مطالعه اثرات همزیستی مایکوریزا بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک ارقام مختلف گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری

فاطمه دیلم کتولی[۱]، الهام فغانی[۲*] و حسین عجم نوروزی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲)

چکیده

شوری از مهم‌ترین فاکتورهای غیر زیستی محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان محسوب می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی اثر همزیستی مایکوریزا بر مکانیسم‌های فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی در پاسخ به تنش شوری انجام شد. سه رقم گوجه‌فرنگی در دو سطح حضور و عدم حضور قارچ مایکوریزا و در سه سطح تیمار شوری (آب غیر شور (شاهد)، تنش ملایم (چهار دسی‌زیمنس بر مترمربع) و تنش شدید (هفت دسی‌زیمنس بر مترمربع) به‌صورت فاکتوریل، در قالب بلوک کامل تصادفی در حوضچه‌های لایسیمتری در گلخانه کشت شدند. به‌منظور مطالعه صفات فیزیولوژیکی و درصد همزیستی در ابتدای گل‌دهی نمونه‌گیری صورت گرفت. ضمن اینکه پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد تعیین شد. نتایج نشان داد همزیستی با مایکوریزا بر بیوماس گوجه‌فرنگی در تیمار آبیاری با آب غیر شور، افزایش معنی‌دار داشت. درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها در شوری شدید، افزایش معنی‌دار یافت. در رقم (Primo Rio) همزیست با قارچ، بیشترین سطح برگ، سطح ریشه و حجم ریشه مشاهده شد که از نظر آماری معنی‌دار بودند. میزان آنتوسیانین و فلاونوئید در تیمار شوری شدید بدون مایکوریزا افزایش معنی‌داری داشتند که حاکی از تأثیر مثبت تنش شوری در افزایش غلظت آنها بوده است. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که همزیستی مایکوریزایی با تأثیر مثبت بر سطح برگ به‌عنوان منبع فتوسنتز کننده و با توسعه سطح ریشه و حجم ریشه، با افزایش میزان جذب نقش به‌سزایی در تعدیل تنش شوری خواهد داشت. در نهایت Grande op و Primo Rio به‌ترتیب رقم حساس و متحمل برای مزارع شور شناخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، شوری، گوجه‌فرنگی، همزیستی مایکوریزا

۱. دانشجوی دکترا، گروه زراعت، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران
۲. استادیار، فیزیولوژی گیاهی، مؤسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۳. استادیار، گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: elhamfaghanibio@gmail.com

مقدمه

براساس گزارشات ایالت متحده، در ۲۰۵۰، تأمین غذای جهان از بیش از ۷۰ درصد تا تقریباً ۱۰۰ درصد در کشورهای توسعه‌یافته افزایش می‌یابد که غذای بیش از ۹ میلیارد نفر از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد (۱۳). بنابراین، انتظار می‌رود که تولید جهانی غذا، به‌دلیل افزایش تقاضا باید به‌طور مداوم افزایش یابد. چندین دهه گذشته پیشرفت‌های چشمگیری در تولید غذا صورت گرفته است که نتایج توارث زراعی با پیشرفت‌های زراعی و مدیریت مزرعه همراه است. پیش‌بینی می‌شود که افزایش شوری زمین‌های بایر، منجر به ضایع شدن بیش از ۳۰ درصد زمین زراعی تا سال ۲۰۵۰ شود (۵). تقریباً ۲۰ درصد نواحی زیر کشت جهان و ۵۰ درصد زمین‌های تحت آبیاری، در معرض شوری قرار دارند. در شوری زیاد، فرایندهایی از قبیل جوانه‌زنی بذر، رشد دانه‌رست و رشد زایشی، تحت تأثیر غلظت زیاد نمک قرار گرفته و در نهایت، باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌شوند (۲۶). قارچ‌های مایکوریزا از عوامل ضروری در سیستم پایدار خاک و گیاه محسوب می‌شوند که با ریشه بیش از ۹۷ درصد گیاهان همزیستی دارند (۲۹). در گیاهان همزیست با مایکوریزا، توانایی در جذب مواد غذایی و تحمل در مقابل تنش‌های زیستی و غیر زیستی، افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که قارچ‌ها به فراورده‌های فتوسنتزی گیاهان، نیاز فیزیولوژیکی همزیستی قارچ مایکوریزا آربسکولار فقط به جذب و انتقال مواد معدنی به گیاه میزبان محدود نمی‌شود، بلکه مقاومت گیاه در مقابل تنش‌های خشکی، شوری، عناصر سنگین و پاتوژن‌ها از اثرات مفید و قابل توجه همزیستی محسوب می‌شوند (۱، ۱۴ و ۲۴). از مهم‌ترین نقش‌های قارچ مایکوریزا، افزایش عملکرد گیاهان زراعی به‌ویژه در خاک‌های با حاصلخیزی پایین است که این افزایش عملکرد، ممکن است به‌دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ میسلیوم قارچ در خاک است. از طرف دیگر افزایش جذب عناصر غذایی، باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی می‌شود (۲۳). گیاهان در پاسخ به تنش شوری، استراتژی‌های متفاوتی از جمله هموستازی یون در سلول و تعدیل تنش اسمزی زیاد را در سلول به‌کار می‌برند. عملکرد پایین ناشی از توارث صفات نامطلوب از والدین وحشی است، برای مثال مقاومت به تنش خشکی و شوری می‌تواند حاصل توارث ژن‌های مقاومت از *Lycopersicon chilense* و *Lycopersicum pennellii* باشد (۵ و ۱۰). گوجه‌فرنگی در تمامی مراحل فنولوژیکی از جوانه‌زنی، سبز شدن، رشد رویشی و زایشی به شوری حساس است. تنش شوری ابتدا باعث ایجاد یک تنش اسمزی در گیاه گوجه‌فرنگی می‌شود. به همین دلیل منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی محلول اطراف ریشه سبب کاهش پتانسیل آب و در نتیجه کاهش جذب آب توسط ریشه شده است، بنابراین کاهش رشد و تجمع ماده خشک در گیاهان گوجه‌فرنگی تحت شوری مربوط به این امر است. از طرف دیگر کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی ممکن است در اثر سمیت یون‌های سمی سدیم و اختلال در جذب مواد غذایی لازم برای رشد باشد. یکی از شاخص‌های مؤثر در تحمل به شوری حفظ آماس سلولی است که با تنظیم اسمزی در اثر جذب نمک و ساختن مواد آلی انجام می‌شود. در نتیجه باعث کاهش اندام‌زایی، وزن ریشه، وزن ساقه و تولید ماده خشک می‌شود (۲۲). این پژوهش با هدف افزایش حد آستانه تحمل به تنش شوری در گوجه‌فرنگی با تلقیح قارچ مایکوریزا با القای مکانیسم‌های تحمل به تنش شوری صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۳ به‌منظور ارزیابی همزیستی مایکوریزا بر روند رشد، انشعاب‌دهی ریشه و اثر آن بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد ارقام مختلف گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری، به‌صورت فاکتوریل در پایه بلوک کامل تصادفی انجام شد. در سه سطح آبیاری با آب غیر شور (شاهد)، تنش ملایم (چهار دسی‌زیمنس بر مترمربع) و تنش شدید (هفت دسی‌زیمنس بر مترمربع) با سه رقم گوجه‌فرنگی (ارقام تجاری G3: Primo Rio G1: Grande op ,G2: Early urbana) و دو سطح تیمار با قارچ (*Glomus intraradesis*) بدون تلقیح با

قارچ و تلقیح با قارچ) در شرایط گلخانه، نشاهای گوجه‌فرنگی در کرت‌هایی با ابعاد (۱/۶×۲ متری) در دو سطح مایکوریزا و غیر مایکوریزا، در خطوطی به طول دو و فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر، در سه تکرار در مرکز آموزش، تحقیقات و ترویج کشاورزی گرگان در خردادماه ۱۳۹۳ کشت شدند. شوری خاک مورد آزمایش در حوضچه لایسیمتری، ۴/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. برای اندازه‌گیری میزان بیوماس پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، از ریشه، ساقه و برگ‌ها نمونه‌گیری صورت گرفت. برای تعیین وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه، نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در دستگاه آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند، سپس نمونه‌ها توزین شدند. درصد همزیستی براساس روش تلاقی خطوط شبکه (Gridline intersect method) انجام شد (۱۳). برای اندازه‌گیری حجم ریشه، ریشه‌ها در داخل استوانه مدرج با میزان مشخص آب، گذاشته شد و از روی بالا آمدن آب، حجم ریشه برحسب سانتی‌متر مکعب برآورد شد. سطح و طول ریشه و سطح برگ پس از اسکن، با نرم‌افزار جی‌اس‌ای آنالیزر(GSA-Analyzer) اندازه‌گیری شد. در نهایت ریشه‌ها و برگ‌ها درون پاکت قرار گرفتند و در آزمایشگاه درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ برای توزین وزن خشک نمونه‌ها استفاده شد. سنجش فلاونوئید و آنتوسیانین با استفاده از روش الیس و باکر، انجام شد. یک گرم از بافت تر برگ در ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (الکل متیلیک ۹۹/۵ درصد و هیدروکلریک اسید خالص به نسبت ۹۹ به ۱) پس از همگن شدن نمونه‌ها سانتریفیوژ شدند. از کوئرستین به‌عنوان استاندارد برای اندازه‌گیری فلاونوئید و آنتوسیانین استفاده شد، غلظت‌های مختلفی از کوئرستین در صفر، ۱۲، ۲۵، ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم در لیتر) تهیه و جذب آنها در سه طول موج ۳۰۰، ۵۳۰ و۶۵۸ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر (OD.g^{-1}.FW) خوانده شد. با استفاده از بلانک، عدد مربوط به شاخص دستگاه بر روی عدد صفر تنظیم شد. معادله خط استاندارد ترکیبات فلاونوئید با نرم‌افزار SPSS تعیین شد. در نهایت داده‌ها از نظر آماری با نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

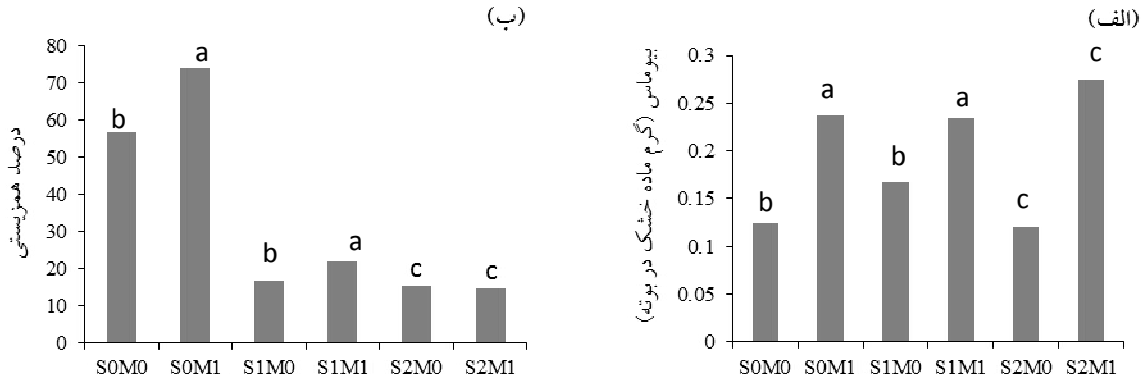
بررسی صفات اجزای عملکرد نشان داد که وزن خشک ریشه و اندام هوایی در گوجه‌فرنگی همزیست با مایکوریزا که در خاک غیر شور رشد یافته، بیشترین بود که این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۱). درحالی‌که در سایر تیمارهای شوری چهار و هفت دسی‌زیمنس بر متر، تفاوت معنی‌داری در حضور و عدم حضور مایکوریزا در بیوماس محصول مشاهده نشد (شکل ۱- الف).

تلقیح مایکوریزا، به‌دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی، سبب افزایش ماده خشک گیاه می‌شود. از ویژگی اساسی همزیستی مایکوریزا، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تثبیت دی‌اکسید کربن و تولید سطح برگ بیشتر است و این افزایش در تثبیت دی‌اکسید کربن، سبب افزایش بیوماس اندام هوایی می‌شود (۲۹). به‌نظر می‌رسد قارچ‌های مایکوریزا با افزایش جذب آب و عناصر غذایی، باعث افزایش فتوسنتز، تولید اسمیلات و در نهایت بهبود رشد گیاه می‌شوند. نارنگی (*Citrus tangerine*) تلقیح شده با قارچ آرباسکولار میکوریزا نسبت به گیاهچه‌های بدون قارچ مایکوریزا، تحت شرایط آبیاری بهینه و کم‌آبیاری، بیوماس بیشتری داشتند (۱۵ و ۳۴). همزیستی گیاه گوجه‌فرنگی با قارچ مایکوریزا، به‌دلیل جذب کافی آب و عناصر غذایی توسط هیف‌های قارچی اطراف ریشه در افزایش وزن خشک ریشه نقش به‌سزایی داشت (۳). افزایش غلظت شوری، سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه و اندام هوایی گوجه‌فرنگی در سطح احتمال پنج درصد شد. بیشترین وزن خشک، در تیمار غیر شور همزیست با مایکوریزا و کمترین آن در شوری شدید با مایکوریزا مشاهده شد (شکل ۱- الف). به‌طورکلی نتایج نشان داد همزیستی با مایکوریزا در تنش

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف گوجه‌فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	بیوماس	سطح برگ	سطح ریشه	حجم ریشه	درصد همزیستی	عملکرد	آنتوسیانین	فلاونوئید
شوری	۲	۱۳۷۵۳/۷۵**	۱۲۳/۳**	۵۳/۱۵**	۰/۶۴**	۰/۰۰۱^{ns}	۱۴/۸۵**	۰/۰۰۰۷۳**	۵۸۹/۰۴۲**
ژنوتیپ	۲	۱۷۱/۱۶^{ns}	۱۵/۰۶^{ns}	۱/۶۸^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۱۵/۸۷**	۰/۰۰۰۰۸^{ns}	۵۳۶/۰۰۲۳**
مایکوریزا	۱	۵۹۰/۳۱*	۶۷/۴**	۰/۰۷^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۱/۳۸^{ns}	۰/۰۰۰۱۳**	۴۸۸/۳۲۲**
ژنوتیپ × مایکوریز	۲	۳۴۶/۳۶^{ns}	۳/۳^{ns}	۲/۸۴^{ns}	۰/۱۱^{ns}	۰/۰۲**	۲/۸۳۱^{ns}	۰/۰۰۰۱۶**	۲۱۴/۶۳۸^{ns}
شوری × ژنوتیپ	۲	۴۰۵/۴۷^{ns}	۳/۹^{ns}	۲/۷^{ns}	۰/۲۸^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۸/۱۰**	۰/۰۰۰۱۲**	۴۱۵/۷۶۲۷**
شوری × مایکوریزا	۲	۵۴۴/۲۷*	۱۱/۲۳^{ns}	۱/۵^{ns}	۰/۲۳^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۳/۲۱*	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۵۱۸/۴۰۱۶**
شوری × مایکوریزا × ژنوتیپ	۴	۸۸/۲۳^{ns}	۱۷۱/۲۴^{ns}	۲۹۱/۳*	۱/۲۸^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۵۵۹/۰۱^{ns}	۰/۱۲۳**	۴۲/۱۷**
خطا	۳۵	۱۵۳/۷۱	۲۲۶/۴	۶۵/۷۷	۰/۱۱ ۸	۰/۰۰۱	۱/۷۴	۰/۰۰۰۰۶	۱۱/۵۲۸
درصد ضریب تغییرات		۲۳/۷۹	۱۵/۹	۲۱/۰۸	۳۸/۵	۲۱/۸	۱۷/۶۴	۰/۲۶	۶/۷۴

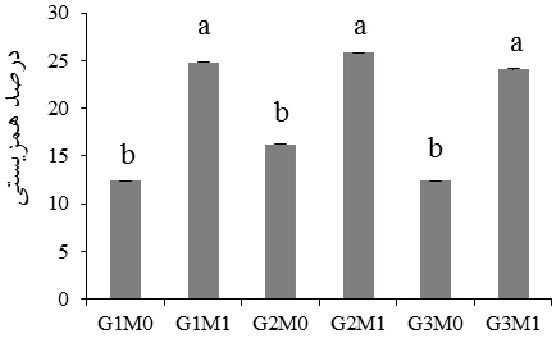
ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد است.



شکل ۱. الف) مقادیر بیوماس (گرم) و ب) درصد همزیستی گوجه‌فرنگی تلقیح (M۱) و عدم تلقیح با مایکوریزا (M۰) در سطوح مختلف شوری (S۰: غیر شور، S۱: شوری ملایم و S۲: شوری شدید). حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

شوری می‌تواند با افزایش غلظت موم و تحمل به تنش نقش به‌سزایی داشته باشد، همچنین با تأثیر بر رنگریزه‌های فتوسنتزی، سبب افزایش عملکرد و بیوماس گوجه‌فرنگی شود. گیاه تحت تنش شوری برای ساختن مواد آلی (گلیسین بتایین، سوربیتول، پرولین و مانیتول) انرژی زیادی مصرف می‌کنند که صرف انرژی زیاد برای مقابله با شوری، سبب کاهش کارایی ریشه در تأمین عناصر غذایی و آب برای سایر اندام‌ها می‌شود و رشد اندام‌های هوایی کاهش یافته، در نتیجه باعث کاهش اندام‌زایی، وزن ریشه، وزن ساقه و تولید ماده خشک می‌شود (۲۱).

این تحقیق، باتوجه به شکل (۱- الف)، اهمیت نقش قارچ مایکوریز آرباسکولار را در کاهش تنش شوری در گیاه گوجه‌فرنگی نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی به‌میزان کمتری تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرند و بیشترین درصد همزیستی در گیاهان تحت تنش شوری شدید و همزیست با مایکوریزا بوده و کمترین آن در تنش شدید و عدم حضور قارچ

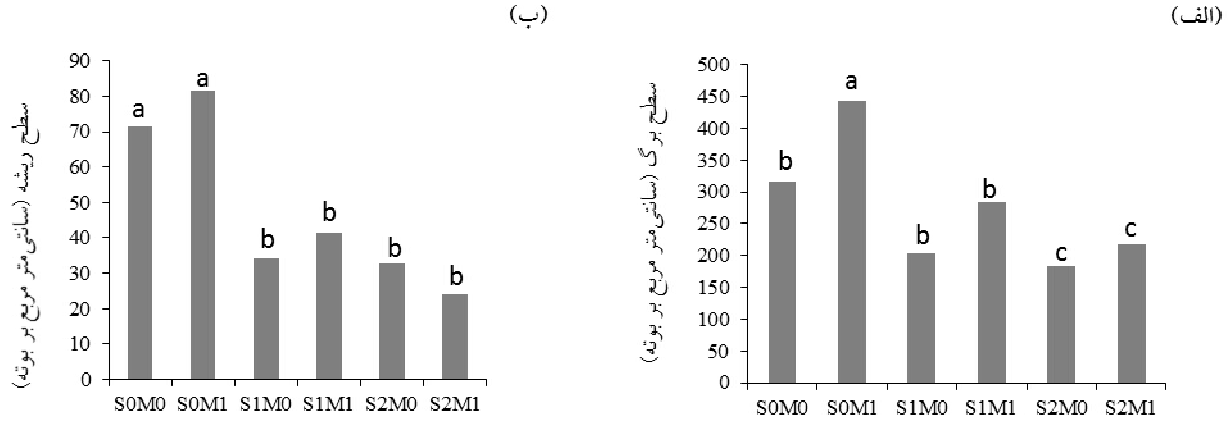


شکل ۲. الف) بررسی درصد همزیستی ریشه سه رقم گوجه‌فرنگی (G1: Grande op، G2: Early urbana و G3: Primo Rio) تلقیح (M۱) و عدم تلقیح با مایکوریزا (M۰). حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

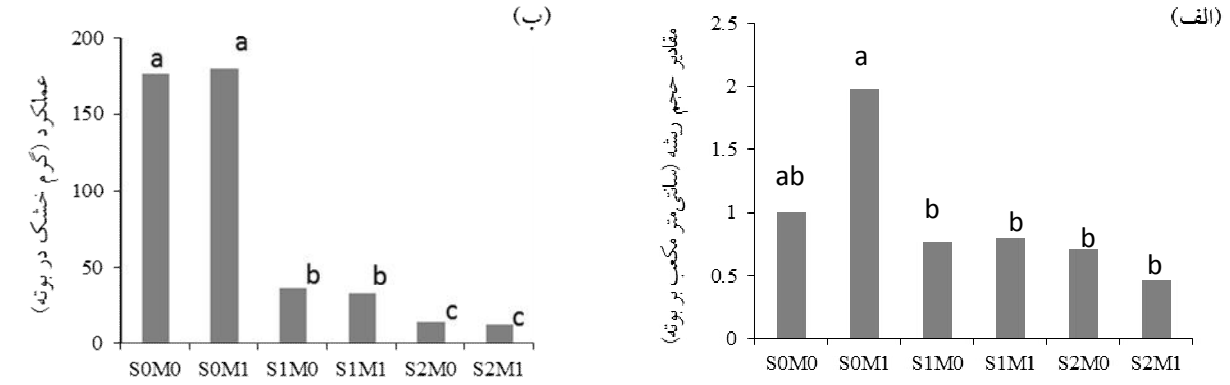
مشاهده شد (شکل ۱- الف). شوری‌های شدید، درصد همزیستی مایکوریزا را به‌واسطه ممانعت از گسترش ریشه تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طورکلی شوری، خصوصیات مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ریشه را به‌واسطه تأثیر مثبت بر جذب و انتقال عناصر غذایی به ریشه گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهد (۷). بیشترین درصد همزیستی مربوط به تیمار G2M1 بود و کمترین آن در تیمار G3M1 مشاهده شد (شکل ۲) همزیستی مایکوریزا در بین ارقام مورد آزمایش گوجه‌فرنگی، تفاوت معنی‌داری داشتند، تلقیح گوجه‌فرنگی با قارچ مایکوریزا، درصد همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه، را نسبت به شاهد، به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۲). قارچ‌های مایکوریزا سبب افزایش تولید گره ریشه تجمع ماده خشک در اندام هوایی و جذب عناصر در گیاه نخود (*Cicer arietinum* .L) شد (۱۴ و ۲۸). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطوح شوری، سطح برگ گیاهان کاهش یافته و اختلاف بین تیمارها معنی‌دار بود. قارچ مایکوریزا تأثیر مثبتی در کاهش اثرات منفی شوری بر سطح برگ داشت و بیشترین سطح برگ در تیمار شاهد همزیست با مایکوریزا و کمترین آن در تنش شدید، بدون همزیستی مشاهده شد (شکل ۳- الف). کاربرد قارچ میکوریز درشرایط تنش شوری باعث افزایش سطح برگ در کاهو شد، بنابراین حتی درصورتی‌که میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ در سایر گونه‌ها تغییر نکند، میزان رشد به‌دلیل کاهش میزان فتوسنتز در کل گیاه کاهش خواهد یافت (۶ و ۱۸). نتایج این پژوهش نشان داد که همزیستی قارچ مایکوریزا موجب افزایش سطح برگ شد و بین ارقام مورد مطالعه، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. استفاده از مایکوریزا به‌دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی و تولید سطح برگ بیشتر، سبب افزایش ماده خشک گیاه می‌شود. در ارتباط با نقش میکوریزی می‌توان به افزایش فعالیت فتوسنتزی و تثبیت دی‌اکسید کربن و افزایش بیوماس اندام هوایی اشاره کرد (۲۹).

شکل (۳- ب) نشان داد که با مصرف قارچ مایکوریزا در گیاه گوجه‌فرنگی بدون اعمال تنش شوری، موجب افزایش سطح ریشه شد و همچنین با همزیستی مایکوریزا و تنش شدید شوری، کمترین سطح ریشه را داراست. نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها مؤید این است که اثر تنش شوری و مایکوریزا بر سطح ریشه این گیاه تأثیر معنی‌داری داشت (شکل ۳- ب). تلقیح مایکوریزایی با افزایش توسعه ریشه، سبب کاهش اثرات زیانبار شوری می‌شود. در این تحقیق نیز همچنان که مشاهده شد، گیاهان مایکوریزایی به استثنای سطح شوری شدید، سطح ریشه بیشتری داشتند (۲۵).

در بین ارقام مختلف گوجه‌فرنگی، مصرف و عدم مصرف قارچ مایکوریزا تأثیر معنی‌داری در سطح ریشه نداشت (جدول ۱). ریشه گیاه آکاسیا (*Acacia holosericea* L.) تلقیح شده با مایکوریزا، طول بیشتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشتند



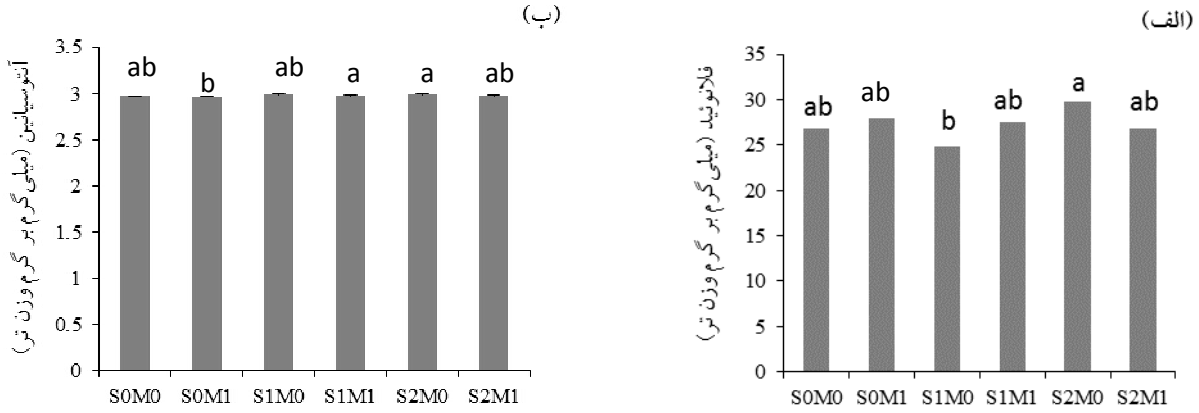
شکل ۳. الف) بررسی سطح برگ (سانتی‌متر مربع) و ب) سطح ریشه (سانتی‌متر مربع) گوجه فرنگی تلقیح (M۱) و عدم تلقیح با مایکوریزا (M۰) در سطوح مختلف شوری (S۰: غیر شور، S۱: شوری ملایم و S۲: شوری شدید). حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.



شکل ۴. الف) مقادیر حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب) و ب) عملکرد (گرم خشک در بوته) گوجه فرنگی تلقیح (M۱) و عدم تلقیح با مایکوریزا (M۰) در سطوح مختلف شوری (S۰: غیر شور، S۱: شوری ملایم و S۲: شوری شدید). حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

(۱۲). همچنین تحقیقات دیگری نشان داد که تلقیح قارچ اندومیکوریزایی علاوه‌بر افزایش رشد اندام هوایی، سبب افزایش معنی‌دار شاخص رشد ریشه نیز شده است (۱۹ و ۲۴).

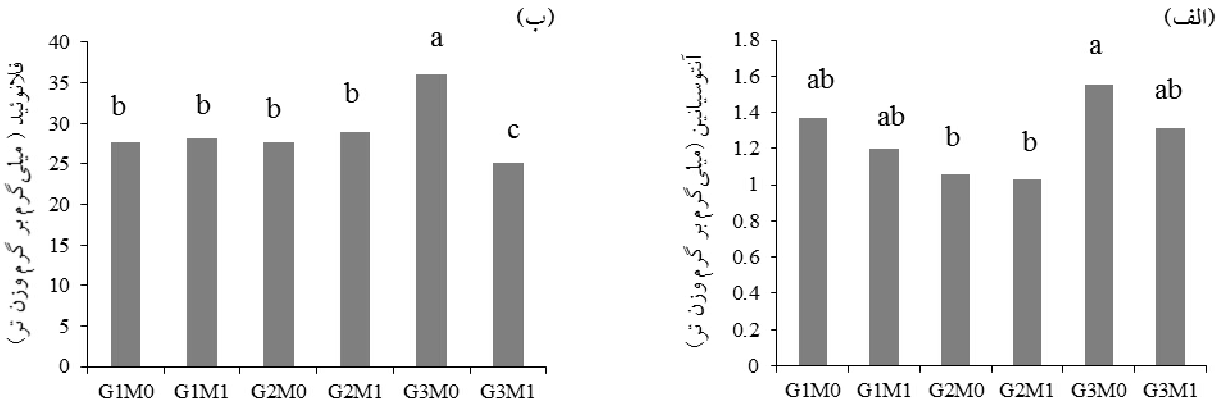
با توجه به شکل (۴- الف)، مایکوریزا تأثیر مثبتی در کاهش اثرات منفی شوری بر حجم ریشه گیاه شاهد داشت و بیشترین حجم ریشه در تیمار غیر شور با همزیستی مایکوریزایی دیده شد ولی کمترین آن مربوط به تنش ملایم (چهار دسی‌زیمنس بر مترمربع) و تلقیح با مایکوریزا است. افزایش شوری در کشت هیدروپونیک گیاه گندم، وزن خشک ریشه و حجم کل ریشه را کاهش داد (۲۷). افزایش ماده خشک گیاه در اثر استفاده قارچ مایکوریزا، توسط سایر محققین گزارش شده بود (۳۲). از نظر حجم ریشه بین ارقام مختلف گوجه‌فرنگی، در همزیستی با مایکوریزا تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). براساس مطالعات انجام شده توسط محققان، نشان داده است که ریشه‌های میکوریزی دارای پراکنش بیشتری در خاک بوده و باعث تحمل بیشتر گیاهان به عوامل بیماریزا می‌شوند (۹ و ۳۱).



شکل ۵. بررسی غلظت الف) فلاونوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و ب) آنتوسیانین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) گوجه فرنگی تلقیح (M۱) و عدم تلقیح با مایکوریزا (M۰) در سطوح مختلف شوری (S۰: غیر شور، S۱: شوری ملایم و S۲: شوری شدید). حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

شکل (۲- ب) نشان داد که بیشترین عملکرد گوجه‌فرنگی در آبیاری غیر شور در ژنوتیپ یک و کمترین آن در ژنوتیپ دو و در شوری ملایم بیشترین عملکرد در ژنوتیپ سه و کمترین آن در ژنوتیپ دو و کمترین عملکرد در شوری شدید مشاهده شد و به‌ترتیب ژنوتیپ سه، بیشترین عملکرد و کمترین عملکرد در ژنوتیپ یک بود که این نتایج از نظر آماری، معنی‌دار نبودند (جدول ۱). نتایج محققین نشان داده است که با افزایش شوری آب آبیاری، عملکرد گوجه‌فرنگی کاهش می‌یابد (۲۰). تنش شوری بر عملکرد مؤثر است به‌طوری‌که با افزایش شوری عملکرد در بوته کاهش یافت هر چند که تفاوت معنی‌داری بین حضور و عدم حضور مایکوریزا مشاهده نشد ولی این اختلاف عملکرد بین شوری‌های مختلف معنی‌دار بوده است (شکل ۴- ب).

بیشترین میزان آنتوسیانین در تیمار شوری شدید بدون تلقیح با قارچ مایکوریزا دیده شده و کمترین آن در تیمار شاهد همزیست با مایکوریزا مشاهده شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌دار بود(شکل ۵- الف). در گیاه *Grevillea ilicifolia* شوری، مقدار آنتوسیانین‌ها را افزایش داد که به‌نظر می‌رسد آنتوسیانین‌ها بتوانند در شرایط تنش آبی یا شوری به‌عنوان یک محلول سازگار کننده اسمزی عمل کنند (۱۶). گزارش‌هایی حاکی از محتوی بالای آنتوسیانین در گیاهان بردبار به شوری در دست است (۳۳). کاهش آنتوسیانین‌ها به هنگام تنش شوری در رسیدن پرتوهای فعال فتوسنتزی به سلول‌های مزوفیل مؤثر است، زیرا بخش اعظم آنتوسیانین‌ها در لایه‌های سطحی مزوفیل و اپیدرم برگ‌ها انباشته می‌شوند (۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در جدول (۱) نشان داد که تیمارها اثر بسیار معنی‌داری بر میزان آنتوسیانین در ارقام مختلف گوجه‌فرنگی داشتند. بیشترین میزان آنتوسیانین در رقم Primo Rio بدون تلقیح مایکوریزا و کمترین آن در رقم Early urbana است (شکل ۶- الف) شواهد نشان داد که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تنش‌های غیر زیستی تغییر می‌کند که از مکانیسم‌های دفاعی گیاه در مقابل تنش است (۴ و ۱۷). نتایج حاصل از تیمار شوری و همزیستی با مایکوریزا بر میزان فلاونوئید (شکل ۵- ب) نشان می‌دهد که بیشترین میزان فلاونوئید در شوری شدید گیاهان غیرمایکوریزایی دیده شد و کمترین آن در گیاهان غیرمایکوریزایی و شوری متوسط است و تحلیل آماری این نتایج، تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داد (جدول ۱). آنتی‌اکسیدان‌های فلاونوئیدی به‌عنوان ترکیبات فعال فیزیولوژیکی نقش مهمی را در مقاومت گیاهان به تنش دارند (۳۰). ارقام مختلف گوجه‌فرنگی از نظر غلظت فلاونوئیدی تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۱). عوامل



شکل ۶. بررسی غلظت الف) آنتوسیانین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و ب) فلاونوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) سه رقم گوجه‌فرنگی (G1: Grande op، G2: Early urbana و G3: Primo Rio) تلقیح (M۱) و عدم تلقیح با مایکوریزا (M۰). a و b حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

ژنتیکی مثل رقم، بر محتوای فلاونوئیدی مؤثر نبودند، درحالی‌که عوامل محیطی از جمله عوامل غیر زیستی و زیستی مانند شوری و تلقیح مایکوریزایی غلظت فلاونوئیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. فلاونوئیدها دسته‌ای از ترکیبات فنولی هستند که طیف وسیعی از مواد رنگی را شامل می‌شوند. گسترده‌ترین گروه فلاونوئیدهای رنگی، آنتوسیانین‌ها هستند که با رنگی کردن گل‌ها و میوه‌ها، نقش مهمی در جذب جانوران جهت گرده‌افشانی و پراکنش بذر دارند. گرچه نقش فلاونوئیدها به‌عنوان ترکیبات سیگنالی ضروری در تشکیل میکوریزای مورد تردید است (۹)، با این حال ثابت شده است که فلاونوئیدهای معینی در گیاهان میکوریزایی، جوانه‌زنی هاگ قارچ‌های اندومیکوریزایی را افزایش می‌دهند (۸).

نتیجه‌گیری

قارچ‌های مایکوریزا به‌دلیل افزایش سطح برگ و ریشه، با تجمع ماده خشک در اندام هوایی در افزایش بیوماس و عملکرد گوجه‌فرنگی نقش دارند. همزیستی بیشتر قارچ مایکوریزا در شوری متوسط نشان داد که قارچ *Glomus intraradesis* همزیست با گوجه‌فرنگی، می‌تواند تا شوری هفت دسی‌زیمنس بر مترمربع در تعدیل اثرات تنش شوری نقش به‌سزایی داشته باشد. به‌طورکلی می‌توان رقم Primo Rio را به‌دلیل تحمل بیشتر به شوری به باغداران و کشاورزان برای اراضی لب‌شور توصیه کرد ولی رقم Grande op به شوری حساس است.

منابع مورد استفاده

1. Abdel-fattah, G. M., F. F .Migaher and A. H. Ibrahim. 2002. Interactive effects of endomycorryhizal fungus *Glomus etunicatum* and phosphorus fertilization on growth and metabolic activities of broad bean plants under drought stress conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5: 835-841.
2. Ahmed, N., M. Maekawa and K. Noda. 2009. Anthocyanin accumulation and expression pattern of anthocyanin biosynthesis genes in developing wheat coleoptiles. *Biologia Plantarum* 53: 223-228.
3. Alkaraki, G. N. and R. Hamnad. 2001. Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* 24: 1311-1323.
4. Apel, K. and H. Hirt 2004.Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology* 55: 373–399.
5. Arzani, A. and M. Ashraf. 2017. Smart Engineering of Genetic Resources for Enhanced Salinity Tolerance in Crop

Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 35: 146-189.
6. Ashraf, M. 1989. The effect of NaCl on water relations, chlorophyll, and protein and proline contents of two cultivars of blackgram (*Vigna mungo* L.). *Plant and Soil* 119: 205-210.
7. Baker, W. and W. D. Ollis. 1961. Biflavonyls. pp. 152–184. *In:* W. D. Ollis (Ed.), Recent Developments in the Chemistry of Natural Phenolic Compounds. Pergamon, New York.
8. Basak, H., K. Demdr, R. Kasim and F. Y. Okay. 2011. The effect of endo-mycorrhiza (VAM) treatment on growth of tomato seedling grown under saline conditions. *African Journal of Agricultural Research* 6(11): 2532-2538.
9. Becard, G. D., D. Douds and P. E. Pfeffer. 1992. Extensive in vitro hyphal growth of vesicular-*arbuscular mycorrhizal* fungi in the presence of CO_2 and flavonols. *Applied and Environmental Microbiology* 58(3): 821- 825.
10. Becard, G. D., D. Douds, P. E. Pfeffer and L. W. Doner. 1995. Flavonoids are not necessary plant signal compounds in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 8: 252 - 8.
11. Davis, R. M. and J. A. Menge. 1980. Influence of *Glomus fasciculatus* and soil phosphorus on *Phytophthora* root rot of citrus. *Phytopathology* 70: 447-452.
12. Duponnois, R., A. Colombet, V. Hien and J. Thioulouse. 2005. The mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 1460-1468.
13. FAO. 2011. The State of the World's Land and Water Resources for Food and aAgriculture (SOLAW)—Managing Systems at Risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London.
14. Grace, C. and D. Stribley. 1991. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycology Research* 95: 1160-1162.
15. Gupta, M. L., A. Prasad, M. Ram and S. Kumar. 2002. Effect of the vesicular *Arbuscular mycorrhizal* (VAM) fungus *Glomus fasiculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology* 81: 77-79.
16. Kennedy, B. F. and L. F. Filippis. 1999. Physiological and oxidative response to NaCl of the salt tolerant *Grevillea ilicifolia* and the salt sensitive *Grevillea arenaria*. *Journal of Plant Physiology* 155: 746-754.
17. Kim, S. Y., J. H. Lim, M. R. Park, Y. J. Kim, T. Park, Y. W. Seo, K. G. Choi and S. J. Yun. 2005. Enhanced Antioxidant Enzymes Are Associated with Reduced Hydrogen Peroxide in Barley Roots under Saline Stress. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology* 38(2): 218-224.
18. Liacoura, V., Y. Manetas and G. Karabourniotis. 2001. Seasonal fluctuations in the concentration of UV-absorbing compounds in the leaves of some Mediterranean plants under field conditions. *Physiologia Plantarum* 111: 491-500.
19. Liu, J., L. Wu, S. Wei, X. Xiao, C. Su, P. Jiang, Z. Song, T. Wang and Z. Yu. 2007. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, nutrient uptake and glycyrrhizin production of licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Plant Growth Regulation* 52: 29 - 39.
20. Malash, N. M., T. J. Flowers and R. Ragab. 2008. Effect of irrigation methods, management and salinity of irrigation water on tomato yield, soil moisture and salinity distribution. *Irrigation Science* 26: 313–323
21. Mohammadi Golrang, B., G. A. Gezanchian, R. Ramzani Mogadam, H. Falahati, H. Rohani and M. Mashayekhi. 2009. Evaluation weight of pasture forage species using measurement of plant height and diameter. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 15(2): 158-178.
22. Munns, R. and R. A. James. 2003. Screening method for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant Soil* 253: 201-218.
23. Ortas, I. 1996. The influence of use of different rates of mycorrhizal inoculum on root infection plant growth and phosphorus uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27: 2935-2946.
24. Ruiz-Lozno, J. M. 2003. Arbuscular mycorrhiza symbiosis and alleviation of osmotic stress. new perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza* 13: 309-317.
25. Ruiz- Lozano, J. M., R. Azcon and M. Gomes. 1996. Alleviation of salt stress by *arbuscular mycorrhizal Glomus species in Lactuca sativa* plants. *Physiologia Plantarum* 98: 767-772.
26. Sairam, R. K. and A. Tyagi. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science* 86(3): 407-421.
27. Shafi, M., Z. Guoping, J. Bakht, M. Aman Khan, E. U. Islam, M. Dawood Khan and E. Raziuddin. 2010. Effect of cadmium and salinity stresses on root morphology of wheat. *The Pakistan Journal of Botany* 42(4): 2747-2754.
28. Singh, H. P. and T. A. Singh. 1993. Effect of VA mycorrhizae in chickpea. *Mycorrhizae* 3: 37-39.
29. Smith, S. E. and D. J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, 3 Edition. Academic Press, London, UK.
30. Tattini, M., C. Galardi, P. Pinelli, R. Massari, D. Remorini and G. Agati. 2004. Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of *Ligustrum vulgare* under excess light and drought stress. *New Phytologist* 163: 547-561.
31. Turjaman, M., Y. Tamai and E. Santoso. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi increased early growth of two nontimber forest product species *Dyera polyphylla* and *Aquilaria filarial* under greenhouse conditions.

Mycorrhizae 16: 459 - 64
32. Wahid, A. and A. Ghazanfar. 2006. Possible involvement of some secondary metabolites in salt tolerance of sugarcane. *Journal of Plant Physiology* 163: 723-730.
33. Wu, Q. S. and R. X. Xia. 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.
34. Zuccarini, P. 2007. Mycorrhizal infection ameliorates chlorophyll content and nutrient uptake of lettuce exposed to saline irrigation. *Plant, Soil and Environment* 53: 283-289.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 8, No. 3, Fall 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Study Effects of Mycorrhizal Symbiosis on Biochemical and Physiological Traits of Different Tomato Genotypes in Saline Condition

F. Deylam katuli[1], E. Faghani[2*] and H. Ajam nourozi[3]

(Received: January 7-2017; Accepted: January 22-2018)

Abstract

Salinity is known as one of the most important abiotic factors that limit growth and yield of crop plants. This research was conducted to evaluate the effect of mycorrhiza symbiosis on physiological responses of *Solanum lycopersicum* against salinity stress. Three *Solanum lycopersicum* genotypes with and without mycorrhiza fungi and three levels of salinity stress (non-saline (control), mild (4 dSm^{-1}) and severe saline (7 dSm^{-1}) were examined in a randomized complete block design in Lisimeter pools in greenhouse condition. Some physiological traits at flowering initiation and yield of the examined genotypes at physiological maturity were estimated. Mycorrhizal symbiosis in the presence of non-saline water led to notable increase in plant dry mass. Severe salinity led to significant increase in colonization percentage. Primo Rio treated with mycorrhiza indicated the greatest leaf and root area and root volume. Non-inoculated plants were proven to contain greater flavonoid contents when grown in the presence of severe salinity. From the gathered data, it can be concluded that mycorrhizal symbiosis may leave positive influence on leaf area (i.e. photosynthetic source) and root area and volume (i.e. leading to enhancement of mineral absorption), and hence withstanding tomato against salinity stress. Grande op and Primo Rio appeared to be salt-sensitive and salt-tolerant genotypes, respectively.

Keywords: Antioxidant, Salinity, *Solanum lycopersicum*, Mycorrhiza symbiosis

1. PhD. Student, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Chaloos, Iran.
2. Assistant Professor Plant Physiology, Agronomy Department, Cotton Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: elhamfaghanibio@gmail.com