تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲ (ص ۳۲۰-۳۱۱)

تأثیر تلقیح قارچ میکوریزا (*Glomus spp.*) بر رشد و جذب عناصر غذایی گندم در شرایط شور

سمانه حبیبی[1]*، معصومه فرزانه[2]، موسی مسکرباشی[3]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. استادیار گروه زراعت- فیزیولوژی علف‌های هرز دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. دانشیار گروه زراعت دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۳ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۹/۶)

چکیده

قارچ میکوریزا با جذب انتخابی عناصر به‌مثابهٔ بهبوددهندهٔ زیستی از تنش و شدت شوری بر تولید محصول می‌کاهد. به‌منظور بررسی تأثیر قارچ میکوریزا آربوسکولار بر رشد و جذب عناصر غذایی در گیاهان گندم تحت تنش شوری آزمایشی گلدانی در فضای مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش‌شده عبارت بودند از فاکتور اول شامل شوری آب در چهار سطح آب تصفیه ($EC \leq 1$ dS m^{-1})، آب شهری (EC=۱/۷-۳ dS m^{-1})، آب شهری همراه نمک NaCl، و آب تصفیه همراه نمک NaCl (EC=۸ dS m^{-1})، فاکتور دوم استریلیزاسیون خاک شامل خاک استریل و خاک غیر استریل، و فاکتور سوم کاربرد قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار شامل سه گونهٔ Glomus mosseae و G. intraradices و G. geosporum مخلوط سه گونه قارچ (تیمار ترکیبی) و شاهد (عاری از قارچ). وزن خشک اندام هوایی و ریشه، غلظت پتاسیم و سدیم اندام هوایی، و فسفر و نیتروژن دانه در مرحلهٔ رسیدگی اندازه‌گیری شد و پاسخ رشد میکوریزایی (MGR) و فسفر میکوریزایی (MPR) نیز محاسبه گردید. نتایج نشان داد اعمال شوری وزن اندام هوایی و ریشه غلظت پتاسیم و فسفر را کاهش و غلظت سدیم را افزایش می‌دهد. تیمارهای شامل قارچ‌های بومی خاک (خاک غیر استریل) به‌طور معنادار وزن خشک اندام هوایی و میزان پتاسیم و فسفر و نیتروژن بیشتری و MGR و MPR کمتری نسبت به تیمار خاک استریل داشتند. در خاک استریل اختلافی در MPR بین سطوح شوری دیده نشد؛ ولی MPR گیاه در خاک غیر استریل با اعمال شوری افزایش یافت. تلقیح قارچ میکوریزا، علاوه بر افزایش وزن خشک اندام هوایی و MGR و MPR، سبب بهبود جذب یونی از طریق افزایش جذب پتاسیم و فسفر و کاهش سدیم گردید. افزایش معنادار وزن خشک اندام هوایی و جذب بیشتر عناصر پتاسیم و فسفر و ممانعت از جذب سدیم در تیمار ترکیبی نسبت به شاهد به برتری آن در این صفات نسبت به کاربرد جداگانهٔ گونه‌های قارچی منجر نگردید. برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا نشان داد اختلافات وزن خشک اندام هوایی و MGR و غلظت پتاسیم و سدیم میان تیمارهای قارچی بیشتر در سطوح بالای شوری (آب تصفیه به همراه نمک و آب شهری به همراه نمک) معنادار است. همبستگی مثبت و معناداری بین وزن خشک اندام هوایی و ریشه با میزان پتاسیم و فسفر گیاه و کاهش غلظت سدیم وجود داشت.

کلیدواژگان: استریلیزاسیون خاک، پاسخ میکوریزایی، فسفر، قارچ‌های بومی، نسبت پتاسیم به سدیم.

مقدمه

افزایش شوری آب یا خاک در بسیاری از نقاط جهان، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، تأثیر نامطلوبی بر رشد و عملکرد گیاه دارد (Evelin *et al.,* 2009). عدم تعادل یونی به‌واسطهٔ تنش شوری موضوع شناخته‌شده‌ای است که بر فراهمی عناصر، رقابت در جذب، و انتقال یا تسهیم در گیاه نقش دارد (Gratten and Gieve, 1993) و رشد، فتوسنتز، متابولیسم لیپیدها، و پروتئین‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Evelin *et al.,* 2009).

قارچ‌های میکوریزا با جلوگیری از جذب سدیم و کلر یا انتقال کمتر آن‌ها به اندام هوایی به‌مثابهٔ بهبوددهندهٔ زیستی در خاک‌های شور عمل می‌کنند (AL-Karaki, 2006). مکانیسم‌های انتخابی قارچ میکوریزا برای جذب یون‌ها از طریق بهبود جذب عناصر غذایی (Hammer *et al.,* 2011)، ایجاد تعادل یونی (Giri *et al.,* 2007)، و بهبود جذب آب (Auge´, 2004) فتوسنتز گیاه را بهبود می‌بخشند (AL-Karaki, 2006) و تحمل گیاه را در برابر شوری افزایش می‌دهند. ولی تأثیر گونه‌های مختلف میکوریزا بر رشد و عملکرد و جذب عناصر متفاوت از یکدیگرند (Scheublin *et al.,* 2004). با افزایش

*نویسنده مسئول: samanehabibi84@gmail.com

شوری، تغییرات کارایی قارچ میکوریزا نیز، بسته به گونه‌های قارچ و میزان شوری، متفاوت می‌شود (Miransari and Smith, 2007). پاسخ گیاه به میکوریزا معادل کارایی یک قارچ در بهبود وضعیت رشدی و جذب عناصر گیاه است. از این رو، راه اصلی اندازه‌گیری کارایی قارچ تعیین پاسخ رشد میزبان است (Janos, 2007) که با اصطلاح پاسخ رشد میکوریزایی[1] (MGR) معرفی می‌شود (Hertick *et al.*, 1993). پاسخ میکوریزایی مستقیماً با سرعت رشد میزبان و تقاضای فسفر ارتباط دارد (Koide, 1991). اهداف این تحقیق مطالعهٔ کارایی همزیستی میکوریزایی در کاهش تنش شوری بر گندم و انتخاب قارچ‌های میکوریزای کاراتر تحت شرایط شوری است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلدانی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۰ـ۱۳۹۱ در فضای مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌اجرا درآمد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت در جدول ۱ می‌آید. فاکتورهای بررسی‌شده شامل فاکتور اول (اصلی) سطوح شوری در ۴ سطح، شامل آبیاری با آب تصفیه ($EC \leq ۱$ dS m^{-1}) و آب شهری ($EC = ۱/۷- ۳$ dS m^{-1}) و آب شهری همراه نمک و آب تصفیه همراه نمک ($EC = ۸$ dS m^{-1})، بود با نمک NaCl (مرک)، فاکتور دوم استریلیزاسیون خاک، شامل خاک استریل و خاک غیر استریل، و فاکتور سوم کاربرد قارچ میکوریزا، شامل سه گونهٔ Glomus mosseae و G. intraradices و G. geosporum مخلوط سه گونهٔ قارچ (تیمار ترکیبی) و شاهد (عاری از قارچ)، بود. ترکیبات عامل دوم و سوم به‌صورت فاکتوریل در سطوح فاکتور اصلی ایجاد شدند. خصوصیات شیمیایی آب آبیاری در جدول ۲ می‌آید. خاک استفاده‌شده (به نسبت ۳ سهم ماسه و ۱ سهم خاک) برای اعمال تیمارهای خاک استریل، قبل از پرشدن گلدان‌های ۵ کیلوگرمی، در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت استریل شد. زادمایهٔ قارچی، شامل اسپور و ریسهٔ قارچ و قطعات ریشهٔ کلونیزه در بستر شنی، به میزان ۳۰ گرم در گلدان با خاک بستر بذر مخلوط گردید (تهیه‌شده از زیست فناور توران). برای تیمار ترکیبی مخلوطی ۳۰ گرمی از هر سه گونه قارچ به نسبت‌های مساوی بررسی شد. به‌منظور یکسان‌سازی بین تیمارهای محتوی قارچ و شاهد، ۳۰ گرم از مخلوط مادهٔ تلقیح هر سه گونهٔ قارچ، پس از استریل در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد، به گلدان‌های تیمار شاهد (عاری از قارچ) اضافه گردید. بذرهای گندم (رقم چمران) ضد عفونی شد و با هیپوکلریت سدیم ۱ درصد با لایه‌ای از شن و خاک پوشانده شد (زمان کشت اوایل آذر). برای جلوگیری از واردآمدن شوک به گیاه، تیمار شوری به‌صورت پلکانی (اولین آبیاری با $EC = ۴$ dS m^{-1}) پس از استقرار کامل گیاهچه و قبل از شروع پنجه‌زنی هم‌زمان با هر بار آبیاری اعمال شد و تا زمان رسیدگی کامل دانه (اواسط اردیبهشت) ادامه یافت. طی این دوره، شوری آب ورودی و خروجی به هر گلدان با دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی Multi Parameter PCTester 35 کنترل گردید. به‌منظور تعیین وزن خشک ریشه و اندام هوایی و نیز فسفر و نیتروژن دانه و سدیم و پتاسیم اندام هوایی نمونه‌های گیاه در مرحلهٔ رسیدگی کامل برداشت شد. فسفر دانه به‌روش رنگ‌سنجی حاصل از وانادومولیبدات و نیتروژن دانه به‌روش کلدال و سدیم و پتاسیم به‌روش نشر شعله‌ای به‌وسیلهٔ دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد. بعد از اطمینان از ایجاد همزیستی بین گیاه و تیمارهای قارچی با مشاهدهٔ ریشه‌های کلونیزه‌شده به‌روش Philips and Hayman (1970) محاسبات آماری به‌وسیلهٔ نرم‌افزار آماری SAS و مقایسهٔ میانگین‌ها به کمک آزمون LSD صورت گرفت. پاسخ رشد میکوریزایی (MGR) (Hetrick *et al.*, 1993) و پاسخ فسفر میکوریزایی (MPR) (Li *et al.*, 2008) طبق رابطه های ۱ و ۲ محاسبه شد.

(رابطه ۱)

$$\text{پاسخ رشد میکوریزایی} = \frac{\text{وزن خشک گیاه غیر میکوریزایی} - \text{وزن خشک گیاه میکوریزایی}}{\text{وزن خشک گیاه غیر میکوریزایی}} \times ۱۰۰$$

(رابطه ۲)

$$\text{پاسخ فسفر میکوریزایی} = \frac{\text{فسفر گیاه غیر میکوریزایی} - \text{فسفر گیاه میکوریزایی}}{\text{فسفر گیاه غیر میکوریزایی}} \times ۱۰$$

1. Mycorrhizal Growth Response

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری محل آزمایش قبل از مخلوط‌شدن با ماسه

بافت خاک	هدایت الکتریکی	pH	نیتروژن کل	فسفر قابل دسترس	پتاسیم	سدیم	مواد آلی
	دسی‌زیمنس بر متر		درصد	میلی‌گرم بر کیلوگرم			درصد
لومی رسی	۵/۳۸	۷/۶	۰/۰۷۱	۱۳	۱۵۱	۱۶۵	۰/۵۵

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

آب آبیاری	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	پتاسیم	سدیم	کلر	سولفات	کلسیم	منیزیم
			(میلی‌گرم بر لیتر)					
آب تصفیه	۰/۵۰	۷/۳۲	۸/۱۵	۹/۱۲	۱۷/۷۵	۵/۰۴	۳/۲۰	۲/۱۰
آب شهری	۲	۸/۵۰	۱۱/۶۰	۳۴	۵۳/۲۵	۱۹/۲۰	۱۴/۳۱	۱۲/۷۵

یافته‌ها و بحث

رشد گیاه و پاسخ رشدی به قارچ میکوریزا (MGR)

نتایج آزمایش نشان داد شوری تأثیری معنادار (در سطح ۱٪) بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه و نسبت اندام هوایی به ریشه دارد (جدول ۳). اعمال شوری با آب تصفیه وزن خشک ریشه را کاهش داد؛ در حالی که کاهش وزن ریشه در تیمار آب شهری همراه نمک تفاوت معناداری با سطوح دیگر شوری نداشت. افزایش شوری در هر دو آب تصفیه و شهری از وزن خشک اندام هوایی و نسبت اندام هوایی به ریشه به‌شدت کاست (جدول ۴). افزایش شوری سطح جذب ریشه را کاهش داد و بر تجمع مادهٔ خشک در گیاه نیز تأثیر منفی گذاشت. کاهش وزن خشک بافت‌ها به‌دلیل افزایش هزینهٔ متابولیک و کاهش استفاده از کربن توسط گیاه برای تطابق با شوری است (Copeman *et al.*, 1996). با توجه به اثر معنادار استریلیزاسیون (در سطح ۱٪) بر وزن خشک اندام هوایی و MGR مشخص شد (جدول ۳) استریلیزاسیون خاک باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی می‌شود؛ ولی رشد گیاهان به‌سبب میکوریزایی‌شدن (MGR) در خاک استریل نسبت به غیر استریل به‌طور معناداری افزایش یافت (جدول ۴).

کاربرد قارچ میکوریزا موفقیت‌آمیز بود و میان تیمارهای قارچی به‌طور متوسط ۱۵ تا ۳۲ درصد کلونیزاسیون ریشه مشاهده شد. تلقیح با قارچ میکوریزا آثاری معنادار در سطح ۱ درصد بر وزن خشک اندام هوایی و نسبت اندام هوایی به ریشه و MGR داشت (جدول ۳). وزن خشک اندام هوایی و MGR با همهٔ تیمارهای قارچی به‌طور معنادار نسبت به شاهد (عدم تلقیح قارچ) بیشتر شد. G. mosseae و G. geosporum بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند که سبب افزایش معنادار نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه در این دو تیمار قارچی نیز گردید (جدول ۴).

جدول تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد (جدول ۳) برهمکنش شوری و استریلیزاسیون خاک بر وزن خشک اندام هوایی و نسبت اندام هوایی به ریشه در سطح ۱ درصد معنادار است. به این صورت که به جز در آب تصفیه در دیگر تیمارهای شوری همواره خاک‌های غیر استریل مقادیر بالاتری نسبت به خاک استریل به خود اختصاص دادند. MGR نیز در سطح ۵ درصد تحت تأثیر برهمکنش شوری و استریلیزاسیون خاک قرار گرفت و نشان داد گیاه برای بهبود رشد در خاک استریل وابستگی بیشتری به قارچ میکوریزا نسبت به خاک غیر استریل دارد که البته این وابستگی در سطوح آب شهری و آب شهری همراه نمک معنادار گردید (جدول ۵).

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس میانگین مربعات وزن خشک اندام هوایی، ریشه، پاسخ رشد میکوریزایی، غلظت عناصر غذایی، و پاسخ فسفر میکوریزایی گندم میکوریزایی در دو خاک استریل و غیر استریل در شرایط شور

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	نسبت اندام هوایی به ریشه	پاسخ رشد میکوریزایی	غلظت سدیم	غلظت پتاسیم	پتاسیم به سدیم	غلظت نیتروژن	غلظت فسفر	پاسخ فسفر میکوریزایی
بلوک	۲	۷/۷۳	۱/۸۹	۰/۲۱	۱۵۹/۳	۲۵۳/۵۵	۸/۴۱	۷/۵۱	۳۵/۶۸	۰/۰۶	۱۳۵
شوری	۳	۲۸۵۳/۴۲ **	۱۲۴/۶۱ **	۳/۰۳ **	۹۲۱/۳۷ n.s	۱۹۶۴۹/۷۱ **	۳۰۵۱/۶۸ **	۸۳۱/۱۸ **	۷/۵۶ n.s	۲/۹۸ **	۸۷۴/۷۱ n.s
خطای اصلی	۶	۶/۶۳	۹/۶۹	۰/۱۸	۳۷۹/۷۴	۸۳/۸۴	۶/۹۱	۷/۸۹	۱۳/۵۵	۰/۱۳	۱۱۲۶/۷۱
استریلیزاسیون خاک	۱	۵۱/۱۹ **	۰/۵۶ n.s	۰/۳ n.s	۱۱۸۵/۹۱ **	۶۹/۸۲ n.s	۵۱/۱۹ **	۱۰/۵۴ n.s	۷۳/۰۳ **	۱/۱۹ **	۱۲۴۱/۴۴ **
میکوریزا	۴	۱۹۱/۷۳ **	۱/۱۲ n.s	۰/۷۹ **	۱۵۷۲/۷۰ **	۲۷۶۶/۳۶ **	۱۹۱/۷۳ **	۴۰/۸۷ **	۶/۶۶ n.s	۰/۵۹ **	۱۱۰۲/۲۱ **
شوری × استریلیزاسیون	۳	۹/۸۳ **	۱۴/۱۹ n.s	۰/۶۴ **	۱۳۸/۹۴ *	۵۲/۷۶ n.s	۹/۸۳*	۳/۹۵ n.s	۷/۱۷ n.s	۰/۱۵ n.s	۸۷۷/۵۴ **
شوری × میکوریزا	۱۲	۶/۲۴ **	۷/۸۴ n.s	۰/۱۹ n.s	۱۰۸/۷۶ **	۴۲۸/۳۴ **	۶/۲۴ **	۱۰/۸۲ **	۴/۳۰ n.s	۰/۰۸ n.s	۱۴۷/۹۷ n.s
استریلیزاسیون × میکوریزا	۴	۱۹/۲۷ **	۳/۷۸ n.s	۰/۲۱ n.s	۱۶۳/۸۷ **	۵۴/۵۸ n.s	۱۹/۲۷ **	۲/۲۳ n.s	۵/۵۵ n.s	۰/۲۵ n.s	۳۵۶/۷۴ n.s
شوری × استریلیزاسیون × میکوریزا	۱۲	۳/۱۹ n.s	۶/۰۶ n.s	۰/۱۷ n.s	۲۶/۸۲ n.s	۱۰۲/۸۴ n.s	۳/۱۹ n.s	۴/۸۶ n.s	۳/۴۵ n.s	۰/۱ n.s	۱۲۶/۹۶ n.s
خطای فرعی	۷۲	۳/۳۹	۴/۹۱	۰/۱۴	۳۴/۹۱	۵۸/۶۸	۳/۴۰	۴/۲۱	۴/۸۱	۰/۱۳	۲۲۸/۶۲

** و * به‌ترتیب معنادار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns غیر معنادار

جدول ۴. مقایسهٔ آثار اصلی تیمارهای شوری، استریلیزاسیون خاک، و قارچ میکوریزا بر صفات اندازه‌گیری‌شده

تیمارها	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	نسبت اندام هوایی به ریشه	پاسخ رشد میکوریزایی	غلظت سدیم	غلظت پتاسیم	پتاسیم به سدیم	غلظت نیتروژن	غلظت فسفر	پاسخ فسفر میکوریزایی
	گرم در گلدان			درصد	میلی‌گرم بر گرم وزن خشک			میلی‌گرم بر گرم دانه		درصد
آب تصفیه	۵۱٫۳۶ a	۱۹٫۱۲ a	۲٫۷۳ a	۶٫۷۹ a	۹٫۱۴ c	۸۳٫۴۸ a	۱۲٫۳۳ a	۲۶٫۳۵ a	۳٫۱۳ a	۳٫۶۱ a
آب شهری	۵۰٫۸۳ a	۱۸٫۷۱ a	۲٫۷۹ a	۹٫۰۹ a	۱۱٫۸۷ c	۸۱٫۸۳ a	۷٫۹۸ b	۲۶٫۶۰ a	۳٫۱۵ a	۷٫۳۴ a
آب شهری همراه نمک	۳۷٫۶۱ b	۱۷٫۳۴ ab	۲٫۲۰ b	۱۷٫۸۸ a	۴۲٫۸۱ b	۶۸٫۶۱ b	۲٫۱۰ c	۲۷٫۵۲ a	۲٫۹۷ a	۱۰٫۱۸ a
آب تصفیه همراه نمک	۳۱٫۸۱ c	۱۴٫۶۱ b	۲٫۲۲ b	۱۶٫۸۷ a	۶۲٫۳۵ a	۶۲٫۸۱ c	۱٫۱۱	۲۶٫۷۵ a	۲٫۴۷ b	۱۶٫۴۱ a
استریل	۴۲٫۲۵ b	۱۷٫۵۱ a	۲٫۴۳ a	۱۵٫۶۰ a	۳۰٫۷۸a	۷۳٫۵۳ b	۶٫۱۷ a	۲۶٫۰۳ b	۲٫۸۳ b	۱۲٫۶۰ a
غیر استریل	۴۳٫۵۶ a	۱۷٫۳۸ a	۲٫۵۴ a	۹٫۵۱ b	۳۲٫۳۱ a	۷۴٫۸۴ a	۵٫۵۸ a	۲۷٫۵۹ a	۳٫۰۳ a	۶٫۱۷ b
Glomus mosseae	۴۵٫۳۲ a	۱۷٫۳۰ a	۲٫۶۳ a	۱۹٫۸۶ a	۲۷٫۲۹ c	۷۶٫۶۰ a	۶٫۵۲ a	۲۶٫۰۷ a	۳٫۰۳ a	۱۴٫۰۶ a
Glomus intraradices	۴۲٫۷۶ b	۱۷٫۷۷ a	۲٫۴۴ ab	۱۲٫۲۴ b	۳۶٫۶۵ b	۷۴٫۰۴ b	۵٫۵۴ a	۲۶٫۶۸ a	۲٫۸۰ ab	۴٫۴۸ ab
Glomus geosporum	۴۵٫۳۰ a	۱۷٫۲۰ a	۲٫۶۷ a	۱۹٫۶۳ a	۲۳٫۷۴ c	۷۶٫۵۸ a	۷٫۰۷ a	۲۶٫۷۱ a	۳٫۰۷ a	۱۵٫۴۸ a
ترکیب سه گونه قارچ	۴۲٫۷۴ b	۱۷٫۵۰ a	۲٫۴۷ ab	۱۱٫۵۶ b	۲۲٫۱۳ c	۷۴٫۰۲ b	۶٫۴۹ a	۲۷٫۵۰ a	۳٫۰۲ a	۱۲٫۹۱ a
شاهد	۳۸٫۴۰ c	۱۷٫۴۶ a	۲٫۲۱ b	۰ b	۴۷٫۹۰ a	۶۹٫۶۸ c	۳٫۷۶ b	۲۷٫۰۷ a	۲٫۷۲ b	۰ b

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۱ درصد تفاوت معنادار با یکدیگر ندارند.

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین وزن خشک اندام هوایی، نسبت اندام هوایی به ریشه، پاسخ رشد میکوریزایی، غلظت پتاسیم، و پاسخ فسفر میکوریزایی گندم میکوریزایی در دو خاک استریل و غیر استریل در شرایط شور

سطوح شوری	استریلیزاسیون خاک	وزن خشک اندام هوایی	اندام هوایی به ریشه	پاسخ رشد میکوریزایی	غلظت پتاسیم	پاسخ فسفر میکوریزایی
		گرم در گلدان		درصد	میلی‌گرم بر گرم وزن خشک	درصد
آب تصفیه	استریل	۵۱٫۵۶ a	۲٫۸۸ a	۸٫۶۲ de	۸۳٫۶۸ a	۹٫۴۷ a-c
آب تصفیه	غیر استریل	۵۱٫۱۶ ab	۲٫۵۸ ab	۴٫۹۶ e	۸۳٫۲۸ a	-۲٫۲۴ d
آب شهری	استریل	۴۹٫۹۳ b	۲٫۷۶ ab	۱۳٫۱۲ c	۸۰٫۹۳ b	۱۵٫۴۳ ab
آب شهری	غیر استریل	۵۱٫۷۳ a	۲٫۸۱ ab	۵٫۰۶ e	۸۲٫۷۳ a	-۰٫۷۵ cd
آب شهری همراه نمک	استریل	۳۶٫۵۷ d	۲٫۰۳ d	۲۳٫۶۱ a	۶۷٫۵۷ d	۱۹٫۶۷ a
آب شهری همراه نمک	غیر استریل	۳۸٫۶۶ c	۲٫۳۷ c	۱۲٫۱۴ cd	۶۹٫۶۶ c	۱۳٫۱۵ ab
آب تصفیه همراه نمک	استریل	۳۰٫۹۵ f	۲٫۰۷ d	۱۷٫۸۵ b	۶۱٫۹۵ f	۵٫۸۵ b-d
آب تصفیه همراه نمک	غیر استریل	۳۲٫۶۸ e	۲٫۳۷ c	۱۵٫۸۹ bc	۶۳٫۶۸ e	۱۴٫۵۲ ab

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۱ و ۵ درصد تفاوت معنادار با یکدیگر ندارند.

مقایسهٔ میانگین‌های برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا و همچنین استریلیزاسیون و قارچ میکوریزا بر وزن خشک اندام هوایی و MGR در سطح ۱ درصد معنادار بودند (جدول ۳) و تفاوت معنادار وزن خشک اندام هوایی و MGR میان تیمارهای قارچی عمدتاً در سطوح بالای شوری (آب تصفیه همراه و آب شهری همراه نمک) دیده شد. در این سطوح شوری G. mosseae و G. geosporum در مقایسه با G. intraradices و تیمار ترکیبی وزن خشک اندام هوایی و MGR بالاتری داشتند. البته همهٔ تیمارهای قارچی در همهٔ سطوح شوری (به جز G. intraradices در آب تصفیه) تفاوتی معنادار نسبت به شاهد نشان دادند (جدول ۶). دیگر محققان نیز به افزایش وابستگی میکوریزایی با افزایش شوری اشاره کرده‌اند (Giri and Mukerji,

2004). این افزایش در ایزوله‌های قارچی مختلف و گونه‌های گیاهی متفاوت است (Tain *et al.*, 2004; Evelin *et al.*, 2009). برهمکنش استریلیزاسیون خاک و قارچ میکوریزا نشان داد افزایش وزن خشک اندام هوایی در خاک‌های غیر استریل فقط به‌دلیل بهبود وزن خشک در تیمار ترکیبی یا شاهد است. این ممکن است به‌دلیل وجود قارچ‌های بومی در خاک باشد. وزن خشک اندام هوایی گیاهان تلقیح‌شده با هر گونهٔ قارچ میکوریزا تفاوت معناداری در دو سطح استریلیزاسیون نداشت. با استریلیزاسیون و در غیاب قارچ‌های بومی خاک، وابستگی رشدی گیاه به گونه‌های قارچی تلقیحی (MGR) افزایش یافت (جدول ۷).

جدول ۶. مقایسهٔ میانگین وزن خشک اندام هوایی، پاسخ رشد میکوریزایی، و غلظت برخی عناصر غذایی گندم میکوریزایی در شرایط شور

شوری	میکوریزا	وزن خشک اندام هوایی	پاسخ رشد میکوریزایی	غلظت سدیم	غلظت پتاسیم	پتاسیم به سدیم
		گرم در گلدان	درصد	میلی‌گرم بر گرم وزن خشک		
آب تصفیه	G. mosseae	۵۳٫۳۶ a	۱۰٫۹۱ cd	۷٫۰۶ i	۸۵٫۴۸ ab	۱۲٫۸۲ b
آب تصفیه	G. intraradices	۴۹٫۶۰ cd	۳٫۱۱ ef	۷٫۵۱ i	۸۱٫۷۱ de	۱۱٫۵۸ b-d
آب تصفیه	G. geosporum	۵۳٫۴۵ a	۱۱٫۲۹ cd	۵٫۹۶ i	۸۵٫۵۷ a	۱۵٫۴۲ a
آب تصفیه	ترکیب سه گونه قارچ	۵۲٫۲۷ ab	۸٫۶۵ d	۷٫۲۳ i	۸۴٫۳۸ a-c	۱۲٫۰۲ bc
آب تصفیه	شاهد	۴۸٫۱۳ de	۰ f	۱۷٫۹۴ gh	۸۰٫۲۵ e	۹٫۸۱ c-e
آب شهری	G. mosseae	۵۲٫۴۴ ab	۱۲٫۶۴ b-d	۸٫۵۸ i	۸۳٫۴۴ b-d	۹٫۹۵ c-e
آب شهری	G. intraradices	۵۲٫۱۹ ab	۱۱٫۷۰ cd	۹٫۹۸ hi	۸۳٫۱۹ cd	۸٫۴۸ e
آب شهری	G. geosporum	۵۲٫۶۴ ab	۱۲٫۶۴ b-d	۹٫۰۶ i	۸۳٫۶۴ a-d	۹٫۳۷ de
آب شهری	ترکیب سه گونه قارچ	۵۰٫۷۶ bc	۸٫۴۷ de	۹٫۹۷ hi	۸۱٫۷۶ de	۸٫۵۰ e
آب شهری	شاهد	۴۶٫۱۱ e	۰ f	۲۱٫۷۸ g	۷۷٫۱۱ f	۳٫۵۸ fg
آب شهری همراه نمک	G. mosseae	۴۰٫۷۹ f	۲۸٫۳۳ a	۳۶٫۶۲ ef	۷۱٫۷۹ g	۲٫۲۳ fg
آب شهری همراه نمک	G. intraradices	۳۷٫۹۵ g	۱۸٫۹۶ b	۵۶٫۸۴ c	۶۸٫۹۵ h	۱٫۲۲ g
آب شهری همراه نمک	G. geosporum	۴۰٫۲۶ f	۲۶٫۲۶ a	۳۲٫۹۰ f	۷۱٫۲۶ g	۱٫۹۷ fg
آب شهری همراه نمک	ترکیب سه گونه قارچ	۳۷٫۰۳ g	۱۵٫۸۴ bc	۲۳٫۵۸ g	۶۸٫۰۲ h	۴٫۰۹ f
آب شهری همراه نمک	شاهد	۳۲٫۰۵ i	۰ f	۶۴٫۰۸ bc	۶۳٫۰۵ j	۱ h
آب تصفیه همراه نمک	*G. mosseae*	۳۴٫۶۸ h	۲۷٫۵۵ a	۶۰٫۶۲ c	۶۵٫۶۸ i	۱٫۰۹ h
آب تصفیه همراه نمک	*G. intraradices*	۳۱٫۳۲ i	۱۵٫۲۱ bc	۷۲٫۲۵ b	۶۲٫۳۲ j	۰٫۸۶ h
آب تصفیه همراه نمک	*G. geosporum*	۳۴٫۸۷ h	۲۸٫۳۴ a	۴۳٫۳۴ de	۶۵٫۸۷ i	۱٫۵۴ g
آب تصفیه همراه نمک	ترکیب سه گونه قارچ	۳۰٫۹۰ i	۱۳٫۲۶b-d	۴۷٫۷۶ d	۶۱٫۹۰ j	۱٫۳۶ g
آب تصفیه همراه نمک	شاهد	۲۷٫۳۰ j	۰ f	۸۷٫۸۱ a	۵۸٫۳۰ k	۰٫۶۶ h

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۱ درصد تفاوت معنادار با یکدیگر ندارند.

جدول ۷. مقایسهٔ میانگین وزن خشک اندام هوایی، پاسخ رشد میکوریزایی، و غلظت پتاسیم اندام هوایی گندم میکوریزایی در دو خاک استریل و غیر استریل

استریلیزاسیون خاک	میکوریزا	وزن خشک اندام هوایی	پاسخ رشد میکوریزایی	غلظت پتاسیم
		گرم در گلدان	درصد	میلی‌گرم بر گرم وزن خشک
استریل	mosseae.G	۴۵٫۷۵ a	۲۶٫۱۳ a	۷۷٫۰۳ a
استریل	intraradices.G	۴۲٫۲۴ c	۱۵٫۶۳ b	۷۳٫۵۲ de
استریل	geosporum.G	۴۵٫۱۸ ab	۲۴٫۶۱ a	۷۶٫۴۶ ab
استریل	ترکیب سه گونه قارچ	۴۱٫۵۳ cd	۱۲٫۶۴ b-d	۷۲٫۸۱ ef
استریل	شاهد	۳۶٫۵۵ e	۰ e	۶۷٫۸۳ g
غیر استریل	mosseae.G	۴۴٫۸۸ ab	۱۳٫۵۹ b-d	۷۶٫۱۶ ab
غیر استریل	intraradices.G	۴۳٫۲۸ bc	۸٫۸۶ d	۷۴٫۵۰ cd
غیر استریل	geosporum.*G*	۴۵٫۴۳ ab	۱۴٫۶۵ bc	۷۶٫۷۱ ab
غیر استریل	ترکیب سه گونه قارچ	۴۳٫۹۴ b	۱۰٫۴۷ cd	۷۵٫۲۲ bc
غیر استریل	شاهد	۴۰٫۲۴ d	۰ e	۷۱٫۵۲ f

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۱ درصد تفاوت معنادار با یکدیگر ندارند.

جذب عناصر غذایی

عناصر سدیم و پتاسیم در اندام هوایی

شوری تأثیری معنادار بر غلظت سدیم و پتاسیم و نسبت پتاسیم بر سدیم در اندام هوایی داشت (جدول ۳). با افزایش شوری، غلظت سدیم نیز افزایش یافت؛ ولی از غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم بر سدیم کاسته شد. غلظت سدیم و نسبت پتاسیم بر سدیم تحت تأثیر استریلیزاسیون خاک قرار نگرفت؛ ولی غلظت پتاسیم در خاک‌های غیر استریل بیشتر از خاک‌های استریل بود (در سطح ۱٪). نتایج تجزیهٔ واریانس در جدول ۳ نشان داد تأثیر کاربرد قارچ میکوریزا بر سدیم و پتاسیم و نسبت پتاسیم بر سدیم در سطح ۱ درصد معنادار است. اثر قارچ میکوریزا بر غلظت این دو عنصر در اندام هوایی معکوس بود؛ به‌طوری که کاهش قابل ملاحظه‌ای در غلظت سدیم و افزایش چشمگیری در غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در تیمارهای قارچی نسبت به شاهد حاصل گردید. البته تأثیر تیمارهای قارچی در این خصوص یکسان نبود. در میان گونه‌های قارچی گونه‌های G. mosseae و G. geosporum کمترین غلظت سدیم و بیشترین غلظت پتاسیم را به‌دست آوردند؛ در حالی که G. intraradices برعکس بیشترین غلظت سدیم و کمترین غلظت پتاسیم را حاصل کرد (جدول ۴). تلقیح گیاه گندم با گونه‌های قارچ میکوریزا نشان داد در شرایط تنش شوری گونهٔ G. intraradices تأثیری بر جذب سدیم توسط گیاه ندارد؛ ولی G. mosseae توانست غلظت سدیم را کاهش دهد، در حالی که تجمع پتاسیم و فسفر در گیاهان تلقیح‌شده با G. mosseae به‌مراتب نسبت به تیمارهای میکوریزایی‌شده با G. intraradices بیشتر بود (Daei *et al.*, 2009).

تأثیر قارچ میکوریزا بر نسبت پتاسیم به سدیم در سطح ۱ درصد معنادار بود و نشان داد نسبت پتاسیم به سدیم میان تیمارهای قارچی مشابه است؛ ولی نسبت به شاهد افزایش چشمگیری دارد (جدول ۴). توانایی گونه‌های قارچ میکوریزا در ممانعت از جذب سدیم را محققان دیگر نیز ثابت کرده‌اند (Mardukhi *et al.*, 2011). برهمکنش شوری و استریلیزاسیون خاک بر غلظت پتاسیم در سطح ۵ درصد تأثیر گذاشت؛ به‌گونه‌ای که به جز تیمار آب تصفیه در دیگر سطوح شوری تیمارهای غیر استریل همواره جذب پتاسیم بالاتری نسبت به خاک استریل داشتند (جدول ۵). غلظت سدیم و پتاسیم و نسبت پتاسیم بر سدیم در سطح ۱ درصد تحت تأثیر برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا قرار گرفت (جدول ۳). نتایج برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا بر غلظت سدیم در اندام هوایی مشخص کرد در تیمارهای آب تصفیه و آب شهری همهٔ تیمارهای قارچی به‌طور مشابه (گروه آماری یکسان) غلظت سدیم را نسبت به شاهد کاهش می‌دهند؛ ولی با اعمال شوری، چه در آب شهری و چه در آب تصفیه، تفاوتی معنادار بین تأثیر تیمارهای قارچی بر میزان سدیم پدیدار گشت. در هر دو سطح شوری مذکور بالاترین غلظت سدیم بعد از تیمار شاهد به G. intraradices و کمترین مقدار به تیمار ترکیبی و G. geosporum اختصاص یافت. گونهٔ G. mosseae با افزایش شوری پایداری کمتری در ممانعت از جذب سدیم نشان داد؛ ولی در آب شهری همراه نمک غلظت سدیم در تیمار با G. mosseae بدون تفاوت معنادار کمی بالاتر از G. geosporum قرار گرفت. در تیمار آب تصفیه همراه نمک، غلظت سدیم گیاهان تلقیح‌شده با G. mosseae نسبت به G. geosporum افزایشی معنادار یافت.

اساس تحمل بالاتر گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیر میکوریزایی در شرایط شوری را می‌توان به جلوگیری از جذب سدیم از خاک یا ذخیرهٔ سدیم در هیف‌های درون سلولی قارچ در ریشه نسبت داد که موجب کاهش ورود سدیم به اندام هوایی می‌شود (Hammer *et al.*, 2011) و نمایانگر توانایی قارچ در تنظیم اسمزی گیاه است و تحمل گیاه به تنش شوری را افزایش می‌دهد (AL-Khaliel, 2010). اخیراً در گزارشی G. geosporum گونه‌ای غالب و متحمل به شوری معرفی شد و نشان دادند که این گونه در مقایسه با دو گونهٔ G. mosseae و G. intraradices تعداد اسپور و وزیکول و هیف‌های خارجی بیشتری در خاک آبیاری‌شده با آب شور دریا دارد (Selvaraj *et al.*, 2010). نتایج برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا بر غلظت پتاسیم اندام هوایی نشان داد در آب تصفیه G. mosseae و G. geosporum و تیمار ترکیبی نسبت به G. intraradices و شاهد غلظت پتاسیم بیشتری به‌دست آوردند؛ ولی در تیمار آب شهری همهٔ تیمارهای قارچی فقط با شاهد تفاوت معناداری نشان دادند و با یکدیگر متفاوت نبودند. تیمارهای قارچی در آب شهری همراه نمک و آب تصفیه همراه نمک رفتاری مشابه نشان دادند؛ به‌گونه‌ای که G. mosseae و G. geosporum و بعد از آن‌ها تیمار ترکیبی و G. intraradices نسبت به شاهد میزان پتاسیم بیشتری داشتند.

با افزایش شوری، رقابت در ورود درون‌سلولی دو یون پتاسیم و سدیم به کاهش جذب پتاسیم به‌دلیل تجمع سدیم منجر می‌گردد (Colla *et al.*, 2008). جذب انتخابی پتاسیم در مقابل سدیم در بسیاری از گونه‌های گیاهی در حقیقت یک مکانیسم فیزیولوژیک مهم دخیل در تحمل شوری است (Akbari *et al.*, 2012). تلقیح گیاه با میکوریزا موجب بهبود وضعیت تغذیه‌ای، از جمله افزایش غلظت پتاسیم و کاهش

غلظت سدیم، در بافت برگ می‌شود (Rabie and Almadini, 2005). در نتیجه میزان آب برگ و انتقال عناصر غذایی به گیاه (Hammer *et al.*, 2011) افزایش می‌یابد. این وضعیت به افزایش انتقال اسیمیلات به مخزن منجر می‌شود و از فشار و شدت شوری بر تولید محصول می‌کاهد و در نهایت رشد و تولید را افزایش می‌دهد (Colla *et al.*, 2008).

با توجه به نتایج برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا، تفاوت معنادار تیمارهای قارچی بر نسبت پتاسیم بر سدیم در سطوح بالای شوری (آب شهری و آب تصفیه همراه نمک) دیده شد. بیشترین نسبت پتاسیم بر سدیم متعلق به G. geosporum و بعد از آن G. mosseae در آب تصفیه و کمترین مقدار این نسبت در تیمارهای قارچی G. intraradices و G. mosseae در آب تصفیه همراه نمک مشاهده گردید. با افزایش شوری، نسبت پتاسیم به سدیم گونهٔ G. mosseae، با وجود جذب بالای پتاسیم، به‌دلیل افزایش تدریجی در جذب سدیم کاهش یافت. سدیم و پتاسیم بر سر جایگاه‌های اتصال، که در کارکرد سلول‌ها نقش دارند، با یکدیگر رقابت می‌کنند؛ با این تفاوت که پتاسیم نقش مهمی در متابولسیم گیاه داشته و در دامنهٔ وسیعی از آنزیم‌ها فعالیت دارد، ولی با جایگزینی سدیم در فرایندهای آنزیمی و سنتز پروتئین‌ها اختلال ایجاد می‌شود. گیاهان میکوریزایی‌شده با تجمع پتاسیم در اندام‌های خود، دفع سدیم به خارج سلول، یا جای‌گذاری آن در داخل واکوئل و بالا نگه‌داشتن میزان پتاسیم به سدیم طی شوری به تعادل یونی سیتوپلاسم کمک می‌کنند (Giri *et al.*, 2007) و به این ترتیب تحمل شوری در گیاه افزایش می‌یابد (Zou and Wu, 2009). اهمیت این فرایندهای فیزیولوژیکی تا حدی است که برخی محققان اعلام کرده‌اند مکانیسم‌هایی که باعث بهبود رشد گیاهان میکوریزایی در شرایط تنش می‌شود، بیش از آنکه به جذب عناصری مثل نیتروژن و فسفر مرتبط باشد، بر پایهٔ فرایندهای فیزیولوژیکی استوار است (Tian *et al.*, 2004). برهمکنش استریلیزاسیون خاک و قارچ میکوریزا نشان داد بالابودن غلظت پتاسیم اندام هوایی در خاک‌های غیر استریل نسبت به استریل به‌دلیل غلظت بیشتر آن در تیمار ترکیبی و شاهد است. این ممکن است به‌دلیل وجود قارچ‌های میکوریزای بومی موجود در خاک باشد (جدول ۷).

عناصر نیتروژن و فسفر در دانه

اعمال شوری بر غلظت نیتروژن دانه نیز تأثیری نگذاشت. شوری بر غلظت فسفر دانه در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۳). افزایش شوری سبب کاهش فسفر دانه شد. کمترین فسفر دانه در تیمار آب تصفیه همراه نمک به میزان ۲٫۴۷ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آمد که با دیگر سطوح شوری تفاوت معناداری داشت. شوری خاک به‌طور معنادار جذب عناصر معدنی به‌ویژه فسفر را کاهش می‌دهد؛ زیرا یون‌های فسفات سریعاً با یون‌های کلسیم و منیزیم و روی موجود در خاک‌های شور رسوب می‌دهد و به‌صورت غیرمتحرک درمی‌آید و برای گیاه دور از دسترس می‌شود (Munns, 1993). با افزایش شوری پاسخ فسفر میکوریزایی (MPR) نیز به‌طور قابل توجهی افزایش یافت؛ ولی این افزایش معنادار نبود (جدول ۴). نتایج تجزیهٔ واریانس (جدول ۳) نشان داد استریلیزاسیون خاک بر غلظت نیتروژن و فسفر دانه و MPR تأثیری معنادار (در سطح ۱٪) دارد. غلظت نیتروژن و فسفر در تیمارهای غیر استریل (به‌ترتیب ۲۷٫۵۹ و ۳٫۰۳ میلی‌گرم بر گرم) از لحاظ آماری بیشتر از تیمارهای استریل (۲۶٫۰۳ و ۲٫۸۳ میلی‌گرم بر گرم) بود و برعکس پاسخ گندم به فسفر جذب‌شده توسط میکوریزا (MPR) در خاک‌های استریل افزایش یافت. به عبارت دیگر، سهم قارچ میکوریزای تلقیحی در تأمین فسفر گیاه در خاک‌های استریل نسبت به خاک‌های غیر استریل بیشتر است؛ حتی اگر این نقش به مقادیر کمتر فسفر در خاک استریل منجر گردد.

مقادیر بالای نیتروژن و فسفر در خاک غیر استریل ممکن است به‌دلیل بهبود جذب این عنصر در گیاه به‌وسیلهٔ سایر میکروارگانیسم‌های موجود در خاک، از جمله گونه‌های بومی قارچ‌های میکوریزا، باشد. رقابت بین گونه‌های قارچ به‌کاررفته (زادمایهٔ قارچ میکوریزا) و میکوریزای بومی و سایر میکروارگانیسم‌ها در خاک غیر استریل ممکن است رفتار میکوریزا را تحت تأثیر قرار دهد (Bass, 1990). کاربرد قارچ میکوریزا بر غلظت نیتروژن تأثیری نداشت؛ ولی سبب افزایش فسفر دانه و MPR در سطح ۱ درصد گردید. تیمارهای قارچی به جز G. intraradices نسبت به شاهد میزان فسفر و MPR بیشتری داشتند و تفاوتی معنادار بین تیمارهای قارچی وجود نداشت (جدول ۴). گزارش شده قارچ‌های میکوریزا با تولید اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز تأثیری مثبت بر افزایش انحلال و جذب فسفر خواهند داشت (Paraskevopoulou-Paroussi *et al.*, 1997). تشکیل کلونی قارچ در ریشه و توسعهٔ هیف‌های قارچ سبب افزایش سطح جذب ریشه می‌شود؛ که به‌طور قابل توجهی جذب فسفر را در واحد طول ریشه بهبود می‌بخشد (Bagayoko *et al.*, 2000). نقش قارچ‌های میکوریزا در جذب فسفر و رشد گیاه تحت تأثیر برهمکنش میان گونهٔ گیاه میزبان، قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار، و سایر فاکتورهای محیطی تعیین می‌گردد (Fitter *et al.*, 2011).

مقایسهٔ میانگین‌های برهمکنش شوری و استریلیزاسیون خاک مشخص کرد بیشترین مقدار MPR آب شهری در خاک استریل است. البته بین سطوح شوری در خاک استریل تفاوت معنادار در مقدار MPR دیده نشد؛ در حالی که در خاک غیر استریل بدون اعمال شوری MPR به‌طور معناداری کاهش یافت.

برای توجیه این کاهش شاید بتوان گفت وجود دیگر میکروارگانیسم‌ها، از جمله قارچ‌های میکوریزای بومی در خاک غیر استریل، سبب کاهش وابستگی گیاه به گونه‌های میکوریزای تلقیحی برای تأمین فسفر مورد نیاز می‌شود؛ به‌ویژه در شرایط دور از تنش شوری. افزایش MPR در خاک غیر استریل با اعمال شوری ممکن است به‌دلیل سودمندی بیشتر گونه‌های تلقیحی در جذب فسفر نسبت به گونه‌های بومی میکوریزا در شرایط شور باشد. هرچند جذب فسفر به‌وسیلهٔ گیاه میکوریزایی‌شده در سطوح بالای شوری به‌دلیل اثر سمّی سدیم بر توسعهٔ قارچ کاهش می‌یابد (Giri *et al.,* 2007)، قارچ‌های میکوریزا در محیط‌های مختلف عملکرد متفاوت دارند (Carvalho *et al.,* 2004).

ضریب‌های همبستگی بین صفات ارزیابی‌شده نشان داد (جدول ۸) وزن خشک اندام هوایی همبستگی مثبت و معناداری با غلظت پتاسیم (r =۰٫۹۰) و فسفر (r = ۰٫۵۸) دارد؛ در حالی که همبستگی وزن خشک اندام هوایی با غلظت سدیم گیاه منفی بود (r = −۰٫۸۸). به عبارت دیگر، افزایش مقدار سدیم گیاه به‌شدت کاهش وزن خشک اندام هوایی را در پی خواهد داشت. با توجه به وجود همبستگی مثبت و معنادار وزن ریشه با غلظت فسفر (r = ۰٫۳۳) و پتاسیم (r = ۰٫۵۲) و همبستگی منفی با غلظت سدیم (r = − ۰٫۵۰)، وزن خشک اندام هوایی نیز همبستگی بالایی با وزن ریشه (r = ۰٫۵۲) نشان می‌دهد (در سطح ۱٪). همچنین ضرایب همبستگی بین عناصر نشان داد جذب فسفر همبستگی مثبت و معناداری در سطح ۱ درصد با میزان جذب پتاسیم در گیاه دارد (r = ۰٫۵۸)؛ در حالی که سدیم با همبستگی منفی و معنادار با جذب پتاسیم و فسفر در گیاه رقابت می‌کند (به‌ترتیب r = −۰٫۸۸ و r = −۰٫۵۳). دیگر محققان نیز نقش مهم و مثبت وزن خشک ریشه و غلظت فسفر و پتاسیم و روی بر افزایش رشد و عملکرد دانه و اجزای عملکرد تحت شرایط شوری را گزارش کرده‌اند (Miransari and Smith, 2007).

جدول ۸. ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری‌شده در گندم میکوریزایی در دو خاک استریل و غیر استریل در شرایط شور

	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	اندام هوایی به ریشه	MGR	غلظت سدیم	غلظت پتاسیم	پتاسیم به سدیم	غلظت نیتروژن	غلظت فسفر	MPR
وزن خشک اندام هوایی	۱									
وزن خشک ریشه	۰٫۵۲**	۱								
اندام هوایی به ریشه	۰٫۶۳**	-۰٫۳۲**	۱							
MGR	-۰٫۱۲n.s	-۰٫۱۹*	۰٫۰۵n.s	۱						
غلظت سدیم	-۰٫۸۸**	-۰٫۵۰**	-۰٫۵۱**	۰٫۰۹n.s	۱					
غلظت پتاسیم	۰٫۹۰**	۰٫۵۲**	۰٫۶۳**	-۰٫۱۳n.s	-۰٫۸۸**	۱				
پتاسیم به سدیم	۰٫۸۴**	۰٫۴۴**	۰٫۵۱**	-۰٫۲۰*	-۰٫۸۲**	۰٫۸۵**	۱			
غلظت نیتروژن	-۰٫۱۲n.s	۰٫۰۱n.s	-۰٫۱۲n.s	-۰٫۰۶n.s	۰٫۰۹n.s	-۰٫۱۲n.s	-۰٫۱۳n.s	۱		
غلظت فسفر	۰٫۵۸**	۰٫۳۳**	۰٫۳۶**	-۰٫۰۲n.s	-۰٫۵۳**	۰٫۵۸**	۰٫۴۰**	-۰٫۰۵n.s	۱	
MPR	-۰٫۱۲n.s	-۰٫۲۲*	۰٫۰۵n.s	۰٫۲۳*	۰٫۱۱n.s	-۰٫۱۳n.s	-۰٫۱۶n.s	-۰٫۱۸*	۰٫۴۱**	۱

** و * به‌ترتیب معنادار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns غیر معنادار

نتیجه‌گیری

آزمایش‌های انجام‌شده نشان داد رشد و جذب عناصر تحت تأثیر شوری است. شوری باعث کاهش رشد و غلظت فسفر و پتاسیم و افزایش غلظت سدیم می‌گردد؛ در حالی که میکوریزایی‌شدن با کمک به تعادل یونی در گیاه از آثار شوری بر گیاه می‌کاهد. با توجه به ضرایب همبستگی، تحریک رشد گیاه گندم تلقیح‌یافته با گونه‌های قارچ میکوریزا را می‌توان به‌دلیل جذب بالاتر فسفر و پتاسیم و کاهش غلظت سدیم دانست. پاسخ گندم به همزیستی با میکوریزا بین گونه‌های میکوریزا و سطوح شوری بسیار متغیر بود. اختلافات معنادار وزن خشک اندام هوایی و پاسخ رشدی و غلظت پتاسیم و سدیم میان تیمارهای قارچی بیشتر در سطوح بالای شوری (آب شهری و آب تصفیه همراه نمک) دیده شد. در این سطوح شوری G. geosporum و G. mosseae در مقایسه با G. intraradices و تیمار ترکیبی وزن خشک اندام هوایی پاسخ رشدی و پتاسیم بالاتر و سدیم کمتری داشتند. به‌نظر می‌رسد G. geosporum به‌دلیل نسبت پتاسیم به سدیم بالاتر در مقایسه با گونهٔ G. mosseae تحمل بیشتری به سطوح بالای شوری دارد. گونهٔ G. mosseae با افزایش شوری، با وجود جذب بالای پتاسیم، پایداری کمتری در ممانعت از جذب سدیم نشان داد. تیمار ترکیبی، علاوه بر اینکه در جذب عناصر فسفر و پتاسیم و ممانعت از جذب سدیم نسبت به شاهد پیشی گرفت، رشد

بهتری نیز داشت؛ ولی نسبت به گونه‌های قارچی برتری نشان نداد. افزایش وزن خشک اندام هوایی و غلظت بالای پتاسیم و نیتروژن و فسفر در خاک غیر استریل ممکن است به‌دلیل وجود قارچ‌های میکوریزای بومی موجود در خاک باشد؛ ولی افزایش پاسخ فسفر میکوریزایی گیاه (MPR) در خاک غیر استریل با اعمال شوری ممکن است به‌دلیل سودمندی بیشتر گونه‌های تلقیحی در جذب فسفر نسبت به گونه‌های بومی قارچ میکوریزا در شرایط شور باشد. از آنجا که همزیستی میکوریزایی سود ویژه‌ای برای گیاهان رشدکرده در وضعیت‌های نامطلوب محیطی، از جمله شوری، ایجاد می‌کند، ترکیب مناسبی از گونه‌های قارچی و گندم می‌تواند آثار نامطلوب را به مقدار هرچند ناچیز کاهش دهد و خاک و آب شور را برای کشت محصولات مختلف بهبود بخشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حوزهٔ معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز، به جهت تأمین هزینهٔ مورد نیاز این تحقیق، که قسمتی از قرارداد شمارهٔ ۶۳۶۴۱۰ است، تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCE

Akbari ghogdi, E., Izadi-Darbandi, A., and Borzouei, A. (2012). Effects of salinity on some physiological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars, *Indian Journal of Science and Technology*, 5 (1), 1901-1906.

Al-Karaki GN. (2006). Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizalfungiand subsequent performance underirrigation with saline water, *Science Hortiulturec*, 109, 1–7.

Al-Khaliel, A. S. (2010). Effect of salinity stress on mycorrhizal association and growth response of peanut infected by *Glomus mosseae*, *Plant Soil Environmental*, 56 (7), 318–324.

arbuscular mycorrhizal fungal communities, *Applied Environmental Microbiol*, 70, 6240–6246.

Auge´, R. M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations, *Canadian. Journal. Soil Science*, 84, 373–381.

Baas, R. (1990). Effects of *Glomus fasciculatum* and isolated rhizosphere microorganisms on growth and phosphate uptake of *Plantago major* ssp. pleiosperma, In: van Beusichem, M. L. (ed.), Plant nutrition physiology and applications, Kluwer academic publishers, Netherlands, 153-159.

Bagayoko, M., George, E., Römheld, V., and Buerkert, A. (2000). Effects of mycorrhizae and phosphorus on growth and nutrient uptake of millet, cowpea and sorghum on a West African soil, *Journal of Agricultural Science*, 135, 399-407.

Carvalho, L. M., Correia, P. M., and Martins-Lou, M. A. (2004). Arbuscular mycorrhizal fungal propagules in a salt marsh, Mycorrhiza, 14, 165–170.

Colla, G., Rouphael,Y., Cardarelli, M., Tullio, M., Carlos, M. R., and Elvira, R. (2008). Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration, *Biology and Fertility of Soils,* 44, 501–509.

Copeman, R. H., Martin, C. A., and Stutz, J. C. (1996). Tomato growth in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline or non-saline soils, *Horticultute Science*, 31 (3), 341-344.

Daei, G., Ardekani, M. R., Rejali, F., Teimuri, S., and Miransari, M. (2009). Alleviation of salinity stress on wheat yield, yield components, and nutrient uptake using arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions, *Journal of Plant Physiology*, 166, 617-625.

Evelin, H., Kapoor, R., and Giri, B. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review, *Annals of Botany*, 104, 1263–1280.

Fitter, A. H., Helgason, T., and Hodge, A. (2011). Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: implications for sustainable agriculture, *Trends Cell Biology*, 25, 68–72.

Ghazi, N. and Al-Karaki, G. N. (2006). Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water, *Science Horticulture*, 109, 1–7.

Giri, B., Kapoor, R., and. Mukerji, K. G. (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.

Giri, B. snd Mukerji, K. G. (2004). Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *sesbania aegyptica* and *sesbania grandiflora* under field condition:evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake, *Mycorrhiza*, 14, 307–12.

Grattan, S. R. and Grieve, C. M. (1993). Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments, In: Pessarakli M (ed.) Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker, New York, 203–26.

Hammer, E. C., Nasr, H., Pallon, J., Olsson, P. A.. and Wallander, H. (2011). Elemental composition of arbuscular mycorrhizal fungi at high salinity*, Mycorrhiza*, 21, 117–129.

Hetrick, B. A. D., Wilson, G. W. T., and Cox, T. S. (1993). Mycorrhizal dependence of modern wheat cultivars and ancestors: a synthesis*, Canadian Journal. Boanyt*, 71, 512–517.

Janos, D. P. (2007). Plant responsiveness to mycorrhizas differs from dependence up on mycorrhizas, *Mycorrhiza*, 17, 75–91.

Koide, R. T. (1991). Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection, *New Phytologist*, 117, 365-386.

Li, H., Smith, F. A., Dickson, S., Holloway, R. E., and Smith, S. E. (2008). Plant growth depressions in arbuscular mycorrhizal symbioses: not just caused by carbon drain?, *New Phytologist*, 178, 852–862.

Mardukhi, B., Rejali, F., Daei, G., Ardakani, M. R., Malakouti, M. J., and Miransari, M. (2011). Arbuscular mycorrhizas enhance nutrient uptake in different wheat genotypes at high salinity levels under field and greenhouse conditions, *Comptes Rendus Biologies*, 334, 564–571.

Miransari, M. and Smith, D. L. (2007). Overcoming the stressful effects of salinity and acidity on soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] nodulation and yields using signal molecule genistein under field conditions, *Journal of Plant Nutrition*, 30, 1967–1992.

Munns, R. (1993). Physiological responses limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses, *Plant Cell Environmental*, 16, 15–24.

Paraskevopoulou-Paroussi, G., Karagiannidis, N., Paroussis, E., and Spanomitsios, G. (1997). The effect of mycorrhiza on nutrient uptake and plant development of three strawberry cultivars, In: van Scheer, H. A. Th., Lieten, F., Dijkstra, J. (eds.). Proc. Third Int, Strawberry Symp, Acta Hort, Vol. 2, 439, ISHS.

Philips, J. M. and Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection, *Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158-161.

Rabie, A. M. and Almadini, G. H. (2005). Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of *Vicia faba* plants under salinity stress, *African Journal of Biotechnology*, 4 (3), 210-222.

Scheublin, T. R., Ridgway, K. P., Young, P. W., and vanderHeijden, M. G. A. (2004) Non legumes, legumes, and root nodules harbor different.

Selvaraj, T., Babu, M. M., Vincent S. G. P., Citarasu, T., and Dhas, S. A. (2010). Screening of estuarine AM fungi in root-zone soils from Rajakkamangalam estuary and sequencing of native dominant *Glomus geosporum* showing salinity tolerance activity, *Bioresearch Bulletin,* 3, 133-142.

Tian, C. Y., Feng, G., and Li, X. L. (2004). Different effects of arbuscular mycorrhizal fungal isolates from saline or non-saline soil on salinity tolerance of plants, *Applied Soil ecology*, 26, 143–148.

Zou, Y. N. and Wu, Q. S. (2009). Arbuscular mycorrhizal symbiosis improves growth and root nutrient status of citrus subjected to salt stress, *Science Asia*, 35, 388–391.