of arbuscular mycorrhizal fungi and polyamines upon growth and nutrient uptake on trifoliate orange (*Poncirus trifoliate*) seedlings. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj. 37(2):95-98.
29. Wu, Q.S., and Zou, Y.N. 2009_b. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. Plant Soil Environ. 55(10):436-442.
30. Wu, Q.S., Zou, Y.N., Xia, R.X., and Wang, M.Y. 2007. Five Glomus species affect water relations of citrus tanjerine during drought stress. Botanical Studies, 48:147-154.
31. Zarei, M., Paymaneh, Z., Ronaghi, A. 2016. The effects of arbuscular mycorrhizal fungus and water stress on some antioxidant enzymes activities and nutrients uptake of two citrus rootstocks. Iran Agricultural Research, 35(2): 19-26.
32. Zhang, F., Zou, Y.N., Wu, Q.S., and Kuˇca, K. 2020. Arbuscular mycorrhizas modulate root polyamine metabolism to enhance drought tolerance of trifoliate orange. Environ. Exp. Bot. 171:103962.
33. Zou, Y.N., Wu, Q.S., and Kuˇca, K. 2020. Unravelling the role of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating the oxidative burst of plants under drought stress. Plant Biol. doi: 10.1111/plb.13161. [Epub ahead of print].

Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and irrigation levels on yield and growth characteristics of lemon (*Citrus aurantifolia*) trees in Darab

H. Haghighatnia[1], and F. Rejali

Assistant Professor of Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Darab, Fars, Iran; E-mail: hasan.haghighatnia@yahoo.com, Associate Professor of Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran; E-mail: frejali@yahoo.com

Received: October, 2021 & Accepted: January, 2022

Abstract

Lemon (*Citrus aurantifolia*) is particularly an important tree because its fruits are freshly used and also they are used in the food industries. Lemon tree has high economical value among all other citrus trees. In order to investigate the effects of mycorrhizal inoculation on lemon tree under draught stress, an experiment was carried out in split-block design with three replications. The study area was Darab and the experimental period was two years. The main plots consisted of three levels of irrigation (60 %, 80 % and 100 % of lemon water requirements), and the subplots were three levels of mycorrhizal inoculation (0, 1 and 2 kg per tree). Mycorrhizal inoculant was prepared by mixing of three species *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus irregularis* and *Claroideoglomus etunicatum*. The results showed that moisture stress, regardless to mycorrhizal inoculation, caused significant decrease in the majority of the measured traits, except Water use efficiency (WUE) that showed the opposite trend. Main effects of mycorrhizal inoculation increased the majority of measured traits. In 2 kg per tree inoculation treatment, fruit yield, fruit weight, leaf chlorophyll, leaf phosphorous concentration, relative water content, WUE and root colonization were significantly increased (22.1, 53.3, 42.0, 19.5, 15.3, 24.0 and 508 percent, respectively). Under the conditions of mild and sever moisture stresses, the use of mycorrhizal inoculant (1 and 2 kg per tree) improved some of the measured traits, such as fruit yield that increased 20.2% and 37.6%, respectively. As a general conclusion, using of mycorrhizal inoculation had significant effect on yield and some growth characteristics and increased tolerance to moisture stress probably due to improve P concentration and water relation in plant, such as osmotic adjustment, water hydronic conductivity and stomatal regulation.

Keywords: "Lemon (*Citrus aurantifolia*)", "Mycorrhizal fungi", "Phosphorous", "Water stress", "Water use efficiency".

[1]. Corresponding author: Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Darab, Fars, Iran