تأثیر پرایمینگ بذر و میکوریز بر بعضی خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط تنش شوری

رویا محمودیه چم پیری[۱] و محمدعلی ابوطالبیان[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۶)

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر پرایمینگ بذر و تلقیح دو گونه میکوریز بر تعدادی از خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم رقم پارسی در شرایط تنش شوری آزمایشی به‌صورت اسپیلیت‌پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه مرکز آموزش جهاد کشاورزی اصفهان انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل دو سطح آبیاری با آب شور (با هدایت الکتریکی ۳ و ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر) در کرت‌های اصلی، سه سطح کاربرد قارچ گلوموس (گونه اینترارادیس، گونه موسهآ و بدون کاربرد) و دو سطح پرایمینگ بذر (هیدروپرایمینگ به‌صورت پرایم در مزرعه و پرایم‌نشده) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی بود. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که تنش شوری بر بسیاری از صفات اندازه‌گیری شده مؤثر بود و کاربرد میکوریز موجب کاهش اثرات منفی تنش بر تجمع سدیم در اندام هوایی، شاخص سبزینگی، تعداد سنبله در بوته و وزن هزاردانه شده و دارای برهم‌کنش معنی‌داری با تنش شوری بودند. کاربرد گونه اینترارادایس در مقایسه با موسهآ مقدار سدیم برگ را در شرایط شوری حدود ۱۷ درصد کاهش داد. در این پژوهش کاربرد میکوریز و پرایمینگ بذر پرولین برگ را به‌ترتیب ۲۰ درصد افزایش و ۱۸/۵ درصد کم کرد. کاربرد گونه موسهآ فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را نسبت به تیمار عدم تلقیح ۱۵/۶ درصد افزایش داد و عملکرد دانه بیشتری (۹/۵ درصد) ایجاد کرد. در این تحقیق پرایمینگ اثری بر عملکرد و اجزای آن نداشت به‌جز در سال دوم تحقیق که پرایمینگ در شرایط تلقیح با گونه اینترارادایس در تیمار شوری منجر به افزایش ۲۳ درصدی تعداد سنبله در بوته نسبت به تیمار پرایم‌نشده شد. از دیگر نتایج افزایش ۱۴/۵ درصدی شاخص برداشت در اثر کاربرد میکوریز بود. در مجموع کاربرد میکوریز در شرایط شور قابل توصیه است، اما استفاده از پرایمینگ بذر تنها در ترکیب با گونه اینترارادایس می‌تواند سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، سوپراکسید دیسموتاز، سنبله در بوته، شاخص برداشت، قارچ گلوموس

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: aboutalebian@yahoo.com

مقدمه

تنش شوری از جمله تنش‌های محیطی است که عامل مهمی در محدودسازی تولیدات گیاهی در سراسر دنیا به‌شمار می‌رود و حدود دو میلیون کیلومتر مربع از زمین‌های قابل استفاده در کشاورزی را تحت تأثیر خود قرار داده است (۴۵). شوری آب آبیاری و خاک از طریق کاهش در پتانسیل اسمزی خاک باعث خشکی فیزیولوژیکی شده است، از طرفی اثر سمیت یون‌های سدیم و کلر باعث تخریب غشای پلاسمایی، ساختار پروتئین‌ها، آنزیم‌ها، اختلال در فتوسنتز و عدم تعادل یونی می‌شود که درنهایت کاهش رشد در گیاه را به‌همراه دارد (۴۹). از آنجا که گندم نقش مهمی در افزایش تولید و امنیت غذایی جهان دارد مطالعه واکنش این گیاه به شوری از جنبه‌های زراعی و فیزیولوژیکی بسیار با اهمیت است (۴۰). قربانی و همکاران (۱۷) در بررسی تأثیر تنش شوری ناشی از آب آبیاری بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم تجن و زاگرس گزارش کردند که شوری آبیاری بیش از هشت دسی‌زیمنس بر متر، موجب کاهش سطح و وزن خشک برگ‌ها، ماده خشک کل، عملکرد و اجزای عملکرد شد.

احیای زمین‌های شور نیاز به بودجه و زمان فراوانی دارد. برای غلبه بر مشکل شوری، راهکار بیولوژیکی از استراتژی‌های اساسی است که باید مورد توجه قرار گیرد. در این بین استفاده از قارچ‌های همزیست ریشه می‌تواند کمک قابل توجهی در جهت تعدیل اثرات نامطلوب تنش غیرزیستی ایفا کند. قارچ‌های میکوریز نقش مهمی در بهبود تغذیه و رشد گیاهان در شرایط شوری دارند به‌نحوی که برخی پژوهشگران این نوع قارچ‌ها را به‌عنوان اصلاح کنندگان زیستی خاک‌های شور معرفی کرده‌اند (۴۱). وجود قارچ میکوریز و ایجاد همزیستی با ریشه بسیاری از گیاهان در خاک‌های شور، نشان می‌دهد که احتمالاً برخی از این قارچ‌ها در برابر تنش شوری مقاوم بوده و این همزیستی، تحمل گیاه را در برابر شوری افزایش می‌دهد (۴۸). میکوریز نقش مهمی در تغذیه گیاه از طریق تسهیل در قابلیت دسترسی عناصر خاک به ریشه گیاه دارد (۳۸). گزارش شده است با وجود آنکه شوری تعداد دانه در سنبله گندم را کاهش می‌دهد ولی تلقیح با سه گونه قارچ میکوریز موفقیت‌آمیز بوده و سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد سنبله و تعداد دانه در بوته می‌شود (۴۹). در پژوهش دیگری برهم‌کنش شوری و قارچ میکوریز بر تمامی اجزای عملکرد به‌جز تعداد سنبله در بوته معنی‌دار گزارش شده است (۲۱). نتایج آزمایش یونسی و مرادی (۴۷) نشان‌دهنده آثار بازدارنده تنش شوری بر رشد گندم بود و به‌کارگیری تیمار میکوریزی موجب بهبود رشد اندام هوایی و ریشه، و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بوته‌های گندم در شرایط تنش شد. افزایش درصد همزیستی گندم با میکوریز در شرایط تنش شوری به اثبات رسیده است (۱). تنش شوری بر رشد، عملکرد بیوماس و دیگر پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه تأثیر منفی دارد و زمانی که گیاه با قارچ میکوریز تلقیح شود اثرات منفی شوری بر گیاه کاهش می‌یابد (۱۵). در شرایط تنش شوری گندم میکوریزی شده، رشد بهتری در مقایسه با گندم غیرمیکوریزی دارد (۲۵) چرا که تلقیح با قارچ میکوریز با جلوگیری از جذب و انتقال سدیم به اندام هوایی اثرات شوری بر گندم را کاهش داده و با افزایش جذب فسفر در کاهش جذب سدیم مؤثر عمل کرده است (۱) و با تجمع عناصر غذایی و نمک‌های محلول به تنظیم اسمزی و خنثی کردن خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش شوری در ژنوتیپ‌های گندم کمک می‌کند (۱۵).

از طرف دیگر استفاده از تکنیک پرایمینگ بذر می‌تواند یکی از روش‌های مؤثر در افزایش کیفیت بذر در شرایط نامساعد محیطی باشد. بذر در هنگام کاشت زمان قابل توجهی را صرف جذب آب می‌کند، پرایمینگ بذر با کاهش این زمان، می‌تواند سرعت جوانه‌زنی و خروج جوانه از خاک را افزایش دهد. گزارش‌های بسیار زیادی حاکی از بهبود رفتار جوانه‌زنی و بنیه بذر، طول ریشه، طول ساقه‌چه، نرخ جوانه‌زنی و استقرار اولیه در بذور پرایم است (۳۰) در روش پرایم در مزرعه، بذرها با آب معمولی تیمار می‌شوند که این روش بسیار ساده و ارزان بوده و مقدار جذب آب از طریق مدت‌زمانی که بذرها در تماس

با آب هستند، کنترل می‌شود (۱۶). پرایم در مزرعه سبب کاهش آثار شوری و افزایش صفات رشدی ذرت شده است (۳۴ و ۳۵).

با توجه به اینکه بخش عظیمی از اراضی کشور با مشکل شوری و شور شدن مواجه هستند و از آنجایی که رویکرد جهانی در تولید محصولات غذایی به‌سمت استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار و به‌کارگیری روش‌های مدیریتی آن نظیر کاربرد کودهای زیستی به‌منظور ارتقای عملکرد کمّی و کیفی محصولات است؛ بنابراین این آزمایش با هدف ارزیابی تیمارهای پرایمینگ بذر در مزرعه به‌همراه تلقیح دو گونه قارچ میکوریز بر رشد و عملکرد گندم در شرایط تنش شوری آب آبیاری در منطقه اصفهان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت دو ساله در سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه مرکز آموزش جهاد کشاورزی اصفهان (با موقعیت جغرافیایی عرض ۳۲ درجه و۳۱ دقیقه شمالی و طول ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۴۵ متر)، به‌صورت اسپیلیت‌پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل دو سطح آبیاری (با هدایت الکتریکی ۳ و ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر) در کرت‌های اصلی، سه سطح کاربرد قارچ میکوریز از جنس گلوموس (دو گونه اینترارادیس و موسه‌آ و بدون کاربرد) و دو سطح هیدروپرایمینگ (پرایم بذر در مزرعه و بدون پرایم) به‌صورت فاکتوریل درنظر گرفته شد. هر دو گونه قارچ میکوریز از شرکت زیست‌فناور توران تهیه و در هنگام کاشت در کنار بذور به نسبت ۱۰ گرم در مترمربع مصرف شد. در هر گرم این کودهای زیستی به‌طور متوسط ۱۵۰ اسپور قارچ وجود داشته است. در اواخر شهریور ماه سال ۱۳۹۳ زمین شخم زده شد. خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول ۱ و خصوصیات هواشناسی در سال‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است.

رقم گندم مورد استفاده پارسی (معرفی ۱۳۸۸) بود، زودرس، دارای دانه‌های زرد کهربایی و مقاوم به ریزش و خوابیدگی، از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان تهیه شد. هر کرت شامل شش ردیف به طول شش متر با فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۵۰ بوته در متر مربع درنظر گرفته شد. تاریخ کشت در هر دو سال زارعی دهه سوم آبان بود. بر اساس آزمون خاک کوددهی صورت گرفت و هیدروپرایمینگ مزرعه‌ای بذر بر اساس نتایج یک آزمایش جداگانه انجام شد و بهترین مدت‌زمان خیساندن بذر در آب معمولی بر اساس بالاترین سرعت و درصد جوانه‌زنی تعیین شد. طبق نتایج به‌دست آمده بذرها به‌مدت ۱۲ ساعت در آب معمولی خیسانده شدند (۲).

برای محاسبه مقدار آب لازم در هر آبیاری از رابطه ۱ استفاده شد (۳۲) و با کنتور حجمی اعمال شد.

$$d = \frac{FC - P_0}{100} \times AS \times D \qquad (۱)$$

d = ارتفاع آب آبیاری (سانتی‌متر)، FC = درصد رطوبت وزنی خاک در ظرفیت زراعی (۲۷/۵ درصد)، P_0= درصد رطوبت وزنی خاک در زمان آبیاری، AS = وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۴۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D = عمق توسعه یا گسترش ریشه (۴۰ سانتی‌متر) است. با ضرب کردن ارتفاع (d) در عدد ۱۰۰، حجم آب مورد نیاز برحسب متر مکعب در هکتار مشخص شد.

در انتهای فصل رشد، برای تعیین بیوماس نهایی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، با رعایت اثر حاشیه، از هر واحد آزمایشی دو متر مربع برداشت شد. همچنین، خصوصیات کیفی شامل میزان پرولین، شاخص سبزینگی و آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و میزان سدیم در مرحله ظهور سنبله با استفاده از برگ‌های فوقانی بوته اندازه‌گیری شد. برای تعیین شاخص برداشت، پس از اندازه‌گیری میزان عملکرد دانه و بیولوژیک از رابطه ۲ درصد شاخص برداشت محاسبه شد:

(۲) = شاخص برداشت (درصد)

100× (وزن خشک کل / وزن خشک دانه

جدول ۱. متوسط ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش طی دو سال تحقیق

بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی	ماده آلی	نیتروژن کل	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	عمق نمونه‌برداری
		(dS/m)	(درصد)		(mg/kg)		(سانتی‌متر)
لومی رسی سیلتی	۷/۶	۶/۸۳	۰/۹۵	۰/۰۹	۳۷۰	۲۶/۶	صفر تا ۳۰

جدول ۲. میزان بارندگی و متوسط دمای هوا در سال‌های زراعی مورد مطالعه

ماه	میزان بارندگی (میلی‌متر)		متوسط دمای هوا (سلسیوس)	
	۹۳-۹۴	۹۴-۹۵	۹۳-۹۴	۹۴-۹۵
آبان	۲۶/۲	۲	۹/۸	۱۱/۴
آذر	۱/۶	۷	۷/۲	۵/۷
دی	۸/۱	۰/۴	۷/۴	۶/۶
بهمن	۳/۸	۰/۲	۹/۶	۹/۵
اسفند	۲۱/۳	۸/۵	۱۴/۲	۱۱/۷
اردیبهشت	۷	۲۱/۵	۱۹/۷	۱۷/۵
خرداد	۲/۴	۵	۲۴/۵	۲۴/۷
مجموع	۷۰/۴	۴۴/۶	۱۳/۲ میانگین	۱۲/۴

اندازه‌گیری پرولین از روش بیتز و همکاران (۱۰) با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر صورت گرفت و غلظت پرولین برحسب میکرومول بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد. شاخص کلروفیل توسط دستگاه SPAD ۵۰۲ برآورد شد. از هر کرت ده بوته در مراحل سنبله‌دهی انتخاب و میزان کلروفیل برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته اندازه‌گیری شد و میانگین داده‌ها به‌عنوان شاخص کلروفیل برگ استفاده شد.

برای تهیه عصاره آنزیمی به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، عصاره برای سنجش آنزیم کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز با روش سودکار و همکاران (۴۲) انجام شد. برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش چانس و مهلی (۱۲) در طول موج ۲۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز به‌وسیله نیتروبلوتترازولیوم و رنگ‌آمیزی اختصاصی طبق روش جینوپلیتیس و رایس (۱۸) به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر انجام شد. سرانجام فعالیت آنزیمی برحسب واحد استاندارد به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین محاسبه و بعد از ۱۲۰ ثانیه قرائت شد.

میزان سدیم به‌روش هامادا و النای (۲۲) و با دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها بعد از اطمینان از نرمال بودن باقیمانده‌ها به‌صورت مرکب با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و مقایسه میانگین نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت و رسم شکل‌ها با اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

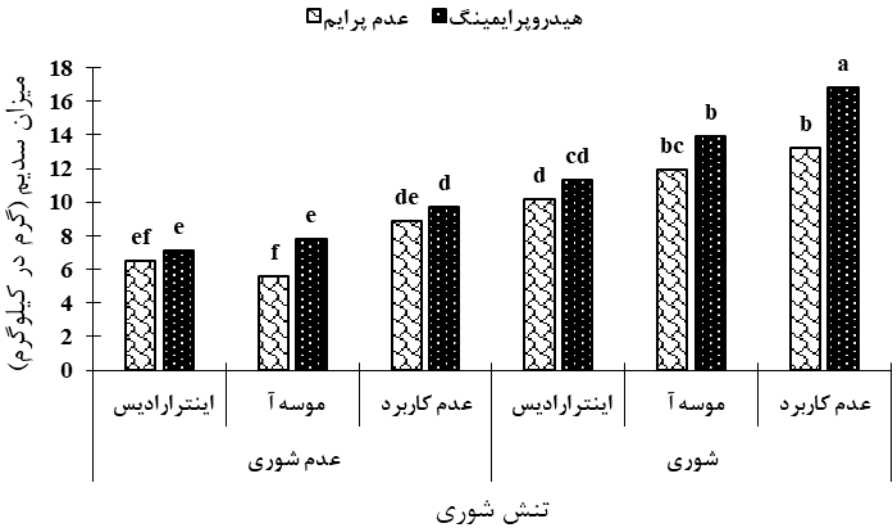
میزان سدیم

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد، میزان سدیم برگ علاوه بر اثرات اصلی، تحت تأثیر اثر سال در پرایمینگ، تنش شوری در پرایمینگ، شوری در تلقیح و اثر سه‌گانه شوری، پرایمینگ و تلقیح با قارچ قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین مربوط به اثر سه‌گانه نشان داد، شوری آب آبیاری موجب افزایش میزان تجمع سدیم در برگ شده و پرایمینگ بذر نیز در مواردی اثر

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس مرکب تأثیر پرایمینگ و تلقیح با قارچ بر برخی صفات فیزیولوژیک و اجزای عملکرد گندم تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		سدیم	پرولین	کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز	شاخص سبزینگی	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	بیوماس	شاخص برداشت
سال (Y)	۱	۰/۵۲^{ns}	۸۱/۱^{ns}	۰/۰۰۱۱^{ns}	۵۱/۸۲^{ns}	۵/۵۰^{ns}	۴۴/۳۴*	۰/۰۲^{ns}	۶۷۴/۷**	۱۰۱۴۰۰/۲**	۱۳۳۶۲۳۹/۸**	۳۹۲/۹۸**
خطای بلوک داخل سال	۴	۰/۷۸	۴۲۱۱/۱	۰/۱۰	۴۰/۵۲	۶/۲۸	۱۶/۳۴	۰/۲۸	۱۸/۳	۲۵۳۸/۰	۱۰۶۷۰/۶	۲/۳۸
شوری (I)	۱	۵۰۶/۰۴**	۵۲۹۸۱۶۳/۵**	۲۰/۵۷**	۶۵۳۷/۲۰**	۲۲۹۹/۵۵**	۱۲۳/۷۷**	۱/۵۸^{ns}	۲۸۶/۷**	۹۴۲۵۶۴/۵**	۴۵۲۹۸۲۴/۱**	۰/۰۹^{ns}
خطای اصلی	۴	۰/۵۴	۴۰۹۳۳/۰	۰/۲۰	۷۲/۰۹	۳۰/۴۷	۵/۲۱	۰/۳۳	۷۹/۷	۷۱۹۲/۸	۲۳۴۷۰/۸	۶/۲۲
Y×I	۱	۰/۵۲^{ns}	۲۰۲۵۴/۱^{ns}	۰/۰۰۰۱۰^{ns}	۱/۱۴^{ns}	۱۷/۷۰^{ns}	۳/۲۶^{ns}	۱/۲۱^{ns}	۸۴/۲^{ns}	۲۱۳۹۰/۱*	۷۸۵۱۸/۴*	۶۲/۶۶^{ns}
پرایمینگ (P)	۱	۵۳/۵۶**	۴۷۰۵۱۴/۷**	۰/۳۳^{ns}	۸۸۱/۵۸**	۲۵۵۷/۳۲**	۸/۵۳^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۲۸۶/۷**	۱۶۵۳۱/۷*	۱۰۵۹۹۳/۱^{ns}	۳۸/۵۰^{ns}
Y×P	۱	۱۰/۶۷**	۳۲۴۴۴/۵^{ns}	۰/۲۳^{ns}	۱۸۵/۷۳^{ns}	۶/۳۰^{ns}	۳/۸۰^{ns}	۱/۵۹^{ns}	۱۲۰/۱*	۳۳۳۴/۷^{ns}	۲۴۴۷۶/۹^{ns}	۰/۰۵^{ns}
I×p	۱	۴/۸۶*	۲۶۱۶/۱^{ns}	۰/۶۶*	۵۰۸/۷۰**	۲/۵۳^{ns}	۱۲/۱۴^{ns}	۲/۴۸^{ns}	۳۶/۶^{ns}	۲۹/۴^{ns}	۱۳۷۷۲/۹^{ns}	۱۰/۶۶^{ns}
تلقیح (T)	۲	۷۲/۲۵**	۱۸۰۷۰۷/۳**	۲/۴۵**	۶۸۵/۸۷**	۱۳/۷۷^{ns}	۷/۵۸^{ns}	۰/۵۶^{ns}	۲۰۸/۲**	۱۷۰۶۸/۷*	۳۰۱۰۹/۳^{ns}	۳۰۰/۵۴**
Y×T	۲	۰/۵۹^{ns}	۲۲۵۰/۵^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۳۰/۸۴^{ns}	۲/۶۹^{ns}	۲۱/۲۲^{ns}	۰/۶۷^{ns}	۱۸/۲^{ns}	۱۱۰۲/۶^{ns}	۸۶۳۴/۸^{ns}	۲۰/۹۶^{ns}
I×T	۲	۸/۷۱**	۳۴۶۴۳/۷^{ns}	۰/۸۴**	۵۴/۲۰^{ns}	۶۸/۵۸*	۰/۷۷^{ns}	۰/۳۳^{ns}	۹۶/۸*	۱۱۱۱۹۳/۷^{ns}	۱۴۰۹۸/۷^{ns}	۱۶/۶۳^{ns}
P×T	۲	۳/۴۳^{ns}	۱۲۲۷۱/۱^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۱۵۱/۱۸^{ns}	۳۱۰/۸۷**	۱۶/۱۲^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۱^{ns}	۱۳۶۰۶/۷*	۱۹۳۲۳/۴^{ns}	۳۱/۱۰^{ns}
Y×I×P	۱	۱/۳۶^{ns}	۱۲۱۷۸/۴^{ns}	۰/۰۰۴۲^{ns}	۹/۹۲^{ns}	۰/۷۰^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۴۸/۳^{ns}	۳۷۹۹/۸^{ns}	۲۷۲۲۴/۲^{ns}	۰/۰۱^{ns}
Y×I×T	۲	۱/۹۴^{ns}	۱۵۸۰۵/۵^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۴/۱۴^{ns}	۵/۵۲^{ns}	۱۲/۵۱^{ns}	۱/۴۸^{ns}	۴۱/۰^{ns}	۱۰۰۶/۸^{ns}	۱۳۹۶۵/۹^{ns}	۲۰/۸۲^{ns}
Y×P×T	۲	۰/۴۷^{ns}	۲۷۹۸۰/۴^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۶/۲۷^{ns}	۱۳/۲۹^{ns}	۲/۵۲^{ns}	۱/۰۴^{ns}	۷۹/۹^{ns}	۲۹۲۲/۴^{ns}	۹۰۱۸/۵^{ns}	۲۸/۶۳^{ns}
I×P×T	۲	۳/۶۸*	۳۳۰۹۰/۷^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۱۴۲/۲۵^{ns}	۸۱/۰۲*	۵/۷۹^{ns}	۱/۴۷^{ns}	۵۶/۴^{ns}	۴۶۲۵/۳^{ns}	۳۰۳۴۷/۸^{ns}	۴/۸۲^{ns}
Y×I×P×T	۲	۰/۷۴^{ns}	۶۰۸/۵^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۱۷۹/۴۲^{ns}	۲۶/۶۱^{ns}	۲/۰۳^{ns}	۲/۹۷**	۶۴/۴^{ns}	۳۵۵۸/۹^{ns}	۱۶۸۰۹/۶^{ns}	۵۲/۱۵^{ns}
خطای فرعی	۴۰	۱/۱۴	۳۱۱۹۹/۷	۰/۱۲	۵۷/۴۱	۲۰/۶۵	۹/۰۹	۰/۷۱	۲۵/۲	۳۸۱۱/۴	۱۳۷۳۶/۰	۲۲/۹۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۰/۴۰	۲۲/۳۰	۲۹/۹۰	۱۰/۸۰	۸/۷۵	۸/۹	۲۲/۸	۱۰/۳۴	۱۲/۴	۱۰/۶	۱۰/۵

ns،** و * به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد



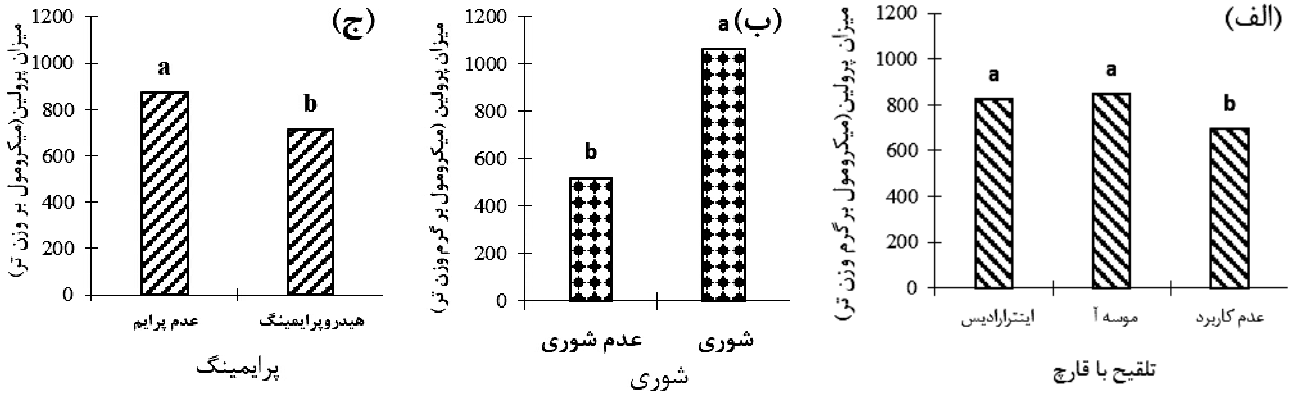
شکل ۱. تأثیر برهم‌کنش پرایمینگ و تلقیح با قارچ بر میزان سدیم برگ‌های گندم تحت تنش شوری
(حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.)

افزایشی بر این مورد داشت، این درحالی بود که کاربرد قارچ‌های میکوریز موجب کاهش تجمع سدیم در برگ شدند و گونه اینترارادایس در مقایسه با گونه موسهآ اثر بیشتری بر کاهش سدیم برگ داشت (شکل ۱). پرایمینگ بذر در دو ترکیب تیماری در حضور شوری و بدون کاربرد میکوریز و بدون شوری و کاربرد گونه موسهآ سبب افزایش مقدار سدیم برگ شد (شکل ۱). به‌نظر می‌رسد در مورد اول استقرار زودتر گیاهچه و گسترده‌تر بودن ریشه به‌علت پرایمینگ بذر (۲) عامل عمده جذب بیشتر سدیم است و در مورد دوم ترکیبی از استقرار زودتر و تأثیر تلقیح با موسهآ باشد که منجر به توسعه بیشتر ریشه و جذب سدیم شده‌اند. تفاوت دو گونه قارچ در جذب انتخابی سدیم به‌خوبی مشخص است، به‌طوری که اینترارادایس توانسته است جذب سدیم را با قدرت انتخابی بیشتر، کاهش دهد. این میزان کاهش در شرایط شور نسبت به گونه موسهآ در حالت پرایمینگ بذر ۱۸/۷ درصد و در حالت بدون پرایمینگ بذر، ۱۴/۸ درصد است (شکل ۱).

مطالعات دیگر نیز افزایش میزان سدیم در اثر تنش شوری در اندام گیاه را گزارش کرده‌اند (۴). افزایش سدیم موجب اختلال در سیستم غشایی و آنزیمی سلول می‌شود (۱۹). با توجه به نتایج مشاهده می‌شود، تلقیح گیاه با قارچ موجب کاهش جذب سدیم در گیاه می‌شود. طی پژوهشی نیز گزارش شد که گیاهان تلقیح شده با قارچ *Piriformospora indica* توانایی بیشتری در تحمل شوری نشان دادند و میزان سدیم برگ نسبت به گیاهان شاهد کمتر بود، البته در ریشه این گیاهان میزان سدیم بیشتری تجمع یافته بود که این موضوع ممکن است نشان‌دهنده مکانیزم افزایش تحمل گیاه توسط قارچ‌ها به تنش شوری باشد (۴). گیاهان متحمل به شوری، با جذب یون سدیم و ذخیره آن در واکوئل‌های ریشه، از این یون برای تنظیم اسمزی خود استفاده می‌کنند. انتقال نمک از سیتوپلاسم به درون واکوئل یک شیب اسمزی قوی در سرتاسر غشای واکوئلی به‌وجود می‌آورد و این شیب، با افزایش سنتز مولکول‌های حل‌شونده در سیتوپلاسم تحت فرایندی که تنظیم اسمزی نامیده می‌شود، متعادل می‌شود (۴۳).

میزان پرولین

میزان پرولین برگ تنها تحت تأثیر اثرات اصلی شوری، پرایمینگ و تلقیح با قارچ در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). میزان پرولین در اثر تلقیح با قارچ افزایش یافته،

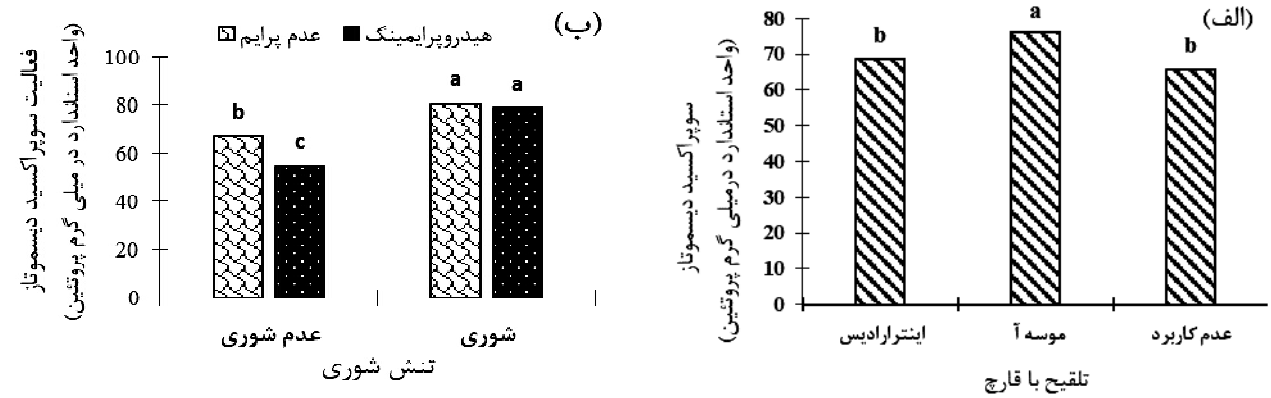


شکل ۲. الف) تأثیر تلقیح بذر ، ب) تنش شوری و ج) پرایمینگ بر میزان پرولین گندم
(حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.)

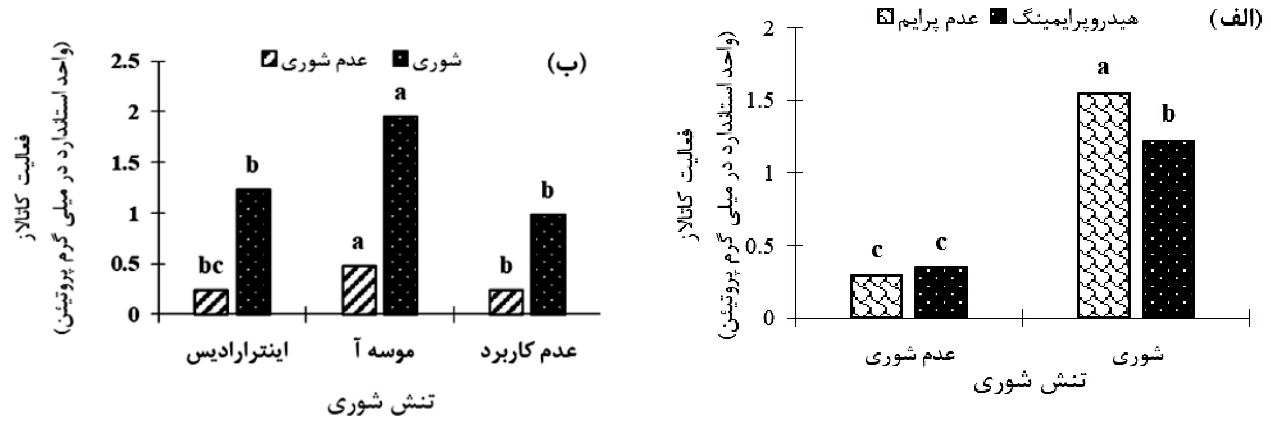
ولی بین نوع قارچ‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. افزایش میزان پرولین در اثر تلقیح نشان‌دهنده افزایش توان تحمل گیاه به شوری است، به‌طوری که میزان پرولین در اثر تلقیح ۱۹ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲- الف). میزان پرولین در اثر تنش شوری آب آبیاری نیز افزایش یافت به‌ازای شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر میزان پرولین برگ حدود دو برابر افزایش یافت (شکل ۲- ب). پرایمینگ بذر نیز موجب کاهش میزان پرولین در برگ شد که این کاهش در حدود ۱۸/۵ درصد بود (شکل ۲- ج). علت آن می‌تواند به اثر کاهنده پرایمینگ بذر بر شدت تنش‌های محیطی مربوط باشد (۱۴). سنتز تنظیم‌کننده‌های اسمزی از فرایندهای افزایش تحمل گیاهان به تنش است که در شرایط تنش میزان آنها افزایش پیدا می‌کند. گیاهان فرایندهای پیچیده‌ای را برای سازگاری به تنش اسمزی و یونی ناشی از تنش شوری به‌کار می‌برند. این سازگاری بیشتر توسط تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پتاسیم، قند، گلیسین بتائین و پرولین اتفاق می‌افتد (۳۹). در این پژوهش با افزایش سطح شوری غلظت پرولین افزایش یافت. افزایش میزان پرولین در بافت گیاهان طی بروز تنش شوری توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است (۲۸). مطالعات نشان داد، تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* میزان کربوهیدرات‌های محلول و پرولین را افزایش می‌دهد که این امر با رشد بهتر گیاهان تیمار شده با این قارچ در مقایسه با گیاهان شاهد همراه است (۹). گزارش شد که تلقیح با سویه‌های مختلف باکتری آزوسپیریلوم موجب افزایش محلول‌های اسمولیت شده که افزایش مقدار پرولین ممکن است به‌دلیل نقش باکتری آزوسپیریلوم در تثبیت نیتروژن باشد که با افزایش مقدار نیتروژن موجب افزایش مقدار پرولین شد (۲۶).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

اثرات شوری و تلقیح با قارچ در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز معنی‌دار بود. برهم‌کنش شوری در پرایمینگ نیز در سطح یک درصد بر فعالیت هر دو آنزیم اثرگذار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های مربوط به فعالیت سوپر اکسیددیسموتاز نشان داد که تلقیح با قارچ موسهآ موجب افزایش (۱۵/۶ درصدی) فعالیت آنزیم شده، ولی تلقیح با گونه اینترارادیس اثر معنی‌داری نداشت (شکل ۳- الف). همچنین برهم‌کنش شوری در پرایمینگ نشان داد، شوری موجب افزایش (۲۱ درصدی) فعالیت این آنزیم شده، ولی پرایمینگ دارای اثرات متفاوتی بود به‌طوری که در شرایط بدون تنش موجب کاهش (۱۸ درصدی) فعالیت آنزیم شده، ولی در شرایط تنش اثر معنی‌داری نداشت (شکل ۳- ب). مقایسه میانگین مربوط به فعالیت کاتالاز نیز نشان داد که در شرایط تنش فعالیت این آنزیم نیز افزایش (۵/۵ برابر) پیدا می‌کند و پرایمینگ نیز سبب کاهش (۲۱ درصد)



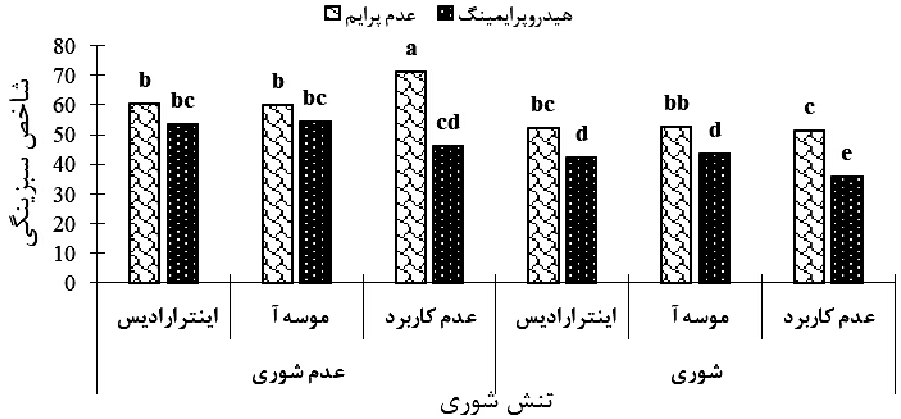
شکل ۳. الف) تأثیر تلقیح با قارچ و ب) برهم‌کنش پرایمینگ و شوری بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز گندم
(حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.)



شکل ۴. الف) برهم‌کنش پرایمینگ و شوری و ب) تلقیح با قارچ و شوری بر فعالیت کاتالاز گندم
(حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.)

فعالیت آنزیم در شرایط تنش شد (شکل ۴- الف). اثر تلقیح در شوری نیز نشان داد که تلقیح در شرایط بدون تنش تأثیری بر فعالیت کاتالاز نداشته، ولی کاربرد گونه موسهآ بیشترین تأثیر (۱/۹۵ واحد استاندارد در میلی‌گرم پروتئین) را بر فعالیت کاتالاز در شرایط تنش در مقایسه با عدم شوری و گونه اینترارادیس نشان داد (شکل ۴- ب)

پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی و تولید مالون دی آلدئید از موارد آسیب اکسیداتیو در شرایط تنش شوری است (۴۶). افزایش میزان رادیکال‌های فعال اکسیژن در گیاه باعث می‌شود که برای کاهش اثرات سمی تنش اکسیداتیو، مکانیسم‌های متنوعی در گیاه فعال شود. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به‌عنوان سریع‌ترین واحدهای مقابله کننده در برابر حمله اکسیژن‌های فعال به‌شمار می‌آید (۱۱). گزارش‌های زیادی در مورد نقش قارچ‌های میکوریزی در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی در کاهش اثر تنش شوری و سایر تنش‌ها وجود دارد، ولی نتایج این مطالعه معنی‌دار نبودن برهم‌کنش قارچ‌ها و تنش شوری را نشان دادند. با افزایش میزان شوری، سیستم آنتی‌اکسیدانت گیاه فعال شده و با افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان اولین سد دفاعی در مقابل حمله رادیکال‌های اکسیژن، در مقابل خسارات ناشی از تنش شوری مقاومت کرده و تا زمانی که گیاه قادر به مهار حجم سوپراکسید تولید شده در گیاه باشد، این فرایند ادامه دارد (۳۷). این آنزیم



شکل ۵. برهم‌کنش پرایمینگ بذر و تلقیح با قارچ بر شاخص سبزینگی (SPAD) گندم تحت تنش شوری
(حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.)

موجب تبدیل رادیکال‌های مختلف اکسیژن به مالون‌دی‌آلدئید می‌شود. کاتالاز، اصلی‌ترین آنزیم جاروبگر پراکسید هیدروژن و از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاهان محسوب می‌شود و تنش شوری در بسیاری از گیاهان، موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شده است (۲۷).

شاخص سبزینگی

شاخص سبزینگی برگ‌های گندم نیز تحت تأثیر شوری، پرایمینگ، شوری در تلقیح، پرایمینگ در تلقیح و اثر سه‌گانه شوری در پرایمینگ در تلقیح قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه نشان داد، شوری موجب کاهش شاخص سبزینگی می‌شود که این افت در شرایط شوری، در گیاهان تلقیح نشده بیشتر از گیاهان تلقیح شده با قارچ بود. در شرایط بدون تنش، بدون تلقیح و بدون پرایمینگ بالاترین شاخص سبزینگی ((۷۱)) را به‌خود اختصاص داد، این در حالی بود که در شرایط تنش، در تیمارهای بدون پرایمینگ تفاوت معنی‌داری بین سطوح تلقیح با قارچ وجود نداشت، ولی در اثر پرایمینگ تفاوت معنی‌داری بین شرایط بدون تلقیح و تلقیح با قارچ مشاهده شد (شکل ۵).

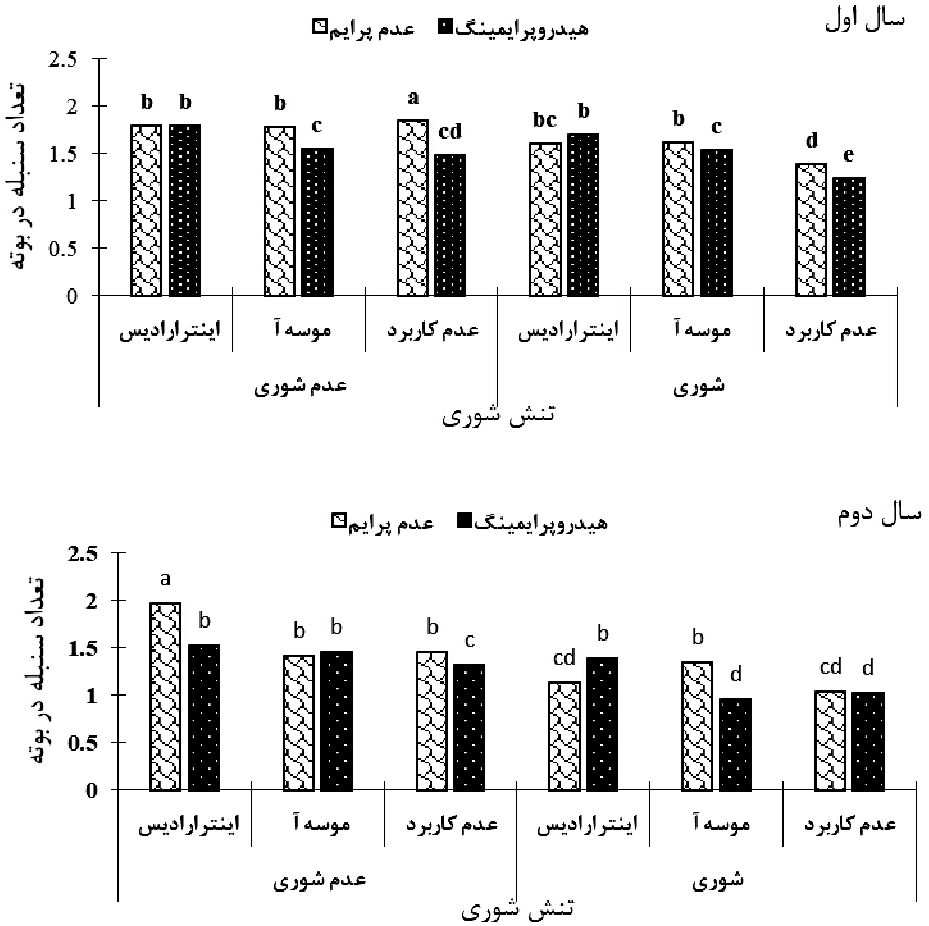
مطالعات نشان داد که تنش شوری اثر منفی بر محتوای کلروفیل داشته و کاهش محتوای کلروفیل از عوامل مهم تأثیرگذار در ظرفیت فتوسنتزی و ناکارآمدی برگ‌ها در انجام فتوسنتز است. علت کاهش کلروفیل احتمالاً تغییر مسیر متابولیسم نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی مانند پرولین است، که برای تنظیم اسمزی به‌کار می‌رود (۲۳). همچنین کاربرد قارچ‌های میکوریز، با بهبود تثبیت نیتروژن آزادزی در خاک، میزان کلروفیل و شاخص سبزینگی را افزایش می‌دهد. در این آزمایش، تحت تنش شوری شاخص سبزینگی کاهش یافته، ولی مقدار پرولین افزایش یافت. افزایش مقدار کلروفیل می‌تواند یکی از مکانیسم های افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری باشد که می‌تواند به‌وسیله تلقیح با قارچ حاصل شود. افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ *Piriformospora indica* می‌تواند به‌دلیل بهبود وضعیت آبی گیاه باشد. از دلایل دیگر در افزایش میزان کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ، جذب بیشتر عناصر معدنی و کاهش میزان جذب سدیم است که نتایج شکل ۱ نیز مؤید این مطلب است. تیمار پرایمینگ نیز با افزایش میزان جذب سدیم در اندام هوایی موجب کاهش شاخص سبزینگی شد. همچنین قارچ میکوریز با افزایش جذب منیزیم موجب افزایش ساخت کلروفیل می‌شوند (۱۹). پژوهشگران بر این باورند که رشد گیاه در شرایط تنش شوری طی دو مرحله کاهش می‌یابد، بدین صورت که در مرحله اول، مصرف انرژی توسط سلول‌های گیاهی برای تنظیم اسمزی به‌عنوان

عکس‌العملی در برابر نمک موجود در محیط و در مرحله دوم (واکنش ثانویه) اثرات سمی ناشی از تجمع بیش از حد نمک در سلول و اجزای مختلف آن ازجمله کلروپلاست و میتوکندری، موجب کاهش رشد گیاه می‌شود (۳۳).

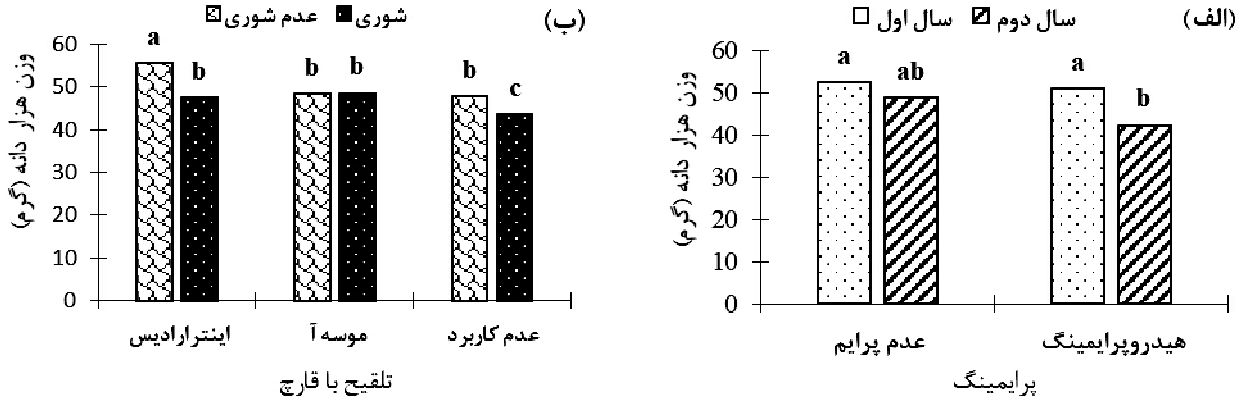
اجزای عملکرد

اجزای عملکرد دانه از قبیل تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن هزاردانه نیز تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. تعداد دانه در سنبله تنها تحت تأثیر اثر اصلی سال و شوری قرار گرفت، این درحالی بود که تعداد سنبله در بوته تنها تحت تأثیر برهم‌کنش چهارگانه سال، شوری، پرایمینگ و تلقیح قرار گرفت. وزن هزاردانه نیز علاوه بر اثرات اصلی تحت تأثیر اثر متقابل شوری در تلقیح و سال در پرایمینگ قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین مربوط به تعداد دانه در سنبله نشان داد که شوری موجب کاهش ۷/۴ درصدی تعداد دانه در سنبله شد و همچنین در سال دوم زراعی تعداد دانه ۴/۷ درصد بیشتر از سال اول بود. مقایسه میانگین‌های مربوط به تعداد سنبله در بوته نیز نشان داد در هر دو سال تنش شوری موجب کاهش تعداد سنبله در بوته شد. در سال اول مورد مطالعه در شرایط بدون تنش و بدون پرایمینگ، تلقیح قارچ موجب کاهش تعداد سنبله در بوته شده، که علت آن تخصیص برخی از اسمولیت‌های فتوسنتزی تولیدی برای همزیستی قارچ‌ها با گیاه موجب کاهش توان تولیدی گیاه می‌شود، ولی در شرایط پرایمینگ، به‌علت افزایش جذب سدیم، تلقیح توانست افت ناشی از پرایمینگ را جبران کند و موجب بهبود تعداد سنبله در بوته شود. در شرایط شوری نیز در هر دو تیمار بدون پرایمینگ و پرایمینگ، کاربرد قارچ تأثیر مثبتی بر تعداد سنبله در بوته نشان داد. کاربرد گونه موسه‌آ در سال دوم زراعی هم در شرایط پرایمینگ و هم بدون پرایمینگ اثری بر تعداد سنبله در بوته در شرایط بدون تنش نداشت، ولی کاربرد گونه اینترارادیس در شرایط بدون پرایمینگ اثر مثبت نشان داد. همچنین در شرایط تنش نیز مشاهده شد، کاربرد گونه موسه‌آ در نبود پرایمینگ و کاربرد گونه اینترارادیس در تیمار پرایمینگ مؤثرتر بودند (شکل ۶) بنابراین به‌نظر می رسد که گونه قارچ اینترارادایس هماهنگی بهتری با تیمار پرایمینگ بذر دارد. مقایسه میانگین‌های مربوط به وزن هزاردانه نیز نشان داد، پرایمینگ در سال اول اثر معنی‌داری بر وزن هزاردانه نداشته، ولی در سال دوم موجب کاهش (۱۷ درصدی نسبت به سال اول) معنی‌دار در وزن هزاردانه شد (شکل ۷- الف). همچنین مشاهده شد، کاربرد گونه اینترارادیس در شرایط بدون تنش مؤثرتر از موسه‌آ بوده، ولی در شرایط تنش تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. بالاترین وزن هزاردانه (۴۸/۵۳ گرم) از عدم تنش شوری و کاربرد گونه اینترارادیس به‌دست آمد (شکل ۷- ب).

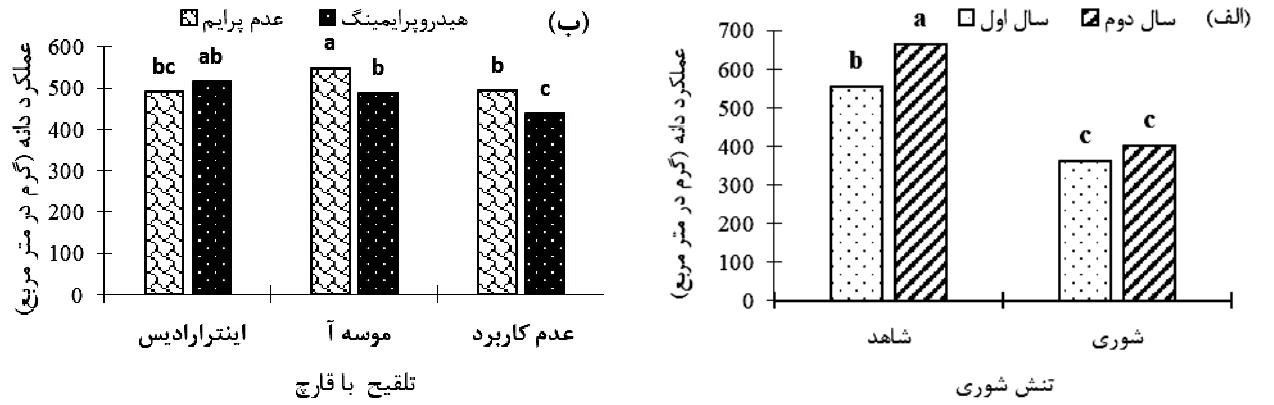
مشخص شده است که میکروارگانیسم‌های محرک رشد موجب افزایش تعداد پنجه و سنبله‌های بوته در رقم دوروم گندم می‌شوند (۵). ولی تکنیک پرایمینگ مزرعه موجب کاهش کارایی این میکروارگانیسم‌ها شده و از طریق جذب بیشتر سدیم و افزایش شدت تنش شوری کاهش شاخص سبزینگی و اجزای عملکرد را به‌همراه دارد. گزارش شده که کاربرد سویه‌های سودوموناس فلورسنت موجب افزایش ارتفاع بوته و تعداد پنجه‌های بارور شد (۸). تلقیح باکتری‌های حاوی آنزیم ACC دی‌آمینار موجب افزایش عملکرد دانه، وزن ریشه، تعداد پنجه و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کاه و دانه گندم می‌شود (۴۴). گزارش شده است که کاربرد همزمان میکوریز با باکتری‌های محرک رشد می‌تواند در بهبود عملکرد، بیوماس کل و شاخص سطح برگ در شرایط محدودیت آبی مؤثر باشد (۲۹). به‌نظر می‌رسد که افزایش تأمین آب کافی از ابتدای رشد گیاه منجر به افزایش پنجه‌زنی و تعداد برگ می‌شود، درنتیجه جذب دی‌اکسید کربن و میزان فتوسنتز بهبود می‌یابد و بهبود عملکرد را به‌همراه دارد. رقابت دانه‌ها در به‌دست آوردن مواد غذایی از یک‌سو و کاهش کربوهیدرات ذخیره‌ای گیاه از سوی دیگر از عوامل رقابت دانه و کاهش وزن آنها در شرایط تنش به‌شمار می‌آید. کاربرد قارچ میکوریز نیز با بهبود این شرایط



شکل ۶. برهم‌کنش پرایمینگ و تلقیح با قارچ بر تعداد سنبله در بوته گندم تحت تنش شوری در دو سال زراعی
(حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.)



شکل ۷. الف) برهم‌کنش پرایمینگ و سال و ب) تلقیح با قارچ و شوری بر وزن هزاردانه گندم
(حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.)



شکل ۸. الف) برهم‌کنش تنش شوری و سال و ب) تلقیح با قارچ و پرایمینگ بر عملکرد دانه گندم
(حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.)

موجب کاهش تأثیر منفی تنش می‌شود و در افزایش وزن دانه‌های گندم نقش مؤثری ایفا می‌کند (۷).

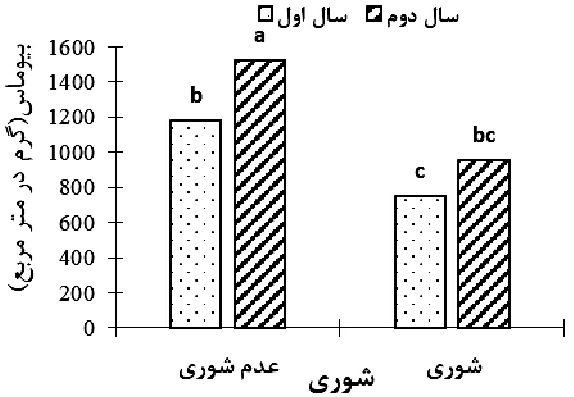
عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نیز نشان داد که اثر سال، تنش شوری، در سطح احتمال یک درصد و اثر پرایمینگ، تلقیح، سال در شوری، پرایمینگ در تلقیح در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین مربوط به سال در شوری نشان داد، عملکرد دانه در سال دوم بیشتر از سال اول بود دلیل آن احتمالاً به بالاتر بودن تعداد دانه در سنبله، در سال دوم، به‌علت پایین بودن دما در دوره گلدهی و پر شدن دانه در این سال مربوط است که موجب کاهش تعداد سقط گل است (شکل ۸- الف). همچنین مقایسه میانگین مربوط به اثر تلقیح در پرایمینگ نیز نشان داد، در شرایط عدم پرایمینگ، کاربرد گونه موسه‌آ بالاترین عملکرد دانه را به‌خود اختصاص داد. بالاترین عملکرد دانه مربوط به نبود پرایمینگ (شاهد) و تلقیح با گونه موسه‌آ و پرایمینگ و تلقیح با گونه اینترارادیس با میانگین‌های ۵۴۷/۵ و ۵۱۵/۵ گرم در متر مربع بوده که با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. کاهش عملکرد دانه در شرایط پرایمینگ و تلقیح با موسه‌آ را می‌توان به ضعف میزان همزیستی این گونه میکوریز با گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده، نسبت داد (شکل ۸- ب).

مطابق پژوهش‌ها، گندم گیاهی به‌نسبت متحمل به شوری بوده و شوری محدود شش تا هشت دسی‌زیمنس بر متر تأثیر قابل توجهی بر عملکرد این گیاه ندارد (۲۰). گزارش شده است که افت عملکرد گندم در شرایط تنش شوری بیشتر با تعداد دانه مرتبط است و بر تغییرات وزن دانه تأثیر کمتری دارد (۲۴) موضوعی که در تحقیق حاضر نیز مشهود است. افت عملکرد در اثر شوری به‌علت کاهش اجزای عملکرد می‌تواند به مراحل رویشی و کاهش فتوسنتز و رشد زایشی نیز مرتبط باشد (۲۵). همچنین گزارش شده، تلقیح گندم با گونه‌های *G. etunicatum*، *G. mosseae* و *G. intraradices* موجب کاهش تأثیرات منفی تنش شوری شده است و کاربرد همزمان و تلفیقی آنها موجب افزایش آثار مثبت آنها می‌شود (۳۱). در آزمایشی گزارش شده است که کاربرد *G. etunicatum* و *G. mosseae* بسته به ژنوتیپ متفاوت است، به‌طوری‌که کاربرد *G. etunicatum* در ژنوتیپ‌های کویر و طبسی مؤثرتر و کاربرد *G. mosseae* موجب بهبود عملکرد ژنوتیپ روشن در تنش شوری شد (۱۳). افزایش عملکرد دانه در اثر تلقیح با گونه‌های *G. etunicatum* و *G. mosseae* در شرایط تنش به بهبود بیوماس نسبت داده شده است (۶).

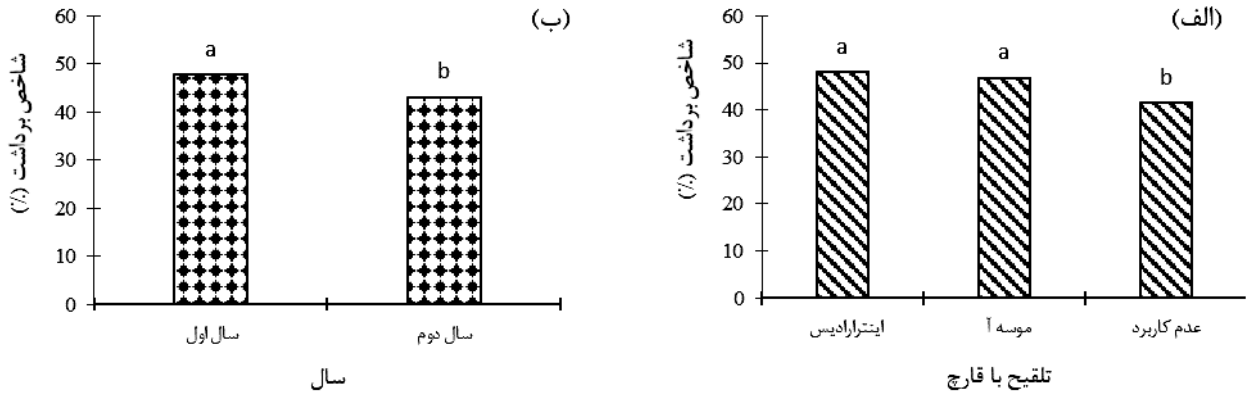
بیوماس و شاخص برداشت

نتایج مربوط به میزان بیوماس تولید و شاخص برداشت نیز نشان داد، اثر سال بر میزان بیوماس و شاخص برداشت و اثر تلقیح بر شاخص برداشت در سطح یک درصد اثرگذار بود، این



شکل ۹. برهم‌کنش تنش شوری و سال بر میزان بیوماس گندم

(حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.)



شکل ۱۰. الف) اثر تلقیح با قارچ و ب) سال بر شاخص برداشت گندم

(حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.)

درحالی بود که اثر شوری و برهم‌کنش آن در سال تنها بر میزان بیوماس در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها برهم‌کنش شوری در سال را نشان داد، شوری موجب کاهش ۳۸/۶ درصدی میزان بیوماس گندم در سال اول و ۳۷/۴ درصدی آن در سال دوم زراعی شد (شکل ۹). مقایسه میانگین‌های مربوط به شاخص برداشت نیز نشان داد، کاربرد قارچ‌ها موجب افزایش ۱۴/۵ درصدی شاخص برداشت نسبت به شرایط غیرتلقیح شد، ولی بین گونه‌های مختلف این قارچ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و هر دو در یک سطح آماری قرار گرفتند (شکل ۱۰- الف). همچنین نتایج نشان داد، میزان شاخص برداشت در سال اول زراعی ۱۰/۸ درصد بیشتر از سال دوم بود (شکل ۱۰- ب).

شاخص برداشت که نشان‌دهنده سهم بیوماس کل اندام‌های هوایی ذخیره شده در دانه است، می‌تواند بسته به زمان و شدت اعمال شوری متغیر باشد. معمولاً شاخص برداشت در سطوح پایین و ملایم تنش افزایش یافته، ولی بعد از آستانه تحمل، با کاهش شدید در عملکرد دانه کاهش شاخص برداشت مشاهده می‌شود (۳۶). حبیبی و همکاران (۲۱) نشان دادند، شاخص برداشت با افزایش شوری افزایش یافت؛ و تیمارهای قارچی و برهم‌کنش استریلیزاسیون خاک و قارچ میکوریز بر شاخص برداشت نیز دارای تأثیر معنی‌دار بود. در میان گونه‌های قارچی تنها *G. intraradices* اختلاف معنی‌داری با شاهد

نداشت.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش شوری موجب افزایش میزان سدیم در بافت‌های هوایی گیاه و ایجاد اختلال در شاخص سبزینگی و رشد گیاه و همچنین تعداد دانه در سنبله، سنبله در بوته، وزن هزاردانه و درنهایت عملکرد دانه شد. در این شرایط گیاه برای مقابله با تنش از افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و پرولین برای سازگاری استفاده می‌کند که شدت تغییرات این صفات بستگی به میزان تحمل رقم دارد. همچنین مشاهده شد که کاربرد قارچ‌های میکوریز به‌ویژه گونه موسهآ بیشتر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه تأثیر داشته و از این طریق موجب بهبود تولید گیاه در شرایط تنش شد، ولی برهم‌کنش آنها با تنش بر سیستم‌های دفاعی در مقابله با تنش معنی‌دار نبود. کاربرد پرایمینگ بذر کمک مؤثری در بهبود خصوصیات رشدی نداشت و تنها در ترکیب با قارچ گونه اینترارادایس در افزایش تعداد سنبله در بوته مؤثر بود. بنابراین می‌توان گفت قارچ‌های میکوریز با تغذیه بهتر گیاه موجب حفظ عملکرد رقم پارسی در شرایط تنش می‌شوند.

منابع مورد استفاده

1- Abdel-Fattah, G. M. and A. Asrar. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal application to improve growth and tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in saline soil. *Acta Physiologiae Plantarum* 34: 267-277.

2- Aboutalebian, M. A., F. Sharif zade, M. R. Jahansooze, A. Ahmadi and M. R. Naghavi. 2008. Effect of seed priming of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) of different three climates of Iran on germination, seedling establishment and yield. *Journal of Iranian Crop Sciences* 39(1): 145-154. (In Farsi).

3- Afzal, S., N. Akbar, Z. Ahmad, Q. Maqsood, M. A. Iqbal and M. R. Aslan. 2013. Role of seed priming with zinc in improving the hybrid maize (*Zea mays* L.) yield. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 13(3): 301-306.

4- Aghababaeian Najafabadi, M. and M. Sepehri. 2017. Effect of *Piriformospora indica* endophytic on reducing adverse effects of salt stress on corn plant (*Zea mays* L). *Environmental Stress in Crop Sciences* 10(2): 319-329. (In Farsi).

5- Ali, S., M. Hamza, G. Amin, M. Fayez, M. El-Tahan, M. Monib and N. Hegazi. 2005. Production of biofertilizers using baker's yeast effluent and their application to wheat and barley grown in north Sinai deserts. *Archives of Agronomy and Soil Science* 51(6): 589-604.

6- Al-Karaki, G., B. McMichael and J. Zak. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhizae* 14: 263-269.

7- Arshad, M., B. Shaharoona and T. Mahmood. 2008. Inoculation with *Pseudomonas* spp. containing ACC-deaminase partially eliminates the effects of drought stress on growth, yield, and ripening of pea (*Pisum sativum* L.). *Pedosphere* 18: 611-620.

8- Bacilio. M., H. Rodriguez, M. Moreno, J. P. Hernandez and Y. Bashan. 2004. Mitigation of salt stress in wheat seedling by agfp-taged *Azospirillum lipoferum*. *Biology and Fertility of Soils* 40: 188-193.

9- Baltruschat, H., J. Fodor, B. D. Harrach, E. Niemczyk, B. Barna and G. Gullner. 2008. Salt tolerance of barley induced by the root endophyte *Piriformospora indica* is associated with a strong increase in antioxidants. *New Phytologist* 180: 501-510.

10- Bates, L. S., R. P. Waldren and L. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.

11- Bor, M., F. Ozdemir and I. Turkan. 2003. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. *Plant Science* 164: 77-84.

12- Chance, B. and A. C. Maehly. 1955. Assay of catalases and peroxidases. *Methods of Biochemical Analysis* 1: 357-424.

13- Daei, G., M. R. Ardekani, F. Rejali, S. Teimuri and M. Miransari. 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.

14- Demir Kaya, M., G. Okçu, M. Atak, Y. Çikili, and O. Kolsarici. 2006. Seed treatment to overcome salt and drought

stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy* 24: 291-295.
15- El-Amri, S. M., H. M. Al-Whaibi, G. M. Abdel-Fattah and M. H. Siddiqui. 2013. Role of mycorrhizal fungi in tolerance of wheat genotypes to salt stress. *African Journal of Microbiology Research* 7(14): 1286-1295.
16- Fabunmi, T. O., B. K. Gbadamosi and S. O. Adigbo. 2012. Seed hydro-priming and early moisture stress impact on biomass production and grain yield of cowpea. *International Journal of Applied Sciences and Technology* 2(10): 112-122.
17- Ghorbani, M. H., E. Zainali, E. Soltani and S. Galshi. 2003. Effect of salinity stress on growth, yield and comparing yield of two genotypes of wheat. *Agricultural Sciences and Natural Resources* 10(4): 5-14. (In Farsi).
18- Giannopolitis, C. N. and S. K. Ries. 1977. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology* 59: 309-314.
19- Giri, B., R. Kapoor and K. G. Mukerji. 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.
20- Grieve, C. M., S. R. Grattan and E. V. Maas. 2012. Plant salt tolerance. PP. 405-459. *In*: Wallendar, W.W. and K. K. Tanji, (Eds.), Agricultural Salinity Assessment and Management. American Society of Civil Engineers Press, Reston.
21- Habibi, S., M. Mehrbashi and M. Farzaneh. 2015. Effect of mycorrhizal fungus (*Glomus* spp.) on wheat (*Triticum aestivum*) and its effects on water quality. *Iranian Journal of Agricultural Research* 13(3): 471-484. (In Farsi).
22- Hamada, A. M. and A. E. EL-enany. 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum* 36: 75-81.
23- Hung, I. and R. E. Redman. 1995. Solute adjustment to salinity and calcium supply in cultivated and wild barley. *Journal of Plant Nutrition* 18: 1371-1389.
24- Husain, Sh., R. Munns and A. G. Condon. 2003. Effect of sodium exclusion trait on chlorophyll retention and growth of durum wheat in saline soil. *Australian Journal of Agricultural Research* 54: 589-597.
25- Ibrahim, A. H., G. M. Abdel-Fattah, F. M. Eman, M. H. Abdel-Aziz and A. E. Shohr. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi and spermine alleviate the adverse effects of salinity stress on electrolyte leakage and productivity of wheat plants. *Phyton; Annales rei Botanicae* 51(2): 261-268.
26- Kandowangko, N. Y., G. Suryatmana, N. Nurlaeny and R. D. M. Simanungkalit. 2009. Proline and abscisic acid content in droughted corn plant inoculated with *Azospirillum* sp. and Arbuscular mycorrhizae fungi. *Hayati Journal of Biosciences* 16(1): 15-20.
27- Khan, M. U., M. A. Shirazi, S. M. Khan and E. Mujtaba. 2009. Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Botany* 41(2): 633-638.
28- Khan, M. H. and S. K. Panda. 2008. Alternations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 30: 81-89.
29- Kheyri Zadeh, I., R. Seyed Sharifi, M. Sedqi and M. Barmaki. 2015. Effects of biofertilizers and nano zinc oxide on remobilization and some growth indices of triticale under water limitation conditions. *Crop Physiology Journal* 7(26): 37-55. (In Farsi).
30- Lee, S. S. and J. H. Kim. 2000. Total sugars, α-amylase activity and germination after priming of normal and aged rice seeds. *Korean Journal of Crop Science* 43: 157-160.
31- Mardukhi, B., F. Rejali, M. J. Malakuti and V. Mardukhi. 2008. Effect of symbiosis mycorrhizal fungus on yield and yield component of two varieties resistant and partially resistant of wheat in different levels of salinity. *The Iranian Journal of Soil Research* 22(1): 83-95. (In Farsi).
32- Mazaheri, D. and N. Majnoon Hoseini. 2001. Fundamental of Agronomy. Tehran University Press, Tehran. (In Farsi).
33- Moller, I. M. 2001. Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52: 561-591.
34- Massarat, N., A. Sayidat, M. Sharafizadeh and B. Habibi Khaniyani. 2015. Effect of halopriming and hydropriming on germination of seeds and seedling growth of maize hybrid SC704 under drought stress. *Crop Physiology Journal* 5(19): 59-49. (In Farsi).
35- Mousavi, R., M. A. Aboutalebian and A. Sepehri. 2012. The effects of on-farm seed priming and planting date on emergence characteristics, yield and yield components of a corn cultivar (SC 260) in Hamedan. *Annals of Biological Research* 3(9): 4427-4434.
36- Munns, R., R. A. James and A. Lauchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany* 57(5): 1025-1043.
37- Nagamiya, K., T. Motohashi, K. Nakao, Sh. Prodhan, E. Hattori, S. Hirose, K. Ozawa, Y. Ohkawa and T. Takabe. 2007. Enhancement of salt tolerance in transgenic rice expressing an *Escherichia coli* catalase gene, *kat* E. *Plant Biotechnology Reports* 1: 49-55.

38- Peng, S. L., H. Shen, J. J. Yuan, C. F. Wei and T. Guo. 2011. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on soil aggregation dynamics of neutral purple soil. *Acta Ecologica Sinica* 31: 498-505.
39- Reddy, A. R., K. V. Chaitanya and M. Vivekanandan. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161: 1189-1202.
40- Shirazi, M. U., M. Y. Ashraf, M. A. Khan and M. H. Nagvi. 2005. Potassium induced salinity tolerance in wheat. *International Journal of Environment Science and Technology* 2(3): 233-236.
41- Singh, R. P., A. Choudhary, A. Gulati, H. C. Dahiya, P. K. Jaiwal and R. S. Sengar. 2000. Response of plants to salinity in interaction with other abiotic and factors. PP. 25-39. *In*: Jaiwal, P. K., R. P. Singh and A. Gulati, (Eds.), Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants. Science Publishers, Enfield, New Hampshire.
42- Sudhakar, C., A. Lakshmi and S. Giridara Kumar. 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science* 161: 613-619.
43- Tuteja, N. 2007. Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in Enzymology* 428: 419-438.
44- Wagar, A., B. Shahroona, Z. A. Zahir and M. Arshad. 2004. Inoculation with ACC deaminase containing rhizobacteria for improving growth and yield of wheat cultivars. *Pakistan Journal of Agriculture* 41: 119-124.
45- Wang, W., B. Vinocur and A. Altman. 2003. Plants responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218(1): 1-14.
46- Yang, Y. L., J. K. Guo, F. Zhang, L. Q. Zhaob and L. X. Zhang. 2004. NaCl induced changes of the H^+-ATPase in root plasma membrane of two wheat cultivars. *Plant Science* 166: 913-918.
47- Younesi, O. and A. H. Moradi. 2016. Evaluation of antioxidant enzymes activity in response to mycorrhizal inoculation in wheat under salt stress. *Journal of Crops Improvement* 18(1): 21-30. (In Farsi).
48- Zhongqunlle, H., H. Chaoxing, Z. Zhi Bin, Z. Zhi Rong and W. Huaisong. 2007. Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. *Colloids and Surfaces B: Bionterfaces* 59: 128-133.
49- Zou, Y. N., Y. C. Liang and Q. C. Wu. 2013. Mycorrhizal and non-mycorrhizal response to salt stress in trifoliate orange: plant growth, root architecture and soluble sugar accumulation. *International Journal of Agriculture and Biology* 15: 565-569.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 10, No. 3, Fall 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Seed Priming and Mycorrhiza on Some Physiological Characteristics, Yield and Yield Components of Wheat under Salt Stress Conditions

R. Mahmoudieh Cham Piri[1] and M. A. Aboutalebian[2*]

(Received: May 26-2019; Accepted: October 28-2019)

Abstract

In order to evaluate the effect of seed priming and inoculation of two mycorrhizal species on a number of physiological characteristics, yield and yield components of a wheat cultivar (Parsi) in salinity stress conditions, an experiment was conducted as a split-plot factorial based on a randomized complete block design with three replications in the years 2014-15 and 2015-16 at Isfahan Jihad Training Center. The experimental factors consisted of two irrigation treatments with saline water (electrical conductivity of 3 and 11 dS/m) in the main plots, and three levels of *Glomus* species (*G. intraradices*, *G. mosseae* and non-application) and two seed priming treatments (hydroprimed seeds as on-farm priming and non-primed seeds) were placed in the sub plots as a factorial. The combined analysis showed that salinity stress affected many of the measured traits and mycorrhiza application reduced the negative effects of salt stress on sodium accumulation in shoots, SPAD index, and spikes/plant and 1000-seed weight and had significant interaction with salinity stress. Application of *G. intraradices* reduced the sodium content of leaves in salinity conditions by 17% in comparison with *G. mosseae*. Also, mycorrhizal inoculation increased leaf proline by 20% and seed priming decreased this osmolyte by 18.5%. Application of *G. mosseae* species led to a 15.6% increase in the activity of superoxide dismutase in comparison with non-inoculation treatment and produced higher grain yield (9.5%). In this study, seed priming had no effect on yield and its components, except in the second year of the experiment when priming under inoculation with *G. intraradices* resulted in a 23% increase in the spikes/plant compared to non-priming. Another result was an increase of 14.5% of the harvest index due to the mycorrhizal inoculation. In general, the application of mycorrhiza in saline conditions is beneficial to the wheat plants, but the use of seed priming can only be useful if it is accompanied with the inoculation of wheat by the *G. intraradices*.

Keywords: *Glomus fungus*, harvest index, proline, spike per plant, superoxide dismutase

1, 2. Ph.D. Student and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: aboutalebian@yahoo.com