تأثیر شوری و تلقیح میکروبی بر عملکرد و شاخص‌های کارآیی فسفر در گیاه ذرت

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۴ تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۹/۱۱)

چکیده

در این مطالعه، به منظور بررسی تأثیر شوری بر عملکرد، شاخص‌های کارآیی فسفر و غلظت برخی از عناصر در ماده خشک ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت (*Zea mays* L.) و نیز ارزیابی کارآیی ریزجانداران حل‌کننده فسفات و میکوریزها در تعدیل اثرات تنش شوری بر گیاه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط گلخانه‌ای اجرا گردید. 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 هفت سطح مختلف شامل شاهد (بدون تلقیح)، تغذیه با فسفر محلول (KH_2PO_4)، تلقیح میکوریزی (M; *Glomus*)، تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSB; *Pseudomonas fluorescent*) ، تلقیح قارچ حل‌کننده فسفات (PSF; *Aspergillus niger*)، تلقیح تلفیقی میکوریز و باکتری (MB) و تلقیح تلفیقی میکوریز و قارچ (MF) بود. در پایان دوره رشد، برخی شاخص‌های رشد گیاه و غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری شده و شاخص‌های کارآیی فسفر محاسبه شد. نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار سطوح شوری بر تمام صفات اندازه‌گیری شده غیر از غلظت روی بود. بیش‌ترین مقادیر ارتفاع اندام هوایی (۷۸/۸۹ سانتی‌متر) و قطر ساقه (۱/۰۲سانتی‌متر) در تیمار فسفر محلول مشاهده شد. هم‌چنین نتایج، افزایش معنی‌دار در مقدار فسفر، آهن، روی، مس، منگنز، ارتفاع اندام هوایی و قطر ساقه را در گیاهان تلقیح شده با میکوریز و باکتری و نیز در شرایط تلقیح هم‌زمان میکوریز-ریزجانداران حل‌کننده فسفات در مقایسه با گیاهان شاهد بدون تلقیح، نشان داد. تلقیح با تیمارهای میکوریز و باکتری، ارتفاع اندام هوایی را به ترتیب ۹۰/ ۱و ۱/۲۰ برابر نسبت به شاهد افزایش دادند. هم‌چنین تیمارهای تلقیح قارچی و میکوریزی، مقدار روی اندام هوایی را به ترتیب ۴۰/۹۸ و ۸۵/۶۵ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند. چنین استنباط می‌شود که تلقیح میکروبی از طریق تأثیر بر جذب عناصر غذایی، مقاومت گیاه ذرت را در شرایط وجود تنش شوری افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تلقیح میکروبی، ذرت، شوری، عناصر غذایی، کارآیی فسفر

برین م.، رسولی صدقیانی م.ح.، اشرفی سعیدلو س.، شکوری ف. ۱۳۹۸. تأثیر شوری و تلقیح میکروبی بر عملکرد و شاخص‌های کارآیی فسفر در گیاه ذرت. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۷ شماره ۱. ص: ۱۴۸-۱۶۵.

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

شوری خاک یک مشکل روزافزون خاک‌های کشاورزی است که باعث کاهش سرعت رشد و تولید محصول به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Apse *et al*., 1999). خاک‌های شور بیش از هفت درصد سطح خشکی‌های زمین شامل باتلاق‌های شور و مناطق شور شده در اثر فعالیت‌های انسانی را در برمی‌گیرند. اصولاً خاکی را شور می‌گویند که غلظت املاح آن زیاد بوده و به‌طوری که عملکرد گیاهان را کاهش دهد (Homaei, 2001). تجمع دائمی نمک در خاک‌های تحت کشت در نتیجه آبیاری با آب‌هایی با کیفیت نامناسب و تغییر اقلیم، اهمیت کنترل این عامل تنش‌زا را زیاد می‌کند. گیاهانی که در خاک‌های شور رشد می کنند با غلظت زیاد نمک در محلول خاک که سبب کاهش پتانسیل اسمزی می شود و هم‌چنین غلظت بالای یون‌های بالقوه سمّی، مانند کلر و سدیم ، یا مجموعه‌ای نامناسب از یون‌های نمکی مواجه می‌باشند. عدم جذب نمک، مانع ایجاد سمیّت یونی در گیاه می شود، اما کمبود آب را در گیاهان تشدید می‌کند. جذب نمک علی‌رغم تسریع در سازش اسمزی، امکان مسمومیّت یونی و نبود توازن غذایی بین عناصر در گیاه را نیز موجب می‌شود (Kholde-Barin & Safazadeh, 2005).

ایجاد گیاهان متحمل به شوری از طریق مهندسی ژنتیک یا از بین بردن شوری خاک از طریق شستن نمک اضافی اگرچه موفقیت‌آمیز است امّا برای مقاصد کشاورزی اقتصادی نیست (Cantrell & Linderman, 2001). در کنار مهندسی ژنتیک استفاده از ارقام متحمل و یا استفاده از قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های حل‌کننده فسفات برای افزایش بردباری گیاهان به تنش های محیطی از جمله شوری به‌عنوان راهکارهای زیستی مفید پیشنهاد شده است (Dixon *et al*., 1993). مصرف عناصر غذایی نیز می‌تواند به‌عنوان یک راهکار برای کاهش آثار سمیّت 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 محصولات کشت شده در اراضی شور، می‌تواند به‌دلیل 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 توسعه گیاهان بوده 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. استفاده از ریزجانداران خاکزی که توانایی انحلال فسفات‌ها و تبدیل آن 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). گزارش‌های متفاوتی توانایی گونه‌های مختلف باکتری در انحلال فسفات معدنی نامحلول از قبیل تری‌کلسیم فسفات، دی‌کلسیم فسفات، هیدروکسی آپاتیت و سنگ فسفات را عنوان کردند (Sarikhani *et al*., 2014). در بین باکتری‌هایی با این قابلیت، جنس‌های *Pseudomonas* (Ghaderi *et al*., 2008)، *Bacillus* (Oliveira *et al*., 2009)، *Agrobacterium*، *Achromobacter* و *Flavobacterium* (Rodriguez & 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 مؤثرتری در انحلال فسفات دارند. مکانیسم 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 می شوند (Kucey, 1983). تولید اسیدهای آلی و پروتون و ایجاد کلات توسط باکتری ها و قارچ های ساپروفیت حل‌کننده فسفات‌های معدنی، کاملاً به اثبات رسیده است (Rodriguez & Fraga, 1999).

قارچ های میکوریزی نیز در بین ریزجانداران موجود در محیط ریزوسفر منحصر به فرد هستند (Hu *et al*., 2006). هم‌زیستی گیاه با قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا (AM) باعث بهبود توانایی گیاه در جذب مواد غذایی کم تحرک در خاک‌های فقیر می‌شود (Marschner & Dell, 1994).

هم‌زیستی یک گیاه با این قارچ‌ها، که جزء مهمی از اکوسیستم‌های طبیعی هستند، در محیط‌های شور هم شناسایی شده‌اند (Juniper & Abbott, 1993; Yano-Melo *et al*., 2003). بعضی محققان گزارش کرده‌اند که قارچ‌های AM می‌توانند توانایی گیاه را در مقابله با تنش شوری افزایش دهند (Jahromi *et al*., 2008). افزایش مقاومت به تنش شوری می‌تواند از طریق بهبود جذب عناصر غذایی (Asghari *et al*., 2005)، تعادل یونی (Giri & Mukerji, 2004)، حفظ فعالیت آنزیم‌ها (Rajapakse & Creighton Miller, 1992) و تسهیل جذب آب (Sheng *et al*., 2008) صورت گیرد.هدف از این پژوهش، مطالعه اثر شوری بر عملکرد، شاخص‌های کارآیی فسفر و غلظت برخی از عناصر در ماده خشک ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت (*Zea mays* L.) و نیز بررسی کارآیی ریزجانداران حل کننده فسفات و میکوریزها در تعدیل تنش شوری در این گیاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی بستر کشت

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 شده و در گلدان‌های استریل (گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸/۵ سانتی‌متر) ریخته شدند.

ایجاد شوری، اعمال تیمارهای میکروبی و کشت گیاهان

به‌منظور اعمال تیمار شوری از آب دریاچه ارومیه استفاده شد. به طوری که پس از تهیه محلول رقیق شده آب دریاچه و حصول هدایت الکتریکی مورد نظر (بر اساس حد آستانه تحمل ذرت به شوری و کاهش عملکرد بیش از ۵۰ در صد، شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر انتخاب شد)، بر حسب محاسبات رطوبت خاک برای رسیدن به حد ظرفیت مزرعه، 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. هم‌چنین برای اعمال تیمار فسفر محلول، از منبع KH_2PO_4 برای تأمین ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر مورد نیاز گیاه استفاده شد. به‌طوری‌که مقدار مورد نیاز این منبع پس از محاسبه به همراه آب مقطر به خاک گلدان‌ها اضافه شد (Bashan, 1998). لازم به ذکر است که هیچ‌گونه منبع فسفری در تیمارهای باکتریایی، قارچی و یا میکوریزی استفاده نشد. برای آبیاری گلدان‌ها در طول دوره رشد نیز از آب مقطر استفاده شد.

برای اعمال تیمارهای میکروبی نیز از مایه تلقیح استفاده شد. تیمار باکتریایی شامل ترکیبی از باکتری‌های فلور سنت متعلق به جنس سودوموناس از سه گونه پوتیدا (*P. putida*)، فلورسنس (*P. fluorescens*) و آئروژینوزا (*P. aeruginosa*) و تیمار قارچی شامل آسپرژیلوس نایجر (*Aspergillus niger*) بود. ابتدا باکتری‌ها و قارچ‌ها به‌ترتیب در محیط‌های کشت نوترینت آگار[1] و PDA[2] باز کشت شدند. ۴۸ ساعت پس از رشد، به‌منظور آماده سازی 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 مخلوط نمودن در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد، 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 در جذب نور با طول موج ۶۰۰ نانومتر) 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 سانتی‌متر 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 قارچ‌ریشه‌های جنس گلوموس (*Glomus*) و از گونه‌های *Funneliformis mosseae (G. mosseae)*، *Rhizophagus (G. intraradices)* و *Rhizophagus fasciculatus (G. irregularis fasciculatum)* بود.

قبل از اعمال تیمارها، بذرهای ذرت (رقم Single Cross-640)، با محلول هیپوکلریت سدیم ضدعفونی شدند. سپس

1- Nutrient Agar
2- Potato Dextrose Agar
3-Nutrient Broth

هشت بذر با فواصل منظم در گلدان‌های مورد نظر کشت شدند.

برداشت محصول و اندازه‌گیری شاخص‌های موردنظر

پس از جوانه زدن بذرها، چهار بوته (بوته‌های سالم‌تر و قوی‌تری) نگه‌داری شدند. در طول دوره رشد، عناصر غذایی (غیر از فسفر) و مراقبت‌های زراعی لازم برای تمامی تیمارها به‌طور یکنواخت اعمال شد. در پایان دوره، پس از ۷۰ روز، ارتفاع گیاه و قطر ساقه تمامی بوته‌ها اندازه‌گیری شدند. 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. برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، حدود دو گرم از ریشه‌های ریز تازه جداسازی و در الکل ۵۰ درصد نگه‌داری شد. عصاره‌گیری فسفر، آهن، روی، مس و منگنز در اندام هوایی گیاه به روش اکسیدا سیون خشک (Gupta, 2000) صورت گرفت. غلظت فسفر با روش مولیبدات-وانادات و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر (Cotteni, 1980)، مقادیر آهن، روی، مس و منگنز با دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری (Shimadzu 6300 AA)، پرولین با روش بیتس و همکاران (Bates *et al.*, 1973) و درصد کلنیزاسیون مایکوریزی ریشه (Aliasgarzadeh, 2000) اندازه‌گیری شدند. شاخص‌های کارآیی جذب فسفر[1] (PACE)، کارآیی مصرف فسفر[2] (PUTE)، کارآیی فسفر ارقام[3] (PE) و درصد وابستگی میکوریزی نیز توسط روابط ۱ تا ۴ تعیین شدند.

رابطه (۱) $PACE = TP \text{ in } P_0 / TP \text{ in } P_f$

$TP \text{ in } P_0$ مقدار فسفر کل اندام هوایی در حالت تلقیح میکروبی و $TP \text{ in } P_f$ مقدار فسفر کل اندام هوایی در حالت مصرف فسفر محلول می‌باشد.

$$PUTE = SDW/ TP \quad (۲)$$

SDW نشان‌دهنده عملکرد خشک اندام هوایی و TP نشان‌دهنده مقدار فسفر کل اندام هوایی است.

$$PE = (SDW \text{ in } P0 / SDW \text{ in } Pf) \times 100 \quad (۳)$$

$SDW \text{ in } P_0$ عملکرد خشک اندام هوایی در حالت تلقیح میکروبی و $SDW \text{ in } P_f$ عملکرد خشک اندام هوایی در حالت مصرف فسفر محلول است.

رابطه (۴)

$$\text{درصد وابستگی میکوریزی} = \frac{DWM - DWNM}{DWM}$$

DWM وزن خشک بوته‌های میکوریزی و DWNM وزن خشک بوته‌های غیرمیکوریزی است.

طرح آزمایش و تجزیه آماری

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 هفت سطح مختلف شامل شاهد (بدون تلقیح)، تغذیه با فسفر محلول (KH_2PO_4)، تلقیح میکوریزی (M)، تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSB)، تلقیح قارچ‌های حل‌کننده فسفات (PSF)، تلقیح تلفیقی میکوریز و باکتری (MB) و تلقیح تلفیقی میکوریز و قارچ (MF) بود، اجرا شد. 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 جدل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. اندازه‌گیری خواص اولیه خاک حاکی از آن است که خاک مورد استفاده از نوع آهکی، غیر شور و با بافت لومی-رسی- شنی بوده و از نظر مواد غذایی و شرایط محیطی برای کشت گیاه و رشد قارچ میکوریزی مناسب بود.

1-Phorphorous Acquisition Efficiency
2-Phosphorous Utilization Efficiency
3- Phosphorous Efficiency

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

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

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

جدول ۲- نتایج تجزیه آب دریاچه ارومیه

Table 2. Results of water analysis from Urmia Lake

Cl	Mg	Ca	K	Na	TDS	pH	EC
(mg l^{-1})							(dS m^{-1})
157013	44469	1600	4700	89400	416	7.56	520

نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و تلقیح میکروبی بر شاخص‌های رشد گیاه ذرت در جدول ۳ ارائه شده است. تأثیر سطوح مختلف شوری بر ارتفاع اندام هوایی و قطر ساقه معنی‌دار بود ($p<۰/۰۱$). تلقیح میکروبی نیز تأثیر معنی‌داری بر میزان این شاخص‌ها داشت ($p<۰/۰۱$). با این حال اثرات متقابل شوری و تلقیح میکروبی در ارتباط با هیچ یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر تیمارهای شوری و تلقیح میکروبی بر صفات اندازه‌گیری شده ذرت

Table 3. Analysis of variance for effect of salinity and microbial inoculation on measured parameters of corn

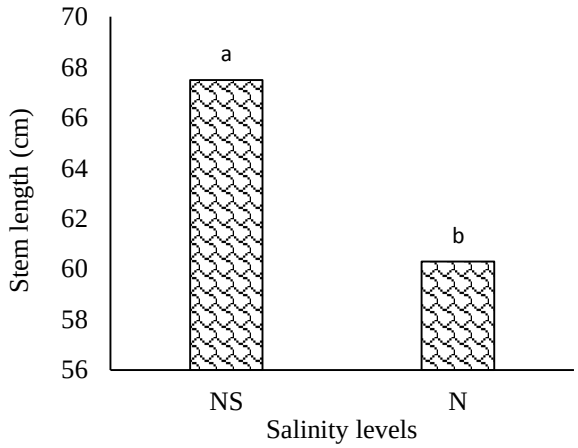
Source of variation	Degree of freedom	Mean Square	
		Shoot length	Stem diameter
Salinity levels (S)	1	**512.33	**0.015
Microbial inoculation (M)	6	**1526.73	**0.378
S*M	6	8.16 ns	ns 0.0001
Error	28	25.88	0.003
CV(٪)		7.98	7.96

**,* Show significant difference at 1 and 5% and ns show non-significant difference.

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. مطالعات نشان می‌دهد در اثر تنش شوری ارتفاع گیاه و سطح برگ با سرعت سریع‌تری نسبت به سایر پارامترهای فنولوژیکی کاهش می‌یابد. چرا که تجمع ماده خشک، حاصل میزان فتوسنتز خالص و سطح فتوسنتزکننده گیاهی می‌باشد (Mirmohammadi-Meybodi & Gharezyaei, 2002).

تلقیح میکروبی منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع اندام هوایی شد (شکل ۲). از نظر ارتفاع بوته بین تیمارهای میکوریزی با فسفر محلول اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. ارتفاع بوته در تیمارهای فسفر محلول، میکوریز-قارچ، میکوریز-باکتری، میکوریز، قارچ و باکتری به‌ترتیب ۱/۹۴، ۱/۸۵، ۱/۸۳، ۱/۹۰، ۱/۳۳ و ۱/۲۰ برابر در مقایسه با شاهد بیش‌تر بود. بررسی نتایج پژوهش‌گران حاکی از آن است که گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی به میزان کم‌تری تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرند. گیاهان مکانیسم‌های مولکولی و بیوشیمیایی متعددی در مقابله با تنش شوری دارا می‌باشند. اثرات مفید قارچ‌های میکوریز در رشد گیاه تحت شرایط شور در گونه‌ها و خانواده‌های مختلف گیاهی به اثبات رسیده است (Asghari, 2008). برخی محققان گزارش کرده‌اند که قارچ‌های میکوریزی می‌توانند از طریق سازوکارهای مختلف، توانایی گیاهان را در مقابله با شوری افزایش داده و منجر به بهبود رشد آن‌ها شوند (Jahromi

(Creighton Miller, 1992 *et al*., 2008; Rajapakse &. افزایش مقاومت به تنش شوری و بهبود رشد می‌تواند از طریق بهبود جذب عناصر غذایی (Asghari *et al*., 2005)، تعادل یونی (Giri & Mukerji, 2004)، حفظ فعالیّت آنزیم-ها (Rajapakse & Creighton Miller, 1992)، تسهیل جذب آب (Sheng *et al*., 2008)، بهبود تغذیه معدنی به ویژه فسفر و عناصر کم مصرف نظیر روی و مس و تنظیم فشار اسمزی صورت بگیرد (Mansouri *et al*., 2007).

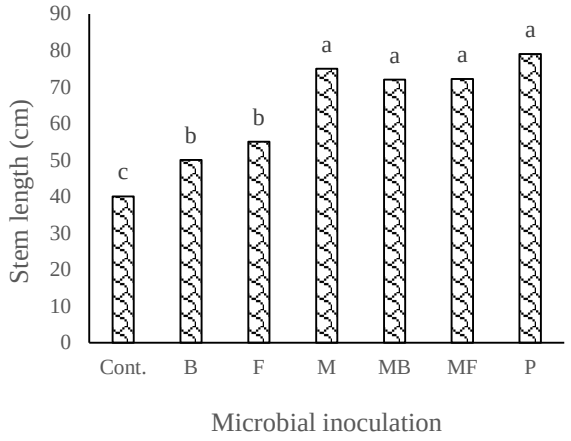


شکل ۱- تأثیر سطوح شوری بر ارتفاع اندام هوایی ذرت

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

Figure 1. Salinity levels impact on shoot length of corn

NS and S show non-saline and saline condition.



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

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

، B، F، M، MB، MF و P به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد (بدون تلقیح)، باکتری، قارچ، میکوریز، میکوریز-باکتری، میکوریز-قارچ و فسفر محلول هستند.

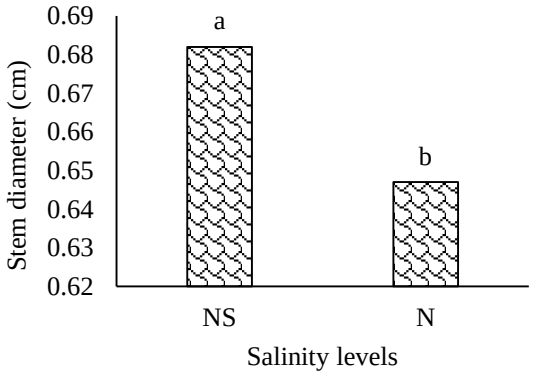
حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار هستند.

Cont, B, F, M, MB, MF and P show control (with out inoculation), bacteria, fungi, mycorrhiza, mycorrhiza-bacteria, mycorrhiza-fungi and soluble phosphorous, respectively.

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

تأثیر شوری بر قطر ساقه معنی‌دار بود. به‌طوری‌که میزان این شاخص در خاک شور ۵/۱۴ درصد نسبت به خاک غیرشور کاهش یافت (شکل ۳). در اکثر گیاهان با افزایش شوری خاک، میزان رشد و عملکرد محصول کاهش می‌یابد که این کاهش رشد ممکن است در نتیجه سمیّت ناشی از تجمع عناصری مانند سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی، افزایش فشار اسمزی و کاهش جذب آب توسط ریشه‌ها و یا اثرات زیان‌بار نمک بر فعالیّت برخی آنزیم‌های گیاهی باشد (Zahran, 1999).

مقایسات میانگین اثرات تلقیح میکروبی نشان داد که تیمارهای میکوریزی و فسفر محلول تأثیر معنی‌داری را نسبت به شرایط بدون تلقیح (شاهد) و نیز تلقیح باکتری و قارچ، بر قطر ساقه داشتند (شکل ۴). بیش‌ترین مقدار قطر ساقه (۱/۰۲ سانتی‌متر) نیز به تیمار فسفر محلول مربوط بود. افزایش قطر ساقه در شرایط تلقیح‌های تلفیقی در مقایسه با کاربرد جداگانه ریزجانداران، احتمالاً ناشی از وجود اثر هم‌افزایی میکوریز با باکتری و قارچ‌های حل‌کننده فسفات باشد. به‌طورکلی افزایش عملکرد ذرت به‌وسیله کاربرد قارچ میکوریز آربوسکولار و ریزجانداران حل‌کننده فسفات توسط محققان بسیاری گزارش شده است (Mansouri *et al*., 2007).

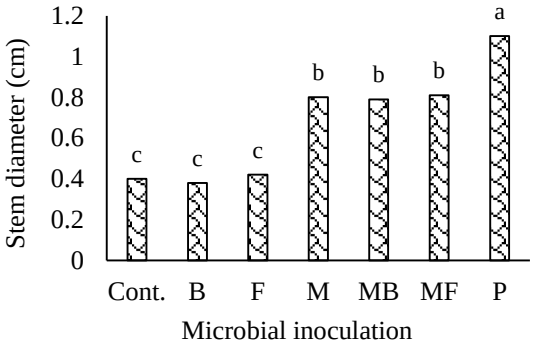


شکل ۳- تأثیر سطوح شوری بر قطر ساقه ذرت

Figure 3. Salinity levels impact on stem diameter of corn

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

NS and S show non-saline and saline condition.



شکل ۴- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر قطر ساقه ذرت

Figure 4. Microbial treatments impact on stem diameter of corn

Cont، B، F، M، MB، MF و P به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد، باکتری، قارچ، میکوریز، میکوریز-باکتری، میکوریز-قارچ و فسفر محلول هستند.

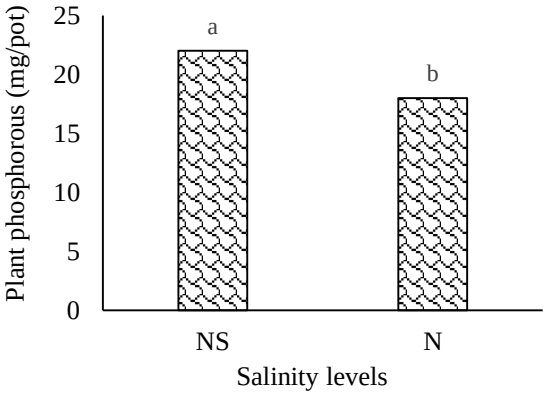
Cont, B, F, M, MB, MF and P show control, bacteria, fungi, mycorrhiza, mycorrhiza-bacteria, mycorrhiza-fungi and soluble phosphorous, respectively.

حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار هستند.

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

مقایسات میانگین حاکی از آن است که شوری منجر به کاهش معنی‌دار مقدار فسفر در اندام هوایی گیاه شد (شکل ۵). افزایش شوری در خاک قابلیت دسترسی گیاه به فسفر را کاهش می‌دهد. 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 می‌شود. به‌علاوه در اثر شوری، رشد و گسترش ریشه گیاهان محدود می‌شود، لذا با توجه به غیرمتحرک بودن فسفر در خاک، میزان جذب این عنصر توسط گیاه به شدت کاهش می‌یابد (Arvidsson, 1997). 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 مقدار فسفر اندام هوایی مربوط به تیمارهای فسفر محلول و شاهد بود. در بین تیمارهای میکروبی نیز بیش‌ترین مقدار فسفر اندام هوایی (۲۱/۹۵ میلی‌گرم در گلدان) در تیمار تلقیح مضاعف میکوریز-قارچ مشاهده شد (شکل ۶). افزایش مقدار فسفر اندام هوایی در تلقیح‌های تلفیقی را احتمالاً می‌توان به اثر هم‌افزایی ریزجانداران مورد کاربرد و در نتیجه افزایش توانایی آن‌ها در حلالیّت و جذب فسفر خاک نسبت داد. 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 (Azcon *et al*., 1976). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار قادرند در شرایط کمبود عناصر غذایی، سرعت جذب عناصر معدنی به ویژه 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 به‌دلیل افزایش دستیابی و یا انتقال عناصر توسط هیف (ریسه)های قارچی است. در واقع شبکه گسترده ریسه‌های خارجی (برون ریشه‌ای) این قارچ‌ها به درون خاک گسترش یافته 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). پژوهش‌گران تأثیر مثبت تلقیح هم‌زمان گیاه توسط برخی از گونه‌های حل‌کننده فسفات با باکتری‌های تثبیت‌کننده ازت و اثر هم‌افزایی موجود در بین آن‌ها را نیز گزارش کردند (Zaidi *et al*., 2003; Perveen *et al*., 2002; Sarikhani *et al*., 2014). در واقع ریزجانداران حل‌کننده فسفات با افزایش مقدار فسفر قابل دسترس، انرژی لازم برای تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های تثبیت‌کننده ازت را تأمین می‌کنند. پژوهش‌گران 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 آن سوی 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 کرده 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 ویژگی-های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متفاوتی از ریشه بوده 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 قابل استفاده نمایند (Rigou & Mignard, 1994). هم‌چنین میکوریزها می‌توانند با تولید آنزیم‌های فسفاتاز، فسفر را از منابع آلی آن متحرک و قابل جذب کنند (Trafdar & Marschner, 1994).



شکل ۵- تأثیر سطوح شوری بر مقدار فسفر اندام هوایی ذرت

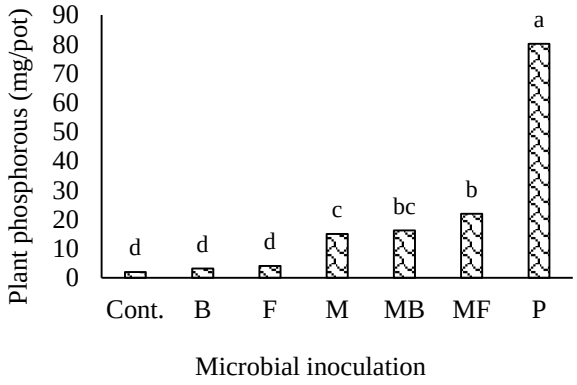
Figure 5.– Salinity levels impact on phosphorous amount of corn

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

حروف غیر مشابه از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی دار هستند.

NS and S show non-saline and saline condition.

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



شکل ۶- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر مقدار فسفر اندام هوایی ذرت

Figure 6. Microbial treatments impact on phosphorous amount of corn

Cont، B، F، M، MB، MF و P به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد (بدون تلقیح)، باکتری، قارچ، میکوریز، میکوریز-باکتری، میکوریز-قارچ و فسفر محلول هستند.

Cont, B, F, M, MB, MF and P show control (with out inoculation), bacteria, fungi, mycorrhiza, mycorrhiza-bacteria, mycorrhiza-fungi and soluble phosphorous, respectively.

حروف غیرمشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار هستند.

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

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر تلقیح میکروبی بر فسفر کارایی و کارآیی جذب فسفر معنی‌دار (p<۰/۰۱) بود (جدول ۴). مقایسات میانگین نیز حاکی از آن بود که بیش‌ترین و کم‌ترین درصد کارآیی فسفر و کارآیی جذب فسفر با ۴۵/۰۳ ، ۹/۱۶ ، ۰/۲۸ و ۰/۰۲۸ به ترتیب مربوط به تیمارهای میکوریز-قارچ و باکتری است (شکل ۷ و ۸). در تفسیر این نتیجه می‌توان اظهار نمود که قارچ میکوریز از طریق انشعابات میسلیومی و ریسه‌ای خود سبب توسعه ریشه گیاه شده و از این طریق باعث استفاده ریشه گیاه از ریزوسفر گسترده‌تر شده است (Reid & Bowen, 1979). از طرف دیگر ریزجانداران حل‌کننده فسفات با تولید آنزیم فسفاتاز سبب تجزیه فسفات‌های آلی و پیروفسفات‌های غیرآلی شده و از این طریق موجب فراهم کردن فسفر غیرقابل جذب برای گیاه شده است (Trafdar & Marschner, 1994). افزایش کارایی جذب فسفر در تلقیح تلفیقی قارچ و میکوریز نشان‌دهنده اثرات هم‌افزایی بین قارچ و میکوریز می‌باشد. اوسبورن و رنگل (Osborne & Rengel, 2002) بیان کردند که جذب فسفر آلی با سطح تماس ریشه ارتباط دارد، به‌طوری‌که افزایش سطح تماس ریشه باعث جذب فسفر آلی توسط ارقام گیاهی و کاهش تثبیت فسفر توسط ذرات خاکی شد. از سوی دیگر فعالیت ریزجانداران حل‌کننده فسفات با قارچ میکوریز آربوسکولار نیز منجر به هیدرولیز ترکیبات آلی شده و قابلیت استفاده فسفر معدنی و قابل استفاده گیاه را برای جذب افزایش دادند.

کارایی مصرف فسفر

بر اساس نتایج مقایسات میانگین، تیمار شوری با ۰/۹۹ بیش‌ترین مقدار کارایی فسفر را شامل شد. در بین تیمارهای تلقیح میکروبی نیز، تیمارهای شاهد و فسفر محلول با دو و ۰/۳۴ بیش‌ترین و کم‌ترین کارایی مصرف فسفر را به خود اختصاص دادند.

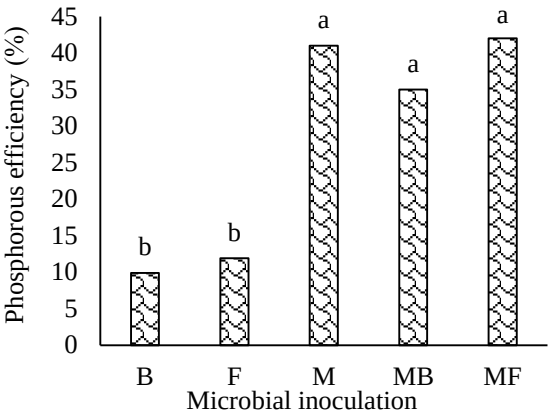
در تحقیقاتی که توسط جانر (Joner *et al*., 2000) انجام شد مشاهده شد که مایه‌زنی خاک با گونه‌ای از قارچ میکوریز از جنس گلوموس و باکتری گونه سودوموناس فلورسنس سبب کاهش کارایی مصرف فسفر شد. در تحقیقات مشابه دیگر بالیگار و همکاران (Baligar *et al*., 2001) با ارزیابی کارایی مصرف فسفر ۲۵ رقم مختلف برنج گزارش کردند که با مصرف فسفر محلول شاخص کارایی مصرف فسفر ارقام برنج کاهش یافت.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر تیمارهای شوری و تلقیح میکروبی بر صفات اندازه گیری شده ذرت

Table 4. Analysis of variance for effect of salinity and microbial inoculation on measured parameters of corn

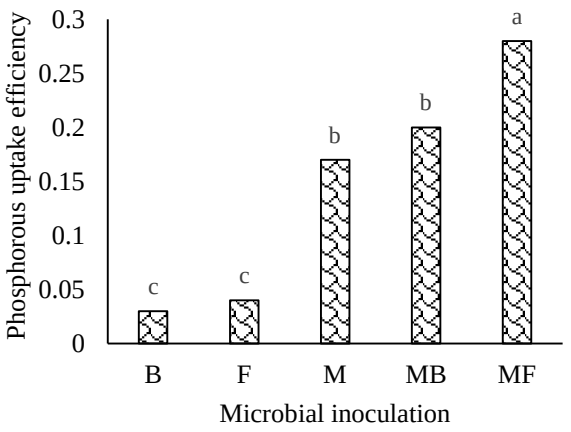
Source of variation	Degree of freedom	Mean Square	
		Phosphorous Efficiency	PACE
Salinity levels (S)	1	ns 0.0001	ns 0.0001
Microbial inoculation (M)	4	**1710.75	**0.07
S*M	4	ns 10.42	ns 0.001
Error	20	47.82	0.002
CV(%)		24.10	27.53

** Show significant difference at 1 % and ns show non-significant difference
PACE is Phorphorous Acquisition Efficiency



شکل ۷- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر درصد فسفر کارایی ذرت

Figure 7. Microbial treatments impact on phosphorous efficiency percent of corn



شکل ۸- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر کارایی جذب فسفر ذرت

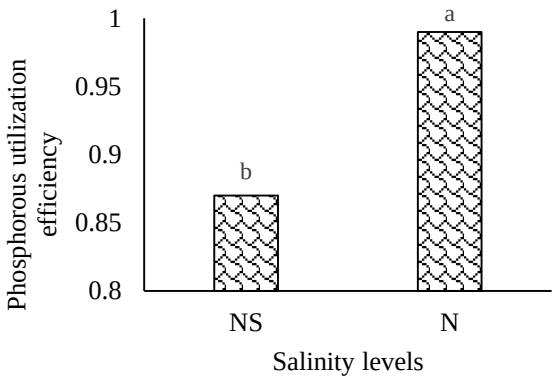
Figure 8. Microbial treatments impact on phosphorous efficiency percent of corn

B، F، M، MB و MF به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای تلقیح باکتری، قارچ، میکوریز، میکوریز-باکتری و میکوریز-قارچ می‌باشند.

B, F, M, MB and MF show bacteria, fungi, mycorrhiza, mycorrhiza-bacteria and mycorrhiza-fungi inoculation, respectively.

حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار هستند.

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



شکل ۹- تأثیر سطوح شوری بر کارایی مصرف فسفر ذرت

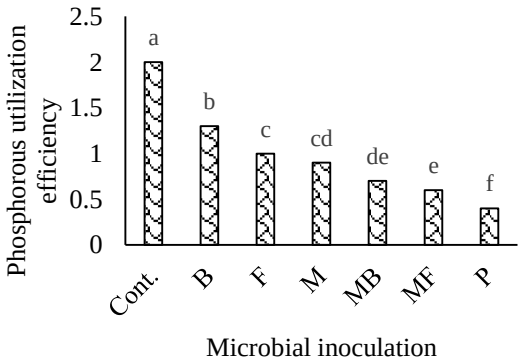
Figure 9. Salinity levels impact on phosphorous utilization efficiency of corn

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

حروف غیر مشابه از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی دار هستند.

NS and S show non-saline and saline condition.

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



شکل ۱۰- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر کارایی مصرف فسفر ذرت

Figure 10- Microbial treatments impact on phosphorous utilization efficiency of corn

Cont، B، F، M، MB، MF و P به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد (بدون تلقیح)، باکتری، قارچ، میکوریز، میکوریز-باکتری، میکوریز-قارچ و فسفر محلول هستند.

Cont, B, F, M, MB, MF and P show control (with out inoculation), bacteria, fungi, mycorrhiza, mycorrhiza-bacteria, mycorrhiza-fungi and soluble phosphorous, respectively.

مقدار عناصر ریزمغذی در اندام هوایی گیاه

نتایج تجزیه واریانس تاثیرات سطوح شوری، تلقیح میکروبی و هم‌چنین اثر متقابل این دو فاکتور بر مقدار عناصر غذایی موجود در اندام هوایی گیاه ذرت در جدول ۵ ارائه شده است. در ارتباط با آهن، مس و منگنز، نتایج نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر شوری و تلقیح میکروبی بر مقدار این عناصر بود (p<۰/۰۱). اثرات متقابل شوری و تلقیح میکروبی بر میزان روی معنی‌دار شد (p≤۰/۰۵).

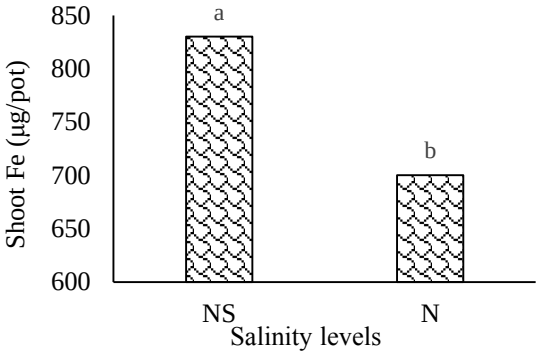
جدول ۵- تجزیه واریانس مربوط به تأثیر تیمارهای شوری و تلقیح میکروبی بر مقدار عناصر غذایی ذرت

Table 5. Analysis of variance for effect of salinity and microbial inoculation on nutrients amonts of corn

Source of variation	Degree of freedom	Mean Square			
		Iron	Zinc	Copper	Manganese
Salinity levels (S)	1	*98239.11	ns 6821.26	*1498.59	*18601.57
Microbial inoculation (M)	6	**322362.81	**980755.61	**7033.09	**1102342.1
S*M	6	ns 43360.15	*12903.82	ns 454.451	ns 10591.99
Error	28	22190.66	5011.01	249.99	4417.25
CV(%)	-	29.86	13.02	20.22	22.06

**,* Show significant difference at 1 and 5% and ns show non-significant difference.

مقایسه میانگین مقدار آهن اندام هوایی گیاه نشان داد که بیش‌ترین مقدار آهن اندام هوایی گیاه با ۸۳۳/۵۷ میکروگرم در گلدان مربوط به تیمار غیرشور بود (شکل ۱۱). هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار آهن اندام هوایی گیاه به ترتیب با ۱۵۷۲/۳ و ۲۲۳ میکروگرم در گلدان مربوط به تیمار فسفر محلول و تیمار شاهد بود (شکل ۱۲). در بین تلقیح‌های میکروبی بیش‌ترین مقدار آهن اندام هوایی گیاه با ۷۲۰/۷ میکروگرم در گلدان در تیمار میکوریز-باکتری مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار باکتری و شاهد نشان داد. در بین تیمارهای تلقیح میکروبی بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار روی اندام هوایی با ۱۱۰۵/۷ و ۹۶/۰۱ میکروگرم در گلدان به ترتیب در تیمارهای فسفر محلول و شاهد شرایط شور مشاهده شد (جدول ۶).



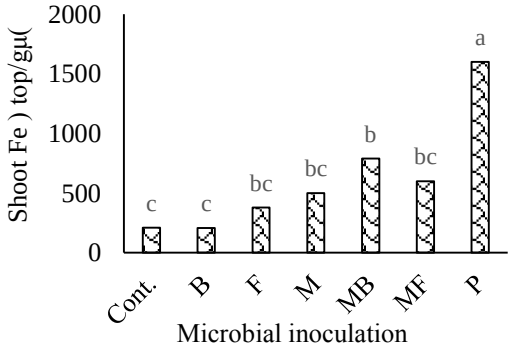
شکل ۱۱- تأثیر سطوح شوری بر مقدار آهن اندام هوایی ذرت

Figure 11. Salinity levels impact on iron amount of corn

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

حروف غیر مشابه از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی دار هستند.

NS and S show non-saline and saline condition.



شکل ۱۲- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر مقدار آهن اندام هوایی ذرت

Figure 12. Microbial treatments impact on iron amount of corn

Cont، B، F، M، MB، MF و P به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد (بدون تلقیح)، باکتری، قارچ، میکوریز، میکوریز-باکتری، میکوریز-قارچ و فسفر محلول هستند.

Cont, B, F, M, MB, MF and P show control (with out inoculation), bacteria, fungi, mycorrhiza, mycorrhiza-bacteria, mycorrhiza-fungi and soluble phosphorous, respectively. Non-similar letter(s) above graph are significantly different at 5% probability level.

حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار هستند.

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

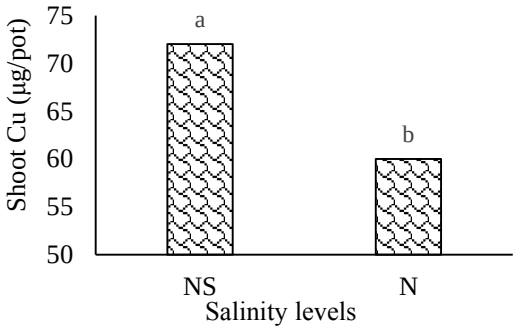
جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و تلقیح میکروبی بر مقدار روی اندام هوایی گیاه ذرت

Table 6. Mean comparison of salinity and microbial inoculation interactions on zinc amount of corn shoot

	Zinc (mg pot^{-1})						
Salinity levels	Control	B	F	M	MB	MF	P
non-saline	110.6 ^{c}	144.7 ^{c}	156.7 ^{c}	715.5 ^{b}	770.5 ^{b}	755.8 ^{b}	1063.4 ^{a}
saline	96.01 ^{c}	119.0 ^{c}	162.7 ^{c}	669.4 ^{b}	760.7 ^{b}	982.2 ^{a}	1105.7 ^{a}
LSD $_{0.05}$	148.9						

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

مقایسه میانگین مقدار مس اندام هوایی گیاه در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ آورده شده است. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار مس اندام هوایی گیاه با ۷۱/۰۴ میکروگرم در گلدان در تیمار غیرشور مشاهده شد. در فاکتور تلقیح میکروبی تیمار فسفر محلول با ۱۱۴/۲ میکروگرم در گلدان بیش‌ترین مقدار مس اندام هوایی گیاه را شامل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای میکوریز، میکوریز-قارچ و میکوریز-باکتری نداشت. هم‌چنین کم‌ترین مقدار مس اندام هوایی گیاه با ۲۲/۲۵ میکروگرم در گلدان مربوط به تیمار شاهد بود. در بین تیمارهای تلقیح میکروبی بیش‌ترین نیز مقدار مس اندام هوایی با ۹۴/۱۴ میکروگرم در گلدان در تیمار میکوریز مشاهده شد.

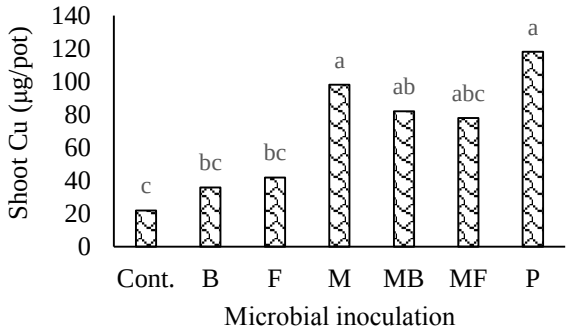


شکل ۱۳- تأثیر سطوح شوری بر مقدار مس اندام هوایی ذرت

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

Figure 13. Salinity levels impact on copper amount of corn

NS and S show non-saline and saline condition.



شکل ۱۴- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی برمقدار مس اندام هوایی ذرت

Figure 14. Microbial treatments impact on copper amount of corn

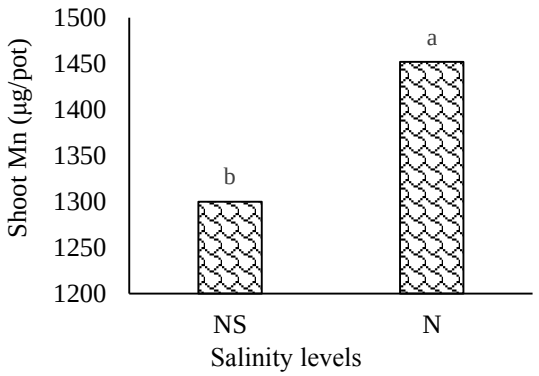
Cont، B، F، M، MB، MF و P به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد باکتری، قارچ، میکوریز، میکوریز-باکتری، میکوریز-قارچ و فسفر محلول هستند.

Cont, B, F, M, MB, MF and P show control (with out inoculation), bacteria, fungi, mycorrhiza, mycorrhiza-bacteria, mycorrhiza-fungi and soluble phosphorous, respectively.

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

حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار هستند.

بیش‌ترین مقدار منگنز اندام هوایی با ۱۴۶۰/۴۳ میکروگرم در گلدان مربوط به تیمار شوری بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار غیرشور داشت (شکل ۱۵). در فاکتور تلقیح میکروبی، تیمار فسفر محلول با ۴۶۵۷/۳ میکروگرم در گلدان بیش‌ترین مقدار منگنز اندام هوایی را به خود اختصاص داد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد (شکل ۱۶). هم‌چنین کم‌ترین مقدار منگنز اندام هوایی با ۴۳۲/۴ میکروگرم در گلدان در تیمار شاهد مشاهده شد. در بین تیمارهای تلقیح میکروبی، تیمار میکوریز-قارچ با ۱۳۸۰/۷ میکروگرم در گلدان بیش‌ترین مقدار منگنز اندام هوایی را شامل شد که با تیمارهای باکتریایی و قارچی تفاوت معنی‌داری نشان داد.

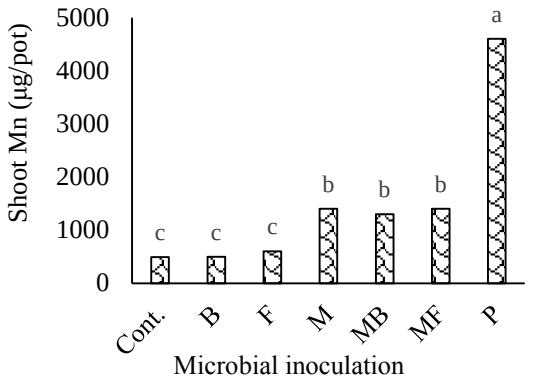


شکل ۱۵- تأثیر سطوح شوری بر مقدار منگنز اندام هوایی ذرت

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

Figure 15 .Salinity levels impact on manganes amount of corn

NS and S show non-saline and saline condition. level.



شکل ۱۶- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر مقدار منگنز اندام هوایی ذرت

Figure 16. Microbial treatments impact on manganes amount of corn

Cont، B، F، M، MB، MF و P به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد، باکتری، قارچ، میکوریز، میکوریز-باکتری، میکوریز-قارچ و فسفر محلول هستند

Cont, B, F, M, MB, MF and P show control (with out inoculation), bacteria, fungi, mycorrhiza, mycorrhiza-bacteria, mycorrhiza-fungi and soluble phosphorous, respectively.

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

حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار هستند.

با توجه به نتایج به دست آمده، بالا بودن آهن اندام هوایی گیاه در تیمار فسفر محلول و تیمار میکوریز-باکتری را می‌توان به بهبود شرایط خاک با افزایش فسفر محلول، توانایی باکتری‌ها در تولید سیدروفور و افزایش جذب آهن و نیز به اثر هم‌افزایی ریزجانداران نسبت داد. تحت شرایط تنش شوری کاهش جذب آهن توسط گیاه گزارش شده است (Brown *et al*., 2006). برقراری رابطه هم‌زیستی میکوریزی در گیاه ذرت منجر به افزایش غلظت آهن می‌شود. هم‌چنین گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریز توانایی متفاوتی در جذب آهن نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که میسلیوم قارچ با گسترش در خاک میزان جذب عناصر نیتروژن، آهن و مس را افزایش می‌دهد که دلایل این امر متفاوت است. برخی شواهد حاکی از این است که قارچ‌های میکوریز از طریق ترشح انواعی از سیدروفورها و کلاته کردن آهن توانسته‌اند جذب و انتقال آهن را افزایش دهند (Caris *et al*., 1998). هم‌چنین افزایش جذب عناصر غذایی به‌دلیل انتشار میسلیوم‌های قارچ کلنیزه‌کننده بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم مکمل جذب در سیستم ریشه‌ای گیاه بوده که بهره‌گیری از حجم بیش‌تر خاک را که ریشه‌های تغذیه‌کننده به آن دسترسی ندارند ممکن می‌سازد (Caris *et al*., 1998).

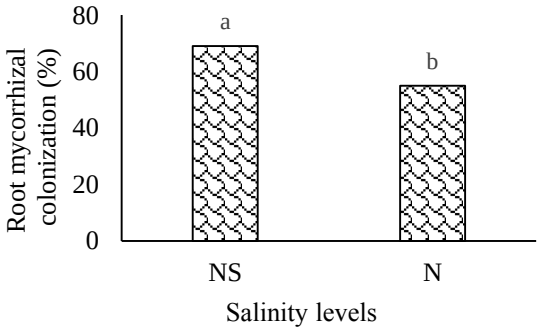
نقش اساسی روی در فعال‌سازی تعداد زیادی از آنزیم‌ها که یا به‌طور مستقیم در ساختمان آن‌ها شرکت دارد و یا اینکه برای فعال‌سازی آنزیم‌ها لازم است باعث اهمیت این عنصر در گیاه شده است (Sepehr *et al*., 2009). لیو و همکاران (Liu *et al*., 2004) جذب روی، مس، منگنز و آهن را در گیاه ذرت تلقیح شده با قارچ *Glomus intraradices* بررسی و گزارش نمودند که نقش قارچ میکوریزی در جذب عناصر ریز مغذی به‌ویژه روی در سطح معنی‌داری بوسیله سطوح مختلف فسفر تحت تأثیر قرار می‌گیرند، که این اثرات می‌توانند مثبت یا منفی باشد. هم‌چنین گزارش نمودند که تأثیر فسفر بر جذب روی و مس توسط ریشه گیاه در سطوح فسفر پایین بیش‌تر از ریشه گیاهانی است که در سطوح بالاتر فسفر رشد کرده‌اند. چرا که در این حالت میسلیوم بیش‌تری تولید می‌شود. وزن خشک اندام هوایی و مقدار روی جذب شده با درصد کلونیزاسیون رابطه مثبت و لگاریتمی دارد در صورتی که رابطه جذب فسفر و کلونیزاسیون در سطوح فسفر بکار برده شده خطی می‌باشد. افزایش جذب روی و مس توسط گیاهان میکوریزی در بسیاری از مطالعات مشاهده شده است. عمده دلایلی که در افزایش جذب فسفر ذکر شده می‌تواند در افزایش جذب سایر عناصر غذایی، به ویژه در مورد روی مطرح شود. زیرا قابلیت جذب روی در خاک‌های آهکی هم‌چون فسفر با

مشکل مواجه است (Al-Karaki & AL-Raddad, 1997; Al-Karaki & Clark, 1998).

با توجه به اینکه حرکت مس در خاک بسیار کم است با افزایش شوری و کاهش رشد ریشه، میزان جذب این عنصر در گیاه بیش از پیش کاهش می‌یابد. کاهش جذب مس تحت تنش شوری در گیاهان جو و ذرت گزارش شده است (Hassan, 1970). افزایش جذب مس در گیاهان میکوریزی می‌تواند مربوط به گسترش هیف‌های خارج ریشه‌ای قارچ‌های میکوریز باشد که به طور متوسط ۸۰۰ برابر سرعت گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه است (Khavazy *et al*., 2005). میزان مس موجود در محلول خاک بسیار اندک بوده و از طرف دیگر ضریب پخشیدگی این عنصر در خاک بسیار کم است. این دو عامل باعث شده تا در گیاهان میکوریزی میزان مس جذب شده بیش‌تر از گیاهان غیرمیکوریزی باشد (Marschner & Dell, 1994; Smith & Read, 1997). نتایج آزمون مزرعه‌ای برخی محققین نشان داده است که رابطه همزیستی میکوریزی منجر به افزایش جذب مس در لوبیا می‌شود (Kucey & Janzen, 1987). افزایش جذب منگنز تحت تنش شوری در گیاه یونجه گزارش شده است (Wang & Han, 2007).

درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه با مقدار ۶۹/۸ درصد مربوط به تیمار غیرشور بود (شکل ۱۴). در بین تیمارهای تلقیح میکروبی، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه به ترتیب در تیمارهای میکوریز (۵۷/۵ درصد) و میکوریز-قارچ (۵۵/۳ درصد) مشاهده شد (شکل ۱۵). کاهش درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه با افزایش شوری توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Al-Karaki *et al*, 2001; Aliasgharzad & Esfandiari, 2004; Giri *et al*., 2004; Sheng *et al*., 2008). شوری می‌تواند کلنیزاسیون میکوریزی را به‌طور مستقیم از طریق کاهش رشد هیف و یا کاهش رشد گیاه تقلیل دهد (Mansouri *et al*., 2007). گزارش‌های اخیر نشان می‌دهد که مهم‌ترین تأثیر شوری روی قارچ میکوریز آربوسکولار ناشی از تأثیر آن بر جوانه‌زنی اسپور و تولید هیف می‌باشد (Fortin *et al*., 2002). هم‌چنین کاهش درصد کلنیزاسیون با افزایش شوری ممکن است به علت کاهش تندش اسپور، رشد هیف و تشکیل آربوسکول باشد (Al-Karaki, 2001; Rabie & Almadini, 2005).

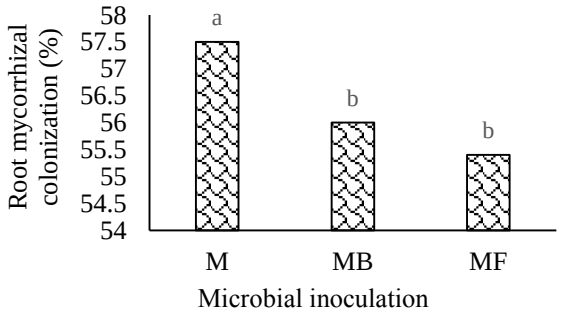


شکل ۱۷- تأثیر سطوح شوری بر درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه ذرت

Figure 17. Salinity levels impact on root mycorrhizal colonization percent of corn

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

NS and S show non-saline and saline condition.



شکل ۱۸- تأثیر تیمارهای مختلف میکروبی بر درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه ذرت

Figure 18. Microbial treatments impact on root mycorrhizal colonization percent of corn

M، MB و MF به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای میکوریز، میکوریز-باکتری و میکوریز-قارچ هستند.

M, MB and MF show mycorrhiza, mycorrhiza-bacteria and mycorrhiza-fungi, respectively.

حروف غیر مشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار هستند.

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

نتیجه‌گیری کلی

بطورکلی در این تحقیق، اختلاف بین تیمارهای تلقیح شده و تلقیح نشده با قارچ‌های میکوریزی و ریزجانداران حل‌کننده فسفات از نظر برخی از صفات مورد ارزیابی، نمایان است. در مجموعه‌ای از شاخص‌های اندازه‌گیری شده مشاهده شد که تلقیح روی تمامی این صفات تأثیر داشته و در برخی از پارامترها اثر مثبتی دارد. بنابراین در گیاهان

موجود تحت شرایط تنش شوری، قارچ‌های میکوریز و ریزجانداران حل‌کننده فسفات از طریق افزایش انحلال و فراهمی فسفر، 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 می‌شوند. بنابراین می‌توان چنین برداشت کرد که کاربرد باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات و هم‌چنین قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، به صورت توأم و جداگانه باعث بهبود وِیژگی‌های ظاهری و افزایش جذب عناصر به ویژه فسفر توسط ذرت شدند. به طوری‌که تلقیح توأم قارچ-میکوریز نسبت به باکتری-میکوریز و کاربرد جداگانه این ریزجانداران از کارایی بیش‌تری در بهبود رشد گیاه و کاهش اثرات شوری برخوردار بودند. در کاربرد جداگانه این ریزجانداران نیز تلقیح قارچ میکوریز آربوسکولار نسبت به باکتری و قارچ‌های حل‌کننده فسفات تأثیر بیش‌تری روی بهبود شرایط رشد گیاه داشت.

Refrences

Aliasgarzad N. 2000. Evaluate distribution and population density of arbuscular mycorrhizal fungi in soils of Tabriz Plain and determination of their inoculation impact in improving onion and barely tolerance to salinity. PhD Thesis. Agricalture faculty, Tehran University. (In Persian)

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.*

Al-Karaki G.N., and Al-Raddad A. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza*, 7: 83-88.

Al-Karaki G.N., and Clark R.B. 1998. Growth, mineral acquisition and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. *Journal of Plant Nutrition*, 21: 263-270.

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.

Apse M.P.G., Dharon S., Snelden W.A., and Bumerold E. 1999. Salt tolerance conferred by over expression of a vascoular Na+/H+ antiport in Arabidopsis. *Science*, 285: 1256-1258.

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.

Azcon R., Berea J.M., and Hayman D.S. 1976. Utilization of rock phosphate in alkaline soils by plant inoculated with mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria. *Soil Biology and Biochemistry*, 8(2): 135-138.

Baligar V.C., Fageria N.K., and He Z.L. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7-8): 921-950.

Bashan y. 1998. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnology Advances*, 16(4): 729-770.

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.

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

Brown C.E., Pezeshki S.R., and DeLaune R.D. 2006. The effects of salinity and soil drying on nutrient uptake and growth of Spartina alterniflora in a simulated tidal system. *Environmental and Experimental Botany*, 58: 140-148.

Cantrell I.C., and Linderman R.G. 2001. Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. *Plant and Soil*, 233: 269-281.

Caris C., Hördt W., Hawkins H.J., Römheld V., and George E. 1998. Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plants. *Mycorrhiza*, *8*(1): 35-39.

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

Dixon R.K., Garg V.K. and Rao M.V. 1993. Inoculation of *Lecaena* and *prosopis* seedlings with *Glomus* and *Rhizobium* species in saline soil: rhizospher relations and seedlings growth. *Plant and Soil Research*, 7: 133-144.

Fortin J.A., Becard G., Declerck S., Dalpe Y., Coughlan A.P., and Piche Y. 2002. Arbuscular mycorrhiza on root-organ cultures. *Canadian Journal of Botany*, 80: 1-20.

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.

Homaei M. 2001. Plants Response to Salinity. 1st Edition, Iran National Comette of Irrigation and Dainage Publication, Iran, 107p. (In Persian)

Hu X.F., Chen J., and Guo J.F. 2006. Two phosphate and potassium solubilizing bacteria isolated from Tiannu Mountain, Zhejiang, China. *World Journal Microbiology Biotechnology*, 22: 983-990.

Jahromi F., Aroca R., Porcel R., Ruiz-Lozano J.M. 2008. Influence of salinity on the in vitro development of *Glomus intraradices* and on the in vivo physiological and molecular responses of mycorrhizal lettuce plants. *Microbial Ecology*, 55: 45–53.

Joner E.J., Van Aarle I.M., and Vosatka M. 2000. Phosphatase activity of extra-radical arbuscular mycorrhizal hyphae: a review. *Plant and Soil*, 226 (2): 199-210.

Juniper S., and Abbott L. 1993. Vesicular arbuscular mycorrhizae and soil salinity. *Mycorrhiza*, 4: 45-57.

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)

Kholde-Barin B., and Safazadeh T. 2005. Mineral Nutrition of Plants. 2ed Edition, Shiraz University Publition, pp. 902. (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. 7th Edition, Tarbiat Modarres University Press. 718p. (In Persian)

Mansouri H., Ahmadi-Moghaddam A., and Rouhani N. 2007. Mycorrhizal and nonmycorrhizal bean response to salinity stress. Iranian *Journal of Biology* , 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 Ghareyazi B. 2002. Physiological Aspects and Breeding For Salinity Stress in Plants. Isfahan University of Technology Publication, 274p. (In Persian)

Oliveira C.A., Alves V.M.C., Marriel I.E., Gomes E.A., Scotti M.R., Carneiro N.P., and Sa N.M.H. 2009. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(9): 1782-1787.

Osborne L.D., and Rengel Z. 2002. Screening cereals for genotypic variation in efficiency of phosphorus uptake and utilisation. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53(3): 295-303.

Perveen S., Khan M.S., and Zaidi A. 2002. Effect of rhizospheric microorganisms on growth and yield of green gram (*Phaseolus radiatus*). *Indian Journal of Agriculture Science*, 72: 421-423.

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, pp. 275-301.

Reid C.P.P., and Bowen G.D. 1979. Effect of water stress on phosphorus uptake by mycorrhizas of Pinus radiata. *New Phytologist*, 83(1): 103-107.

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.

Sarikhani M.R., Malboobi M.A., Ebrahimi M. 2014. Phosphate solubilizing bacteria: isolation of phosphate solubilizing bacteria and genes, mechanism and genetic dissolution of phosphate. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 6 (1): 76-110. (In Persian)

Sepehr E., Malakouti M.J., Kholde-barin 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.

Smith S.E., and Read D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. *Plant Journal*, 11: 83-92.

Trafdar J.C., and Marschner H. 1994. Efficiency of VAM hyphae in utilization of organic phosphorus by wheat plants. *Soil Science Plant Nutrition*, 40: 593-600.

Wang X.S., and Jian G.H. 2007. Effects of NaCl and silicon on ion distribution in the roots, shoots and leaves of two alfalfa cultivars with different salt tolerance. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53: 278-285.

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

Yano-Melo A.M., Saggin O.J., and Costa M.L. 2003. Tolerance of mycorrhized banana (Musa sp. cv. Pacovan) plantlets to saline stress. *Agricultural Ecosystem and Environment*, 95: 343–348.

Zahran H.H. 1999. Rhizobium-legum symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology*, 63: 968-989.

Zaidi A., Khan M.S., and Amil M. 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Europian Journal of Agronomy*, 19: 15–21.

Yield and Phosphorous Efficiency Indicators of Corn (*Zea mays* L.) as Affected by Salinity and Microbial Inoculation

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

(Received: July 2017 Accepted: December 2017)

Abstract

In this study, the effect of salinity on yield, phosphorous efficiency indicators, and some elements concentration in the root and shoot of corn (*Zea mays* L.) was evaluated. The efficiency of phosphate-solubilizing microorganisms and mycorrhizal fungi was further determined in adjusting salinity impacts on the studied plant. A completely randomized factorial design carried out at greenhouse conditions. The first factor was salinity (non-saline (NS) and salinity of 4.5 dS m^{-1} (S)) and the second factor was microbial inoculation including control (no inoculation), soluble phosphorus (P), mycorrhizal inoculation (M; *Glomus*), inoculation of phosphate solubilizing bacteria (PSB; *Pseudomonas fluorescens*), phosphate solubilizing fungi inoculation (PSF; *Aspergillus niger*), dual inoculation of mycorrhiza and bacteria (MB) and dual inoculation of mycorrhiza and fungi (MF). At the end of growing period, some plant growth indicators and nutrient concentrations of plant shoots were analyzed and the phosphorous efficiency indicators were calculated. Results showed that the salinity had a significant impact on all of measured properties except zinc. The highest amounts of shoot length (78.9 cm) and stem diameter (1.0 cm) were observed in the soluble phosphorus treatment. We also found a significant increase in phosphorous, iron, zinc, copper, and manganese content, shoot length and stem diameter of plants inoculated with mycorrhiza and bacteria as well as in dual inoculation of AMF and PSM condition compared to non-inoculated plants. Bacteria and mycorrhizal treatments increased shoot length amount by 1.90 and 1.20 times compared to control, respectively. *Aspergillus* fungi and AMF treatments increased shoot zinc content by 40.98 and 85.65% compared to control, respectively. It could be concluded that microbial inoculation increases corn resistance to salinity condition through improving its nutrients uptake.

Keywords: Corn, Microbial inoculation, Nutrients, Phosphorous efficiency, Salinity

Barin M., Rasouli-Sadaghiani M.H., Ashrafi-Saeidlou S. and Shakouri F. 2019. Improvement of irrigation efficiency in rice field using composted Azolla under water deficit condition. *Applied Soil Research*, 7(1): 148-165.

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