نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۷، ص. ۸۲۰-۸۰۹

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 4, Sept.-Oct. 2018, p. 809-820

تاثیر همزیستی میکوریزی بر جذب عناصر غذایی و کارآیی مصرف آب در گوجه‌فرنگی تحت شرایط تنش خشکی

مرتضی پوزش شیرازی[1*]- حسن حقیقت نیا[2]- رحیم خادمی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات تلقیح چند گونه قارچ میکوریز آربسکولار بر میزان کلنیزاسیون ریشه، غلظت عناصر غذایی برگ و کارایی مصرف آب در گیاه گوجه‌فرنگی تحت شرایط تنش خشکی، پژوهشی گلخانه‌ای بصورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور در سه تکرار، طی یک دوره ۱۰۰ روزه در سال ۱۳۹۶ در مرکز تحقیقات کشاورزی بوشهر انجام گردید. فاکتور اول شامل تلقیح ریشه گیاه با چهار گونه قارچ میکوریز آربوسکولار (*Glomus mosseae*، *Glomus intraradices*، *Glomus vsersiform* و *Glomus caledonium*) و نیز یک تیمار بدون تلقیح بعنوان شاهد و فاکتور دوم شامل سه سطح رطوبتی خاک بر اساس نقصان رطوبت یا تخلیه مجاز رطوبتی شامل I_1=25 ، I_2=50 و I_3=70 درصد از آب قابل استفاده بود. نتایج نشان داد که هم اثرات اصلی و هم برهمکنش آنها (بجز برای غلظت نیتروژن برگ) بر همه صفات اندازه‌گیری شده در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. کاربرد مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزی سبب بالا رفتن درصد کلنیزاسیون ریشه شد به گونه‌ای که از۵/۳۳ درصد در تیمار شاهد به ۲۲/۰۷ درصد در تیمار مایه‌زنی شده با *گلوموس اینترارادیسز* افزایش یافت. تلقیح با تمام گونه‌ها نسبت به شاهد سبب بهبود غلظت عناصر در برگ گردید. کارآیی مصرف آب نیز با استفاده از قارچ *گلوموس اینترارادیسز* در تیمارهای بدون تنش، تنش ملایم و شدید بترتیب ۶۷/۹، ۴۹/۶ و ۵۲/۱ درصد افزایش یافت. استفاده از قارچ‌های میکوریزی بویژه گونه‌های *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس کالدونیوم* سبب بیشترین افزایش عملکرد و کارآیی مصرف آب شد که این موضوع در نتیجه افزایش مقاومت به تنش خشکی بوده است.

واژه‌های کلیدی: بوشهر، تنش رطوبتی، عناصر پرمصرف و کم مصرف، قارچ میکوریز آربوسکولار، گلخانه.

مقدمه

گیاه گوجه‌فرنگی یکی از مهم‌ترین سبزیجات مورد استفاده انسان می باشد. سطح زیرکشت این محصول در استان بوشهر نزدیک به دوازده هزار هکتار است که عمده تولید آن بصورت خارج از فصل بوده و بعلت درآمدزایی مناسب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات اقتصادی استان برای زارعین به شمار می‌آید. متوسط بارش کشور در سال زراعی ۹۴-۹۳ برابر ۲۳۴/۷ میلیمتر بوده است که این اندازه بارندگی، ایران را در زمره مناطق خشک جهان قرار می دهد (۱۰).

استان بوشهر یکی از استان‌هایی است که در منطقه نیمه خشک ایران واقع گردیده، ضمن اینکه در سال‌های اخیر با خشکسالی‌های متعددی نیز روبرو بوده است، لذا برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی، علاوه بر کمبود آب، سبب کاهش کیفیت و افزایش شوری آن نیز گردیده است. از این‌رو، تداوم تولید این محصول با ارزش نیازمند افزایش بهره‌وری مصرف آب به هر طریق ممکن است. استفاده از تلقیح ریشه گیاه با قارچ‌های میکوریزی یکی از روش‌های نوینی است که علاوه بر بهبود تغذیه گیاه، سبب مواجهه بهتر گیاه با شرایط نامساعد محیطی از جمله تنش خشکی می‌گردد.

در تحقیق صورت گرفته در چین مشاهده شد که نشاءهای گوجه‌فرنگی که تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرند دارای طول ساقه کوتاه‌تر و ریشه ضعیف‌تر می‌باشند. با افزایش خشکی و بالا رفتن pF خاک، میزان فتوسنتز خالص کاهش یافته لیکن مقدارآمینو اسیدها افزایش می‌یابد. این امر بعلت زیاد شدن غلظت اسید در ماده زمینه‌ای است. آن‌ها بهترین pF را برای رشد نشاء گوجه‌فرنگی ۱/۹ تا ۲/۲

۱- مربی پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.shirazi741@gmail.com)
۲- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران
۳- مربی پژوهشی موسسه تحقیقات علوم باغبانی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر، ایران
DOI: 10.22067/jsw.v32i4.72731

گزارش نمودند (۵). بر اساس تحقیقات صورت گرفته در نقاط مختلف، حداکثر تخلیه مجاز یا حداکثر کمبود مجاز برای گیاه گوجه‌فرنگی حدود ۵۰ درصد از کل آب قابل استفاده در خاک بیان گردیده است (۱).

همزیستی میکوریزی به دلیل فعال و متنوع بودن برای افزایش پایداری سیستم کشاورزی همواره مورد توجه بوده است. در شرایط کم آبی هیف‌های قارچ میکوریز آربوسکولار باعث افزایش جذب آب و هدایت هیدرولیکی ریشه‌ها شده و تنظیم اسمزی و تغییرات در کنترل روزنه‌ای و خاصیت ارتجاعی دیواره سلولی را کنترل می نمایند (۲). تنش کم آبی تعداد تارهای کشنده ریشه را کاهش می‌دهد و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد می‌نماید که در نتیجه آن جذب عناصر غذایی بوسیله سیستم ریشه‌ای کاهش می‌یابد. در این زمان، هیف‌های قارچ میکوریز آربسکولار می‌توانند جانشین سیستم‌های ریشه شده و عناصر غذایی را جذب نمایند. نقش همزیستی میکوریزی در شرایط تنش کم آبی در جذب عناصر غذایی مهم‌تر از نقش آن در شرایط بدون تنش آبی است (۳۳).

در سال های اخیر از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار برای مقابله با تنش‌های کم آبی در بسیاری از گیاهان استفاده شده است (۲۹). همزیستی میکوریزی ازطریق اجتناب ازخشکی، افزایش جذب عناصر فسفر و سایر عناصر ضروری برای رشد و توسعه گیاه، آن‌ها را در مقابل تنش حفظ می‌کند (۳).

مکانیسم‌های ممکن برای اصلاح مقاومت به خشکی در گیاهان میکوریزی می تواند شامل افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه، تغییرات در کنترل روزنه‌ای (که این امر ممکن است تحت تأثیر سطوح آبسزیک اسید در شیره خام آوند چوبی صورت گیرد) (۱۴)، افزایش جذب آب ناشی از ریسه‌های خارجی زیاد (۱۶)، تنظیم اسمزی که حتی در پتانسیل‌های پایین آب بافت، ابقاء فشار تورژسانس را تحریک می‌کند (۴)، باشد. استفاده از گونه‌های مختلف قارچ میکوریز آربوسکولار در کشت گیاه گندم و در سطوح تنش رطوبتی منجر به افزایش عملکرد و جذب عناصر فسفر، روی و مس گردیده است (۲۷). واریته‌های گندم حساس به خشکی تحت شرایط تنش رطوبتی وابستگی بیشتری به رابطه همزیستی میکوریزی داشته و جذب نسبی عناصر غذایی فسفر، روی، مس، منگنز و آهن در آنها، بیشتر از واریته‌های مقاوم به خشکی بوده است (۲).

تلقیح با گونه‌های بومی قارچ میکوریز آربوسکولار تأثیر مثبتی بر رشد و مقاومت به خشکی در نهال‌های چهار گونه لگوم درختی داشته است. رابطه همزیستی سبب گردیده که در این گیاهان پتانسیل شیره خام و همچنین میزان نسبی آب موجود در برگ‌ها افزایش یابد (۲۵).

طی یک آزمایش مزرعه‌ای که توسط ساب‌رامانیان و همکاران (۳۰) صورت گرفت، اثرات تلقیح با *Glomus intraradices* بر رشد، عملکرد کمی و کیفی گوجه‌فرنگی که در معرض شدت‌های مختلف تنش خشکی قرار گرفتند، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد ماده خشک اندام هوایی، تعداد گل و میوه به‌طور معنی‌داری در گیاهان میکوریزی بیشتر بود. همچنین عملکرد بطور متوسط به‌ترتیب در گیاهان تحت تنش‌های شدید، متوسط، ملایم و بدون تنش بمیزان ۲۴/۷٪، ۲۳/۱٪، ۱۶/۲٪ و ۱۲/۳٪ نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی افزایش داشت. بنابراین کارآیی مصرف آب (WUE) در گیاهان میکوریزی نیز در همه سطوح تنش خشکی بالاتر از گیاهان غیر میکوریزی بود.

مواد و روش ها

این طرح بصورت گلدانی در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی استان بوشهر با مختصات جغرافیایی ´۱۳ و°۵۱ طول شرقی و ´۱۶ و° ۲۹ عرض شمالی و با ارتفاع ۱۱۰ متر از سطح دریا، حداکثر درجه حرارت ۵۱ درجه و حداقل ۱- درجه سلسیوس، میانگین بارندگی ۲۵۰ میلیمتر و میانگین دمای سالیانه ۲۵/۳ درجه سلسیوس و تبخیر سالیانه حدود ۳۰۰۰ میلیمتر در خاکی با بافت متوسط (شنی لومی) اجراء گردید.

به منظور کاهش اسپورهای طبیعی قارچ میکوریز و ضد عفونی نسبی، این خاک به مدت چند ماه در مقابل اشعه خورشید قرار گرفت. سپس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک انتخاب شده، مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله pH در گل اشباع به وسیله الکترود شیشه‌ای، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت‌سنج، درصد کربن آلی (۳۲)، فسفر محلول در بیکربنات سدیم (۲۴)، بافت خاک توسط روش هیدرومتر (۸) و پتاسیم قابل تبادل توسط روش استات آمونیوم یک نرمال (۱۸) و عناصر کم مصرف قابل استخراج با DTPA (۱۹) تعیین گردید. همچنین رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی (F.C) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) با دستگاه صفحه فشاری (pressure plate) تعیین گردیدکه نتایج آن در جدول (۱) آمده است.

آزمایش حاضر بصورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و در سه تکرار اجراء گردید. فاکتور اول در پنج سطح یعنی تلقیح با چهار گونه قارچ میکوریز آربوسکولار شامل *Glomus mosseae*، *Glomus intraradices*، *Glomus vsersiform* و *Glomus caledonium* و نیز یک تیمار بدون تلقیح بعنوان شاهد و فاکتور دوم شامل سه سطح آبیاری بر اساس نقصان رطوبت یا تخلیه مجاز رطوبتی شامل I_1=25، I_2=50 و I_3=70 درصد از آب قابل استفاده بود که به‌ترتیب بعنوان تیمارهای بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید در نظر گرفته شدند.

میزان کود مصرفی برای تمام تیمارها ثابت و بر اساس آزمون خاک تعیین شد که مقدار این عناصر عبارت بودند از: نیتروژن و

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

Table 1- Some physical and chemical properties of soil used in experiment

EC هدایت الکتریکی	pH اسیدیته	CCE* کربنات کلسیم معادل	O.C کربن آلی	F.C ظرفیت زراعی	PWP پژمردگی دائم	Ca کلسیم	Mg منیزیم	P فسفر	K پتاسیم	Mn منگنز	Cu منگنز	Zn روی	Fe آهن
دسی‌زیمنس-برمتر dS/m	1:5		درصد		%			میلی گرم بر کیلوگرم خاک			mg/kg		
3.50	7.9	57	0.43	16.4	6.5	580	275	8	200	5.1	0.57	0.54	2.8

*CCE= Calcium Carbonate Equivalent

پتاسیم به‌ترتیب به میزان ۵۰ و ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک از منابع اوره و سولفات پتاسیم و نیز آهن، منگنز و روی به‌ترتیب به میزان ۱۰، ۵ و ۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک از منابع کلات آهن و سولفات های منگنز و روی داده شد.

پس از اضافه نمودن کودهای مورد نیاز به خاک هر گلدان به وزن ۱۰ کیلوگرم، همزمان با کاشت نشاهای گوجه‌فرنگی رقم کالجی بر اساس دستورالعمل توصیه شده، عمل تلقیح قارچ‌های میکوریزی مطابق تیمارها نیز صورت گرفت. بدین صورت که میزان ۱۰۰ گرم مایه تلقیح توصیه شده از موسسه تحقیقات خاک و آب به خاک هر گلدان در مجاورت ریشه گیاه اضافه گردید.

جهت تعیین زمان آبیاری از ۳ تانسیومتر بارومتری با انتهای گچی در گلدان‌های مربوط به سه تیمار مختلف آبیاری استفاده گردید. میزان آب مصرفی نیز با توجه به تیمارهای مورد نظر (بر اساس نقصان رطوبت تا ۲۵، ۵۰ و ۷۰ درصد از آب قابل استفاده) و بر اساس روش جرمی محاسبه و به گیاهان موجود در گلدان‌ها داده شد. با توجه به آنکه حجم آب مصرفی در هر نوبت آبیاری، مقدار کمی را شامل می شد از بشر پلاستیکی با درجه بندی مشخص استفاده گردید.

کل آب مصرفی در سه تیمار یاد شده به ترتیب ۲۲/۳، ۲۰/۱ و۱۷/۷ لیتر برای هر گلدان با وزن خاک ۱۰ کیلوگرم و طی ۳۵، ۲۴ و ۱۴ مرتبه آبیاری در طول مدت ۱۰۰ روز مصرف گردید. جهت کالیبره کردن عدد تانسیومتر با درصدهای مختلف رطوبت خاک، پس از حصول اطمینان از سالم بودن تانسیومترها، آنها را در گلدان‌هایی جداگانه قرار داده و درصد رطوبت خاک در طول چند روز به روش وزنی محاسبه گردیده و با عدد تانسیومتر تطابق داده شد.

کلیه مراقبت های لازم مانند سم پاشی جهت مبارزه با آفات برگ‌خوار صورت گرفت. در پایان اجرای طرح، گلدان‌ها در ظروف آب بزرگ وارد شده و پس از خیس خوردن کامل خاک (در حدود ۳ دقیقه) با دقت خاک اطراف ریشه‌ها جدا گردیده و ریشه‌ها تمیز شدند. درصد کلنیزاسیون ریشه‌ها با قارچ پس از رنگ‌آمیزی آنها با Try pan blue با روش Grid line intersect method (۲۶) تعیین شد.

همچنین به‌منظور تعیین عناصر غذایی گیاه، پس از آسیاب نمودن نمونه برگ خشک شده در آون، یک نمونه یک گرمی از هر تیمار در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد خاکستر شده و سپس در ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک دو نرمال حل و پس از عبور دادن از کاغذ صافی با اضافه نمودن آب مقطر، به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده و با دستگاه جذب اتمی مدل سولار عناصر آهن، مس، منگنز، روی و نیز با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل فارماکسیا قرائت شد. غلظت فسفر با استفاده از روش رنگ سنجی (۲۳) تعیین و پتاسیم نمونه‌ها با دستگاه فلیم فتومتر مدل کورنینگ ۴۰۵ با روش شعله سنجی تعیین شد.

در نهایت با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه‌های آماری و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن صورت گرفت و نتایج مورد بحث قرار گرفت.

نتایج

تأثیر سطوح تنش خشکی و گونه‌های قارچ بر غلظت برخی عناصر پرمصرف و کم مصرف

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر غلظت عناصر غذایی برگ نشان داد که تاثیر قارچ، تنش خشکی و برهمکنش آنها بر همه صفات موجود در جدول شماره ۲ در سطح یک درصد معنی‌دار است. تنها برهمکنش تیمار آبیاری با قارچ بر میزان غلظت نیتروژن در برگ گوجه فرنگی معنی دار نگردید.

در ذیل نتایج مقایسه میانگین تاثیر تنش خشکی، استفاده از قارچ های میکوریزی و برهمکنش آنها بر عناصر غذایی برگ گیاه گوجه فرنگی مورد بررسی قرار گرفت که اطلاعات مربوط به هر کدام از عناصر در جدول ۳ آمده است.

الف) عناصر پر مصرف

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار میزان نیتروژن در گیاه گوجه‌فرنگی گردید، به‌طوری که کمترین غلظت نیتروژن مربوط به تیمار تنش شدید رطوبتی و بیش‌ترین آن به تیمار بدون تنش اختصاص داشت.

جدول ۲- تجزیه واریانس غلظت عناصر غذایی در برگ گیاه گوجه فرنگی

Table 2- Analysis of variance of nutrient concentration in leaf tomato plant

منابع تغییر (Sources of var.)	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Mean square)						
		N نیتروژن	P فسفر	K پتاسیم	Fe آهن	Cu مس	Mn منگنز	Zn روی
سطوح تنش خشکی (Drought stress)	2	0.864**	0.018**	0.285**	2878**	2.615**	354.3**	278.1**
قارچ میکوریزا (Mycorrhizal fungi)	4	0.456**	0.032**	1.295**	14580**	9.412**	467.6**	282.7**
برهمکنش (Interaction)	8	0.084**	0.003**	0.067**	809**	1.842**	85.5**	318.7**
خطای آزمایش Experimental fault	30	0.028	0.001	0014	101.58	0.057	6.64	5.68
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of var. (%)		6.78	5.65	3.66	7.12	2.87	4.25	4.36

ns = not significant ** significant at 1%

** در سطح ۱٪ معنی دار است ns معنی دار نیست

البته بین تیمارهای تنش ملایم و شدید اختلاف معنی‌دار نبود. تلقیح ریشه‌ها با تمام گونه‌های قارچ میکوریز نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. بین دو گونه *گلوموس ورسیفورم* و *گلوموس اینترارادیسز* نیز اختلاف معنی‌دار نبود. برهمکنش تیمار بدون تنش رطوبتی همراه با تلقیح با گونه‌های مختلف قارچ بجز *گلوموس کالدونیوم* و شاهد در یک سطح آماری قرار داشته و بالاترین مقدار نیتروژن را شامل گردید. کمترین میزان نیتروژن به برهمکنش تنش شدید رطوبتی و شاهد قارچ اختصاص داشت.

تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار میزان فسفر در گیاه گوجه‌فرنگی گردیده است. کمترین میزان فسفر مربوط به تیمار تنش شدید رطوبتی و بیشترین آن به تیمار بدون تنش اختصاص داشت. تلقیح ریشه‌ها با همه گونه‌های قارچ میکوریز نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. بین سه گونه *اینترارادیسز*، *ورسیفورم* و *موسه‌آ* نیز اختلاف معنی‌دار نبود. گونه *گلوموس اینترارادیسز* نسبت به تیمار شاهد بدون قارچ توانست فسفر را به میزان ۳۱/۴ درصد افزایش دهد. در سطح بدون تنش بین گونه‌های قارچ میکوریزی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی همگی با شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. در تنش ملایم غیر از گونه گلوموس *ورسیفورم* بقیه با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند و در تنش شدید رطوبتی بین هیچ کدام از تیمارهای کاربرد قارچ با شاهد اختلاف معنی‌داری ملاحظه نشد. در بین همه تیمارها بالاترین میزان فسفر برگ مربوط به گونه‌های *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس کالدونیوم* در تیمار بدون تنش بود.

تحت شرایط تنش ملایم رطوبتی نسبت به شاهد میزان پتاسیم در گیاه گوجه‌فرنگی افزایش معنی‌داری یافت اما در شرایط تنش شدید رطوبتی مجدداً میزان پتاسیم کاهش یافته است. تلقیح ریشه‌ها با گونه‌های مختلف قارچ نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. بین گونه‌های *گلوموس کالدونیوم* ، *موسه‌آ* و *ورسیفورم* اختلاف معنی‌داری از نظر میزان پتاسیم مشاهده نگردید. برترین تیمارها از نظر آماری مربوط به برهمکنش تیمار تنش ملایم رطوبتی همراه با تلقیح با گونه‌های *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس کالدونیوم* بود.

ب) عناصر کم مصرف

مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن نشان داد که تنش رطوبتی در هر دو سطح سبب کاهش معنی‌دار میزان آهن در گیاه گوجه‌فرنگی نسبت به تیمار بدون تنش گردیده است، بطوری که میزان آهن از ۱۷۳/۲ به ۱۱۰/۹ میکرو گرم در گرم وزن خشک برگ در سطح تنش شدید کاهش یافته است. تلقیح ریشه‌ها با گونه‌های مختلف قارچ نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را از نظر میزان آهن برگ نشان داد. بیشترین آهن برگ مربوط به تلقیح ریشه‌ها با گونه *کالدونیوم* و پس از آن به گونه‌های *موسه‌آ* و *اینترارادیسز* اختصاص داشت. میزان آهن در گونه *گلوموس کالدونیوم* ۴۱ درصد بالاتر از شاهد بود. برهمکنش دو فاکتور نشان داد بیشترین غلظت آهن برگ مربوط به تیمار بدون تنش رطوبتی مایه زنی شده با گونه *گلوموس کالدونیوم* بود. کمترین میزان آهن برگ به تیمار دارای تنش شدید رطوبتی و بدون مایه زنی با قارچ اختصاص داشت .

نتایج نشان داد که تنش های ملایم و شدید رطوبتی هر دو سبب افزایش معنی‌دار میزان مس در گیاه گوجه‌فرنگی نسبت به تیمار بدون تنش گردیده است، بطوری که میزان مس از ۷/۴۳ به ۸/۹۵ میکروگرم در گرم وزن خشک برگ افزایش یافته است. تاثیر تلقیح

ریشه‌ها با گونه‌های مختلف قارچ موجب افزایش میزان مس در برگ شد. بیشترین میزان مس برگ به تلقیح ریشه‌ها با گونه *موسه‌آ* و پس از آن به گونه‌های *گلوموس ورسیفورم* و *گلوموس اینترارادیسز* اختصاص داشت. میزان مس در گونه *گلوموس موسه‌آ* ۱۹/۲درصد بالاتر از شاهد بود. برهمکنش دو فاکتور نشان داد که بیشترین میزان مس در برگ گوجه‌فرنگی مربوط به برهمکنش تنش شدید رطوبتی همراه با تلقیح با گونه *موسه‌آ* بود و کمترین میزان مس برگ به برهمکنش تیمار بدون تنش رطوبتی و شاهد اختصاص داشت.

جدول ۳- مقایسه میانگین گونه‌های مختلف قارچ میکوریز آربسکولار و سطوح تنش خشکی بر غلظت عناصر غذایی برگ.

Table 3- Mean comparison of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress levels on leaf nutrients concentration

تیمار آبیاری Irrigation) (treatments	شاهد (control)	*Glomus caledonium*	*Glomus intraradices*	*Glomus versiform*	*Glomus mosseae*	میانگین (Mean)
			(N concentration %)	غلظت نیتروژن ٪		
2.67 A	2.04 gh	2.3 efg	3.04 ab	3.1 cde	2.86 abc	I_1
2.44 B	2.12 fgh	2.2 fgh	2.79 bcd	2.59 cde	2.52 de	I_2
2.33 B	1.98 h	2.32 efg	2.52 de	2.4 ef	2.41 ef	I_3
	2.05 D	2.27 C	2.78 A	2.69 AB	2.59 B	Mean
			(P concentration %)	غلظت فسفر ٪		
0.48 A	0.37 b	0.51 a	0.52 a	0.52 a	0.48 a	I_1
0.44 B	0.36 b	0.47 a	0.50 a	0.40 b	0.47 a	I_2
0.39 A	0.35 b	0.38 b	0.40 b	0.40 b	0.41 b	I_3
	0.36 C	0.453 AB	0.473 A	0.44 B	0.453 AB	Mean
			(K concentration %)	غلظت پتاسیم ٪		
3.12 B	3.0 de	3.11 cde	3.16 cd	3.14 cd	3.19 cd	I_1
3.58 A	3.32 bc	3.75 a	3.90 a	3.44 b	3.47 b	I_2
3.03 C	2.76 f	2.91 ef	3.47 b	2.91 ef	3.1 cde	I_3
	3.027 C	3.257 B	3.513 A	3.163 B	3.253 B	Mean
			(Fe concentration %)	غلظت آهن ٪		
173.2 A	153.8 cd	209.2 a	180.9 b	156.1 cd	166.2 bc	I_1
140.4 B	108.5 gh	175.7 b	126.5 f	144.6 de	146.9 de	I_2
110.9 C	87.7 i	108.8 gh	123.3 fg	99.7 hi	135.1 ef	I_3
	116.7 D	164.6 A	143.6 B	133.5 C	149.4 B	Mean
			(Cu concentration %)	غلظت مس ٪		
7.43 C	7.04 i	7.46 hi	7.18 hi	8.3 def	7.15 hi	I_1
8.55 B	7.57 gh	8.8 c	8.65 cde	8.71 cd	9.03 c	I_2
8.95 A	7.91 fg	8.1 f	9.86 b	8.24 ef	10.66 a	I_3
	7.50 D	8.12 C	8.56 B	8.42 B	8.95 A	Mean
			(Mn concentration %)	غلظت منگنز ٪		
54.25 B	52.93 fg	59.17 cde	56.24 ef	52.67 fg	50.26 g	I_1
63.80 A	52.52 fg	63.47 c	74.50 a	58.65 de	69.86 b	I_2
64.04 A	50.52 g	63.34 c	75.80 a	61.95 cd	68.61 b	I_3
	51.99 D	61.99 B	68.85 A	57.76 C	62.91 B	Mean
			(Zn concentration %)	غلظت روی ٪		
50.27 C	47.67 gh	53.0 def	49.67 fgh	49.33 fgh	51.67 fg	I_1
58.95 A	45.20 h	60.44 bc	86.90 a	52.69 ef	49.52 fgh	I_2
54.68 B	48.50 fgh	56.44 cde	50.50 fg	60.82 b	57.15 bcd	I_3
	47.12 D	56.63 B	62.36 A	54.28 C	52.78 C	Mean

*میانگین هایی که در هر ردیف و ستون دارای حرف مشترک هستند، در سطح ۵ ٪ با آزمون دانکن دارای اختلاف معنی دار نمی باشند

Means followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05) by Duncan test.

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد که تنش رطوبتی در هر دو سطح سبب افزایش معنی دار غلظت منگنز در گیاه گوجه‌فرنگی نسبت به تیمار بدون تنش گردیده است ولی بین دو سطح تنش اختلاف معنی‌دار نبود، بطوری که میزان منگنز از ۵۴/۲۵ در تیمار شاهد به ۶۴/۰۴ میکروگرم در گرم وزن خشک برگ در تیمار تنش شدید رطوبتی افزایش یافت. تلقیح ریشه‌ها با گونه‌های مختلف قارچ نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را از نظر میزان منگنز برگ نشان داد. بیشترین منگنز برگ مربوط به تلقیح ریشه‌ها با گونه

گلوموس اینترارادیسز و پس از آن به گونه‌های *گلوموس موسه‌آ* و *گلوموس کالدونیوم* اختصاص داشت. میزان منگنز در گونه *موسه‌آ* ۳۲/۴ درصد بالاتر از شاهد بود. برترین تیمارها از نظر آماری مربوط به برهمکنش تیمار تنش ملایم و شدید رطوبتی همراه با مایه‌زنی با گونه *گلوموس اینترارادیسز* بود. کمترین میزان منگنز برگ به برهمکنش تیمار تنش شدید و شاهد قارچ اختصاص داشت.

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد که سطوح ملایم و شدید تنش رطوبتی سبب افزایش معنی‌دار میزان روی در گیاه گوجه‌فرنگی نسبت به تیمار بدون تنش گردیده است و بین دو سطح تنش نیز اختلاف معنی‌دار بود. تلقیح ریشه‌ها با گونه‌های مختلف قارچ نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را از نظر میزان روی برگ نشان داد. بیشترین روی برگ مربوط به تلقیح ریشه ها با گونه گلوموس *موسه‌آ* و پس از آن به گونه *گلوموس کالدونیوم* اختصاص داشت. میزان روی در گونه *موسه‌آ* ۳۲/۴ درصد بالاتر از شاهد بود. برترین تیمار از نظر آماری مربوط به برهمکنش تیمار تنش ملایم رطوبتی همراه با مایه‌زنی با گونه *گلوموس موسه‌آ* بود. کمترین میزان روی برگ به برهمکنش تیمار تنش ملایم و شاهد قارچ اختصاص داشت. بطوری‌که میزان روی در تیمار اخیر حدود ۴۸ درصد کمتر از برترین تیمار بود .

تاثیر سطوح تنش خشکی و تلقیح با گونه‌های مختلف قارچ بر میزان کلنیزاسیون ریشه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریز آربسکولار و نیز برهمکنش آن‌ها بر میزان کلنی‌سازی ریشه گوجه فرنگی در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند.

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن (نمودار۱) نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار میزان کلنیزاسیون ریشه گوجه‌فرنگی شد، بطوری که کمترین کلنی‌سازی ریشه مربوط به تیمار ۷۵٪ تخلیه رطوبتی (تنش شدید) بود و بیشترین میزان کلنیزاسیون به تیمار بدون تنش یعنی ۲۵٪ تخلیه رطوبتی اختصاص داشت. تلقیح ریشه‌ها با هر چهار گونه قارچ سبب افزایش کلنیزاسیون ریشه شد اما بین گونه‌های *گلوموس موسه‌آ* و *گلوموس ورسیفورم* اختلاف معنی دار نبود و به‌ترتیب این دو گونه در بالاترین گروه آماری قرار گرفتند، هرچند بین گونه *گلوموس ورسیفورم* و *گلوموس اینترارادیسز* اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (نمودار ۲).

برترین تیمار مربوط به برهمکنش مایه‌زنی ریشه با قارچ *گلوموس اینترارادیسز* تحت شرایط بدون تنش بود (جدول ۵). در شرایط تنش ملایم و شدید نیز بالاترین درصد کلنیزاسیون ریشه مربوط به تیمار مایه‌زنی ریشه‌ها با گونه *گلوموس اینترارادیسز* بود.

جدول ٤- تجزیه واریانس تاثیر سطوح تنش خشکی و سطوح مختلف قارچ میکوریزا بر میزان کلنی سازی ریشه

Table 4- Analysis of variance of drought stress and mycorrhizal fungi treatments on root colonization

منابع تغییر (Sources of var.)		درجه آزادی (Degree of freedom)	میانگین مربعات (Mean square) کلونی سازی ریشه (Root colonization)
(drought stress)	تنش خشکی	2	391.1**
(mycorrhizal fungi)	قارچ میکوریزا	4	714.6**
(Interaction)	برهمکنش	8	21.7**
(Experimental fault)	خطای آزمایش	30	1.704
(coefficient of var.)	ضریب تغییرات (٪)		7.76

** significant at 1%

* * در سطح ۱٪ معنی دار است.

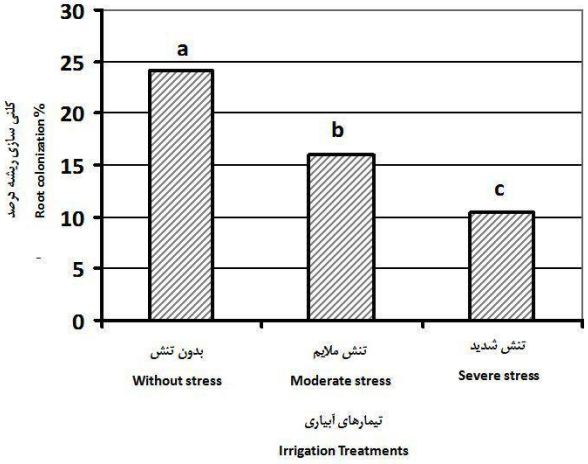
جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش گونه های مختلف قارچ میکوریز آربسکولار و تیمارهای آبیاری بر درصد کلنیزاسیون ریشه

on root colonization. Table 5- Mean comparison of arbuscular mycorrhizal fungi and water treatments

تیمار آبیاری (Irrigation) treatment	*Glomus caledonium*	*Glomus intraradices*	*Glomus versiform*	*Glomus mosseae*	شاهد (control)
I_1	26.4 b	30.7 a	27.5 b	28.6 b	2.04 gh
I_2	16.9 d	20.8 c	17.2 d	19.1 cd	5.7 g
I_3	10.9 f	14.7 e	12.1 e	11.4 f	2.9 h

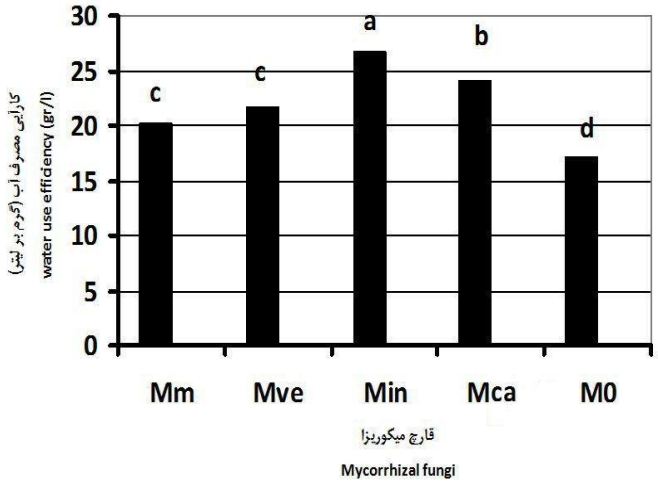
* میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، در سطح ۵ ٪ با آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی باشند

Means followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05) by Duncan test.



نمودار ۱- تاثیر تیمارهای آبیاری بر درصد کلنیزاسیون ریشه

Figure 1- Effects of water treatments on root colonization



نمودار۲- تاثیر تلقیح با قارچ میکوریزا بر درصد کلنیزاسیون ریشه

Figure 2- Effect of mycorrhizal fungi on root colonization

Mm =گلوموس موسهآ، Mve= گلوموس ورسیفورم، Min= گلوموس اینترارادیسز، Mca = گلوموس کالدونیوم، M0 =شاهد

Mm=*Glomus mosseae*, Mve=*Glomus versiform*, Min=*Glomus intraradices*, Mca=*Glomus caledonium* , M0=Control

جدول ٦- تجزیه واریانس تاثیر سطوح تنش خشکی و سطوح مختلف قارچ میکوریزا بر کارایی مصرف آب

Table 6- Analysis of variance of drought stress and mycorrhizal fungi treatments on water use efficiency

منابع تغییر (Sources of var.)		درجه آزادی (Degree of freedom)	میانگین مربعات (Mean square) کارایی مصرف آب WUE
(drought stress)	تنش خشکی	2	121.8 **
(mycorrhizal fungi)	قارچ میکوریزا	4	16.39 **
(Interaction)	برهمکنش	8	4.1 **
(Experiemental fault)	خطای آزمایش	30	3.06

** در سطح ۱٪ معنی دار است

**significant at 1%

تاثیر سطوح تنش خشکی و تلقیح با گونه‌های مختلف قارچ بر کارآیی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریز و نیز برهمکنش آن‌ها بر کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی در سطح یک درصد معنی‌دار بودند.

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد که تنش ملایم خشکی سبب افزایش معنی دار کارآیی مصرف آب شد اما با بیشتر شدن تنش، کارایی مصرف آب نیز در گیاه گوجه فرنگی کاهش یافت (نمودار۳). تلقیح ریشه‌ها با هر چهار گونه قارچ نسبت به تیمار بدون تلقیح سبب افزایش معنی‌دار کارآیی مصرف آب شد و در این بین، گونه *گلدونیوم* بیشترین تأثیر را بر افزایش کارآیی مصرف آب داشت (نمودار ۴). در بین کلیه تیمارها، برترین تیمار به برهمکنش مایه‌زنی ریشه با قارچ *گلوموس کالدونیوم* تحت شرایط بدون تنش اختصاص داشت (جدول۷).

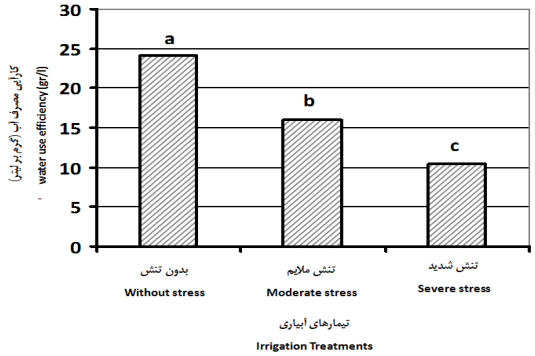
جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش گونه های مختلف قارچ میکوریز آربسکولار و تیمارهای آبیاری بر کارآیی مصرف آب

on water use efficiency. Table 7- Mean comparison of arbuscular mycorrhizal fungi and water treatments

تیمار آبیاری (Irrigation) treatment	*Glomus caledonium*	*Glomus intraradices*	*Glomus versiform*	*Glomus mosseae*	شاهد (control)
I_1	25.15 abc	28.33 a	21.29 def	19.01 efgh	16.87 gh
I_2	25.22 abc	26.62 ab	23.72 bcd	21.37 de	17.80 fgg
I_3	22.06 cde	25.21 abc	20.09 efg	20.41 def	16.57 h

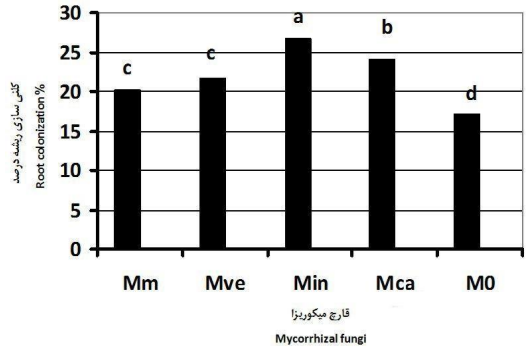
* میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، در سطح ۵ ٪ با آزمون دانکن دارای اختلاف معنی دار نمی باشند

Means followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05) by Duncan test.



نمودار ۳- تاثیر تیمارهای آبیاری بر کارآیی مصرف آب

Figure 3- Effects of water treatments on water use efficiency



نمودار ٤- تاثیر تلقیح با قارچ میکوریزا بر کارآیی مصرف آب

Figure 4- Effects of mycorrhizal fungi inoculation on root colonization

Mm =گلوموس موسهآ، Mve= گلوموس ورسیفورم، Min= گلوموس اینترارادیسز، Mca = گلوموس کالدونیوم، M0 =شاهد

Mm=*Glomus mosseae*, Mve=*Glomus versiform*, Min=*Glomus intraradices*, Mca=*Glomus caledonium* , M0=Control

بحث

در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزی، به‌دلیل توسعه شبکه هیف قارچ در محیط پیرامون ریشه، سطوح جذب کننده آب بیشتر شده و بدین صورت هدایت هیدرولیکی ریشه افزایش می یابد که این خود منجر به افزایش فتوسنتز در گیاه شده و نتیجه نهایی آن در افزایش رشد و عملکرد گیاه مشاهده می‌گردد (۷).

همانگونه که از نمودار (۲) پیداست تلقیح با هر چهار گونه قارچ میکوریز مورد استفاده در آزمایش سبب افزایش معنی‌دار کلنیزاسیون ریشه نسبت به تیمار عدم تلقیح شده است. بطوری‌که درصد تلقیح از ۵/۳۳ به ۲۲/۰۷ درصد در تیمار تلقیح شده با قارچ میکوریز گونه *گلوموس اینترارادیسز* افزایش یافته است. ال کراکی و همکاران (۲) و گاویتو و میلر (۱۵) اظهار داشتند که یکی از شاخص‌های مهم فعالیت قارچ میکوریزی، میزان کلنی سازی سیستم ریشه‌ای بوسیله این قارچها می‌باشد که بوسیله عوامل مختلفی از جمله خصوصیات ظاهری و ساختمانی سیستم ریشه ای، مقدار و کیفیت ترشحات ریشه‌ای، مصرف کودهای شیمیایی فسفره و غلظت بالای عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می گیرد.

یکی از دلایل برقراری رابطه همزیستی قارچ با ریشه‌ها، پایین بودن میزان فسفر خاک است. از آنجایی که سطح فسفر خاک مطابق جدول (۱) پایین و زیر حد بحرانی (حد بحرانی فسفر برای گوجه‌فرنگی ۱۵ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک) بود، لذا همه گونه های قارچ توانسته اند ارتباط همزیستی نسبتاً مناسبی را با این گیاه برقرار سازند.

از نتایج دیگر این تحقیق کاهش معنی‌دار عملکرد در اثر تنش رطوبتی و برعکس، افزایش معنی‌دار عملکرد گوجه‌فرنگی در تیمارهای تلقیح با قارچهای میکوریزی در مقایسه با شاهد است. کارلینگ و براون (۱۲) اظهار نمودند که یکی از مهم‌ترین آثار کاربرد قارچهای میکوریزی افزایش عملکرد گیاهان زراعی، خصوصاً در خاک‌های با حاصلخیزی پایین است. افزایش عملکرد به دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ میسیلیوم قارچ در خاک و بالطبع دسترسی گیاه زراعی به حجم بیشتری از خاک می‌باشد.

در تحقیق حاضر با افزایش سطوح تنش خشکی غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و آهن کاهش معنی داری داشت، اما عناصر منگنز و مس روند معکوسی نشان دادند. با افزایش تنش، غلظت این عناصر در گیاه افزایش یافت. تنش ملایم رطوبتی سبب افزایش غلظت پتاسیم و روی در برگ شد و در تنش شدید غلظت این عناصر مجدداً کاهش یافت (جدول ۳). تحت شرایط تنش رطوبتی گیاه با تجمع پتاسیم در آوند چوبی، پتانسیل اسمزی شیره آوند چوبی را کاهش داده و به افزایش فشار ریشه و جذب آب کمک می‌کند (۶).

همچنین در این تحقیق تلقیح با تمام گونه‌های قارچ میکوریز استفاده شده در آزمایش نسبت به عدم تلقیح، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر غلظت همه عناصر شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، مس و روی در گیاه داشته است. مطالعات نشان داده است که غلظت نیتروژن در گیاهان میکوریزایی افزایش می‌یابد. اما مدرکی دال بر اینکه قارچهای میکوریزی قادر به تثبیت ازت باشند وجود ندارد. اگر چه در این مورد همزیستی مضاعف با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن و یا اکتینومیست‌ها می‌تواند دلیل این امر باشد (۲۲). به هر حال مارشنر و دل (۲۱) بیان کردند که گیاه میزبان می‌تواند تا ۲۵ درصد از نیاز نیتروژنی خود را از طریق رابطه همزیستی با قارچ های میکوریز آربوسکولار تأمین نماید. شاید بتوان گفت که مهم‌ترین و معتبرترین تأثیر رابطه همزیستی میکوریز آربسکولار، افزایش جذب عناصر معدنی و بویژه فسفر در گیاه میزبان باشد. این تأثیر بخصوص در اراضی که فسفر محلول در خاک کم بوده یا در اثر خشکی، ضریب پخشیدگی عنصر فسفر بسیار کاهش یافته است،

مشهودتر می باشد (۱۷).

مارشنر و دل (۲۱) عنوان کردند، حدود ۱۰ درصد از کل پتاسیم جذب شده بوسیله گیاه میزبان ناشی از فعالیت هیف‌های خارج ریشه‌ای قارچ‌های میکوریز آربسکولار است. آزمون مزرعه‌ای صورت گرفته بر روی گیاه ذرت نیز نشان داده است که در تیمارهای تلقیح شده با گونه‌های بومی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار جذب پتاسیم در گیاه میزبان بیشتر از گیاهان شاهد بوده است (۲۰). افزایش جذب پتاسیم در گیاهان میکوریزی بویژه تحت شرایط تنش ملایم رطوبتی علاوه بر تأثیر مثبت بر مولفه‌های رشد گیاه، بر ویژگی‌های دیگری نظیر روابط آبی، تبادلات گازی و تنظیم اسمزی گیاه نیز موثر می‌باشد (۹و ۲۸).

همانند عنصر روی، میزان مس موجود در محلول خاک بسیار اندک بود و از طرفی دیگر، ضریب پخشیدگی این عنصر در خاک نیز بسیار کم است. این دو عامل باعث شده تا در گیاهان میکوریزی میزان مس جذب شده بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی باشد (۲۱). از طرف دیگر قارچ میکوریزی گلوموس *موسه‌آ* در همزیستی با گیاه گندم و از طریق فعالیت فسفاتازی خود توانسته ترکیبات آلی فسفره را هیدرولیز کرده و بدین صورت جذب همزمان فسفر و مس را در گندم افزایش دهد (۳۱).

قارچ‌های میکوریزی از طریق ترشح انواعی از سیدروفورها و کلاته کردن آهن توانسته‌اند جذب و انتقال آهن به گیاهان بادام‌زمینی و سورگوم را افزایش دهند (۱۱). همچنین گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزی نیز توانایی متفاوتی در جذب آهن از خود نشان می‌دهند (۱۳). با این وجود نتایج حاصل از تأثیر برقراری رابطه همزیستی میکوریزی در غلظت آهن جذب شده در گیاه میزبان بسیار متغیر است.

در این تحقیق کارایی همزیستی میکوریزی بین گونه‌های مختلف قارچ در افزایش جذب عناصر معدنی در گیاه گوجه‌فرنگی متفاوت بود. کارآیی *گلوموس اینترارادیسز* در جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منگنز و روی نسبت به سایر گونه‌ها بیشتر بوده است. این موضوع نشان دهنده این است که پتانسیل همزیستی گونه‌های مختلف قارچ تحت شرایط مختلف محیطی متفاوت است.

نتیجه‌گیری

با توجه به تاثیر مثبت مایه زنی قارچ های میکوریزی بر جذب عناصر غذایی و کارایی مصرف آب در گیاه گوجه فرنگی تحت شرایط تنش رطوبتی، بویژه در تنش‌های ملایم که در نتیجه مقاومت به تنش خشکی بوده است، پیشنهاد می‌گردد هنگام انتقال نشاء گوجه فرنگی به زمین اصلی، بویژه در مناطقی که دچار تنش‌های محیطی مختلف بخصوص تنش خشکی هستند، از مایه تلقیح این قارچها به‌خصوص گونه‌های *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس کالدونیوم* استفاده شود.

منابع

1- Alizadeh A. 1995. The principles of irrigation systems design. Astan Quds Razavi Press. 539 Pp.
2- Al-Karaki G.N., and Al-Raddad A. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. Mycorrhiza, 7: 83-88.
3- Augé R.M., Stodola A.J.W., and Tims J.E. 2001. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. Plant and Soil, 230: 87-97.
4- Auge, R.M., Scheke K.A., Wample R.L.1986. Osmotic adjustment in leaves of VA mycorrhizal and plants is not related to phosphorus nutrition. New Physiologist. 82, 765-770.
5- Bai C.S. and Gy L. 1991. Effects of water stress on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) seedling. Acta Horticulture Science,18 (4): 340-344.
6- Baker D.A., and Weatherley P.E. 1969. Water and solute transport by exuding root systems of *Ricinius communis*. Jornal of Experimental Botany, 20: 485-496.
7- Bethlenfalvay G.J., and Linderman R.J. 1992. Mycorrhizae in sustainable agriculture. ASA Spetial Publication No. 54. American Society of Agronomy. Madison Wisconsin, USA.
8- Bouyoucos G.J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. Agronomy Journal, 43:434-438.
9- Brar M.S., Brar A.S., Takkar P.N., and Singh T.H. 1987. Effct of K supply on its concentration in plant and on yield parameters of American cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Journal of Potassium Research, 3: 145-154.
10- Bushkani M.M. 2016. The third Bushehr province agricultural development program. 3rd edition. Agricultural organization of Bushehr province (in Persian).
11- Caris C., Hordt W., Hawkins H.J., Romhel V., and Eckhard G. 1998. Studies of iron ransport by arbuscular mycrorrhiza hyphae from soil to peanut and sorghum plants. Mycorrhiza, 8: 35-39.
12- Carling D.E., and Brown M.F. 1982. Anatomy and physiology of vesicular-arbuscular and non mycorrhizal roots. Phytopathology, 72:1108-1114.
13- Clark R.B., and Zeto S.K. 1996. Mineral acquisition by mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. Soil

Biology and Biochemistry, 28: 1405-1503.
14- Duan, X., Neuman, D.S., Reiber, J. M. Green, D.C., Saxton, A.M. and Auge, R.M. 1996. Mycorrhizal influence on hydraulic and hormonal factors implicated in the control of stomatal conductance during drought. Jornal of Experimental Botany, 47: 1541-1550.
15- Gavito M.E., and Miller M.H. 1998. Changes in mycorrhiza development, dry matter partitioning and yield of maize. Plant and Soil, 199:177-186.
16- Hardi, K. 1985. The effect of removal of extraradical hyphae on water uptake by Vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. New Phytologist, 101: 677-684.
17- 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 Phytologist, 134:353-360.
18- Knudson, D., Peterson, G.A. and Pratt, P.T. 1982. Lithium, sodium and potassium. Pp: 225-246. *In* Page AL, et al. (eds.). Methodes of soil analysis. Part 2. 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI.
19- Lindsay W.I., and Norvell W.A. 1978. Development by a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal, 42: 421-428.
20- Lu S., and Miller M.H. 1988. The role of VA mycorrhizae in the absorption of P and Zn by Maize in field and growth chamber experiments. Canadian Journal of Soil Science, 69: 97-109.
21- Marschner H., and Dell B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and Soil, 159: 89-102.
22- Mostaajeran A., and Zoee F. 2007. Symbiosis. Journal of Mycorrhiza, Isfahan University Press. 218 Pp.
23- Murphy J., and Riley J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analysis Chemistry Acta., 27:31-36.
24- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939, U.S. Govern. Prin. Office, Washington, D.C., U.S.A.
25- Osonubi O., Mulongoy K., Awotoye O.O., Atayese M.O., and Okali D.U.U. 1991. Effects of ectomycorrhiza and Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on drought tolerance of for leguminouse woody seedlings. Plant and Soil, 136: 131-143.
26- Phillips J.M., and Hayman D.S. 1975. Improved procedures clearing roots and staining parasitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. The British Mycological Society, 55, 158-161.
27- Rajali F. 2004. Supplying Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation by interglass method and determining it's effect on improving nutrients uptake in wheat under stress. PhD thesis. Tehran , Iran. (in Persian with English abstract)
28- Sharma K.D., Kuhad M.S., and Nandwal A.S. 1992. Influence of K nutrition on Brassica genotypes in response to water stress. Plant Physiology and Biochemistry, 19:110-115.
29- Song H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. Electronic Journal of Biology, 1(3):44-48.
30- Subramanian, K. S., P. Santhanakrishnan, P. Blasubramanian. 2006. Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhyzal fungal colonization under varying intensities of drought stress. Scientia Horticulturae, 107: 245-253.
31- Tarafdar, J.C., and Marschner H. 1994. Efficiency of VAM hyphae in utilization of organic phosphorus by wheat plants. Soil Science and Plant Nutrition, 40:593-600.
32- Walkley, A., and Black, T.A. 1934. An examination of the Deglijareff method for determining organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37:29-38.
33- Wu Q.S., and Zou Y.N. 2009b. The effect of Dual application of arbuscular mycorrhizal fungi and polyamines upon growth and nutrient uptake on trifoliate orange (*Poncirus trifoliate*) seedlings. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj Napoca, 37(2):95-98.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 4, Sept.-Oct. 2018, p. 809-820

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۷، ص. ۸۲۰-۸۰۹

Effects of Mycorrhizal Symbiosis on Nutrient Uptake and Water Use Efficiency of Tomato under Drought Stress

M. Pouzesh Shirazi[1*]- H. Haghighatnia[2]- R. Khademi[3]

Received: 22-05-2018
Accepted: 29-07-2018

Introduction: Tomato is one of the most important vegetables that are used by human. High price of tomato due to its out of season production in Bushehr province has made a great tendency for farmers of this area to cultivate it in fall and winter in nearly 12000 hectares in the province. Mean annual precipitation is about 250 mm per year. Maximum and minimum annual temperatures are 51 and -1 Celsius degrees. Mean annual evaporation is 3000 mm. Recent droughts and going down of water table because of over usage of underground water are main problems of this region that have enforced farmers to decrease irrigation water utilization and try to increase water use efficiency by using new technologies. Therefore, any new technical methods which can increase water use efficiency will help crop production quality and quantity and result in yield stability in the region. Many researchers have proved that mycorrhizal fungi can improve agricultural systems sustainability because of their ability to increase water absorption due to their long and expanded hyphae. Also they are known to increase nutrient uptake from soils even poor in minerals. Therefore, a greenhouse project was designed to determine the effect of Arbuscular mycorrhizal fungi on nutrients uptake and water use efficiency of tomato under drought stress in Bushehr province in southern Iran.

Materials and Methods: The experiment was carried out on completely randomized block design in factorial with three replications during 2016-2017 in the greenhouse of Bushehr agricultural and natural resources research organization located in Southern Iran. Factors were as follows: 1) four Arbuscularmycorrhizal fungi (*Glomus mosseae*، *Glomus intraradices*، *Glomus vsersiform* and *Glomus caledonium*) and a control (without inoculation), 2) irrigation at three levels based on soil moisture depletion at I_1=25, I_2=50 and I_3=70 percent of available water to show stress (from non-stress to low and high stress levels). Soil used for this experiment was dried in sunshine for one month to be evacuated from any native fungi. Soils of the region are calcareous ones with low salinity limitation (EC= 3.70 dS/m) and poor nutrition elements and slightly alkali (pH=7.9). Inoculation of roots by fungi was done by pouring one spoon of fungi near tomato roots while cultivating the transported seedlings in the pot. This would help the roots to be exposed to fungi directly while spreading through growing. Irrigation water used were 22.3, 20.1 and 17.7 liter for each pot filled with 10 kg soil during the season. The experiment lasted 100 days and tomato properties were measured such as yield, colonization percent, nutrition elements concentration and also, water use efficiency. Dried leaves were milled and put in furnace at 550 Celsius degrees. Roots were soaked in water for five minutes to be detached from soil and cleaned toughly. Detached roots were maintained in small glass jars filled with alcohol and were kept in refrigerator at 5 Celsius degrees. Roots were then colored by Try pan blue method and root colonization percent was measured by Grid line intersect method.

Results and Discussion: Results showed that interaction effect of mycorrhizal fungi and irrigation levels was significant at 1% level on tomato properties (except for N concentration in leaves). Mean comparison with Duncan`s test proved that increase in drought stress caused decrease in all tomato properties but fungi inoculation could mitigate water shortage in comparison to non-inoculated tomatoes Higher drought stress decreased colonization significantly. Drought stress caused significant deficiency in nutrition elements such as N, P and Fe, however some elements such as K, Zn and Mn were increased in medium drought stress. Inoculation with all mycorrhizal fungi improved nutrition elements concentration in tomato leaves. Water use efficiency was increased 67.9, 49.6 and 52.1 percent from non to medium and high stress respectively in tomatoes treated with *Glomus intraradices*.

Conclusion: Using of mycorrhizal fungi specially *Glomus intraradices* and *Glomus caledonium* increased

1 - Scientific Staff of Soil and Water Research Department, Bushehr Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bushehr, Iran
(- *Corresponding Author Email: m.shirazi741@gmail.com)
2 - Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Darab station, AREEO, Darab, Iran
3- Scientific Staff of Horticulture Research Department, Bushehr Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bushehr, Iran

tomato water use efficiency and improved growth properties due to the increment of water resistance ability in plant. This phenomenon is caused by higher nutrition elements uptake by roots and optimization of water relationship in tomato in the presence of mycorrhizal fungi. According to results, it is suggested tomato roots inoculation with mycorrhizal fungi especially in regions with high water stress potential.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, Bushehr, greenhouse, Macro and micronutrients, Water stress