نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۵ شماره ۱ صفحه‌های ۷۹ تا ۸۹/ سال ۱۳۹۴

بررسی جذب عناصر غذایی و عملکرد گیاه ذرت میکوریزی در شرایط تنش شوری

سمانه احمدی قشلاقی[1]*، ناصر علی اصغرزاد[2] و علیرضا توسلی[3]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۳/۲۵

[1]- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک گروه علوم خاک دانشگاه تبریز

[2]- استاد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک گروه علوم خاک دانشگاه تبریز

۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: samaneh_ahmadi_g@yahoo.com

چکیده

قارچ‌های میکوریزی به‌عنوان یکی از همزیست‌های مهم در ریشه‌ی اکثر گیاهان بوده و نقش کلیدی در چرخه عناصر غذایی و افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی دارند. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار، با گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. فاکتورهای مورد آزمایش شامل سه سطح شوری سدیم کلراید ۱/۳۴ (شاهد)، ۴ و ۸ dS/m و چهار سطح قارچ شامل سه گونه *G. intraradices* (Gi), *G. versiforme* (Gv), *Glomus etunicatum* (Ge) و شاهد بدون قارچ بود. در این پژوهش وزن خشک گیاه، درصد کلونیزاسیون ریشه، مقدار فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم و کلراید گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل شوری و قارچ میکوریز بر وزن خشک گیاه، درصد کلونیزاسیون ریشه، مقدار فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و غلظت سدیم بخش هوایی و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما در مورد غلظت کلراید غیرمعنی-دار بود. بیشترین وزن بخش هوایی و ریشه مربوط به تیمارهای قارچی در سطح شوری ۱/۳۴ dS/m بود. در حضور قارچ میکوریز وزن خشک گیاه، مقدار فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم ریشه و بخش هوایی افزایش یافت. همچنین قارچ میکوریز غلظت سدیم و کلراید بخش هوایی را کاهش داد. این در حالی بود که غلظت سدیم و کلراید در ریشه نسبت به تیمار شاهد قارچی افزایش یافت. درصد کلونیزاسیون ریشه نیز در سطح شوری ۸ dS/m به‌صورت معنی‌داری نسبت به شاهد بدون شوری، کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: ذرت، شوری، عناصر غذایی، قارچ میکوریز آربوسکولار

Evaluation of Nutrients Uptake and Yield of Mycorrhizal Corn under Salt Stress Condition

S Ahmadi geshlagi[1*], N Aliasgharzad[2] and A Tavassoli[3]

Received: 27 April 2014 Accepted: 15 June 2014
[1-] Former M.Sc. Student, Soil Sci. Dept., Faculty of Agric, Univ. of Tabriz, Iran
[2-] Prof., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz. Iran
[3-] Assist. Prof. Agricultural Research Center of East Azarbaijan, Tabriz , Iran
[*] Corresponding Author, Email: samaneh_ahmadi_g@yahoo.com

Abstract

Mycorrhizal fungi are important symbionts in plants and play key roles in nutrients acquisition and enhancing plant tolerance against environmental stresses. A factorial experiment was conducted with maize plant in a completely-randomized design with four replications in greenhouse conditions. The factors were NaCl salinity with three levels (1.34, 4 and 8 dS/m) and mycorrhizal fungi with four levels (non mycorrhizal, *Glomus versiforme, G. intraradices,* and *G. etunicatum*). Shoot and root dry weights, root colonization percentage, and concentrations of P, K, Ca, Mg, Na and Cl were measured. The results showed that the interaction of salinity and mycorrhizal fungi on shoot and root dry weights, root colonization percentage, contents of P, K, Ca, Mg and concentration of Na was significant at $p \leq 0.01$. The highest shoot and root dry weights were obtained at the salinity level of 1.34 dS/m in the presence of mycorrhizal fungi. Statistical analysis showed that shoot and root dry weights, and contents of P, K, Ca, and Mg in mycorrhizal plants were significantly higher than those in non-mycorrhizal plants. Also Na and Cl concentrations decreased in shoot of mycorrhizal plants but not in their roots. At the 8 dS/m salinity level, root colonization percentage decreased significantly compared to the non-saline control.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, Corn, Nutrients, Salinity

مقدمه

شوری در بسیاری از مناطق کشاورزی دنیا از عوامل محدود کننده تولیدات کشاورزی به شمار می‌آید. حدود ۵۰-۳۰٪ از اراضی فاریاب دنیا تحت تأثیر شوری قرار دارد و در ایران حدود ۵۰ درصد از اراضی تحت کشت با مشکل شوری مواجه می‌باشند (هافمن و ماس ۱۹۸۳). در محیط شور به دلیل شرایط خاص شیمیایی و بالا بودن غلظت برخی عناصر نظیر سدیم و کلراید، قابلیت استفاده و جذب عناصر غذایی گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. از مهمترین آثار شوری می‌توان به کاهش آب قابل استفاده گیاه، ایجاد مسمومیت توسط برخی یون‌های سمی، فعالیت کم عناصر غذایی ضروری،

نسبت زیاد Na^+/K^+, Na^+/Ca^{2+}, Mg^{2+}/Ca^{2+} و Cl^-/NO_3^- در گیاه، ناهنجاری‌های تغذیه‌ای، کاهش رشد و کیفیت محصول اشاره نمود (گراتان و گریو ۱۹۹۲).

ذرت (*Zea mays* L.) یک گیاه زراعی نسبتاً حساس به شوری است (ماس و هافمن ۱۹۷۷). علاوه بر تنش اسمزی، غلظت بالای سدیم برای ذرت سمی است (فورتمیر و اسچابرت ۱۹۹۵). کافی و استوارت (۱۳۷۷) دریافتند که شوری باعث کاهش سطح فتوسنتز کننده ذرت و در نتیجه کاهش عملکرد می‌گردد. بنابر گزارش-های موجود، شوری سبب کاهش وزن خشک ساقه، ریشه و برگ، تعداد برگ، سطح برگ و طول ساقه در ذرت می‌شود (کاییک و کاکیرلار ۲۰۰۲). حد آستانه شوری گیاه ذرت ۱/۷ dS/m تعیین شده و در مقادیر بیش از این به ازای هر واحد افزایش در هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک، عملکرد ۱۲ درصد کاهش می‌یابد (ترابی و عنابی میلانی ۱۳۸۵).

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌توانند عملکرد گیاه را تحت شرایط تنش‌های محیطی بهبود بخشند و بدنبال آن تولید محصول افزایش یابد (کرئوس و همکاران ۱۹۹۸). قارچ‌های AM با ریشه‌های بیش از ۸۰٪ گونه‌های گیاهی (هجیدن و همکاران ۱۹۹۸) که شامل هالوفیت‌ها، هیدروفیت‌ها و زروفیت‌ها است، همزیست می‌باشند. به همین دلیل، فرایندهای بیولوژیکی همچون میکوریزی شدن، گزینه‌ی مناسبی برای مقابله با تنش شوری می‌باشد. پژوهشگران زیادی نشان داده‌اند که AMF رشد گیاه و مقاومت به شوری را افزایش می‌دهد (توسلی و علی اصغرزاد ۱۳۸۸، پنگ و همکاران ۲۰۱۱). ریشه‌های میکوریزی نسبت به غیرمیکوریزی، دارای ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متفاوتی هستند؛ آنها می‌توانند ریزوسفر را از طریق افزایش تراوش پروتون یا افزایش CO_2، اسیدی‌تر کنند که می‌تواند منجر به افزایش فراهمی فسفر به‌ویژه در خاک‌های خنثی و آهکی شود. همچنین قارچ‌های میکوریزی با تولید آنزیم‌های فسفاتاز، مقدار دسترسی به فسفر را افزایش می‌دهند (توسلی و علی-اصغرزاده ۱۳۸۸). آل-کاراکی و کلارک (۱۹۹۸) بیان کرده‌اند که AMF با جذب انتخابی، تأثیر مثبت بر ترکیب عناصر غذایی معدنی گیاهان، در شرایط تنش شوری دارد. به همین دلیل نیاز به همزیستی میکوریزی با افزایش غلظت نمک افزایش می‌یابد (گیری و موکرجی ۲۰۰۴). شنگ و همکاران (۲۰۰۸) نیز اظهار کرده‌اند که قارچ میکوریز اثرات منفی تنش شوری را بر گیاه ذرت کاهش می‌دهد و وزن خشک ریشه و بخش هوایی، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. حال با توجه به اهمیت حضور قارچ‌های میکوریزی در خاک و گستردگی خاک‌های شور در دنیا، در این مقاله سعی شده است به این پرسش پاسخ داده شود که در سطوح مختلف تنش شوری مختلف، درصد کلونیزاسیون ریشه، مقدار کلسیم، منیزیم، پتاسیم، فسفر، سدیم و کلراید گیاه ذرت چه تغییری می‌کند و در حضور گونه‌های قارچ میکوریز، تاثیر تنش شوری بر گیاه ذرت چگونه است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی زادمایه

گونه‌های قارچ AM، شامل *Glomus versiforme* (Gv)، *G.etunicatum* (Ge) ایزوله‌های دشت تبریز و *G. intraradices* (Gi) ایزوله استرالیا، در شرایط گلخانه‌ای با میزبان گیاه ذرت علوفه‌ای تکثیر شد. در طی دوره رشد، برای حفظ رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای خاک، گلدان-ها با آب مقطر آبیاری شدند و برای تغذیه گیاهان دو بار در هفته از محلول غذایی راریسون با نصف غلظت فسفر استفاده شد (علی‌اصغرزاده و همکاران ۲۰۰۱). پس از ۴ ماه، محتوی گلدان‌ها که شامل اسپور، هیف، ریشه‌های میکوریزی و خاک گلدان بود، به‌عنوان زادمایه استفاده شد.

در کشت اصلی نیز از بذر گیاه ذرت علوفه‌ای (*Zea mays L.*) (رقم سینگل کراس۷۰۴) استفاده گردید. بذرها ابتدا به‌وسیله هیپوکلریت سدیم نیم درصد استریل سطحی شدند. سپس برای جوانه‌زنی در داخل کاغذ صافی مرطوب با آب مقطر، در تاریکی قرار داده شدند.

کاشت گیاه و اعمال تیمارها

گلدان‌های پلاستیکی ۲/۵ کیلویی که با خاک شن لومی پر شده بود، در اتوکلاو استریل شدند. سپس با توجه به توصیه کودی، به هر کیلوگرم خاک ۱۷۵ میلی‌گرم اوره و ۱۲۵ میلی‌گرم K_2SO_4 اضافه گردید. به منظور تحریک همزیستی میکوریزی کود فسفر مورد استفاده واقع نشد. چهار عدد از بذرهای جوانه دار شده در هر گلدان کشت شد. ویژگی‌های خاک که قبل از اضافه کردن کود اندازه‌گیری شده بود عبارت بودند از: درصد کربن‌آلی ۰/۱۲۸، پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم ۱۸۲/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، فسفر ۴/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، ۷/۸۱ =pH و ۱/۳۴ dS/m =EC_e. چهار سطح قارچ میکوریز (شاهد بدون قارچ، *Glomus versiforme*، *G.intraradices*، *G.etunicatum*) و سه سطح شوری شامل شاهد (dS/m ۱/۳۴)، ۴ dS/m و ۸ dS/m بکار برده شد. برای اعمال سطوح شوری مورد نظر در خاک، محلول‌هایی با EC معین تهیه و به خاک افزوده شد تا نمودار EC تعادلی رسم شود. برای این منظور تعیین رابطه بین TDS(Y) و ECe(X) ضرورت داشت ($Y=0.715X-0.983, R^2=0.99$).

برای جلوگیری از شوک اسمزی، محلول‌های نمک به‌صورت تدریجی در طول دو هفته به گلدان‌ها اضافه شدند. گیاهان به مدت ۱۲ هفته تحت شرایط گلخانه با دمای ^oC ۱۹ در شب و ^oC ۲۶ در روز، ۸ ساعت دوره‌ی تاریکی و ۱۶ ساعت دوره روشنایی، رطوبت نسبی ۶۵٪ و شدت نور حدود $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ۳۰۰-۴۰۰ رشد یافتند. گیاهان روزانه با آب مقطر تا FC ۸۵٪ آبیاری می‌شدند.

پس از برداشت گیاهان برای اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون، بخشی از ریشه‌های ریز موئی از خاک جدا و با آب معمولی شستشو داده شد. سپس در KOH ۱۰٪ قرار داده و با محلول رنگی تریپان بلو، رنگ آمیزی شد (کورمانیک و مک‌گراو ۱۹۸۲). درصد کلونیزاسیون، به روش تقاطع خطوط شبکه (GIM)[1] تعیین شد (شنک و پرز ۱۹۸۸). در این روش ۵۰ قطعه ۱ cm ریشه روی پتری به‌صورت تصادفی پخش شد و در زیر بینوکلر مشاهده شد. تعداد تقاطعی که در آنها هیف، وزیکول، آربوسکول مشاهده شده بود شمارش شد و به‌صورت نسبت تقاطع کلونیزه در کل تعداد تقاطع بیان شد.

برای تعیین وزن خشک گیاه و سنجش عناصر معدنی، بخش هوایی و ریشه گیاه به مدت ۴۸ ساعت در آون ۵۰ درجه سانتیگراد به‌صورت کامل خشک گردید. هضم نمونه‌ها به روش خشک سوزانی برای اندازه‌گیری عناصر استفاده شد. سنجش میزان سدیم و پتاسیم با فلیم فتومتر مدل Corning 410، کلسیم و منیزیم با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مدل Shimdzu, AA-6300، فسفر به روش رنگ سنجی (کاتنی ۱۹۸۰) با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Hack DR/2000 و کلراید با دستگاه کلرسنج مدلJENWAY PCLM3 (کاتنی ۱۹۸۰) اندازه‌گیری شد.

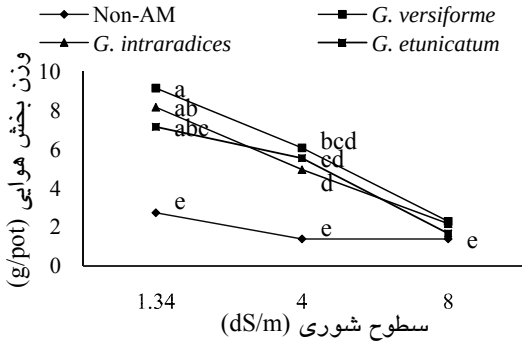
طرح آزمایشی و تجزیه آماری

آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور ۱) قارچ میکوریز در چهار سطح ۲) فاکتور شوری شامل سه سطح در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله نرم افزار MSTATC با استفاده از آزمون LSD در سطح یک درصد صورت گرفت.

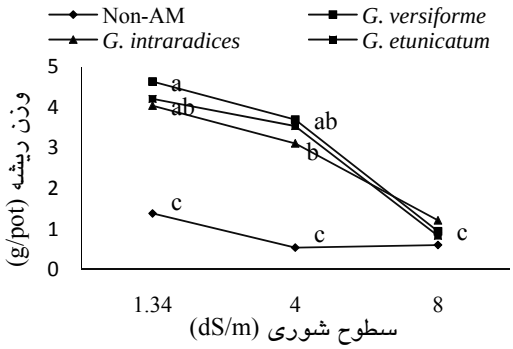
نتایج و بحث

وزن خشک بخش هوایی و ریشه: وزن خشک بخش هوایی و ریشه‌ی گیاهان قبل از شروع مرحله زایشی اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج مشاهده شد که با افزایش سطوح شوری مقدار ماده خشک کاهش می‌یابد و اثر متقابل شوری و قارچ میکوریز بر مقدار ماده خشک بخش هوایی و ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد (جدول۱). مسئله‌ای که آشکار است، تأثیر شوری بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه به حضور قارچ میکوریز بستگی دارد.

[1] Gridline Intersect Method



شکل ۱- اثر متقابل شوری و قارچ میکوریز بر وزن خشک بخش هوایی.

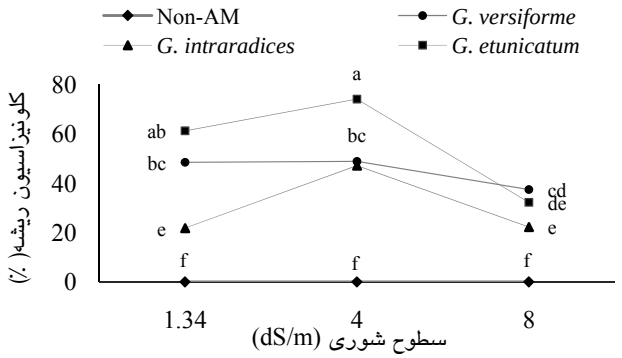


شکل ۲- اثر متقابل شوری و قارچ میکوریز بر وزن خشک ریشه.

به‌صورتی که در حضور قارچ میکوریز افزایش معنی‌دار ماده خشک مشاهده گردید (شکل‌های ۱ و ۲). ولی در شوری ۸ dS/m هیچ یک از سه گونه‌ی قارچی قادر به افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه نیستند. افزایش معنی‌دار مقدار ماده خشک گیاه در حضور قارچ میکوریز می‌تواند به‌دلیل افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر (گیری و موکرجی ۲۰۰۴) و یا بهبود جذب آب (بماردی و لاکشمان ۲۰۰۱۱) در گیاهان میکوریزی باشد.

درصد کلونیزاسیون ریشه

در گلدان‌های غیرمیکوریزی، همزیستی میکوریزی مشاهده نشد. اثر اصلی شوری، قارچ و اثرات متقابل شوری و قارچ میکوریز بر درصد کلونیزاسیون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول۱). بیشترین و کمترین درصد کلونیزاسیون به‌ترتیب در سطح شوری ۴ dS/m و ۸ dS/m مشاهده شد. با توجه به شکل ۳ دو قارچ Gv و Ge دارای درصد کلونیزاسیون بیشتری نسبت به Gi می‌باشند. همچنین درصد کلونیزاسیون Gi و Ge در شوری ۴ dS/m به‌صورت معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. اما در مورد Gv این افزایش غیرمعنی‌دار است. در سطح شوری ۸ dS/m، درصد کلونیزاسیون هر سه گونه‌ی قارچی به‌صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد در تنش جزئی درصد کلونیزاسیون برای بقای گیاه افزایش می‌یابد. اگرچه اعتقاد بر این است که رابطه‌ی همزیستی بین گونه‌های قارچی و گیاهان همزیست با آنها غیر اختصاصی است، تعدادی از مطالعات وجود اختلاف مورفولوژیک و فیزیولوژیک را بین گونه‌ها و حتی ایزوله‌های بومی قارچ‌ها را تایید کرده‌اند (باگو و همکاران ۱۹۹۸). قارچ‌های میکوریزی که قادر به بقاء در حضور تنش هستند، ایزوله‌های مقاومی در نظر گرفته می‌شوند که ممکن است نسبت به ایزوله‌های خاک نرمال، با توانایی بیشتری گیاه میزبان را حمایت کنند (دل و همکاران ۱۹۹۹). علی‌اصغرزاد و همکاران (۲۰۰۱) مشاهده کردند غالب‌ترین گونه‌های قارچی در خاک‌های بسیار شور دشت تبریز Ge و Gv می‌باشد. شوری علاوه بر گیاه میزبان بر قارچ AM نیز تأثیر می‌گذارد. شوری در توانایی کلونیزه شدن، تندش اسپور و رشد هیف اختلال ایجاد می‌کند. محققان زیادی تأثیر منفی شوری را بر قارچ گزارش کرده‌اند (جهرمی و همکاران ۲۰۰۸). کلونیزه شدن ریشه‌ی گیاهان توسط AMF در حضور NaCl کاهش پیدا می‌کند (گیری و همکاران ۲۰۰۷ و شنگ و همکاران ۲۰۰۸) که احتمالاً به‌دلیل تأثیر مستقیم NaCl بر قارچ است (جونیپر و آبوت ۲۰۰۶). به این معنی‌که شوری اثر بازدارنده بر ساختار و عملکرد AMF دارد (شنگ و همکاران ۲۰۰۸).



شکل ۳- اثر متقابل شوری و قارچ میکوریز بر درصد کلونیزاسیون ریشه.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سطوح شوری و گونه‌های قارچی بر وزن خشک گیاه و درصد کلونیزاسیون ریشه.

		میانگین مربعات				
منبع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه	منبع تغییر	درجه آزادی	کلونیزاسیون ریشه
سطوح شوری	۲	۹۷/۱۲ **	۲۹/۸۴**	سطوح شوری	۲	۱۵۲۵/۹۲۷ **
قارچ	۳	۳۷/۲۲ **	۱۳/۰۵**	قارچ	۳	۷۰۳۲/۸۴۷ **
سطوح شوری × قارچ	۶	۶/۷۹ **	۲/۳۲**	سطوح شوری × قارچ	۶	۴۳۹/۷۱۵ **
خطای آزمایشی	۳۶	۱/۲۹	۰/۵۱	خطای آزمایشی	۳۴	۴۵/۵۹۱
ضریب تغییرات٪	-	۲۵/۲	۱۱/۷۷	ضریب تغییرات٪	-	۲۰/۶۰

ns، *، ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

فسفر

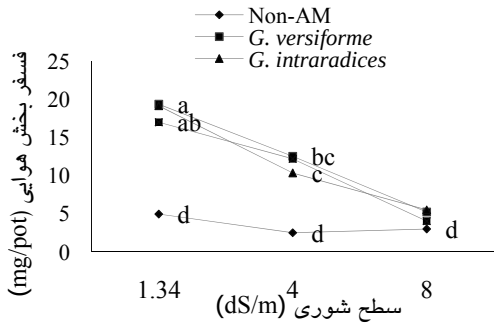
نتایج نشان می‌دهد اثر اصلی شوری، قارچ و اثر متقابل شوری و قارچ بر مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جداول ۲ و ۳). شوری منجر به کاهش مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه گیاه شد. این در حالی بود که مقدار فسفر تیمارهای قارچی در هر دو سطح شوری ۱/۳۴ و ۴dS/m به‌صورت معنی داری بیشتر از تیمارهای شاهد قارچی می‌باشد. ولی در سطح شوری ۸ dS/m قارچ میکوریز قادر به افزایش مقدار فسفر نیست. به نظر می‌رسد افزایش درصد کلونیزاسیون در سطح شوری ۴dS/m منجر به افزایش مقدار فسفر ریشه در این سطح شده است (شکل‌های ۴ و ۵).

از آنجائی‌که انتقال مواد فتوسنتزی در داخل گیاه به فسفر نیازمند است، لذا کاهش میزان جذب فسفر در تنش شوری، می‌تواند منجر به کاهش انتقال این گونه مواد به اندام‌های رویشی و درنهایت کاهش عمومی رشد گیاه گردد (اواد و همکاران ۱۹۹۰). با توجه به اینکه فسفر یک عنصر غیرمتحرک است، می‌توان کاهش جذب آن را به کاهش طول ریشه این گیاه در شرایط شوری نسبت داد (اواد و همکاران ۱۹۹۰). توسلی و علی اصغرزاد (۱۳۸۸) اظهار داشتند با تلقیح گیاهان به قارچ-های میکوریزی، می‌توان مصرف کودهای فسفری را کاهش داد. افزایش غلظت و مقدار فسفر در گیاهان میکوریزی بدلایل مختلف از جمله افزایش سطح جذب ریشه، کاهش pH محیط ریشه، پایین بودن Km قارچ نسبت به گیاه، (ثابت بیوشیمیایی، غلظتی از سوبسترا است که در آن سرعت واکنش نصف سرعت ماکزیمم است) و فعالیت زیاد آنزیم فسفاتاز قارچ‌های میکوریزی می‌باشد (علی اصغرزاد ۱۳۷۶).

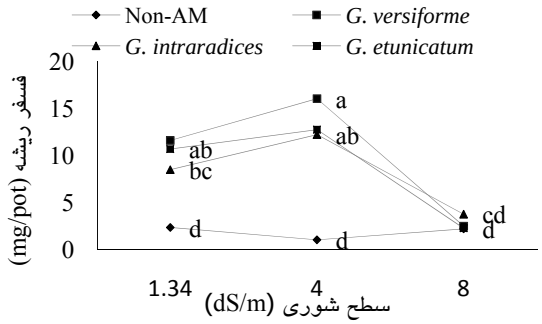
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سطوح شوری و گونه های قارچی و اثرات متقابل آنها بر مقدار و غلظت عناصر در بخش هوایی.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		فسفر	پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم	کلراید
سطوح شوری	۲	۴۵۵/۵۹۴**	۹۳۲۹۱/۷۵۳**	۵۴۴۸/۱۸۶**	۲۴۳۸/۲۹۵**	۱۲۰/۱۷۲**	۴۹۷۵/۰۵۹ **
قارچ	۳	۲۰۵/۷۴۶ **	۴۲۲۲۱/۰۶۵**	۱۳۷/۵۰۷**	۱۰۱۶/۸۵۹**	۶۵/۸۴۸**	۱۱۰۰/۳۱۷ **
سطوح شوری × قارچ	۶	۳۷/۶۸۸ **	۵۴۱۲/۵۱۲**	۲۲/۷۱۹**	۱۵۵/۷۲۹**	۱۰/۲۱۲**	۱۴۷/۰۶۵ ns
خطای آزمایشی	۳۶	۵/۷۷۷	۱۳۹۹/۴۱۲	۴/۱۱۴	۴۵/۵۳	۲/۴۵۴	۸۹/۰۶۰
ضریب تغییرات٪	-	۲۴/۸۸	۲۲/۹۶	۱۱/۸۱	۲۲/۸۰	۲۴/۴۵	۴/۷۰

ns، *، ** به‌ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪



شکل ۴- اثر متقابل شوری و گونه های قارچی بر مقدار فسفر بخش هوایی.



شکل ۵- اثر متقابل شوری و گونه های قارچی بر مقدار فسفر ریشه.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر اصلی سطوح شوری و گونه‌های قارچی و اثرات متقابل آنها بر مقدار و غلظت عناصر در ریشه.

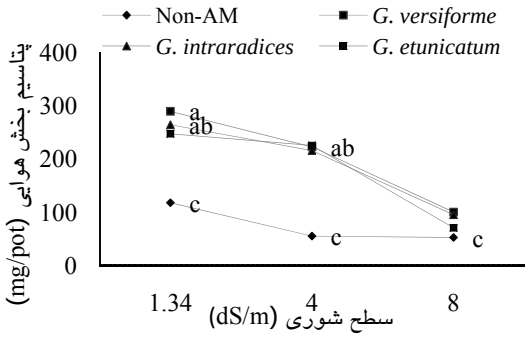
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		فسفر	پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم	کلراید
سطوح شوری	۲	۲۶۱/۲۶۴ **	۹۰۶۸/۲۸۹**	۴۴۶۲/۰۵۴**	۱۲۸۳/۸۰۸**	۴۳/۵۹۷**	۷۲۶/۷۱۸ **
قارچ	۳	۱۵۷/۷۰۹**	۳۷۱۶/۹۰۹**	۵۸۰/۷۰۷ **	۷۱۲/۹۷۱**	۲۶/۱۷۴**	۴۰/۴۱۸*
سطوح شوری × قارچ	۶	۴۲/۶۶۹ **	۱۰۰۱/۹۵۷**	۱۷۰/۱۴۰ **	۱۴۲/۴۴۲**	۵/۶۰۳**	۱۴/۱۹۹ ns
خطای آزمایشی	۳۴	۷/۹۲۷	۹۰/۳۵۵	۱۱/۹۸۹	۳۲/۶۳۴	۱/۰۴۹	۱۴/۴۳۳
ضریب تغییرات٪	-	۳۹/۵۱	۳۲/۷۷	۱۳/۸۲	۲۹/۱۱	۳۶/۳۶	۵۱/۳۵

ns، *، ** به‌ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

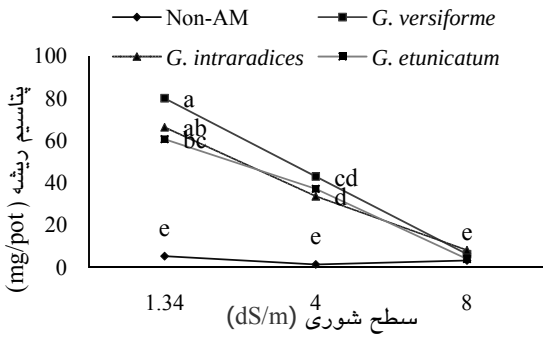
پتاسیم

با توجه به جداول ۲ و ۳، اثر اصلی شوری، قارچ و اثر متقابل شوری و قارچ بر مقدار پتاسیم ریشه و بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. بیشترین مقدار پتاسیم بخش هوایی و ریشه مربوط به تیمار قارچی Gv در سطح شوری شاهد می‌باشد و در شوری ۸ dS/m بین تیمارهای قارچی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل‌های ۶ و ۷). ممکن است هیف‌های قارچی که از سطح ریشه به طرف خاک

گسترش پیدا می‌کنند باعث افزایش سطح مورد نیاز برای جذب شوند و مقادیر بیشتری از پتاسیم مورد نیاز گیاه را از منطقه‌ی اطراف ریشه تخلیه کنند (اسچنیپف و همکاران ۲۰۱۱).



شکل ۶- اثر متقابل شوری و گونه های قارچی بر مقدار پتاسیم بخش هوایی.



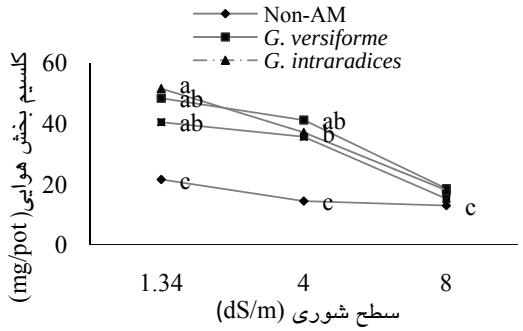
شکل ۷- اثر متقابل شوری و گونه های قارچی بر مقدار پتاسیم ریشه.

رابطه‌ی میکوریزی به گیاهان کمک می‌کند تا برای جذب پتاسیم رقابت کنند و تمایل بیشتری برای جذب پتاسیم تحت شرایط شوری القا می‌کند چینوسامی و همکاران ۲۰۰۵).

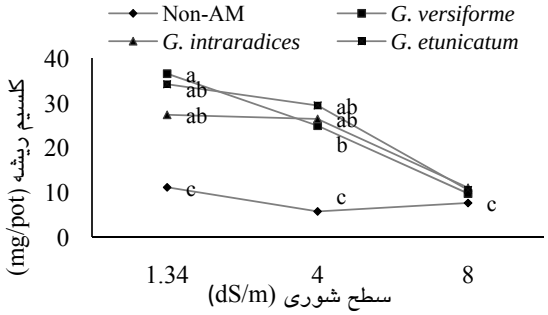
پتاسیم ریشه

کلسیم

با توجه به جداول ۲ و ۳، اثر اصلی شوری، قارچ و اثر متقابل شوری و قارچ بر مقدار کلسیم ریشه و بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش شوری مقدار کلسیم ریشه و بخش هوایی کاهش پیدا می‌کند. همچنین در دو سطح شوری ۱/۳۴ و ۴ dS/m برخلاف سطح شوری ۸ dS/m ، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای قارچی و تیمار شاهد قارچی وجود دارد (شکل‌های ۸ و ۹). افزایش غلظت سدیم در گیاه باعث برهم زدن تعادل کاتیونی می‌شود. همچنین این افزایش باعث کاهش میزان کلسیم، منیزیم و پتاسیم در گیاه می‌شود (میرمحمدی میبدی ۱۳۸۱). در مطالعات بسیاری اظهار شده است که قارچ میکوریز باعث افزایش معنی‌دار کلسیم گیاه می‌شود (سنترال و لیندرمن ۲۰۰۱). به نظر می‌رسد AMF تمامیت غشاء، جذب انتخابی یون و نقل و انتقال یون را که توسط شوری آسیب دیده است بهبود می‌بخشد.



شکل ۸- اثر متقابل شوری و گونه‌های قارچی بر مقدار کلسیم بخش هوایی.

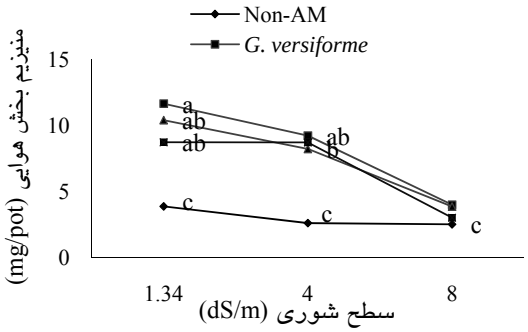


شکل ۹- اثر متقابل شوری و گونه‌های قارچی بر مقدار کلسیم ریشه.

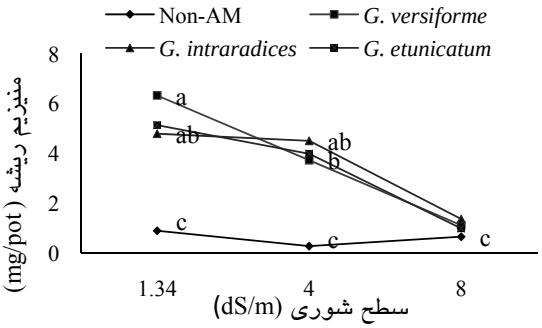
منیزیم

نتایج نشان داد که اثر اصلی شوری، قارچ میکوریز و اثر متقابل شوری و قارچ میکوریز بر مقدار منیزیم بخش هوایی و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول‌های ۲ و ۳). بررسی‌ها نشان داد که با افزایش شوری مقدار منیزیم بخش هوایی و

ریشه کاهش پیدا می‌کند و قارچ میکوریز باعث افزایش مقدار منیزیم شده است. بیشترین مقدار منیزیم مربوط به تیمار قارچی Gv در سطح شوری ۱/۳۴ dS/m می‌باشد و در سطح شوری ۸ dS/m بین تیمارهای قارچی اختلاف معنی‌داری و جود ندارد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). قارچ میکوریز با افزایش جذب منیزیم باعث بهبود رشد گیاه، فتوسنتز و افزایش غلظت کلروفیل می‌شود (گیری و همکاران ۲۰۰۳).



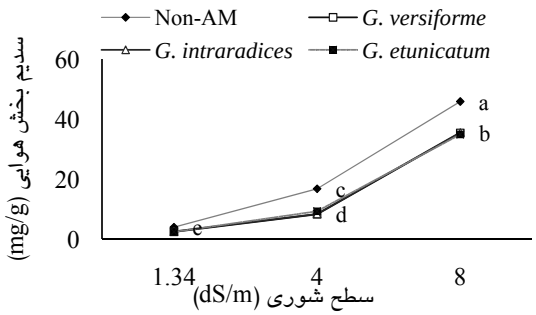
شکل ۱۰- اثر متقابل شوری و گونه‌های قارچی بر مقدار منیزیم بخش هوایی.



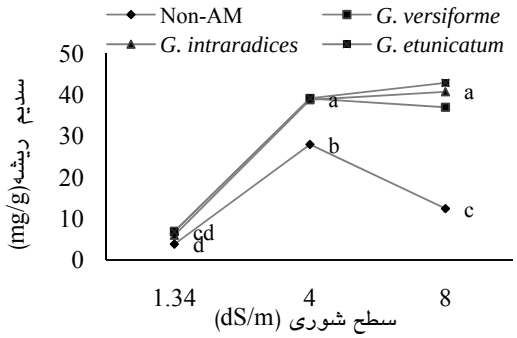
شکل ۱۱- اثر متقابل شوری و گونه‌های قارچی بر مقدار منیزیم ریشه.

سدیم

غلظت سدیم موجود در گیاه در بین تیمارهای مختلف تحت تنش شوری تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها دارد و قارچ‌های میکوریز در حضور تنش شوری غلظت سدیم بخش هوایی را به‌صورت معنی‌داری کاهش می‌دهند تا اثر منفی این عنصر را کاهش دهند. این در حالی است که غلظت سدیم ریشه در تنش شوری در هر سه گونه‌ی قارچی بیشتر از تیمار شاهد قارچی می‌باشد. به عبارتی دیگر قارچ میکوریز با تجمع سدیم در ریشه، انتقال آن را به بخش هوایی کاهش می‌دهد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). به نظر می‌رسد با افزایش غلظت سدیم خاک، تغییراتی در غشای سلولی (نظیر جایگزینی سدیم به جای کلسیم) ریشه‌ها ایجاد می‌گردد که سبب تغییر در نفوذپذیری غشای پلاسمایی می‌شود و غلظت سدیم در سلول‌های گیاهی افزایش می‌یابد.



شکل ۱۲- اثر متقابل شوری و گونه‌های قارچی بر مقدار سدیم بخش هوایی.

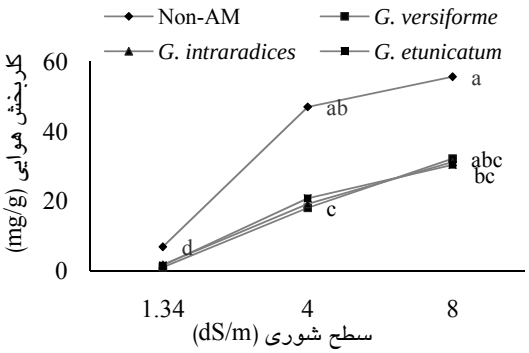


شکل ۱۳- اثر متقابل شوری و گونه‌های قارچی بر مقدار سدیم ریشه.

کلراید

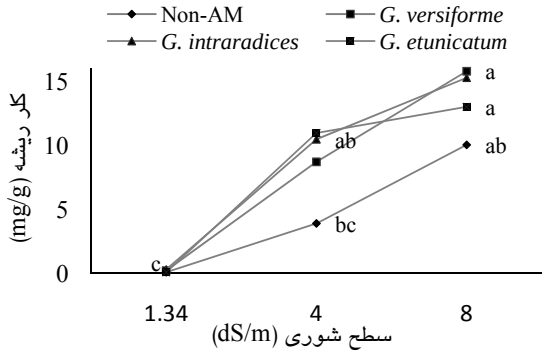
نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر شوری بر غلظت کلراید ریشه و بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. اما تأثیر قارچ میکوریز بر بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد و بر روی ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار می‌باشد. به عبارتی دیگر می‌توان مشاهده کرد که بین سطوح شوری و گونه‌های قارچ میکوریز اختلاف معنی‌داری وجود دارد. ولی بین دو فاکتور، اثر متقابل

معنی‌دار مشاهده نمی‌شود (جدول ۲ و ۳). با این وجود سه گونه‌ی قارچ میکوریز دارای غلظت کلراید کمتری نسبت به تیمار شاهد بدون قارچ در بخش هوایی هستند. این کاهش در دو سطح شوری ۴ و ۸ dS/m معنی‌دار است. در ریشه نیز افزایش غیرمعنی‌دار غلظت کلراید تیمارهای سه گونه‌ی قارچی نسبت به تیمار غیرمیکوریزی در حضور تنش شوری مشاهده می‌شود (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).



شکل ۱۴- اثر متقابل شوری و گونه‌های قارچی بر مقدار کلر بخش هوایی.

سلول‌های ریشه کلراید را از محلول خاک از طریق کانال‌های آنیونی تحت شرایط شوری جذب می‌کنند (هیخام و همکاران ۲۰۰۹). سنتریل و لیندرمن (۲۰۰۱) بیان می‌کنند که بهبود جذب فسفر به‌وسیله AMF در گیاهانی که در مناطق شور رشد یافته‌اند اثر منفی سدیم و کلراید را کاهش می‌دهد. فسفر باعث حفظ تمامیت غشاء واکوئل می‌شود و مانع تداخل یون‌های کلراید در مسیرهای متابولیک رشد می‌شود.



شکل ۱۵- اثر متقابل شوری و گونه‌های قارچی بر مقدار کلر ریشه.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که قارچ میکوریز آربوسکولار در حضور تنش شوری سبب بهبود رشد گیاه ذرت می‌شود و مقدار کلسیم، منیزیم، فسفر و پتاسیم ریشه و بخش هوایی را افزایش می‌دهد. این در حالی است که غلظت سدیم و کلراید بخش هوایی کاهش می‌یابد و بیشتر در ریشه تجمع می‌یابند. همچنین مشاهده شد که قارچ میکوریز خود نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد و در سطوح شوری بالا میزان کلنیزاسیون میکوریزی گیاه کم می‌شود.

منابع مورد استفاده

ترابی م و عنابی میلانی ا، ۱۳۸۵. چگونگی استفاده از آبهای شور در آبیاری و مدیریت شوری. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. تبریز.

توسلی ع و علی اصغرزاد ن، ۱۳۸۸. اثر قارچهای میکوریز آربوسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد پیاز در یک خاک شور در شرایط مزرعه‌ای. مجله دانش آب و خاک، جلد ۱۹، شماره ۱. صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۵۸.

علی اصغرزاد ن، ۱۳۷۶. میکروبیولوژی و بیوشیمی خاک (ترجمه). انتشارات دانشگاه تبریز.

کافی م دابلیو و و استوارت د ا، ۱۳۷۷. اثرات شوری در رشد و عملکرد نه رقم گندم. مجله علوم و صنایع کشاورزی، جلد یک، شماره ۱۲. صفحه‌های ۷۷ تا ۸۶.

میرمحمدی میبدی س ع و قره یاضی ب، ۱۳۸۱. جنبه های فیزیولوژیک و به‌نژادی تنش شوری گیاهان، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

Aliasgharzadeh N, Saleh Rastin N, Towfighi H and Alizadeh A, 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz Plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. Mycorrhiza 11:119–122.

Al-Karaki GN and Clark RB, 1998. Gowth, mineral acquisition and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. Journal of Plant Nutrition 21:263–276.

Awad AS, Edward DG and Campbell LC, 1990. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. Crop Science 30:123-128.

Bago B, Azcon-Aguilar C, Goulet A, and Piche Y. 1998. Branched absorbing of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytologist 139:382-388.

Bheemareddy VS, and Lakshman HC, 2011. Effeect of salt and acid stress on *Triticum aestivum* inoculated with *Glomus fasciculatum.* Journal of Agicultural Technology 7:945-956.

Cantrell IC and Linderman RG, 2001. Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. Plant and Soil 233:269–281.

Chinnusamy V, Jagendorf A and Zhu J-K, 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. Crop Science 45:437–448.

Cicek N and Cakirlar H, 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. Journal of Plant Physiology 28:66-74.

Cottenie A, 1980. Soil and Plant Testing. FAO Soils Bulletin 38: 94-100.

Creus CM, Sueldo RJ and Barassi CA, 1998. Water relations in *Azospirillum* inoculated wheat seedlings under osmotic stress. Canadian Journal of Botany 76:238–244.

Del Val C, Barea JM, and Azcon-Agular C. 1999. Divisity of arbuscular mycorrhizal fungus populations in heavy-metal-contaminated soils. Environmental Microbiology Journal 65:718-723.

Fortmeier R and Schubert S, 1995. Salt tolerance of maize (*Zea mays* L.): the role of sodium exclusion. Plant Cell and Environment 18:1041-1047.

Giri B and Mukerji KG, 2004. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania gandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. Mycorrhiza 14: 307–312.

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

Giri B, Kapoor R, and Mukerji KG, 2007. Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum*, may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. Microbial Ecology 54:753–760.

Grattan SR, and CM, Grieve. 1992. Mineral nutrient acquisition and response by plant growth in saline environment. Agriculture, Ecosystem Environment 38:275-300.

Heikham E, Kapoor R and Giri B, 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. Annals of Botany 104:1263–1280.

Hoffman GJ, Mass EV, Prichard TL and Meyer JL, 1983. Salt tolerance of corn in the Sacramento-San Joaquin Delta of California. Irrigation Science 4:31 –44.

Jahromi F, Aroca R, Porcel R, and Ruiz-Lozano JM, 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.

Juniper S and Abbott LK 2006, Soil salinity delays germination and limits gowth of hyphae from propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. Mycorrhiza 16:371–379.

Kormanic PP, and Gaw Mc. 1982. Quantification of VA mycorrhizae in plant roots. P. 37-45. In: Schenck NC (eds). Methods and Principles of Mycorrhizal Research. American Phytopathological Society, Saint Paul Minnesota.

Maas EV and Hoffman GJ, 1977. Crop salt tolerance - current assessment. Journal Irrigation and Drainage Engineering 103: 115-134.

Peng j, Li Y, Shi P, Chen X, Lin H and Zhao B, 2011. The differential behavior of arbuscular mycorrhizal fungi in interaction with *Astragalus sinicus* L. under salt stress. Mycorrhiza 21:27–33.

Schenck N.C and Perez Y, 1988. Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi. 2nd Ed. Int, Culture Collection of VA Mycorrhizal Fungi. Gainesville, Fla.

Schnepf A, Jones D and Roose T, 2011. Modelling nutrient uptake by individual hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi: temporal and spatial scales for an experimental design. Bull. Mathematical Biology 73: 2175-2200.

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

Van der Heijden MGA, Klironomos JN, Ursic M, Moutoglis P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A and Sander IR, 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. Nature 396: 69-72.