تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۹
۹۶۹-۹۸۲
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2243.1570

مقاله پژوهشی

تأثیر قارچ‌های مایکوریزا بر خصوصیات رشدی و جذب عناصر غذایی گیاه دارویی جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.) تحت تنش شوری

مرتضی ایرجی‌مارشک[1]، محمد مقدم[2*]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۱۷

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر قارچ‌های مایکوریزا بر خصوصیات رشدی و جذب عناصر جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.) تحت تنش شوری آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. فاکتور اول کاربرد قارچ میکوریزا در سه سطح (عدم تلقیح و تلقیح با *Rhizophagus intradices* و *Funnetiformis mosseae*) و فاکتور دوم شامل چهار سطح شوری آب آبیاری (۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بود. نتایج نشان داد کلیه صفات رشدی در اثر تنش شوری به‌شدت کاهش یافتند و کاربرد مایکوریزا باعث تعدیل اثرات مضر شوری و مقاومت گیاه به شوری گردید. بیشترین تعداد گره (۱۲/۸۹)، قطر ساقه (۷/۴۹ میلی‌متر)، ارتفاع بوته (۶۵/۷۵ سانتی‌متر) و تعداد شاخه جانبی (۲۳/۳۳) در تیمار بدون تنش شوری همراه با کاربرد قارچ مایکوریزا *رایزوفاجوس اینترادیکس* حاصل شد. با افزایش شوری میزان فسفر، کلسیم، سدیم، کلر و نیتروژن برگ افزایش و در مقابل میزان پتاسیم، منگنز، روی و آهن آن کاهش یافت. بیشترین میزان فسفر برگ (۸/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) در بالاترین سطح تنش شوری و کاربرد قارچ *فونتی‌فورمیس موسه‌آ*، بیشترین میزان سدیم (۱۲۳/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) و کلر برگ (۶۳/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار شوری و بدون کاربرد مایکوریزا مشاهده شد. این در حالی است که بیشترین میزان پتاسیم برگ (۶/۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) در تیمار فاقد شوری و بدون کاربرد قارچ‌های مایکوریزا، بیشترین میزان منگنز برگ (۱۴۳/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار ۴۰ میلی‌مولار شوری و کاربرد موسه‌آ و بیشترین میزان روی برگ (۷/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار فاقد شوری و کاربرد موسه‌آ ثبت شد. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که شوری سبب کاهش میزان رشد و کاربرد مایکوریزا در این شرایط باعث بهبود رشد و جذب عناصر غذایی شد. استفاده از قارچ‌های مایکوریزا بخصوص *فونتی‌فورمیس موسه‌آ* به‌عنوان یک راهکار مناسب برای افزایش مقاومت به شوری در گیاه جعفری مکزیکی توصیه می‌گردد.

***واژه‌های کلیدی:* شوری، صفات مورفولوژیک، عناصر غذایی، کود زیستی، گیاهان دارویی**

مقدمه

شوری فاکتوری محیطی است که تمام مراحل رشد و نمو گیاه از جوانه‌زنی تا تولید زیست‌توده، دانه و میوه را کم‌وبیش تحت تأثیر قرار می‌دهد. محیط‌های شور با دو خصوصیت اصلی یعنی پتانسیل اسمزی کم و غلظت‌های بالای املاح مشخص می‌شوند. تنش شوری یکی از فاکتورهای کاهش عملکرد و تولید در گیاهان زراعی، باغی و دارویی در جهان است (Munns et al., 2006). انسان نیز با به‌کارگیری روش‌های غیر مدیریتی در شور شدن خاک دخیل است. عدم مدیریت صحیح آبیاری، استفاده از آب‌های شور و مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی نیز از عوامل ایجاد خاک‌های شور می‌باشند (Jafari, 1994).

* نگارنده پاسخگو: محمد مقدم. پست الکترونیک: m.moghadam@um.ac.ir

یکی از راهکارهای مناسب برای بهبود تحمل شوری در محصولات باغبانی استفاده از میکروارگانیسم‌های متحمل به شوری مانند قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار است که از آن به‌عنوان یک اصلاح‌کننده زیستی خاک‌های شور یاد می‌شود (Smith and Read, 2008). قارچ‌های مایکوریزا، یکی از انواع کودهای زیستی بوده که دارای رابطه همزیستی با ریشه بیش از ۸۰ درصد گیاهان آوندی می‌باشند و تقریباً در خاک تمام مناطق جهان یافت می‌شوند (Smith et al., 2010). این قارچ‌ها دارای خاصیت تحریک‌کنندگی رشد گیاه است و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر، نیتروژن و برخی عناصر کم‌مصرف، افزایش جذب آب و تولید هورمون‌های گیاهی، باعث افزایش مقاومت به تنش‌های خشکی، شوری، حمله عوامل بیماری‌زا، آلودگی خاک و فلزات سنگین می‌شود (Rajali et al., 2001). قارچ مایکوریزا با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و آبی گیاه از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و افزایش سطح جذب توسط گسترش ریشه‌های خود در خاک و تحریک تبادلات گازی از طریق افزایش ظرفیت مقصد (Dodd and Pérez-Alfocea, 2012)، سبب بهبود تحمل گیاه میزبان در مواجه با تنش شوری می‌گردد (Beltrano and Ronco, 2008). قارچ‌های مایکوریزا به‌طور طبیعی در محیط شور یافت می‌شوند و در خاک‌های شور ممکن است تحمل و رشد گیاه را بهبود بخشند (Aliasgarzadeh et al., 2001). همچنین با حفظ تعادل یونی در سیتوپلاسم باعث افزایش تحمل گیاه به شوری می‌گردند (Borde et al., 2011). رشد و توسعه تسریع یافته ریشه و اندام هوایی در پی تلقیح مایکوریزایی برای گونه‌های متعددی از گیاهان مانند ریحان، نعناع و مرزنجوش گزارش شده است (Copetta et al., 2006). مشخص شده است که بسترهای گشنیز، شنبلیله و هویج تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزا وزیکولار آربوسکولار در یک خاک لوم شنی با کمبود مواد غذایی، در شرایط مزرعه دارای وزن خشک ریشه و اندام هوایی بیشتری بودند (Gaur et al., 2000). در گیاه دارویی انیسون مشخص شد که اعمال تنش شوری و کاربرد قارچ مایکوریزا بر صفات کمی و کیفی گیاه مؤثر بود. بدین ترتیب که تلقیح مایکوریزایی صفات کمی و کیفی گیاه انیسون را در شرایط شور و شاهد به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان تلقیح نشده بهبود داد و گونه *Glomus mosseae* تأثیر بهتری نسبت به گونه *Glomus intraradices* در این گیاه داشت (Masumi Zavarian et al., 2015). پژوهشی دیگر تلقیح قارچ مایکوریزا با برخی از ژنوتیپ‌های سورگوم مشخص شد که این قارچ (ترکیب دو گونه *Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus irregularis*) توانست اثرات مخرب شوری را بر رشد گیاه تعدیل کند (Ghasemi and Zahedi, 2018).

جعفری مکزیکی، گیاهی است یک‌ساله و معطر با ساقه‌ای عمودی به طول ۱ تا ۲ متر و حتی به ارتفاع ۳ متر که دارای شاخه‌های فرعی فراوان است (Babu and Kaul, 2007). سطح زیرین برگ‌های جعفری مکزیکی دارای تعدادی غده‌های چند سلولی حاوی اسانس است. متابولیت ثانویه موجود در اسانس، فلاونوئیدها و تیوفن است (Soule, 1993). از اسانس این گیاه در صنایع عطرسازی و غذایی به‌عنوان طعم‌دهنده غذا استفاده می‌شود (Singh et al., 2002; Soule, 1993). همچنین اسانس آن خاصیت آرام‌بخشی، ضداسپاسم و ضدالتهابی دارد (Singh and Singh, 2002; Singh et al., 2002). با توجه به این‌که کنترل شوری یکی از کلیدهای مدیریت کشاورزی است، لذا تحقیقات پیرامون افزایش مقاومت گیاهان در برابر شوری از اهمیت خاصی برخوردار است و یکی از راهکارهای مؤثر در جهت دستیابی به این هدف استفاده از قارچ‌های مایکوریزا به‌عنوان یک کود زیستی مناسب است. با بررسی منابع موجود و اثبات این امر که تاکنون اثر قارچ‌های مایکوریزا بر گیاه جعفری مکزیکی بررسی نشده است و با توجه به اهمیت این گیاه دارویی، در این تحقیق به بررسی تأثیر قارچ‌های مایکوریزا بر خصوصیات رشدی و جذب عناصر غذایی جعفری مکزیکی تحت تنش شوری پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر قارچ‌های مایکوریزا بر خصوصیات مورفولوژیکی و جذب عناصر غذایی در جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.) تحت تنش شوری آزمایشی گلدانی در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا) در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل و سه تکرار انجام شد. فاکتور اول کاربرد دو نوع قارچ میکوریزا در

سه سطح (عدم تلقیح، *Rhizophagus intradices* و *Funnetiformis mosseae*) و فاکتور دوم شوری آب آبیاری در ۴ سطح (۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار به ترتیب معادل ۰، ۳/۵، ۷ و ۱۰/۵ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم) بود. بذور جعفری مکزیکی در سینی‌های کشت برای تولید نشاء کاشته شدند و نشاءها در مرحله چهار برگی به گلدان‌ها انتقال یافتند. مخلوط خاکی مورداستفاده پیش از شروع آزمایش آنالیز شد (جدول ۱). مقدار ۱۰ کیلوگرم خاک برای هر گلدان توزین شد. مایه تلقیح قارچ‌های مایکوریزا که شامل اندام‌های رویشی و اسپورهای قارچ مایکوریزا است از شرکت زیست فناور توران با نام تجاری مؤسسه مایکوپرسیکا واقع در پارک علم و فناوری استان سمنان تهیه گردید. مایه تلقیح مایکوریزا قبل از کاشت نشاءها با بستر کشت مخلوط شد و پس‌ازآن نشاءها به گلدان انتقال یافتند. تیمار شوری در مرحله چهار برگی و سه روز در هفته اعمال شد. مدت تیمار شوری چهل روز بود. صفات چهل روز بعد از اعمال شوری اندازه‌گیری شدند. پارامترهای رشدی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد گره، قطر ساقه، با استفاده از روش‌های رایج اندازه‌گیری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری ارتفاع بوته از خط‌کش و برای اندازه‌گیری قطر ساقه از کولیس دیجیتال استفاده شد. میزان نیتروژن، سدیم، پتاسیم، منیزیوم، آهن برگ با دستگاه فیلم فتومتری و ماکرو کجلدال به روش امامی (Emami, 1996)، فسفر، منگنز، روی با دستگاه اسپکتوفتومتر به روش میلر (Miller, 1998)، کلسیم به روش والینگ و همکاران (Waling et al., 1989) و کلر با تیتراسیون به روش ساتو و همکاران (Sato et al., 2006) اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Minitab 17 استفاده شد. ابتدا نرمال کردن داده‌ها به‌وسیله تست نرمالیتی در نرم‌افزار مینی تب انجام و داده‌ها نرمال گردید. مقایسه میانگین صفات از طریق آزمون Fisher در سطح احتمال ۵ درصد تعیین گردید.

جدول ۱. آنالیز خاک مورداستفاده در آزمایش

Table 1. Soil analysis used in the experiment

بافت Texture	رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (Sand)	مواد آلی (OM)	کربن آلی (OC)	هدایت الکتریکی (EC)	pH	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)
	----------(%)----------					(dS/m)		(meq/100 gr soil)
لومی- شنی	6.3	19.3	74.4	1.39	0.81	3.27	7.79	7.9

N	K_2O	P2O5	Ca	Mg	Cl	Na
	----------(mg/kg)----------		----------(meq/l)----------			
0.07	51	184	17.4	4.8	11	20

نتایج و بحث

صفات رشدی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی و متقابل شوری و قارچ مایکوریزا بر تعداد گره، قطر ساقه، ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین تعداد گره (۱۲/۸۹)، قطر ساقه (۷/۴۹ میلی‌متر)، ارتفاع بوته (۶۵/۷۵ سانتی‌متر) و تعداد شاخه جانبی (۲۳/۳۳) در تیمار بدون تنش شوری و کاربرد قارچ مایکوریزا رایزوفاجوس اینترادیکس مشاهده شدند (جدول ۳). نتایج نشان داد مقدار کلیه صفات رویشی موردمطالعه گیاه جعفری مکزیکی در اثر تنش شوری به‌شدت کاهش یافتند و کاربرد قارچ‌های مایکوریزا باعث تعدیل اثرات مضر شوری و مقاومت گیاه به شوری گردید. هرچند میزان تحمل گیاه در کاربرد دو نوع مایکوریزا رایزوفاجوس اینترارادیکس و فونتی فورمیس موسهآ در برابر تنش شوری متفاوت بود. تنش شوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محسوب می‌شود که رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج حاصل از یک پژوهش روی مرزه نشان داد که آبیاری با آب‌شور سبب کاهش برخی صفات مورفولوژیکی گیاه مانند قطر ساقه، تعداد انشعابات فرعی و ارتفاع گیاه نسبت به تیمار شاهد شد (Sodaizade et al., 2016) که مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق است.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر خصوصیات رشدی جعفری مکزیکی

Table 2. Analysis of variance of salinity and mycorrhizal on the growth characteristics of Mexican marigold

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد شاخه جانبی Number of branches	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد گره Node number
شوری Salinity (S)	3	4.747**	324.091**	0.304**	1.065**
مایکوریزا Mycorrhizal (M)	2	7.894**	33.393**	1.276**	1.097**
شوری × مایکوریزا S × M	6	12.646**	54.706**	0.687**	1.388**
خطا Error	24	0.956	3.051	0.041	0.204
C.V (%)	------	*19.4*	*15.5*	*6.3*	*11.33*

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ ** Significant at probability 1% level

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر خصوصیات رشدی جعفری مکزیکی

Table 3. Interaction between salinity and mycorrhizal on the growth characteristics of Mexican marigold

شوری Salinity	مایکوریزا Mycorrhizal	تعداد شاخه جانبی Number of branches	ارتفاع گیاه Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد گره Node number
(mM)			(cm)	(mm)	
0	Control	21.72 abc	58.91 b	6.69 b	11.91 b
	R. intradices	23.33 a	65.75 a	7.49 a	12.89 a
	F. mosseae	20.75 abcd	59.33 b	6.59 b	11.58 bc
40	Control	20.66 abcde	58.33 c	6.14 d	11.75 bc
	R. intradices	22.44 ab	55.79 c	6.74 b	11.67 bc
	F. mosseae	19.55 bcde	55.50 c	6.54 bc	11.44 bc
80	Control	19.50 bcde	55.03 c	6.05 d	11.08 c
	R. intradices	19.92 bcde	55.50 c	6.65 b	11.39 bc
	F. mosseae	18.66 cde	50.66 d	6.23 cd	11.33 bc
120	Control	18.50 de	50.44 d	5.67 e	11.08 bc
	R. intradices	17.66 e	43.33 e	6.21 cd	11.00 c
	F. mosseae	17.91 de	43.25 e	5.92 de	10.17 d

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون Fisher در سطح احتمال ۵ درصد است

Similar letters in each column indicate that there is no significant difference based on the Fisher test at the 5% probability level

کاهش رشد و عملکرد بستگی به غلظت نمک دارد. کاهش صفات مورفولوژیکی گیاه در اثر آبیاری با آب‌شور به‌این‌علت است که با افزایش غلظت املاح، فشار اسمزی محلول خاک زیاد شده و درنتیجه مقدار انرژی که گیاه باید صرف جذب آب از خاک کند افزایش می‌یابد (Molavi et al., 2012). همچنین به نظر می‌رسد تنش شوری از طریق محدودیت در جذب عناصر غذایی، کمبود آب قابل‌استفاده گیاه و سمیت عناصر غذایی، سبب کاهش رشد سلول می‌شود. علاوه بر این، سبب کاهش کربوهیدرات تولیدی و درنتیجه کاهش رشد اجزای مختلف گیاه شده که درنهایت سبب کاهش وزن خشک می‌شود (Sodaizade et al., 2016). هرچه غلظت نمک افزایش یابد کاهش رشد چشمگیرتر است (Hashemi Dezfuli et al., 1995) که در یافته‌های حاصل از این آزمایش نیز مشاهده گردید. گیاهان مایکوریزایی، در مقایسه با گیاهان غیرمایکوریزایی رشد و نمو بهتری به‌ویژه در شرایط سختی مثل شوری خاک دارند (Krupa and Piotrowska-Seget., 2003). بنا بر تحقیقات صورت گرفته تلقیح گیاه نعناع با قارچ مایکوریزا به‌طور قابل‌توجهی ارتفاع بوته را افزایش داد (Gupta et al., 2002). محققین نشان دادند که مایکوریزا

گونه *Glomus mosseae* تأثیر بیشتری در افزایش طول ساقه ریحان نسبت به نعناع و مرزنجوش داشت که با نتایج این تحقیق مطابقت دارند (Gopetta et al., 2006). همچنین هم‌راستا با نتایج این آزمایش، بررسی تأثیر قارچ *Glomus deserticola* بر رشد رویشی گیاه رزماری نشان داد که در گیاهان همزیست با قارچ مایکوریزا رشد قسمت هوایی در مقایسه با گیاهان شاهد بیشتر است (Sánchez-Blanco et al., 2004). آزمایشی روی گونه‌ای نعناع (*Mentha requienii*) و مرزنجوش (*Origanum onites*) نشان داد که گیاهان مایکوریزایی با *Glomus etunicatum* و *G. lamellosum* عناصر غذایی بیشتری داشته و بهتر از گیاهان بدون تلقیح رشد کردند (Karagiannidis et al., 2011). در یک پژوهش اثر قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات کمی و کیفی جعفری (*Petroselinum crispum* Mill.) گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) تحت تنش شوری بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش غلظت کلرید سدیم در محلول غذایی، باعث کاهش شاخص‌های رشدی در هر دو گیاه مورد آزمایش شد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Omidi, 2015). در آزمایشی دیگر بررسی صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاهان ترخون (*Artemisia dracunculus*) تلقیح شده با قارچ مایکوریزا در شرایط تنش شوری نشان داد که این تلقیح در مورد تعداد ساقه فرعی بوته معنی‌دار بود؛ ولی بر قطر ساقه و طول ریشه معنی‌دار نبود (Lamian et al., 2017). قارچ مایکوریزا دارای خاصیت تحریک‌کنندگی رشد گیاه است و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر، نیتروژن و برخی عناصر کم‌مصرف، افزایش جذب آب و تولید هورمون‌های گیاهی، باعث افزایش مقاومت به تنش شوری می‌شوند (Rajali et al., 2001). مایکوریزا با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و آبی گیاه (Dodd and Pérez-Alfocea, 2012) از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و افزایش سطح جذب توسط گسترش ریشه‌های خود در خاک و تحریک تبادلات گازی از طریق افزایش ظرفیت مقصد (Auge, 2001)، سبب بهبود تحمل گیاه میزبان در مواجه با تنش شوری می‌گردد (Beltrano and Ronco, 2008). قارچ‌های مایکوریزا به‌طور طبیعی در محیط‌های شور یافت می‌شوند که با حفظ تعادل یونی در سیتوپلاسم باعث افزایش تحمل گیاه به شوری می‌گردد (Aliasgarzadeh et al., 2001). الکراکی و حامد (Al-Karaki and Hammad, 2001) سازوکار اصلی در افزایش تحمل به شوری گیاهان مایکوریزایی را بهبود جذب فسفر به شمار می‌آورند. درحالی‌که سایر پژوهشگران بیان داشتند که سازوکارهای ناشناخته بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش شوری بیشتر از این‌که بر پایه افزایش غلظت فسفر و نیتروژن میزبان باشد بر اساس فرآیندهای فیزیولوژیکی (افزایش سرعت فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و کارایی مصرف آب و غلظت کلروفیل) پایه‌گذاری شده است (Ruize-Lozano et al., 1996; Sheng et al., 2009).

عناصر غذایی برگ

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میزان عناصر برگ جعفری مکزیکی نشان داد که اثرات متقابل تیمار شوری و مایکوریزا بر میزان فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، اثر متقابل منگنز، روی، سدیم و کلر برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. درحالی‌که تنها اثر اصلی تنش شوری بر میزان نیتروژن و آهن اثر برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد، اثر اصلی مایکوریزا و اثر متقابل شوری و مایکوریزا بر این صفات معنی‌دار نشد (جدول ۴). با افزایش شوری میزان منیزیم برگ در تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار شوری کاهش یافت هرچند ازنظر آماری تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف شوری وجود نداشت. در مقابل استفاده از مایکوریزا فونتی فورمیس موسهآ سبب افزایش میزان منیزیوم برگ گردید. بیشترین میزان منیزیم برگ (۰/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) در تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار شوری و کاربرد فونتی فورمیس موسهآ مشاهده شد (جدول ۵). همچنین با افزایش شوری میزان منگنز برگ کاهش یافت. کمترین میزان منگنز (۶۳/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار شوری و بدون کاربرد مایکوریزا مشاهده شد. استفاده از مایکوریزا فونتی فورمیس موسهآ سبب افزایش میزان منگنز برگ گردید. بیشترین میزان منگنز برگ (۱۴۳/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار ۴۰ میلی‌مولار شوری و کاربرد فونتی فورمیس موسهآ مشاهده شد (جدول ۵).

علاوه بر این میزان روی برگ نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفته و با افزایش سطح شوری کاهش یافت. کمترین میزان روی (۳/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار شوری و بدون کاربرد مایکوریزا مشاهده شد.

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر تنش شوری و مایکوریزا بر میزان عناصر برگ گیاه جعفری مکزیکی

Table 4. Analysis of variance of salinity and mycorrhizal on the leaf elements of Mexican marigold

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	منیزیم Mg	پتاسیم K	کلسیم Ca	فسفر P	نیتروژن N
شوری Salinity (S)	3	0.001073 **	1.03 *	1.01650 **	3.4964 **	6.0878 **
مایکوریزا Mycorrhizal (M)	2	0.001871 **	3.33 **	0.79341 **	1.3353 *	1.02540 *
شوری × مایکوریزا S × M	6	0.001609 **	0.10 *	1.02929 **	1.3265 **	0.7123 ns
خطا Error	24	0.000147	0.28	0.05459	0.3299	0.7144
C.V (%)	----	*3.2*	*14.7*	*8.3*	*16.9*	*15.8*

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلر Cl	سدیم Na	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn
شوری Salinity (S)	3	51.95*	7118.5 **	19.321 **	0.8316 ns	1178.99 **
مایکوریزا Mycorrhizal (M)	2	191.3**	3690.6 **	13.079 ns	1.8207 ns	323.88 **
شوری × مایکوریزا S × M	6	133.43**	3510.2 **	7.323 ns	11.8637 **	1994.70 **
خطا Error	24	16.61	205.3	4.009	2.0350	42.83
C.V (%)	-----	*3.2*	*15.9*	*15.5*	*13.1*	*3.6*

**، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و عدم معنی‌داری

*,** and ns Significant at probability 1%, 5% level and non-significant, respectively

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر میزان عناصر برگ گیاه جعفری مکزیکی

Table 5. Mean comparison of interaction effects of salinity and mycorrhizal on the amount of leaf elements of Mexican marigold

شوری Salinity	مایکوریزا Mycorrhizal	کلر Cl	روی Zn	منگنز Mn	منیزیم Mg	سدیم Na	پتاسیم K	کلسیم Ca	فسفر P
(mM)		---------- (mg/kg) ----------			---------- (mg/g) ----------				
	Control	56.8^{bc}	5.59^{a-c}	87.23^{cd}	0.55^{bc}	24.6^{cd}	6.23^{a}	5.04 ^{f}	5.71 ^{f}
0	R. intradices	49.1^{de}	7.06^{a}	79.76^{d-f}	0.56^{bc}	14.6^{d}	5.67^{a-c}	5.84 ^{c}	6.20 ^{ef}
	F. mosseae	43.8^{e}	7.12^{a}	111.98^{b}	0.54^{c}	13.6^{d}	5.48^{a-c}	5.93 ^{c}	6.29 ^{ef}
	Control	57.2^{abc}	4.59^{b-d}	82.90^{c-e}	0.55^{bc}	76.6^{b}	5.98^{ab}	6.34 ^{b}	6.44 $^{d-f}$
40	R. intradices	50.9^{cd}	5.06 $^{a-d}$	78.48^{d-f}	0.54^{c}	76.3^{b}	5.28^{b-d}	6.48 ^{ab}	6.75 $^{c-e}$
	F. mosseae	50.9^{cd}	6.76^{ab}	143.91^{a}	0.55^{bc}	37.3^{cd}	5.13^{b-d}	6.40 ^{ab}	7.26 $^{b-d}$
	Control	57.9^{ab}	3.43^{cd}	70.25^{fg}	0.55^{b}	106.6^{a}	5.90^{a-c}	5.56 ^{cd}	6.60 $^{c-f}$
80	R. intradices	56.9^{bc}	4.81^{a-d}	72.88^{e-g}	0.54^{c}	76.3^{b}	5.03^{cd}	6.43 ^{ab}	7.09 $^{b-e}$
	F. mosseae	48.1^{de}	5.43^{a-d}	80.10^{d-f}	0.57^{b}	30.6^{cd}	4.39^{d}	6.75 ^{a}	7.31 $^{b-d}$
	Control	63.9^{a}	3.03^{d}	63.33^{g}	0.56^{bc}	123.3^{a}	5.60^{a-c}	5.46 ^{de}	8.00 ^{ab}
120	R. intradices	66.9^{cd}	3.16^{d}	70.41^{fg}	0.55^{c}	100.1^{ab}	5.10^{b-d}	5.11 ^{ef}	7.55 $^{a-c}$
	F. mosseae	60.7^{ab}	7.06^{a}	92.08^{c}	0.62^{a}	22.0 ^{d}	4.53^{d}	3.36 ^{ab}	8.50 ^{a}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون Fisheri در سطح احتمال ۵ درصد می باشد

Similar letters in each column indicate that there is no significant difference based on the Fisher at the 5% probability level

استفاده از مایکوریزا سبب افزایش میزان روی برگ گردید. بیشترین میزان روی برگ (۷/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار فاقد شوری و کاربرد فونتی فورمیس موسهآ مشاهده شد (جدول ۵). میزان سدیم برگ نیز با افزایش سطح شوری افزایش یافت. بیشترین میزان سدیم برگ (۱۲۳/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) در تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار شوری و بدون کاربرد مایکوریزا مشاهده شد. استفاده از مایکوریزا سبب کاهش میزان سدیم برگ گردید. کمترین میزان سدیم (۱۳/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) در تیمار فاقد شوری و کاربرد فونتی فورمیس موسهآ مشاهده شد (جدول ۵). با توجه به نتایج این آزمایش مشخص گردید که با افزایش شوری میزان کلر برگ افزایش یافت. بیشترین میزان کلر برگ (۶۳/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار شوری و بدون کاربرد مایکوریزا مشاهده شد. استفاده از مایکوریزا سبب کاهش میزان کلر برگ گردید. کمترین میزان کلر (۴۳/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک برگ) در تیمار فاقد شوری و کاربرد فونتی فورمیس موسهآ مشاهده شد (جدول ۵). با افزایش شوری در گیاه، میزان نیتروژن برگ افزایش یافت. بیشترین میزان نیتروژن برگ (۷۰/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار شوری به دست آمد (جدول ۶). میزان آهن برگ نیز با افزایش شوری کاهش یافت. بیشترین میزان آهن برگ (۱۹/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در تیمار فاقد شوری مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر ساده شوری بر میزان عناصر برگ گیاه جعفری مکزیکی

Table 6. Mean comparison of simple effect of salinity on the amount of leaf elements of Mexican marigold

شوری	آهن	نیتروژن
Salinity	**Fe**	**N**
(mM)	(mg/kg)	(mg/g)
0	19.02 ^{a}	5.14 ^{c}
40	16.52 ^{ab}	5.62 ^{bc}
80	15.94 ^{b}	6.34 ^{ab}
120	15.94 ^{b}	7.02 ^{a}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون Fisher در سطح احتمال ۵ درصد است

Similar letters in each column indicate that there is no significant difference based on the Fisher at the 5% probability level

قارچ‌های مایکوریزا به جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر از طریق ناقلان مربوط و انتقال آن‌ها به گیاه میزبان کمک می‌کنند (Bücking and Kafle, 2015). تجمع بالای فسفر، منیزیم و کلسیم و جذب پایین‌تر سدیم در حضور قارچ‌های مایکوریزا در گوجه‌فرنگی تحت شرایط تیمار کلرید سدیم و کاهش اثر شوری مشاهده شده است (Hashem et al., 2015). مطالعات انجام‌شده روی گندم نشان‌دهنده نقش قارچ مایکوریزا در کاهش تنش شوری توسط جذب عناصر معدنی به‌ویژه در حضور مخلوطی از انواع گونه‌های گلوموس بوده است (Mardukhi et al., 2015) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. در بررسی پاسخ گیاهان لوبیای مایکوریزایی و غیرمایکوریزایی به تنش شوری مشخص گردید که در سطح شوری کم و متوسط، میزان پتاسیم، فسفر و کلسیم در گیاهان مایکوریزایی بیشتر بوده اما میزان سدیم وضعیت عکس را نشان داد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Mansori et al., 2007). در یک پژوهش اثر قارچ مایکوریزا در جعفری و گشنیز تحت تنش شوری نشان داد غلظت یون‌های پتاسیم و فسفر و همچنین محتوای فسفر و غلظت یون سدیم در برگ آن در اثر شوری افزایش یافت و کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش کارایی رشد، افزایش محتوای فسفر و نیز کاهش جذب یون سدیم در هر دو گیاه شد (Omidi et al., 2015)؛ که با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارد. مطابق با نتایج این آزمایش، در تحقیقی دیگر نیز مشخص شد که تلقیح گیاه مرزه با قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار در شرایط تنش شوری سبب افزایش جذب عناصر غذایی گردید (Jabalbarezi., 2015). قارچ‌های مایکوریزا جذب عناصر غذایی کم‌تحرک به‌خصوص فسفر، روی و مس را در گیاهان مایکوریزایی افزایش می‌دهند (Jahan and Nasiri Mahalati, 2012). محققان بر این باورند که قارچ‌های مایکوریزا با نگه‌داشتن سدیم در ریشه گیاه میزبان، باعث کاهش ورود آن به اندام‌های هوایی گیاه شده و از طریق افزایش جذب یون پتاسیم نسبت به یون سدیم موجب مقاومت گیاه در شرایط شور می‌شوند (Mansuri et al., 2014). مهم‌ترین اثر رابطه همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا، افزایش جذب عناصر معدنی به‌ویژه فسفر در گیاه میزبان است (Shirani et al., 2000). در پژوهشی دیگر استفاده از قارچ مایکوریزا موجب افزایش غلظت فسفر و کاهش برخی عناصر کم‌مصرف شد (Amirabadi et al., 2009). در مطالعات مختلف نشان

داده شده است که همزیستی مایکوریزایی، سبب افزایش جذب عناصر غذایی کم‌تحرک شده و آن‌ها را به‌صورت قابل‌جذب برای گیاه درمی‌آورد، ازجمله این عناصر فسفر است که بر رشد و عملکرد گیاه تأثیرگذار است (Smith and Read, 2008). قارچ‌های مایکوریزا با ریشه گیاهان به‌صورت همزیست زندگی کرده و به درون سلول‌های کورتکس راه می‌یابند و در عین حال با گسترش ریشه خود به درون خاک، جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر را که از تحرک اندکی برخوردار است، افزایش می‌دهند و به این ترتیب فسفر غیر قابل‌جذب در خاک را به‌صورت فسفر قابل‌استفاده برای گیاه درمی‌آورند (Cabello et al., 2005).

در تنش شوری به علت جذب یون‌های سدیم و کلر و اثر آن‌ها بر فرایندهایی مانند سنتز دیواره سلولی، نفوذپذیری سلول‌های غشاء ریشه کاهش می‌یابد و در جذب مواد غذایی مانند پتاسیم اختلال ایجاد می‌شود (Hakim et al., 2014). در شرایط شوری، یون سدیم جایگزین یون پتاسیم موجود در محلول خاک شده و این جایگزینی سبب می‌شود تا جذب پتاسیم در گیاه کاهش یابد. همچنین علاوه بر رقابت یون سدیم با پتاسیم، سایر کاتیون‌ها همچون منیزیم هم با پتاسیم در رقابت هستند و از جذب پتاسیم جلوگیری می‌کنند (Tyerman and Skerrett, 1999). تجمع پتاسیم روند معکوس تجمع سدیم را داشت. قابل‌تصور است که به دلیل تشابه عنصری سدیم و پتاسیم و همچنین به دلیل دسترسی بالای عنصر سدیم در محل ریزوسفر در رقابت با یون پتاسیم، میزان جذب سدیم بر پتاسیم پیشی گرفته و کارکرد پتاسیم در گیاه را با اختلال مواجه می‌کند. با توجه به اینکه در غلظت‌های کم، سدیم قابلیت جایگزینی اندکی با یون پتاسیم دارد؛ ولی به‌هیچ‌روی نقش کارکردی، کاتالیزوری و متابولیسمی پتاسیم در واکنش‌های متعدد بیوشیمیایی قابل‌جایگزینی نبوده و کاهش جذب و جابجایی اسیمیلاسیون پتاسیم، عملکرد و شاخص‌های رشدی گیاه را به‌صورت قابل‌توجهی متأثر سازد. حفظ مقدار کافی K^+ برای زنده ماندن گیاه در مکان‌های شور ضروری می‌باشد. تجمع پتاسیم در ریشه موجب پایین ماندن پتانسیل اسمزی این اندام می‌شود که ضمن تسهیل انتقال مواد محلول ناشی از فشار تورژسانس در آوند چوبی به حفظ تعادل آب در گیاه کمک نموده و از این طریق یکی از اثرات تنش شوری یعنی خشکی فیزیولوژیکی در گیاه تعدیل می‌شود (Conceicao et al., 2011). حاسنی و همکاران (Hasani et al., 2009) گزارش کردند که میزان عناصر پتاسیم و کلسیم اندام هوایی در گیاه شنبلیله با افزایش شوری کاهش یافته است. سایر محققان نیز نتایج مشابهی را در مورد میزان عنصر کلسیم بیان داشتند (Ashraf et al., 2004). غلظت زیاد سدیم در اندام هوایی در متابولیک گیاه اختلال ایجاد می‌کند و سمیت احتمالی ناشی از تجمع بیش‌ازحد این یون، جذب عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tester and Davenport, 2003).

قارچ‌های مایکوریزا با افزایش فسفر به‌طور غیرمستقیم ممکن است جذب کاتیون‌های کلسیم و منیزیم را افزایش و به دلیل اثر رقابتی این عناصر با سدیم، جذب سدیم توسط گیاه را کاهش دهند (Plaut and Grieve, 1988). در آزمایشی روی گیاه پسته مایکوریزایی در شرایط تنش شوری، مشخص گردید که با افزایش تنش شوری، غلظت سدیم اندام هوایی در تیمارهای مایکوریزایی و غیرمایکوریزایی افزایش یافت، اما غلظت سدیم در گیاهان مایکوریزایی در مقایسه با گیاهان غیرمایکوریزایی کمتر بود. آن‌ها یکی از عوامل بهبود رشد گیاهان مایکوریزی در محیط‌های شور در مقایسه با گیاهان غیرمایکوریزایی را پایین‌تر بودن یون سدیم در این گیاهان و جلوگیری از ایجاد سمیت سدیم در هنگام کاربرد قارچ‌های مایکوریزایی با نگه-داشتن سدیم در ریشه گیاه میزبان دانسته که باعث کاهش ورود آن به اندام‌های هوایی گیاه شده و از این طریق موجب مقاومت گیاه در شرایط شور می‌شوند (Fallahyan et al., 2005). پژوهش‌های دیگر انجام‌شده در گوجه‌فرنگی (Barin et al., 2009) و لوبیا (Parsa Motlagh et al., 2011) نتایج مشابهی در رابطه با قارچ‌های مایکوریزایی و اثر آن بر کاهش سدیم در شرایط تنش شوری نشان دادند. در تحقیقی با افزایش سطح شوری، غلظت منیزیم در گیاه جو به‌خصوص در سطوح شوری بالا افزایش یافت که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Aliasgharzade., 2000). افزایش منیزیم با افزایش شوری، توسط گیاه تا حدی اثرات منفی سدیم را می‌تواند کاهش دهد، اما اثرات مثبت منیزیم در مقایسه با کلسیم کمتر است و ممکن است غلظت بالای منیزیم در گیاه تعادل عناصر غذایی را به هم بزند (Volkmar et al., 1998). گزارش‌های موجود در خصوص میزان غلظت و جذب فسفر گیاه نسبت به تنش شوری نتایج متنوعی را نشان می‌دهد. غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی

در شرایط تنش شوری به‌سرعت کاهش می‌یابد، زیرا یون‌های فسفات با یون کلسیم موجود در خاک به‌سرعت رسوب‌کرده و از دسترس گیاهان خارج می‌گردند. بااین‌حال قارچ مایکوریزا می‌تواند اثر مثبتی را بر غلظت فسفر در گیاهان تحت شرایط تنش داشته باشد (Giri et al., 2002). معمولاً با افزایش شوری جذب فسفر در گیاه نیز کاهش می‌یابد، ولی در صورت کاربرد کود فسفاته یا قارچ مایکوریزا کاهش رشد گیاه ناشی از کمبود جذب فسفر در شرایط شوری جبران می‌شود (Gratan and Grieve., 1999: McMillen et al., 1998). کاهش فسفر در اثر شوری می‌تواند به دلیل رقابت آنیون‌هایی مانند کلر و سولفات در عبور از کانال‌های یونی غشای سلولی ریشه گیاه باشد (Gratan and Grieve, 1999). افزایش جذب فسفر در تیمارهای قارچی علاوه بر تأثیر همزیستی مایکوریزی در افزایش سطح جذب ریشه به عقیده گیری و همکاران (Giri et al., 2003) می‌تواند به دلیل تأثیر این قارچ¬ها در ترشح اسید فسفاتازها، اگزالات‌ها و تراوش یون پروتون نیز صورت گیرد. به نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر به دلیل انتشار میسیلیوم‌های میکوریزایی و تشکیل یک سیستم جذب اضافی مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه باشد که بهره‌برداری از حجم بیشتر خاک را ممکن می‌سازد که ریشه‌های تغذیه‌کننده به آن دسترسی ندارد. افزایش فسفر به‌وسیله قارچ‌های مایکوریزا توسط محققین دیگری ازجمله علیزاده و علیزاده (Alizade and Alizadeh, 2007) در ذرت گزارش شد که مشابه با نتایج این تحقیق است. در بررسی اثر سه گونه قارچ مایکوریزا بر روی پارامترهای رشدی گیاه دارویی ریحان مشخص گردید که مقدار کلسیم در گیاهان مایکوریزایی به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان غیرمایکوریزایی بود (Barin et al., 2009). مطابق با نتایج این تحقیق، در بررسی اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و عناصر غذایی در گیاه شنبلیله گزارش مشابهی را در مورد کاهش میزان کلسیم در اندام هوایی گیاه ارائه شد (Archangi et al., 2012). در بررسی اثر قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر روی گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری، مشاهده گردید که با افزایش شوری حاصل از کلرید سدیم میزان کلسیم در اندام هوایی گیاه کاهش معنی‌داری داشت. آن‌ها بیان کردند که می‌توان کاهش معنی‌دار غلظت و جذب کلسیم را با افزایش شوری در گیاه به رقابت یون‌های سدیم و کلسیم نسبت داد (Barin et al., 2006).

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج آزمایش مشخص گردید که شوری سبب کاهش رشد گیاه جعفری مکزیکی شد و کاربرد مایکوریزا در این شرایط باعث تعدیل اثرات مضر شوری گردید. بیشترین تعداد گره، قطر ساقه، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه جانبی در شرایط عدم تنش شوری ثبت شد. با افزایش شوری میزان فسفر، کلسیم، سدیم، کلر و نیتروژن برگ افزایش و در مقابل میزان پتاسیم، منگنز، روی و آهن آن کاهش یافت. کاربرد قارچ مایکوریزا توانست تا حدودی جذب عناصر در شرایط تنش را بهبود بخشیده و منجر به تعادل جذب عناصر غذایی در گیاه در این شرایط شود. استفاده از قارچ‌های مایکوریزا بخصوص فونتی فورمیس موسهآ می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب زیستن برای افزایش مقاومت به شوری در این گیاه پیشنهاد شود که نیازمند بررسی‌های بیشتر است.

منابع

Aliasgarzadeh, N., Saleh Rastin, N., Towfigi, H., Alizadeh, A., 2001. Occurrence of Arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. Mycorrhiza. 11, 119-122.

Alizadeh, A., Alizade, A., 2007. Effects of mycorrhiza in different soil moisture conditions on the absorption of nutrients in corn. Research in Agricultural Sciences. 3, 101-108. [In Persian with English Summary].

Al-Karaki, G.N., Hammad, R., 2001. Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. Journal of Plant Nutrition. 24, 1311–1323.

Amirabadi, M., Rajali, F., Ardakani, M.R., Borji, M., 2009. The effect of inoculation of

azotobacter and mycorrhizal fungus on the intake of some mineral ingredients by forage corn (single crosser model 704) at different levels of phosphorus. Soil Research (Water and Soil Science). 23, 107-115 [In Persian with English Summary].

Archangi, A., Khodambashi, M., MohamadKhani, A., 2012. Effect of salinity stress on morphological characteristics and amount of sodium, potassium and calcium elements in Trigonella foenum gracum under hydroponic conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 33, 33-40 [In Persian with English Summary].

Ashraf, M., Mukhtar, N., Rehman, S., Rha, E.S., 2004. Salt-induced changes in photosynthetic activity and growth in a potential medicinal plant Bishop's weed (*Ammi majus* L.). Photosynthetica, 42(2), 543-550.

Auge, R.M., 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza. 11, 3-42.

Babu, K.G.D., Kaul, V.K., 2007. Variations in quantitative and qualitative characteristics of wild marigold (*Tagetes minuta* L.) oils distilled under vacuum and at NTP. Ind. Crops Prod. 26, 241–250.

Barin, M., Aliasgharzade, N., Samadi, A. 2006. Effect of salinity from sodium chloride and salts on proline concentration and some growth indices of tomato in coexistence with arbuscular mycorrhizal fungus. Iranian Journal of Agriculture Science, 37, 139-147. [In Persian with English Summary].

Barin, M., Rasooli Sedghiani, M.H., Rezai Danesh, Y., Samadi, A., Hasani, A., Erjali, F. 2009. Effect of Three Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth Parameters and essential Oil of Basil. 11th Soil Science Congress of Iran. University of Gorgan. Gorgan. [In Persian].

Beltrano, J., Ronco, M.G., 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum estivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus claroideum: Effect on growth and cell membrane stability. Brazilian Journal of Plant Physiology. 20, 29-37.

Borde, M., Dudhane, M., Jite, P., 2011. Growth photosynthetic activity and antioxidant responses of mycorrhizal and non-mycorrhizal bajra (*Pennisetum glaucum*) crop under salinity stress condition. Crop Protection. 30, 265–271.

Bücking, H., Kafle, A., 2015. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in the nitrogen uptake of plants: current knowledge and research gaps. Agronomy. 5, 587-612.

Cabello, M., Irrazabal, G., Bucsinszky, A.M., Saparrat, M., Schalamuk, S., 2005. Effect of an arbuscular mycorrhizal fungus, Glomus mosseae, and a rock phosphate-solubilizing fungus, *Penicillium thomii* on *Mentha piperita* growth in a soilless medium. Journal of Basic Microbiology, 45, 182-189.

Conceicao Gomes, M., Satika Suzuki, M., Tullii, F. 2011. Effect of salt stress on nutrient concentration, photosynthetic pigments, proline and foliar morphology of Salvinia auriculata. Acta Limnologica Brasiliensia, 2, 164-176.

Copetta, A., Lingua, G., Berta, G., 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. Mycorrhiza. 16, 485–494.

Dodd, I.C., Pérez-Alfocea, F., 2012. Microbial amelioration of crop salinity stress. Journal of Experimental Botany. 63, 3415–3428.

Emami, A., 1996. Plant decomposition methods. Technical Journal No. 982. Institute of Soil and Water Research. Tehran. 202 p. [In Persian].

Fallahyan, F., Abbaspour, H., Fahimi, H., Khavarinejad, R.A. 2005. Investigation of the effects of endomycorrhizal fungi on mineral nutrition and growth of Pistachio (*Pistacia vera L.*) in salt stress condition. Pajouhesh and Sazandegi, 18, 82-86. [In Persian with English Summary].

Ghasemi, M., Zahedi, Z., 2018. Effects of mycorhizal inoculation on the response of some sorghum genotypes to salinity. Process and Plant Function. 24, 121-138. [In Persian with English Summary].

Gaur, A., Adholeya, A., Mukergi, K.G., 2000. On farm production of VAM inoculum and vegetable crops in marginal soil amended with organic matter. Tropical Agriculture. 77, 21-26.

Giri B, Kapoor R, Mukerji KG. 2003. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass and mineral nutrition of Acacia auriculiformis. Biology and Fertility of Soils, 38:170–175.

Giri, B., Kapoor, R., Mukerji, K.G., 2002. VA mycorrhizal techniques/VAM technology in establishment of plants under salinity stress condition. In: Mukerji, K.G., Manoracheir, C., and Singh, J. (eds.), Techniques in mycorrhizal stueies Kluwer, Dordrecht. Pp. 313-327.

Gratan, S.R., Grieve, C.M., 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia Horticulture. 78, 127-157.

Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M., Kumar, S., 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus Glomus fasciculatum 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.

Hakim, M.A., Juraimi, A.S., Hanafi, M.M., Ismail, M.R., Rafii, M.Y., Islam, M.M., Selamat, A., 2014. The effect of salinity on growth, ion accumulation and yield of rice varieties. Journal of Animal and Plant Science. 24(3), 874-885.

Hasani, I., Ben Ahmed, H., Bizid, E., Raies, A., Samson, G., Zid, E., 2009. Physiologycal characteristics of salt tolerance in fenugreek (*Trigonella foenum* graecum L.). The Proc. of International Plant Nutrition Colloquim XVI, UC Davis.

Hashem, A., Abd Allah, E.F., Alqarawi, A.A., Alwhibi Mona, S., Alenazi, M.M., Egamberdieva, D., Ahmad, P., 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi mitigates NaCl induced adverse effects on *Solanum lycopersicum* L. Pakistan Journal of Botany. 47, 327–340.

Hashemi Dezfuli, A., Kochaki, A., Banayan Aval, M. 1995. Increasing the yield of crops. Jahad-e Daneshgahi Mashhad Publications. 278 P. [In Persian].

Hasani, I., Ben Ahmed, H., Bizid, E., Raies, A., Samson, G., Zid, E. 2009. Physiological characteristics of salt tolerance in fenugreek (*Trigonella foenum* graecum L.). The Proceeding of International Plant Nutrition Colloquim XVI, UC Davis.

Jabalbarezi1, B., Zarei, M., Karimian, N.A., Sahrkhiz, M.J., 2015. Effect of Arbuscular mycorrhizal fungi on nutrients uptake, some growth indices and essence oil content of Satureja hortensis under salinity stress conditions. Journal of Water and Soil Science. 25, 285-299. [In Persian with English Summary].

Jafari, M., 1994. Salinity and Saltiness. Institute of forests and pastures. Issue No. 9. [In Persian].

Jahan, M., Nasiri Mahalati, M., 2012. Fertility of Soil and Biofertilizers (Agro-ecological Approach), Ferdowsi University Press, Mashhad. [In Persian].

Karagiannidis, N., Thomidis, T., Lazari, D., Panou-Filotheou, E., Karagiannidou, C.2011. Effect of three Greek arbuscular mycorrhizal fungi in improving the growth, nutrient concentration, and production of essential oils of oregano and mint plants. Science Horticultural. 129:329-334.

Krupa, P., Piotrowska-Seget, Z. 2003. Positive aspects of interaction between plants and mycorrhizal fungi originating from soils polluted with cadmium. Polish Journal of Environmental Studies. 12(6), 723-726.

Lamian, A., Badi, H. N., Mehrafarin, A., & Sahandi, M. S. 2017. Changes in essential oil and morpho-physiological traits of tarragon (*Artemisia dracuncalus* L.) in responses to arbuscular mycorrhizal fungus, AMF (*Glomus intraradices* NC Schenck and GS Sm.) inoculation under salinity. Acta agriculturae Slovenica, 109, 215-227.

Mansori, H., Ahmaimoghadam, A., Roohani, N. 2007. Response of mycorrhizal and non-mycorrhizal beans to salt stress. 2007. Biology of Iran, 20, 80-88. [In Persian with English Summary].

Mansori, H., Ahmadi Moghadam, A., 2014. The response of corn plants (Zea maize) under salinity stress to mycorrhiza colonization. Journal of Plant Research. 27, 142-155. [In Persian with English Summary].

Mardukhi, B., Rejali, F., Daei, G., Ardakani, M.R., Malakouti, M.J., Miransari, M., 2011. Arbuscular mycorrhizas enhance nutrient uptake in different wheat genotypes at high salinity levels under field and greenhouse conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 334, 564–571.

Masumi Zavarian, A., YusefiRad, M., Asghari, M., 2015. Effects of Mycorrhizal Fungi on Quantitative and Qualitative Characteristics of Anise Plant (*Pimpinella anisum*) under Salt Stress. 14, 139-148 [In Persian with English Summary].

McMillen, B.G., Juniper, S., Abbott, L.K., 1998. Inhibition of hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus in containing sodium chloride limits the spread of infection from spores. Soil Biology and Biochemistry. 30, 1639-1646.

Miller, R.O., 1998. High-temperature oxidation: dry ashing. In: Kalra, Y.P. (Ed.), Handbook and Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, N.Y.

Molavi, M., Mohamadi, M., Liaghat, A. 2012. Effect of salt water management during growth period on yield and yield components of corn and soil salinity profile. Irrigation Science and Engineering, 35, 11-18

Munns, R., James, R.A., Lauchi, A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany. 57, 1025-1043.

Omidi, A., 2015. Effects of Arbuscular mycorrhizal fungi on qualitative and quantitative characteristics of parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) and coriander (*Coriandrum sativum* L.) under salt stress conditions. MSc Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. Iran. [In Persian].

Parsa Motlagh, B., Mahmoodi, S., Sayari Zahan, M.H., Naghizade, M. 2011. Effect of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on the concentration of photosynthetic pigments and food elements of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under salt stress conditions. Agroecology, 2(3): 233-244. [In Persian with English Summary].

Plaut, Z., Grieve, C.M., 1988. Photosynthesis of salt stressed maize as influenced by Ca: Na ratio nutrient solution. Plant and Soil. 105, 284-286.

Rajali, F., Alizadeh, A., Saleh Rastin, N., Malakooti, M.J., 2001. The effect of Mycorrhiza symbiosis relationship on the correlation of host plant water and its tolerance to drought. Proceedings of the necessity of industrial production of biofertilizers. 435-457. [In Persian].

Ruize-Lozano, J.M., Azcon, R., 1996. Mycorrhizal colonization and drought stress as factors affecting nitrate ridoctase activity in Lettuce plant. Agriculture, Ecosystems & Environment. 6, 175-181.

Sánchez-Blanco, M.J., Ferrández, T., Morales, M.A., Morte, A., JAlarcón, J.J. 2004. Variations in water status, gas exchange, and growth in Rosmarinus officinalis plants infected with Glomus deserticola under drought conditions. Journal of Plant Physiology. 161, 675-182.

Sato, S., Sakaguchi, S., Furukawa, H., Ikeda, H., 2006. Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentummill*.). Scientia Horticulturae. 109, 248-253.

Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F., Huang, Y., 2009. Influence of arbuscular mycorrhizae on the root system of maize plants under salt stress. Canadian Journal of Microbiology. 55, 879–886.

Shirani, A., Alizadeh, A., Hashemi Dezfoli, A., 2000. The study of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi, phosphorus and drought stress effect on nutrient uptake efficiency in wheat. Seed and Plant Improvement Journal. 16, 327-349. [In Persian with English Summary].

Singh, B., Singh, V., 2002. Crop productivity and variation in chemical composition of *Tagetes minuta* Linn. essential oil and absolute during crop maturity in Mid-Hill of western Himalayan region. Journal of Essential Oil Bearing Plant. 5, 30-37.

Singh, V., Singh, B., Kaul, V.K., 2003. Domestication of wild marigold (*Tagetes minuta* L.) as a potential economic crop in western Himalaya and north Indian plants. Economic Botany. 57, 535- 544.

Smith, E.E., Facelli, E., Pope, S., Smith, F.A., 2010. Plant performance in stressful environments. Interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. Plant and Soil. 326, 3-20.

Smith, S.E., Read, D.J., 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London, UK, 800p.

Sodaizade, H., Tajamolian, M., Rafi Al-hoseini, M. 2016. The effect of integrated fresh and saline water on some morphological characteristics of Saturejahortensis. Crop and Enviromental Stress. 1, 55-65. [In Persian with English Summary].

Soule JA., 1993. Tagetes minuta L.: A potential new herb from South American. New crops. Wiley, New York. 649-654 p.

Tester, M., Davenport, R., 2003. Na+ tolerance and Na+ transport in higher plants. Annals of Botany. 91, 503-527.

Tyerman, S.D., Skerrett, I.M., 1999. Root ion channels and salinity. Scientia Horticulturae, 78, 175–235.

Volkmar, K.M., Hu, Y., Steppuhn, H., 1998. Physiological responses of plants to salinity: A review. Canada Journal Plant Science. 78, 19-27.

Waling, I., Vark, W.V., Houba, V.J.G., Van der Lee, J.J., 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedutes. Wageningen Agriculture University.

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 3, p. 969-982
Fall 2020
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2243.1570

Original article

Effect of mycorrhizal fungi on growth and absorption of nutrients of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) under salinity stress

M. Iraji Mareshk[1], M. Moghaddam[2*]

1. M.Sc. Student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2. Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received 31 January 2019; Accepted 7 May 2019

Abstract

In order to study the effect of mycorrhizal fungi on growth and nutrients uptakeof Mexican marigold (Tagetes minuta) under salinity stress, a pot factorial experiment based on completely randomized design with three replications was performed in the horticulture greenhouse of Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad in 2017. The first factor was mycorrhizal fungi application at three levels (without inoculation, Rhizophagus intradices and Funnetiformis mosseae) and the second factor included four levels of salinity of irrigation water (0, 40, 80 and 120 mM NaCl). The results showed that all growth characteristics severely decreased because of salinity stress, and application of mycorrhiza cause to moderate harmful effects of salinity and plant tolerance to salinity. The highest node number (12.89), stem diameter (7.49 mm), plant height (65.75 cm) and number of branches (23.33) were obtained in no salinity treatment along with R. intradices. With increasing salinity, the contents of phosphorus, calcium, sodium, chlorine and nitrogen of the leaves increased and in opposite the contents of potassium, manganese, zinc and iron decreased. The highest content of leaf phosphorus (8.5 mg/g leaf dry weight) was recorded in the highest level of salinity stress and F. mosseae application. The highest sodium content (12.33 mg/g leaf dry weight) and leaf chlorine (63.09 mg/kg dry leaf weight) were observed in salinity (120 mM) treatment without mycorrhiza application. While, the highest content of leaf potassium (6.23 mg/g leaf dry weight) was observed in control (no salinity treatment without application of mycorrhiza fungi), the highest leaf Mn (143.91 mg/kg dry weight) in 40 mM salinity treatment and F. mosseae application, and the highest amount of Zn (7.12 mg/kg dry weight) in the treatment without salinity and F. mosseae application were observed. The results of this experiment showed that salinity cause to reduce the growth and in this condition the application of mycorrhiza cause to improve the growth and nutrient uptake. Use of mycorrhiza fungi in particular F. mosseae is recommended as a suitable solution for increasing salinity resistance in Mexican marigold.

***Keywords*:** Bio-fertilizer, Medicinal plants, Morphological traits, Nutrient elements, Salinity

[*]Correspondent author Mohammad Moghaddam; E-Mail: m.moghadam@um.ac.ir.