تأثیر ریزجانداران حل‌کننده فسفات و قارچ‌های میکوریز بر ویژگی‌های رشدی گیاه ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط تنش شوری

میرحسن رسولی صدقیانی[۱]، محسن برین[۲*]، ساناز اشرفی سعیدلو[۳] و فاطمه شکوری[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۵/۱۰)

چکیده

استفاده از ریزجانداران در خاک‌های متأثر از تنش می‌تواند این امر را در گیاهان کاهش دهد. به منظور بررسی تأثیر ریزجانداران حل‌کننده فسفات (PSB: *Pseudomonas fluorescens*, PSF: *Aspergillus niger*)، قارچ‌های میکوریز (M: *Funneliformis mosseae (G. mosseae)*، *Rhizophagus irregularis (G. intraradices)*، *Rhizophagus fasciculatus (G. fasciculatum)*)، و اثرات متقابل آن‌ها بر بهبود جذب عناصر غذایی تحت شرایط شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط گلخانه‌ای به مدت ۷۰ روز اجرا شد. در پایان دوره رشد، برخی شاخص-های رشد گیاه و غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج حاکی از تأثیر معنادار سطوح شوری بر جذب فسفر و پتاسیم، سدیم، کلر و ارتفاع اندام هوایی بود. تجمع پرولین در برگ (۰/۹۶ میکرومول بر گرم برگ) نیز از دیگر تأثیرات شوری بود. در بین تیمارهای میکروبی، تیمار میکوریزی بالاترین مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده را به خود اختصاص داد. به‌طوری‌که بیش‌ترین مقادیر شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شده از جمله ارتفاع اندام هوایی (۷۸/۸۹ سانتی‌متر)، وزن خشک بخش هوایی (۱۵/۷۷ گرم در گلدان) و وزن خشک ریشه (۸/۴۷ گرم در گلدان) در تیمار میکوریزی مشاهده شد. مقادیر نیتروژن و پتاسیم برگ‌ها در شرایط تلقیح میکروبی افزایش یافت لیکن سدیم و کلر اندام هوایی در این شرایط کاهش معناداری داشتند. تیمارهای تلقیح قارچی و میکوریزی، مقدار پرولین برگ را به ترتیب ۱۵/۴۶ و ۱۵/۸۵ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند. چنین استنباط می‌شود که تلقیح میکوریزی در کاهش اثرات تنش شوری در گیاه ذرت نقش بارزتری نسبت به سایر ریزجانداران دارد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، شوری، فسفر، ریزجانداران حل‌کننده فسفات، میکوریزا

رسولی صدقیانی م. ح.، برین م.، اشرفی سعیدلو س.، شکوری ف. ۱۳۹۸. تأثیر ریزجانداران حل‌کننده فسفات و قارچ‌های میکوریز بر ویژگی‌های رشدی گیاه ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط تنش شوری. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷. شماره ۳. صفحه: ۲۵-۳۹.

۱- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

۳ - دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

* پست الکترونیک: M.barin@urmia.ac.ir

مقدمه

تنش‌های محیطی مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد محصولات کشاورزی در سطح جهان هستند (Kafi & Mahdavi-Damghani, 2002). شوری خاک از جمله تنش‌های محیطی است که در حدود هفت درصد از زمین‌های جهان (Al-Karaki, 2006) و ۲۳ درصد از اراضی تحت کشت دیده می‌شود (FAO, 2005). مشکل اصلی گیاه در محیط‌های شور مربوط به کل املاح محلول در خاک، اثر ویژه یونی یا اثر اختصاصی یونی ناشی از وجود یون‌هایی خاص در محلول خاک نظیر کلر، سدیم و بور و نیز عدم تعادل تغذیه‌ای است. بدین معنی که وجود مقادیر بالای یون‌های سدیم، کلر و نظایر آن باعث به‌هم خوردن تعادل عناصر غذایی موجود در محلول خاک شده و نهایتاً جذب و انتقال سایر عناصر غذایی ضروری از خاک به گیاه را مختل می‌نماید (Heydari-Sharifaabad, 2002). بررسی‌ها حاکی از آن است که علت اصلی کاهش رشد ناشی از تنش شوری، دشواری در جذب مواد غذایی معدنی به علت رقابت با سدیم است. نمک‌های سدیم، تولید ماده خشک و میزان یون‌های منیزیم، کلسیم و پتاسیم برگ را کاهش می‌دهند (Francois, 1996).

مصرف عناصر غذایی می‌تواند به عنوان یک راه‌کار برای کاهش آثار سمیت یونی و ناهنجاری‌های تغذیه‌ای گیاهان در خاک‌های شور مورد توجه قرار گیرد. اثر متقابل شوری و عناصر غذایی، به پاسخ گیاه به شرایط شوری، از سطوح غیرمحدودکننده تا شدید بستگی دارد. از این رو مصرف کود برای محصولاتی که در اراضی شور کشت شده‌اند، می‌تواند به دلیل کاهش اثر شوری تا وقتی شوری آن‌ها در حد کم یا متوسط باشد، مفید واقع شود (Malakouti *et al*., 2008). فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد و بهره‌وری گیاهان می‌باشد که نقش مهمی در بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیکی از قبیل تقسیم سلولی، فتوسنتز، توسعه‌ی سیستم ریشه‌ای و مصرف کربوهیدرات در گیاهان ایفا می‌کند (Sharma *et al*., 2011). نیاز به فسفر کافی در محیط شور، مربوط به نقش این عنصر در تنظیم تجمع یون‌ها و یا کدبندی یون‌ها در داخل سلول است. خلیلی ارجمندی (Khalil-Arjmandi, 1998) عقیده دارند که شوری با کاهش رشد ریشه موجب کاهش جذب فسفر توسط گیاه می‌شود. لذا میزان جذب فسفر و رشد گیاه در اثر افزودن فسفر افزایش می‌یابد. در کنار مصرف عناصر غذایی، استفاده از پتانسیل ریزجانداران خاک به‌ویژه قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار (AMF[1]) و باکتری‌های حل‌کننده فسفات برای افزایش بردباری گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله شوری، به عنوان راه‌کار زیستی مفید مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از ریزجانداران خاک‌زی که توانایی انحلال فسفات‌ها و تبدیل آن‌ها به فسفر محلول را دارند، یکی از راه‌های مؤثر برای افزایش قابلیت جذب فسفر در خاک‌ها می‌باشد. ترکیبات فسفاته نامحلول می‌توانند با اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتازی که توسط ریشه گیاهان و ریزجانداران تولید می‌شوند، انحلال یابند (Sharma, 2002). در بین باکتری‌هایی با توانایی حل‌کنندگی فسفات، جنس‌های *Pseudomonas*، *Bacillus* (Ghaderi *et al*., 2008)، *Agrobacterium*، *Achromobacter* و *Flavobacterium* (Rodríguez & Fraga, 1999) دارای اهمیت هستند. مهم‌ترین قارچ‌های حل‌کننده فسفات نیز از جنس *Aspergillus* و برخی گونه‌های *Penicillium* (Whitelaw, 1999) می‌باشند که نسبت به باکتری‌ها نقش موثرتری در انحلال فسفات دارند. فرآیند اثر این ریزجانداران در انحلال فسفات‌های نامحلول پیچیده است، ولی براساس نظرات محققان، این ریزجانداران با اکسیداسیون ناقص قندها، اسیدهای آلی تولید می‌کنند. این اسیدها از طریق کاهش pH منطقه ریزوسفر و کلات نمودن یون‌های آلومینیم و کلسیم موجود در خاک‌های اسیدی و قلیایی منجر به افزایش فسفر قابل دسترس می‌شوند (Kucey, 1983). تولید اسیدهای آلی و پروتون و ایجاد کلات توسط باکتری‌ها و قارچ‌های ساپروفیت حل‌کننده فسفات‌های معدنی، کاملاً به اثبات رسیده است (Rodríguez & Fraga, 1999).

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار از مهم‌ترین ریزجانداران خاک بوده که همزیستی آن‌ها با گیاهان فواید متعددی از جمله افزایش جذب آب، کاهش تنش‌های محیطی نظیر شوری، کاهش غلظت عناصر سنگین و افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زای ریشه دارد (Hoeksema *et al*., 2010). این قارچ‌ها علاوه بر افزایش جذب مواد غذایی معدنی در گیاه، می توانند سبب تحریک مواد تنظیم کننده رشد، افزایش فتوسنتز، بهبود

1. Arbuscular mycorrhizal fungi

تنظیم فشار اسمزی در شرایط خشکی، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی نیز شوند (Khavazy *et al*., 2005). رابی و المدنی (Rabie & Almadini, 2005) بیان داشتند که قارچ‌های میکوریز آربوسکولار گیاهان را در برابر اثرات مضر نمک محافظت می‌کنند. در این راستا سپهر و همکاران (Sepehr *et al*., 2009) چنین گزارش کردند که همزیستی با قارچ میکوریزا، باعث تغییرات فیزیولوژیکی و افزایش تحمل در برابر تنش شوری می‌شود. پژوهش‌هایی هر چند اندک حاکی از آن بوده که رشد گیاهان میکوریزی در شرایط شور کاهش نیافته و یا در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریز کاهش اندکی داشته است (Al-Karaki *et al*., 2001). پژوهش‌های متفاوتی در دنیا تأثیر مایه‌زنی میکروبی در افزایش تحمل به شوری کلرید سدیم در گیاهان مختلف را بررسی نموده‌اند اما در زمینه تأثیر مایه‌زنی میکروبی (باکتری-های حل‌کننده فسفات و AMF) بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاهان در خاک‌هایی با شوری طبیعی مطالعات چندانی صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر ریزجانداران حل‌کننده فسفات و میکوریزها بر ویژگی‌های رشدی گیاه ذرت (*Zea mays L.*) در شرایط تنش شوری طبیعی در شرایط گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی دو فاکتوری، با سه تکرار، که فاکتور اول شامل شوری در دو سطح (بدون شوری (شاهد) و با شوری ۴/۵ دسی زیمنس بر متر) و فاکتور دوم تلقیح میکروبی با چهار سطح مختلف شامل شاهد (بدون تلقیح)، تلقیح میکوریزی (M)، تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSB) و تلقیح قارچ‌های حل‌کننده فسفات (PSF) بود، در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه اجرا گردید. خاک مورد نیاز برای انجام آزمایش گلخانه‌ای، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری زمین‌های پردیس نازلوی دانشگاه ارومیه برداشت و هوا خشک شده و از الک پنج میلی‌متری عبور داده شد. پس از مخلوط کردن خاک با ماسه بادی (با نسبت ۳:۱ خاک به ماسه)، نمونه‌ها در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ بار استریل گردیده و در گلدان‌های استریل (گلدان‌های پلاستیکی با قطر۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸/۵ سانتی‌متر) ریخته شدند.

برای اعمال تیمار شوری از آب دریاچه ارومیه استفاده شد. به طوری‌که پس از تهیه محلول رقیق شده آب دریاچه و حصول EC مورد نظر (بر اساس حد آستانه تحمل ذرت به شوری و کاهش عملکرد بیش از ۵۰ درصد، شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر انتخاب شد)، بر حسب محاسبات رطوبت خاک برای رسیدن به حد FC، آب شور به خاک هر گلدان افزوده شده و به خوبی مخلوط شد. در مورد تیمارهای بدون اعمال شوری نیز خاک گلدان‌ها قبل از کاشت به وسیله آب مقطر به حد ظرفیت زراعی رسانده شدند.

برای اعمال تیمارهای میکروبی نیز از مایه تلقیح استفاده شد. تیمار باکتریایی شامل ترکیبی از باکتری‌های فلورسنت متعلق به جنس *سودوموناس* از سه گونه *پوتیدا* (*P. putida*)، *فلورسنس* (*P. fluorescens*) و *آئروژینوزا* (*P. aeruginosa*) و تیمار قارچی شامل *Aspergillus niger* بود. ابتدا باکتری‌ها و قارچ‌ها به-ترتیب در محیط‌های کشت نوترینت آگار[1] و PDA[2] باز کشت شدند. هم‌چنین، ۴۸ ساعت پس از رشد، به منظور آماده‌سازی مایه تلقیح، دو ارلن حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت نوترینت براث[3] تهیه و یک لوپ از کشت تازه هر جدایه در این محیط‌ها تلقیح شد. پس از ۲۴ ساعت شیک نمودن در دمای ۲۸ درجه سانتی-گراد، ۱۵ میلی‌لیتر از مایه تلقیح (با جمعیت برابر $۲/۵\times۱۰^{۸}$ سلول باکتری و $۶/۴\times۱۰^{۸}$ سلول قارچ در یک میلی‌لیتر محلول) به صورت بذر مال و ریختن روی بذور برای هر گلدان تلقیح شدند. در تیمارهای مربوط به قارچ‌ریشه آربوسکولار نیز قبل از کشت، مقدار ۷۰ گرم از زادمایه به صورت لایه‌ای با ضخامت تقریبی دو سانتی-متر در زیر بذرها قرار داده شد (تعداد کل اسپورهای قارچی، ۲۵۰ اسپور در هر ۵۰ گرم زادمایه بود). تیمار قارچ‌ریشه‌ای نیز شامل ترکیبی از زادمایه قارچی بود که سابقاً در جنس گلوموس (*Glomus*) قرار می‌گرفتند و شامل گونه‌های *Funneliformis mosseae (G. mosseae)*، *Rhizophagus (G. intraradices) irregularis* و *Rhizophagus fasciculatus (G.*

1. Nutrient agar
2. Potato dextrose agar
3. Nutrient broth

fasciculatum) بودند.

پس از اعمال تیمارها، بذرهای ذرت (رقم Single Cross- 640)، با محلول هیپوکلریت سدیم ضدعفونی شدند. سپس هشت بذر با فواصل منظم در گلدان‌های مورد نظر کشت شدند. پس از جوانه زدن بذرها، چهار بوته (بوته‌های سالم‌تر و قوی‌تری) نگه‌داری شدند. در طول دوره رشد، عناصر غذایی (غیر از فسفر) و مراقبت-های زراعی لازم برای تمامی تیمارها به طور یکنواخت اعمال گردید. در پایان دوره، پس از ۷۰ روز، ارتفاع گیاه تمامی بوته‌ها اندازه‌گیری گردیدند. اندام‌های هوایی و ریشه گیاه تفکیک شده و پس از شستشو با آب مقطر و خشک کردن، به درون پاکت‌های کاغذی منتقل شدند. نمونه‌های گیاهی به‌مدت ۷۲ ساعت در آون و در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و به منظور تعیین عملکرد ماده خشک مورد توزین قرار گرفتند. عصاره-گیری فسفر، پتاسیم، سدیم در اندام هوایی گیاه به روش اکسیداسیون خشک (Gupta, 2000) صورت گرفت. غلظت فسفر با روش مولیبدات-وانادات و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر (Cotteni, 1980)، سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر، کلر اندام هوایی به روش تیتراسیون با نیترات نقره، نیتروژن به روش کجلدال (Mulvaney, 1996) و پرولین با روش بیتز و همکاران (Bates *et al.*, 1973) اندازه‌گیری گردیدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس و مقایسات میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های خاک و آب مورد استفاده به ترتیب در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. اندازه‌گیری ویژگی‌های اولیه خاک حاکی از آن است که خاک مورد استفاده از نوع آهکی، غیرشور و با بافت لوم رسی شنی بوده و از نظر مواد غذایی و شرایط محیطی برای کشت گیاه و رشد قارچ میکوریزی مناسب است.

جدول ۱- نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر مورد استفاده

Table 1. Results of some physical and chemical properties of used media

Soil texture	pH	EC	CCE	Organic matter	Available potassium	Total phosphorous	Available phosphorous
		(dS m^{-1})	(٪)		(mg kg^{-1})		
Sandy clay loam	7.1	0.85	18	0.8	354.8	374.4	4.9

جدول ۲- نتایج تجزیه آب دریاچه ارومیه

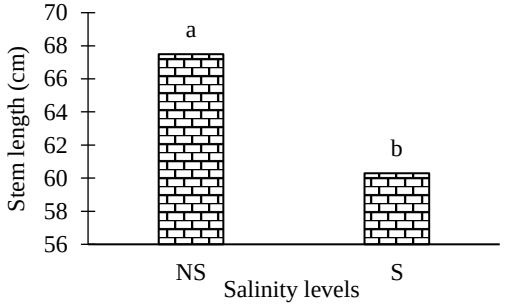
Table 2. Results of water analysis of the Lake Urmia

EC	pH	TDS	Sodium	Potassium	Calcium	Magnesium	Chloride
(dS m^{-1})				(mg l^{-1})			
520	7.56	416	89400	4700	1600	44469	157013

نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و تلقیح میکروبی بر شاخص‌های رشد گیاه ذرت حاکی از تاثیر معنادار سطوح مختلف شوری بر ارتفاع اندام هوایی بود (P<۰/۰۱). تلقیح میکروبی نیز تأثیر معناداری بر ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه داشت (P<۰/۰۱). با این حال اثرات متقابل شوری و تلقیح میکروبی در ارتباط با هیچ یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده معنادار نشد.

ارتفاع اندام هوایی در شرایط شور نسبت به حالت غیرشور ۱۰/۴۸ درصد کاهش یافت (شکل ۱). کاهش ارتفاع گیاه در شرایط شور احتمالاً ناشی از کوتاه شدن میان‌گره‌ها در اثر کاهش تکثیر سلولی و مدت تجمع ماده خشک باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد در اثر تنش شوری، ارتفاع گیاه و سطح برگ سریع‌تر نسبت به سایر پارامترهای فنولوژیکی کاهش می‌یابد. چرا که تجمع ماده خشک، حاصل میزان فتوسنتز خالص و سطح

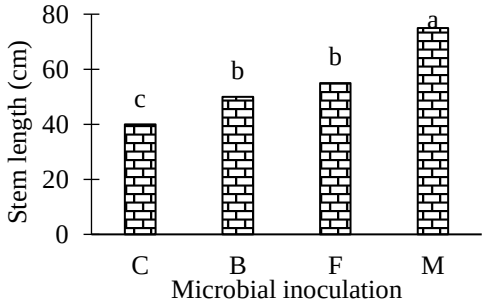
فتوسنتزکننده گیاهی می‌باشد (Mirmohammadi-Meybodi & Ghareziyaei, 2002). تلقیح میکروبی منجر به افزایش معنادار ارتفاع اندام هوایی گردید (شکل ۲). از نظر ارتفاع بوته بین تیمارهای باکتریایی و قارچی اختلاف معناداری وجود نداشت. ارتفاع بوته در تیمارهای میکوریزی، قارچ و باکتری به‌ترتیب ۱/۹۰، ۱/۳۳ و ۱/۲۰ برابر در مقایسه با شاهد بیش‌تر بود.



شکل ۱- تأثیر سطوح شوری بر ارتفاع اندام هوایی ذرت

Figure 1. Salinity levels impact on shoot length of corn

NS و S به ترتیب نشان‌دهنده شرایط غیرشور و شور هستند.



شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر ارتفاع اندام هوایی ذرت

Figure 2. Different microbial treatments impact on shoot length of corn

C، B، F و M به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد (بدون تلقیح)، باکتری، قارچ و میکوریز هستند.

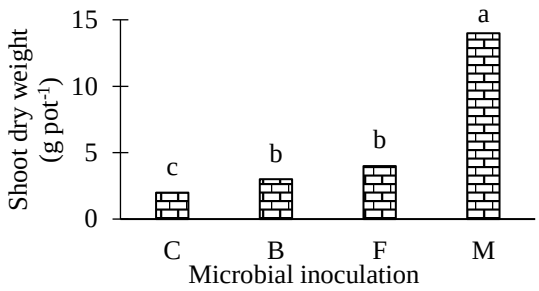
C, B, F and M show control (without inoculation), bacteria, fungi and mycorrhiza, respectively. NS and S show non-saline and saline condition.

بررسی نتایج پژوهشگران حاکی از آن است که گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی به میزان کم‌تری تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرند. گیاهان فرآیندهای مولکولی و بیوشیمیایی متعددی در مقابله با تنش شوری دارا می‌باشند. اثرات مفید قارچ‌های میکوریزا در رشد گیاه تحت شرایط شور در گونه‌ها و خانواده‌های مختلف گیاهی به اثبات رسیده است (Asghari, 2008). برخی محققان گزارش کرده‌اند که قارچ‌های میکوریز می‌توانند از طریق سازوکارهای مختلف، توانایی گیاهان را در مقابله با شوری افزایش داده و منجر به بهبود رشد آن‌ها شوند (Rajapakse & Creighton Miller, 1992). افزایش مقاومت به تنش شوری و بهبود رشد می‌تواند از طریق بهبود جذب عناصر غذایی (Asghari *et al*., 2005)، تعادل یونی (Giri *et al*., 2004)، حفظ فعالیت آنزیم‌ها (Rajapakse & Creighton Miller, 1992)، تسهیل جذب آب (Sheng *et al*., 2008)، بهبود تغذیه معدنی به‌خصوص فسفر و عناصر کم مصرف نظیر روی و مس و تنظیم فشار اسمزی صورت بگیرد (Mansouri *et al*., 2007).

نتایج مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی نشان داد که در تیمارهای تلقیح میکروبی بیش‌ترین مقدار وزن خشک اندام هوایی (۱۵/۲ گرم در گلدان) مربوط به تیمار میکوریزی و کم‌ترین مقدار آن (۱/۸ گرم در گلدان) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۳). ممکن است در شرایط شور، وزن خشک بخش هوایی به دلیل کاهش فتوسنتز در اثر کاهش سطح برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای، تجمع سدیم و کلر در بافت‌ها و یا تخریب ساختمان کلروپلاست کاهش یابد. هم‌چنین احتمال دارد شوری از طریق به‌هم زدن تعادل یونی و تأثیر بر تغذیه، رشد گیاه را محدود نماید. میزان غلظت زیان‌بار نمک برای گیاهان به ترکیب نمک‌ها، خواص خاک، آب و هوا، رطوبت و واریته گیاهی بستگی دارد (Mirmohammadi-Meybodi & Ghareziyaei, 2002). محققان گزارش نمودند که وزن تر و خشک بخش هوایی در گیاهان با افزایش شوری کاهش می‌یابد (Aliasgharzad & Esfandiari, 2004). تلقیح قارچ‌های میکوریز به گیاهان، باعث افزایش وزن اندام هوایی گیاه می‌شود. این افزایش وزن می‌تواند به دلیل تأثیر قارچ میکوریز آربوسکولار بر جذب عناصر غذایی مختلفی نظیر نیتروژن، کلسیم، گوگرد، پتاسیم، مس و روی باشد (Al-Karaki, 2006). باکتری‌های سودوموناس نیز قادرند از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد اکسین و جیبرلین، رشد و عملکرد گیاهان را در شرایط وجود تنش شوری افزایش دهند (Al-Karaki, 2006).

علی‌رغم اینکه بالاترین مقدار وزن خشک ریشه مربوط به تیمار غیرشور بود، اختلاف آماری معناداری بین این

تیمار با تیمار شور مشاهده نشد. تأثیر تلقیح میکروبی بر وزن خشک ریشه معنادار بود. به طوری‌که تلقیح میکوریز منجر به افزایش ۷۸/۴۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۴).



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر وزن خشک اندام هوایی ذرت

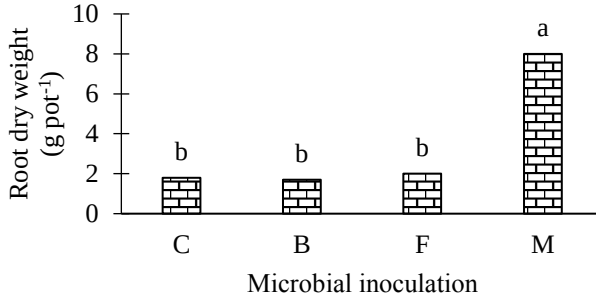
Figure 3. Microbial treatments impact on shoot dry weight of corn

C، B، F و M به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد (بدون تلقیح)، باکتری، قارچ و میکوریز هستند.

حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند.

C, B, F and M show control (without inoculation), bacteria, fungi and mycorrhiza, respectively.

Non-similar letter(s) above graph are significantly different at 5% probability level.



شکل ۴- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر وزن خشک ریشه ذرت

Figure 4. Microbial treatments impact on root dry weight of corn

C، B، F و M به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد (بدون تلقیح) ، باکتری، قارچ و میکوریز هستند.

حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند.

C, B, F and M show control (without inoculation), bacteria, fungi and mycorrhiza, respectively.

Non-similar letter(s) above graph are significantly different at 5% probability level.

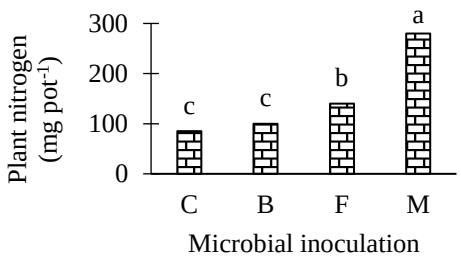
یکی از دلایل عدم تأثیر معنادار شرایط شور بر ویژگی‌های وزن خشک اندام هوایی و ریشه را می‌توان به ملایم بودن مقدار شوری اعمال شده و نیز مقاومت نسبتاً بالای رقم ذرت مورد کاربرد، در برابر شوری نسبت داد. تنش شوری، بیش‌تر از ناحیه ریشه وارد گیاه می‌شود. لذا ریشه اولین اندامی است که با تنش مواجه می‌گردد.کاهش وزن خشک ریشه همانند سایر اندام‌های گیاهی در نتیجه اثرات منفی تنش شوری روی می‌دهد. به عبارت دیگر شوری منجر به تولید ریشه‌ها و ساقه‌های ضعیف‌تر می‌گردد. سمیت یونی، عدم تعادل عناصر غذایی و به‌هم خوردن تنظیم اسمزی از دیگر اثرات تنش شوری است. حفظ آماس سلولی یکی از شاخص‌های مؤثر برای مقابله با شوری است که از طریق تنظیم اسمزی در اثر جذب نمک (یون‌های نمکی) و ساختن مواد آلی انجام می‌پذیرد. صرف انرژی زیاد برای سنتز مواد آلی (گلایسین بتائین، سوربیتول، پرولین و مانیتول)، کارایی ریشه در تأمین آب و عناصر غذایی برای سایر اندام‌ها و انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به محور جنینی را کاهش داده و بدین ترتیب منجر به کاهش تولید ماده خشک و کاهش وزن ریشه و ساقه می‌شود. افزایش غلظت نمک در محیط ریشه باعث کاهش تعداد تارهای کشنده و چروکیدگی سطح آن‌ها نیز می‌گردد. طبق اظهارات محققان اثر شوری بر کاهش توسعه ریشه بیش‌تر از اثر آن بر روی رشد ریشه‌هاست (Cassman *et al.*, 1981).

کاربرد ریزجانداران حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریز آربوسکولار از طریق بهبود شرایط رشد، منجر به کاهش صدمات حاصل از تنش شوری می‌شوند. قارچ‌های میکوریز تغییرات وسیعی در شاخص‌های ریخت‌شناسی ریشه ایجاد می‌نمایند (Boomsma & Vyn, 2008). این قارچ‌ها یا به واسطه‌ی افزایش جذب عناصر غذایی توسط هیف‌ها، باعث افزایش زیست‌توده ساقه می‌شوند و یا در اثر افزایش سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی در دوره قبل از گلدهی، منجر به بهبود رشد ریشه و افزایش آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی در ساقه می‌گردند. بدین ترتیب در مرحله پس از گلدهی، با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن، عملکرد دانه ذرت را بهبود می‌بخشند (Boomsma & Vyn, 2008).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر تلقیح میکروبی بر جذب نیتروژن اندام هوایی معنادار بود ($P<۰/۰۱$). در ارتباط با فسفر و پتاسیم اندام هوایی نیز اثرات اصلی شوری ($P<۰/۰۵$) و تلقیح میکروبی ($P<۰/۰۱$) معنادار

گردید. مقایسه میانگین تأثیر تلقیح میکروبی بر جذب نیتروژن اندام هوایی در شکل ۵ ارائه شده است. در بین تیمارهای میکروبی، تیمارهای میکوریزی بیش‌ترین جذب نیتروژن اندام هوایی را به خود اختصاص دادند. افزایش غلظت ازت در گیاهان میکوریزی توسط محققان بسیاری گزارش شده است. در بعضی موارد علت افزایش غلظت ازت در گیاه به افزایش جذب فسفر نسبت داده می‌شود. در مطالعات تأثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر جذب نیتروژن، به بقولات توجه بیش‌تری شده است. هنگامی که قارچ میکوریز آربوسکولار، فسفر گیاه میزبان را افزایش می‌دهد ممکن است اثرات مشابهی را در گره-زایی، تثبیت نیتروژن و رشد داشته باشد. با توجه به نیاز بالای فسفر در گره‌زایی، بسیاری از گونه‌های بقولات در خاک‌های دارای فقر فسفر، به آلودگی میکوریزی وابستگی شدیدی دارند (Marschner & Dell, 1994). گیری و همکاران (Giri *et al*., 2004) گزارش کردند که در گیاهان میکوریزی، جذب نیتروژن به‌ویژه در شرایط تنش شوری بیش‌تر از گیاهان تلقیح نشده می‌باشد. آن-ها دلیل این امر را به بالا بودن سطح فعالیت آنزیم‌های نیترات-ردوکتاز و نیتروژناز در ریشه گیاهان میکوریزی نسبت دادند. لیو و همکاران (Liu *et al*., 2004) نیز گزارش نمودند که فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز (آنزیم فعال در اسمیلاسیون نیتروژن) در ریشه گیاهان کلنیزه شده با قارچ‌های میکوریزی بیش‌تر از گیاهان تلقیح نشده است. به نظر می‌رسد که میسلیوم قارچ با گسترش در خاک میزان جذب عناصر نیتروژن، آهن و مس را افزایش می‌دهد. برخی شواهد حاکی از آن است که میسلیوم قارچ از خود موادی ترشح می‌نماید که در تحرک عناصر و جذب آن‌ها توسط گیاه بسیار مؤثر می-باشند. انتشار میسلیوم قارچ کلنیزه‌کننده بافت‌های درونی ریشه و تشکیل سیستم مکمل جذب در سیستم ریشه‌ای گیاه، که امکان بهره‌گیری از حجم بیش‌تری از خاک را برای ریشه‌های تغذیه‌کننده فراهم می‌سازد، از عمده دلایل افزایش جذب عناصر غذایی هستند (Alizadeh, 2008).

مقایسات میانگین حاکی از آن است که شوری منجر به کاهش معنادار جذب فسفر در اندام هوایی گیاه شد (شکل ۶). افزایش شوری در خاک قابلیت دسترسی گیاه به فسفر را کاهش می‌دهد.



شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر جذب نیتروژن اندام هوایی ذرت

Figure 5. Microbial treatments impact on shoot nitrogen amount of corn

C، B، F و M به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد (بدون تلقیح) ، باکتری، قارچ و میکوریز هستند.

حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند.

C, B, F and M show control (without inoculation), bacteria, fungi and mycorrhiza, respectively.

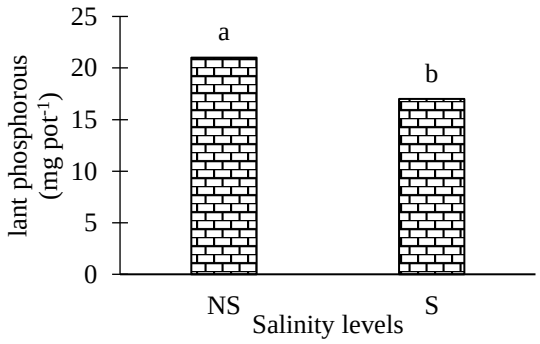
Non-similar letter(s) above graph are significantly different at 5% probability level.

با توجه به اینکه فسفر و کلر هر دو آنیون هستند، جذب آن‌ها توسط گیاه از مکانیسم مشابهی پیروی می‌کند (Bohra & Doffling, 1993). یون کلر که در محلول خاک‌های شور به مقدار فراوان یافت می‌شود با آنیون فسفر رقابت کرده و به مقدار بیش‌تری جذب گیاه می-گردد. به‌علاوه در اثر شوری، رشد و گسترش ریشه گیاهان محدود می‌شود، لذا با توجه به اینکه فسفر یک عنصر غیرمتحرک در خاک است میزان جذب این عنصر توسط گیاه به شدت کاهش می‌یابد. کاهش فعالیت فسفر محلول در اثر افزایش قدرت یونی محلول خاک و کاهش غلظت آن در خاک به دلیل ایجاد کانی‌های کلسیم-فسفر نیز، از دلایل دیگر کاهش جذب فسفر توسط گیاهان در شرایط شور محسوب می‌شوند (Grattan & Grieve, 1992).

بیش‌ترین و کم‌ترین جذب فسفر اندام هوایی مربوط به تیمارهای میکوریزی و شاهد بود (شکل ۷). مطالعات نشان داده‌اند که ریزجانداران حل‌کننده فسفات، فسفر تثبیت شده در خاک را حل نموده و باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شوند (Gull *et al*., 2004). باکتری‌های حل‌کننده فسفات با سنتز هورمون‌های گیاهی همچون ترکیبات اکسین و سیتوکینین باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند. به این ترتیب که این باکتری‌ها مراحل اولیه رشد گیاهی را تحت تأثیر قرار داده و با افزایش رشد

ریشه‌های مویین، سطح جذب ریشه را افزایش می‌دهند. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار قادرند در شرایط کمبود عناصر غذایی، سرعت جذب عناصر معدنی به‌ویژه عناصر کم‌تحرک هم‌چون فسفر را بهبود بخشیده و از این طریق تأثیر قابل‌توجهی بر مؤلفه‌های رشد و عملکرد گیاه بگذارند (Asghari *et al*., 2005). جذب بالای مواد مغذی در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی، احتمالاً به دلیل افزایش دستیابی و یا انتقال عناصر توسط هیف‌های قارچی است. در واقع شبکه گسترده ریسه‌های خارجی (برون ریشه‌ای) این قارچ‌ها به درون خاک منتشر شده و بدین ترتیب عناصر غذایی نظیر فسفر و روی را با سرعت بیش‌تری، مستقل از پخشیدگی کند آن‌ها در خاک، به گیاه میزبان انتقال می‌دهند (Maiquetia *et al*., 2009). مطالعات نشان داده‌اند که بیش از ۸۰ درصد فسفر مورد نیاز گیاهان میکوریزی توسط ریسه‌های برون‌ریشه‌ای قارچ‌های میکوریز تأمین می‌شود. علاوه بر این، نتایج مطالعات حاکی از آن است که قارچ‌های میکوریز آربوسکولار قادرند اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی را در گیاه میزبان کاهش دهند. کاهش اثرات تنش خشکی، کاهش خسارت‌های شوری، بهبود تغذیه گیاه در خاک‌های متراکم و کاهش اثرهای نامطلوب عوامل بیماری‌زا از فواید عمده این قارچ‌ها در گیاهان میزبان می‌باشد (Al-karaki, 2006).

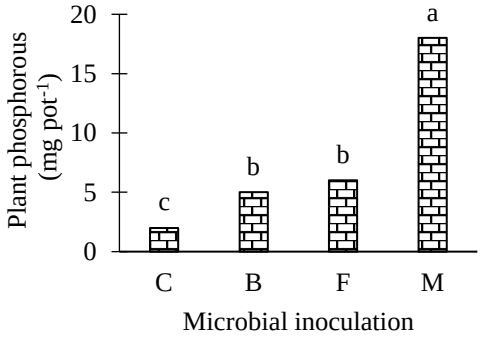
محققین بر این عقیده‌اند که افزایش جذب فسفر توسط قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در گیاهان تحت تنش شوری، اثرات منفی ناشی از یون‌های سدیم و کلر را از طریق حفظ یکپارچگی غشاء واکوئلی کاهش داده و مانع دخالت این یون‌ها در مسیر متابولیسمی رشد گیاه می‌گردند. در واقع هیف‌های میکوریز آربوسکولار از سطح ریشه به آنسوی خاک و ناحیه تخلیه توسعه پیدا کرده و بنابراین دسترسی ریشه به حجم بیش‌تری از خاک و ناحیه تخلیه شده از عناصر غذایی را در مقایسه با ریشه مهیا می‌کنند و بدین شکل اثرات شدید تنش شوری را متوقف و یا کاهش می‌دهند (Giri *et al*., 2004). به هر حال یک سیستم ریشه که شبکه میکوریزی در آن شکل گرفته دارای سطح مؤثر بیش‌تری برای جذب عناصر غذایی بوده و می‌تواند حجم بیش‌تری از خاک را در مقایسه با ریشه‌های غیرمیکوریزی کاوش کند. از طرفی نیز ریشه‌های میکوریزی دارای ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متفاوتی از ریشه هستند که این امر می‌تواند در افزایش جذب فسفر و سایر عناصر غذایی مؤثر باشد. آن‌ها می‌توانند ریزوسفر را از طریق افزایش تراوش پروتون و یا افزایش فشار CO_2 اسیدی نموده و از این طریق عنصر فسفر را در خاک‌های آهکی و خنثی متحرک کنند (Rigou & Mignard, 1994).



شکل ۶- تأثیر سطوح شوری بر جذب فسفر اندام هوایی ذرت

Figure 6. Salinity levels impact on shoot phosphorous amount of corn

NS and S show non-saline and saline condition.Non-similar letter(s) are significantly different at 5% probability level.

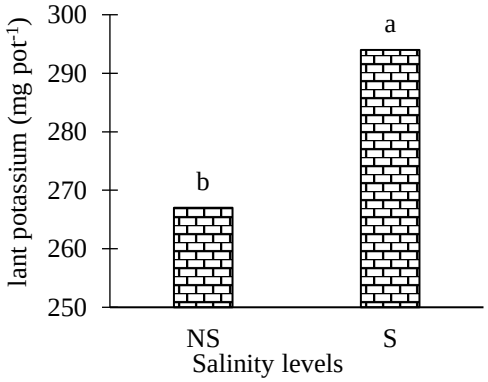


شکل ۷- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر جذب فسفر اندام هوایی ذرت

Figure 7. Different microbial treatments impact on shoot phosphorous amount of corn

C, B, F and M show control (without inoculation), bacteria, fungi and mycorrhiza, respectively.Non-similar letter(s) above graph are significantly different at 5% probability level.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که شوری باعث افزایش ۹/۵۸ درصدی جذب پتاسیم در اندام هوایی شد (شکل ۸). تیمارهای میکوریزی و شاهد با ۳۲۳/۴ و ۵۷/۶۵ میلی‌گرم در گلدان به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر پتاسیم اندام هوایی را به خود اختصاص دادند (شکل ۹). مطالعات حاکی از آن است که جذب مقادیر بالای پتاسیم، یکی از مهم‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه در افزایش آستانه تحمل گیاه نسبت به شوری است (Ashraf, 1994). در شرایط شور گیاه به‌شکل گزینشی مقادیر بالایی از پتاسیم را در مقایسه با سدیم جذب نموده و ضریب انتخاب‌پذیری K/Naرا افزایش می‌دهد (Ashraf & Khanum, 1996). افزایش جذب پتاسیم در تیمارهای میکروبی را می‌توان به توانایی ریزجانداران در افزایش انحلال پتاسیم و تولید انواع فیتوهورمون‌ها نسبت داد. محققان معتقدند علاوه بر افزایش سطح جذب ریشه، افزایش جذب پتاسیم در گیاهان میکوریزی در مقایسه با گیاهان شاهد (بدون تلقیح) نتیجه تأثیری است که این قارچ‌ها بر انتقال دهنده‌های پتاسیم دارند (Rabie & Almadini, 2005; Al-karaki, 2006).



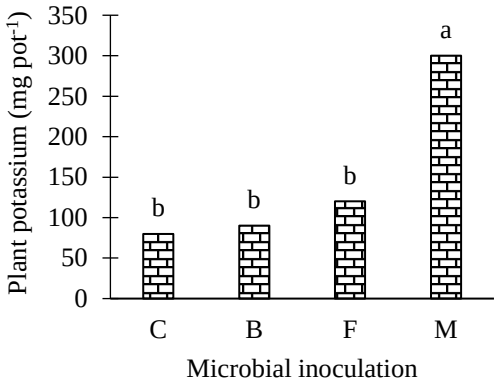
شکل ۸- تأثیر سطوح شوری بر جذب پتاسیم اندام هوایی ذرت

Figure 8. Salinity levels impact on shoot potassium amount of corn

NS و S به ترتیب نشان‌دهنده شرایط غیرشور و شور هستند.

حروف غیر مشابه از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند.

NS and S show non-saline and saline condition.
Non-similar letter(s) are significantly different at 5% probability level.



شکل ۹- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر جذب پتاسیم اندام هوایی ذرت

Figure 9. Different microbial treatments impact on shoot potassium amount of corn

C، B، F و M به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد (بدون تلقیح) ، باکتری، قارچ و میکوریز هستند.

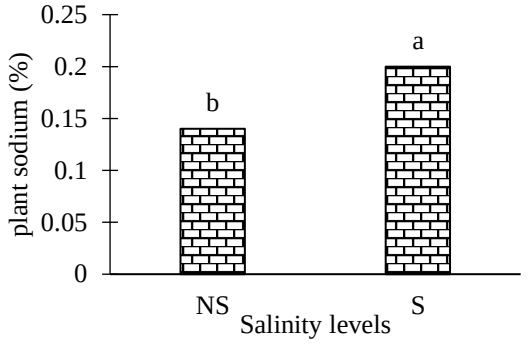
حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند.

C, B, F and M show control (without inoculation), bacteria, fungi and mycorrhiza, respectively.
Non-similar letter(s) above graph are significantly different at 5% probability level.

جذب سدیم اندام هوایی

بر اساس نتایج مقایسات میانگین، بیش‌ترین غلظت سدیم اندام هوایی در تیمار شوری مشاهده شد (شکل ۱۰). در شرایط تلقیح میکروبی نیز بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت سدیم اندام هوایی با مقادیر ۰/۲۳ و ۰/۱۲ درصد بترتیب مربوط به تیمارهای تلقیح باکتری و میکوریز بود (شکل ۱۱). بالا بودن جذب سدیم در شرایط شوری ممکن است به دلیل وجود مقادیر زیاد این یون در محلول خاک شور باشد. افزایش جذب سدیم یکی از بارزترین اثرات تنش شوری می‌باشد که در بسیاری از گزارش‌ها به آن اشاره شده است. مطالعات حاکی از آن است که با افزایش شوری، غلظت سدیم در ذرت و جو (Hassan *et al*., 1970) و گندم (Torres & Bingham, 1973) افزایش می‌یابد. انتقال سدیم به برگ‌ها و سایر بخش‌های گیاه، باعث جایگزینی سدیم با کلسیم موجود در فضای آپوپلاستی می‌شود که این امر به‌نوبه خود منجر به دپلاریزاسیون غشا شده و توانایی غشاها برای جذب انتخابی برخی از یون‌ها را دچار اختلال می‌نماید، بدین طریق عدم تعادل یونی ایجاد می‌گردد (Molassiotis *et al*., 2006). به عبارت دیگر غلظت بالای سدیم در آپوپلاست باعث ایجاد تنش اسمزی و آبگیری سلول‌ها می‌شود. هم‌چنین تحرک کم سدیم و

تجمع آن در برگ‌های بالغ و پیر، فتوسنتز را کاهش داده و از انتقال قندها از برگ‌های بالغ به برگ‌های جوان و ریشه ممانعت می‌نماید. دفع و ممانعت از جذب سدیم



شکل ۱۰- تأثیر سطوح شوری بر غلظت سدیم اندام هوایی ذرت

Figure 10. Salinity levels impact on shoot sodium concentration of corn

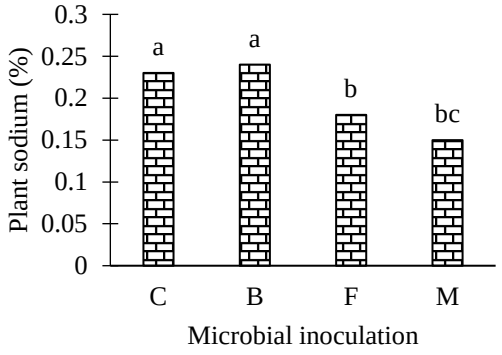
NS و S به ترتیب نشان‌دهنده شرایط غیرشور و شور هستند.

حروف غیر مشابه از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند.

NS and S show non-saline and saline condition.

Non-similar letter(s) are significantly different at 5% probability level.

در سطوح سلولی دو روشی هستند که به گیاه اجازه می‌دهند تا در تنش شوری زنده بماند (Feng *et al.*, 2002).



شکل ۱۱- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر غلظت سدیم اندام هوایی ذرت

Figure 11. Different microbial treatments impact on shoot sodium concentration of corn

C، B، F و M به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد (بدون تلقیح) ، باکتری و قارچ هستند.

حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند.

C, B, F and M show control (without inoculation), bacteria, fungi and mycorrhiza, respectively.

Non-similar letter(s) above graph are significantly different at 5% probability level.

جذب سدیم و کلر را کاهش می‌دهد. در حقیقت در این همزیستی و ارتباط متقابل، قارچ به گیاه کمک کرده و جذب عناصر کم تحرک و مورد نیاز گیاه را افزایش و جذب عناصری را که برای گیاه مشکل‌ساز است، کاهش داده است (Al-Karaki, 2006).

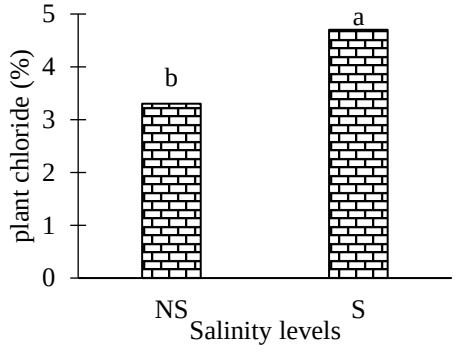
نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای قارچی و تیمار باکتریایی در شرایط غیرشور مشاهده شد (جدول ۳). نسبت پتاسیم به سدیم در اندام‌های گیاهی به عنوان شاخص تحمل گیاه به شوری معرفی شده است (Cramer *et al.*, 1987). با افزایش سطوح شوری به علت بالا رفتن غلظت یون سدیم در محیط ریشه، نسبت K/Na کاهش می‌یابد. بالا بودن نسبت K/Na در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی می‌تواند به عنوان یک معیار تحمل به

جذب کلر توسط اندام هوایی

بیش‌ترین غلظت کلر اندام هوایی با ۴/۷۴ درصد در تیمار شوری مشاهده گردید (شکل ۱۲). کم‌ترین غلظت کلر اندام هوایی مربوط به تیمار میکوریز بود که در مقایسه با تیمار شاهد ۲/۵۴ درصد کاهش داشت. وجود غالب ترکیب کلرید سدیم در بین املاح موجود در خاک شور را می‌توان دلیلی بر افزایش میزان کلر اندام هوایی دانست. افزایش میزان کلر در آفتابگردان (Francois, 1996) و گندم (Torres & Bingham, 1973) با افزایش شوری آب آبیاری گزارش شده است. ملاحظه شده است که تلقیح گیاهان با قارچ‌های میکوریز در خاک‌هایی که شوری آن‌ها بالا است موجب کاهش غلظت این عناصر (سدیم و کلر) در گیاه شده و این امر به افزایش مقاومت گیاه در شرایط شوری آب و خاک کمک می‌کند. با بررسی نتایج ملاحظه می‌شود که تلقیح گیاه با قارچ میکوریز جذب عناصر فسفر و روی را افزایش داده و

شوری در این گیاهان مطرح شود. فلاورز و همکاران (Flowers *et al*., 1977) نشان دادند که افزایش جذب یون پتاسیم گیاه در غلظت بالای نمک یک مزیت است و می‌تواند به عنوان معیار خوبی برای انتخاب گیاهان از نظر تحمل به شوری بکار رود. هرچه این نسبت در گیاه در معرض تنش شوری بیش‌تر باشد میزان مقاومت گیاه به شرایط موجود بیش‌تر است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که حضور قارچ میکوریز مقاومت گیاه به تنش شوری را افزایش داده است.

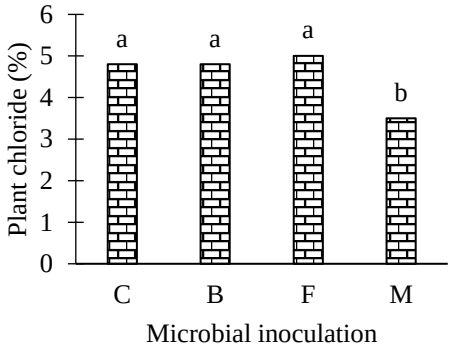


شکل ۱۲- تأثیر سطوح شوری بر غلظت کلر اندام هوایی ذرت

Figure 12. Salinity levels impact on shoot chloride concentration of corn

NS و S به ترتیب نشان‌دهنده شرایط غیرشور و شور هستند.
حروف غیر مشابه از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند.

NS and S show non-saline and saline condition.
Non-similar letter(s) are significantly different at 5% probability level.



شکل ۱۳- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر غلظت کلر اندام هوایی ذرت

Figure 13. Different microbial treatments impact on shoot chloride concentration of corn

C، B، F و M به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد (بدون تلقیح) ، باکتری، قارچ و میکوریز هستند.
حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند.

C, B, F and M show control (without inoculation), bacteria, fungi and mycorrhiza, respectively.
Non-similar letter(s) above graph are significantly different at 5% probability level.

جدول۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و تلقیح میکروبی بر مقدار K/Na اندام هوایی گیاه ذرت

Table 3. Mean comparison of salinity and microbial inoculation interactions on K/Na of corn shoot

	K/Na			
Salinity levels	Control	B	F	M
non-saline	22.06 [ab]	10.1 [d]	24.44 [a]	16.06 [bcd]
saline	11.79 [d]	16.03 [bcd]	12.87 [cd]	19.15 [abc]
$LSD_{0.05}$	91.37			

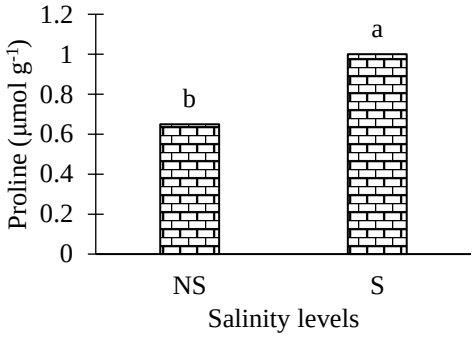
Means with similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.
B, F and M show bacteria, fungi and mycorrhiza, respectively.

پرولین برگ

مقایسه میانگین داده‌ها در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ ارائه شده است. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیش‌ترین مقدار پرولین برگ با ۰/۹۶ میکرومول بر گرم برگ در تیمار شوری مشاهده شد (شکل ۱۴). در تلقیح میکروبی نیز بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار پرولین برگ با ۰/۹۷ و ۰/۶۹ میکرومول بر گرم برگ به ترتیب در تیمارهای قارچ و میکوریز مشاهده گردید (شکل ۱۵).

یکی از فرآیندهای احتمالی که باعث افزایش مقاومت گیاه میکوریزی به شوری می‌شود، تحریک سنتز مواد اسمتیک است. در چندین مطالعه مشخص شده که این قارچ‌ها روی ترکیب اسیدهای آمینه گیاه میزبان تحت تنش شوری تأثیر می‌گذارند (Sengupta & Chaudhari, 1990). از جمله مواد اسمتیک برای تنظیم اسمزی پرولین و بتائین هستند که در مواردی با افزایش شوری مقدار آن‌ها زیاد می‌شود (Jindal *et al*., 1993).

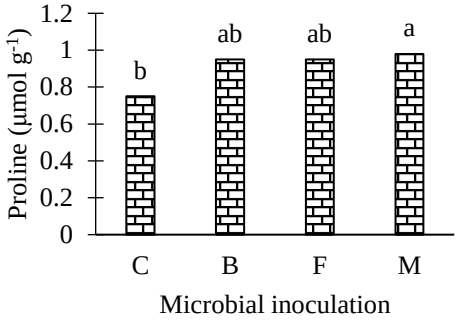
با توجه به نتایج به دست آمده تیمارهای میکوریزی کم‌ترین مقادیر پرولین برگ را شامل شدند. رابی و المدینی (Rabie & Almadini, 2005) در گیاه باقلا، فنگ و همکاران (Feng *et al*., 2002) در گیاه ذرت تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزی و تحت تنش شوری گزارش کرده‌اند که غلظت پرولین به‌طور معنی‌داری کم‌تر از گیاهان تلقیح نشده می‌باشد و میزان تغییرات این ترکیب در ریشه این گیاهان کم‌تر بوده است. هم‌چنین تولید پرولین و سایر سازگارکننده‌ها با مصرف مقدار زیادی از کربن حاصل از فرآیند فتوسنتز همراه بوده و بدین دلیل کاهش رشد گیاه را در پی خواهد داشت. کمبود عناصر ازت، کلسیم و فسفر باعث افزایش پرولین در گیاه تحت تنش می‌شود.



شکل ۱۴- تأثیر سطوح شوری بر مقدار پرولین اندام هوایی ذرت

Figure 14. Salinity levels impact on shoot proline amount of corn

NS and S show non-saline and saline condition.Non-similar letter(s) are significantly different at 5% probability level.



شکل ۱۵- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر مقدار پرولین اندام هوایی ذرت

Figure 15. Different microbial treatments impact on shoot proline amount of corn

C, B, F and M show control (without inoculation), bacteria, fungi and mycorrhiza, respectively. Non-similar letter(s) above graph are significantly different at 5% probability level.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به دست آمده در این تحقیق، اهمیت نقش میکوریز آربوسکولار، باکتری و قارچ‌ها را در استفاده از منابع نامحلول و کم‌محلول از جمله ترکیبات نامحلول و تثبیت شده فسفات موجود در خاک و هم‌چنین کاهش تنش شوری در گیاه ذرت را نشان می‌دهد. بررسی نتایج بدست آمده نشان داد که گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی به میزان کم‌تری تحت تنش شوری قرار می‌گیرند. بیش‌ترین اثر سودآور قارچ‌های میکوریزی بهبود وضع تغذیه گیاه میزبان به‌خصوص در مورد فسفر می‌باشد. در این مطالعه مشاهده شد که ریزجانداران حل‌کننده فسفات به خوبی توانسته‌اند در مواقع عدم کوددهی، فسفر مورد نیاز گیاه را در محدوده کفایت نگه دارند به‌طوری که کمبود فسفر در گیاهان مشاهده نشد. بنابراین می‌توان چنین برداشت نمود که کاربرد باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات و هم‌چنین قارچ‌های میکوریز آربوسکولار باعث بهبود ویژگی‌های ظاهری و افزایش جذب عناصر به ویژه فسفر توسط ذرت شدند. نتایج این پژوهش و سایر مطالعات بیانگر امکان استفاده از این ریزجانداران در زمین‌های زراعی مستعد شوری و مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده که بررسی‌های بیش‌تر در این زمینه می‌تواند امکان استفاده عملی و گسترده آن‌ها را در قالب کودهای زیستی و نیل به اهداف کشاورزی پایدار فراهم نماید.

Refrences

Aliasgharzad N., and Esfandiari M.R. 2004. Effects of dual inoculations of *Sinorhizobium meliloti* and arbuscular mycorrhizal fungi on growth of salt-stressed alfalfa. *Proceeding of the 2004 CIGR International Conference, Beijing, China.*

Alizadeh A. 2008. The effect of mycorrhiza on the absorption of nutrients in corn under different moisture conditions. *Journal of Research in Agricultural Sceinces*, 53: 97-102. (In Persian)

Al-karaki G.N., Hammad R., and Rusan M. 2001. Response of two tomato cultivars differing in salt tolerance to inoculation with mycorrhizal fungi under salt stress. *Mycorrhiza*, 11: 43-47.

Al-Karaki G.N. 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subseqent performance under irrigatoin with saline water. *Scientia Horticulture*, 109: 1-7.

Asghari H.R., Marschner P., Smith S.E., and Smith F.A. 2005. Growth response of *Atriplex nummularia* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi at different salinity levels. *Plant and Soil*, 273: 245-256.

Asghari H.R. 2008. Vesicular-arbuscular (VA) mycorrhiza improve salinity tolerance in preinoculation subterranean (*Trifolium subterranean*) seedlings. *International Journal of Plant Production*, 2: 3.

Ashraf M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 13:17-42.

Ashraf M., and Khanum A. 1996. Relationship between ion accumulation and growth in two spring wheat lines. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 178: 39-51.

Bates L.S., Waldren R.P., and Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39(1), 205-207.

Boomsma C.R., and Vyn T.J. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, 108: 14-31.

Bohra J.S., and Döffling K. 1993. Potassium nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) varieties under NaCl salinity. *Plant and Soil*, 152, 299-303.

Cassman K.G., Whatney A.S., and Fon R.L. 1981. Phosphprus requirements of soybean and cowpa as affected by mode of nutrition. *Agronomy Journal*, 73: 17-22.

Cotteni A. 1980. Methods of plant analysis. In: Robert Lee Westerman. Soil and Plant Testing, FAO Soil Bulletin, pp. 64-100.

Cramer G.R., Lynch J., Lauchli A., and Epstein E. 1987. Influx of Na^+, K^+ and Ca_2^+ into roots of salt-stressed cotton seedlings: effects of supplemental Ca^{2+}. *Plant Physiology*, 83: 510-516.

FAO. 2005. Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils. FAO Land and Plant Nutrirtion Management Service, Rome, Italy. Available at http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush.

Feng G., Li X.L., Zhang F.S., Tian C.Y., and Tang C. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*, 12: 185-190.

Flowers T.S., Torke P.F., and Yeo A.R. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Plant Physiology*, 28: 89-121.

Francois L.E. 1996. Salinity effectson four sunflower hybrids. *Agronomy Journal*, 88(2): 215-219.

Ghaderi A., Aliasgharzad N., Oustan S., and Olsson P.A. 2008. Efficeincy of three *Pseudomonas* isolates in releasing phosphate from an artificial variable-charge mineral (iron III hydroxide). *Soil Environmental*, 27(1): 71-76.

Giri B., Kapoor R., and Mukerji G. 2004. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza*, 14: 307-312.

Grattan S.R., and Grieve C.M. 1992. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessarakli M (Ed). Handbook of plant and cold stress, pp. 203-226.

Gull F.Y., Hafeez I., Saleem M., and Malik K.A. 2004. Phosphorus uptake and growth promotion of chickpea by co-inoculation of mineral phosphate solubilizing bacteria and a mixed rhizobia culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44: 623-628.

Gupta R.K. 2000. Soil, plant, water and fertilizer analysis. Agrobios, New Delhi, India, pp. 438.

Hassan N.A.K., Drew J.V., Knudsen D., and Olsen R.A. 1970. Infuence of soil salinity on production of dry matter and uptake and distribution of nutrients in barley and corn. *Agronomy Journal*, 62: 46-48.

Heydari-Sharifaabad H. 2002. Plant and Salinity. Research Institute of Forest and Reglands Press, Tehran, pp. 199-222. (In Persian)

Hoeksema J.D., Chaudhary V.B., Gehring C.A., Johnson N.C., Karst J., Koide R.T., and Wilson G.W. 2010. A meta-analysis of context-dependency in plant response to inoculation with mycorrhizal fungi. *Ecology Letters*, 13(3): 394-407.

Jindal V., Atwal A., and Singh R. 1993. Effect of Vesicular-arbuscular mycorrhizae on metabolism of moong plant under NaCl salinity. *Plant Physiology*, 31: 475-481.

Kafi M., and Mahdavi-Damghani B. 2000. Resistance Mechanisms to Environmental Stresses in Plants. Ferdowsi-Mashhad Univercity Press, pp. 467-469. (In Persian)

Khalil-Arjmandi A. 1998. Evaluate effect of nitrogen and phosphorous deffirent levels on thyme productivity. MSc thesis. Department of gardening, Agriculture Faculty, University of Tarbiat Modarres. (In Persian)

Khavazy K., Asadi-Rahmani H., and Malakouti M.J. 2005. Nesseccity of industrial production of biological fertelizers in country. Sana publication, pp. 274-279. (In Persian)

Kucey R.M.N. 1983. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 63(4), 671-678.

Liu Y., Mi G., Chen F., Zhang J., and Zhang F. 2004. Rhizosphere effect and growth of two maize genotypes with contrasting P efficiency at low P availability. *Plant Science*, 167: 217-233.

Maiquetia M., Caceres A., and Herrera A. 2009. Mycorrhization and phosphorus nutrition affect water relations and CAM induction by drought in seedlings of *Clusia minor*. *Annal Botany*, 103: 525-532.

Malakouti M.J., Keshavarz P., and Karimian N. 2008. Comprehensive method of recognition and fertilizer recommendation for sustainable agriculture. Tarbiat Modarres edition. (In Persian)

Mansouri H., Ahmadi-Moghaddam A., and Rouhani N. 2007. Mycorrhizal and nonmycorrhizal bean response to salinity stress. *Journal of biological science promotion*, 20:80-88. (In Persian)

Marschner H., and Dell B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159: 89-102.

Mirmohammadi-Meybodi S., and Ghareziyaei B. 2002. Physiological and linebreeding aspects of plants salinity stress. Industerial Esfahan University publition center, 274p. (In Persian)

Molassiotis A.N., Sotiropoulos T., Tanou G., Kofidis G., Diamantidis G., and Therios I. 2006. Antioxidant and anatomical response in shoot culture of the apple rootstock MM 106 treated with NaCL, mannitiol or sorbitol. *Biologia Plantarum*, 50: 61-68.

Mulvaney R.L. 1996. Nitrogen-Inorganic Forms. In: Methods of soil analysis. Part 2- Chemical properties. Methods of soil analysis. *Soil Science Society of America*, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI, pp: 1123-1184.

Rabie G.H., and Almadini A.M. 2005. Role of bio-inoculants in development of salt tolerance of Vicia faba Plants. *African Journal of Biotechnology*, 4: 210-222.

Rajapakse S., and Creighton Miller J. 1992. Methods for studing vesicular-arbuscular mycorrhizal root colonization and related root physical properties. Methods in Microbiology. Academic Press INC. ISBN 0-12-521524-X. 275-301.

Rigou L., and Mignard E. 1994. Factors of acidification of the rhizosphere of mycorrhiza plants: Measurement of p CO2 in the rhizosphere. *Acta Botanica Gallica*, 141: 533-539.

Rodríguez H., and Fraga R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17(4): 319-339.

Sengupta A., and Chaudhari S. 1990. Vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) in pioneer salt marsh plantsof the Gangas River Delta in west Bengal, InDIA. *Plant and Soil*, 122: 111-113.

Sepehr E., Malakouti M.J., Kholdebarin B., Samadi A., and Karimian N. 2009. Geno topics Variation in P efficiency of selected Iranian cereals in green house experiment. *Journal Plant Production*, 3: 17-28.

Sharma A.K. 2002. Bifertilizers for sustainable agriculture. Agrobios Indian Publications, pp. 456-480.

Sharma S., Kumar V., and Tripati R.B. 2011. Isolation of Phosphate solubilizing microorganism from soil. *Journal of Microbiology and Biotechnology Research*, 1(2): 90-95.

Sheng M., Tang M., Chan H., Yang B., and Huang Y. 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. *Mycorrhiza*, 18: 287-296.

Torres C., and Bingham F.T. 1973. Salt tolerance of Mexican wheat: I. effect of NO_3 and NaCl on mineral nutrition, growth and grain production of four wheats. *Soil Science Society of America Journal*, 37: 711-715.

Whitelaw M.A. 1999. Growth promotion of plants inoculated whit phosphate solubilizing fungi. *Advances in Agronomy*, 69: 99-151.

Effects of Phosphate-Solubilizing Microorganisms and Mycorrhizal Fungi On the Growth Parameters of Corn (*Zea Mays* L.) Under Salinity Condition

MirHassan Rasouli-Sadaghiani[1], Mohsen Barin[*2], Sanaz Ashrafi-Saeidlou[3] and Fatemeh Shakouri[4]

(Received: April 2018 Accepted: August 2018)

Abstract

Using of microorganisms in stress affected soils can alleviate the condition in plants. In order to assess the effects of phosphate-solubilizing microorganisms (PSB: *Pseudomonas fluorescens*, PSF: *Aspergillus niger*) and mycorrhizal fungies (M: *Funneliformis mosseae (G. mosseae), Rhizophagus irregularis (G. intraradices), Rhizophagus fasciculatus (G. fasciculatum)*) and their interactions on improving nutrient uptake under salinity stress condition, an experiment carried out in a randomized complete block design under greenhouse conditions. Some plant growth indicators and nutrient concentrations in plant shoot were measured at the end of growing period (70 days). The results showed the significant influence of salinity levels on phosphorous uptake, potassium, sodium, and chlorine concentrations, and shoot length. Proline accumulation in leaves (0.96 µmol g^{-1}) was resulted with increasing of salinity levels. Among all microbial treatments, the maximum values of the parameters were resulted with mycorrhiza treatment, including shoot length (78.89 cm), shoot dry weight (15.77 g pot^{-1}) and root dry weight (8.47 g pot^{-1}). Unlike shoot sodium and chlorine concentrations, leaves nitrogen and potassium contents increased in microbial inoculation condition. Leaf proline was increased by 14.46% and 15.85% with fungi and mycorrhizal treatments compared to control, respectively. It is inferred that inoculation of AMF drastically decreased salinity effects in compared to other phosphate-solubilizing microorganisms in corn.

Keywords: Corn, Mycorrhiza, Phosphate solubilizing microorganisms, Phosphorous, Salinity

Rasouli-Sadaghiani M. H., Barin M., Ashrafi-Saeidlou S. Shakouri F. 2019. Effects of Phosphate-Solubilizing Microorganisms and Mycorrhizal Fungi on the Growth Parameters of Corn (*Zea mays L.*) under Salinity Condition. *Applied Soil Research*, 7(3):25-39.

1. Professor, Department of Soil Science, Urmia University
2. Assistant Professor, Department of Soil Science, Urmia University
3. Ph. D Student, Department of Soil Science, Urmia University
4. M. Sc. Student, Department of Soil Science, Urmia University
*Corresponding Author Email: m.barin@urmia.ac.ir