

کاهش اثرات تنش شوری در تریتیکاله (*Triticosecale*) با کاربرد کودهای زیستی و

روی

یونس خیری‌زاده آروق، رئوف سیدشریفی* و راضیه خلیل‌زاده

ایران، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه زراعت و اصلاح نباتات

تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۶

چکیده

تریتیکاله گیاهی ساخته دست بشر است که از تلاقی بین گندم و چاودار بوجود آمده است. در سال‌های اخیر، توجه به تریتیکاله بدلیل پتانسیل تولید دانه و استفاده از آن بعنوان علوفه گسترش پیدا کرده است. بمنظور تعدیل اثرات تنش شوری در تریتیکاله با کاربرد کودهای زیستی و روی، آزمایش فاکتوریلی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۳ اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری خاک در چهار سطح (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌مولار بترتیب معادل ۱/۸۵، ۳/۷ و ۵/۵۵ دسی‌زیمس بر متر از نمک کلرید سدیم)، کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد سودوموناس پوتیدا استرین ۱۸۶ و ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵، کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد) و محلول پاشی با نانوآکسید روی در سه سطح (صفر، ۰/۴ و ۰/۸ گرم در لیتر) بود. نتایج نشان داد که تنش شوری کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m)، محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب و عملکرد دانه را کاهش داد در حالی که هدایت الکتریکی و پروتئین دانه افزایش یافت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین عملکرد دانه، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب و محتوای کلروفیل در حالت کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز، محلول پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانوآکسید روی و عدم اعمال شوری به دست آمد. بیشترین میزان هدایت الکتریکی در شرایط عدم کاربرد کود زیستی، عدم محلول پاشی و شوری ۶۰ میلی‌مولار بدست آمد. اعمال شوری ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌مولار عملکرد دانه را بترتیب ۸/۹، ۲۲/۱۱ و ۳۲/۳۴ درصد کاهش داد و استفاده توأم کودهای زیستی و نانوآکسید روی بترتیب ۴۰/۱۷، ۴۹/۷۴ و ۴۰ درصد از این کاهش عملکرد را جبران کردند. بر اساس نتایج این بررسی، بنظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی با نانوآکسید روی می‌تواند برای سودمندی تولید تریتیکاله تحت شرایط شوری خاک توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: شوری، عملکرد دانه، پروتئین دانه، هدایت الکتریکی، هدایت روزنه‌ای

* نویسنده مسؤل، تلفن: ۰۹۱۴۳۵۵۶۵۸۵، پست الکترونیکی: Raouf_ssharifi@yahoo.com

مقدمه

گندم می‌باشد. ارقام مختلف تریتیکاله از سازگاری وسیعی نسبت به تغییرات طول روز و درجه حرارت برخوردار هستند و در شرایط نامساعد عملکرد بالاتری نسبت به گندم دارند (۴). تریتیکاله بطور روز افزون برای چرای دام، برداشت برای علوفه، سیلوی کل گیاه، علوفه خشک و اهداف دوگانه علوفه و دانه کشت می‌شود (۳۱). تریتیکاله

تریتیکاله، یک ترکیب ژنتیکی بین گندم و چاودار است و در خاک‌هایی که برای کشت گندم مناسب نیست از بیوماس کل و عملکرد بیش‌تری نسبت به گندم برخوردار است (۳۰). این گیاه دارای خصوصیات مطلوب چاودار از جمله رشد سریع و قابلیت تولید در اراضی فقیر و کم‌بازده و از طرف دیگر دارای خصوصیات برتر کیفی و زراعی

و یا تولید هورمون‌هایی مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین بهبود بخشند (۲ و ۲۵). ثقفی و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند که تلقیح بذر گندم با باکتری‌های افزاینده رشد موجب افزایش محتوای نسبی آب بافت می‌شود (۴۲).

قارچ‌های میکوریز بطور طبیعی یک بخش جدایی‌ناپذیر از اکوسیستم‌ها را شامل می‌شوند، این قارچ‌ها با بیش از ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی و بسیاری از گونه‌های مهم زراعی همزیستی برقرار می‌کنند. این قارچ‌ها به ویژه در سیستم‌های کشاورزی ارگانیک و پایدار نقش مهمی داشته و در فرآیندهای زیستی به جای مواد شیمیایی برای کنترل پاتوژن‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۹). همزیستی ایجاد شده بین قارچ‌های میکوریز و ریشه گیاهان نه تنها موجب افزایش سطح ریشه شده و افزایش جذب آب و مواد غذایی از حجم وسیعی از خاک را فراهم می‌کند، بلکه موجب محافظت از گیاه در برابر انواع تنش‌های زنده و غیر زنده می‌شود (۱۲). کاربرد شش گونه از قارچ‌های میکوریز باعث افزایش محتوای کلروفیل *Acacia auriculiformis* تحت شرایط شوری گردید (۱۵). گونک و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند که قارچ‌های میکوریز باعث افزایش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II می‌شوند (۱۶).

روی از عناصر کم‌مصرف ضروری برای رشد و عملکرد گیاهان است. این عنصر بعنوان یک جزء ساختاری مهم در آنزیم‌ها و پروتئین‌ها و هم چنین در فعال‌سازی سیستم‌های آنزیمی و سنتز پروتئین‌ها، فرآیند فتوسنتز و تشکیل قند، تولید بذر و مکانیسم دفاعی در برابر بیماری‌های مختلف نقش بسیار مهمی دارد (۵۰). روی برای تولید کلروفیل، گرده افشانی، لقاح و جوانه‌زنی مورد نیاز است و نقش مهمی در تولید زیست توده کل ایفا می‌کند (۸). روآچ و لیسزکای (۲۰۱۴) گزارش کردند که روی باعث افزایش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم III، فتوسنتز و محتوای کلروفیل می‌شود (۴۰).

بعنوان یک محصول با مزایای زیاد در بیش از ۳۰ کشور جهان کشت می‌شود. آلمان، فرانسه، لهستان، استرالیا، چین و بلاروس کشورهای پیشرو در تولید تریپتیکاله هستند (۳۲).

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی می‌باشد که با ایجاد اختلال در فرآیندهای مختلف بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در گیاهان، در نهایت منجر به کاهش تولید و عملکرد می‌شود. از این رو یک تهدید جدی برای بهره‌وری کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (۵۶). شرایط ناشی از تنش شوری با محدود کردن جذب آب و ایجاد تنش یونی، موجب تجمع غلظت بالایی از یون‌های سمی در سلول‌های گیاهی می‌شود (۲۶). شوری اثرات مختلفی را در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان مانند کاهش کارایی فتوسنتز و ایجاد اختلال در پایداری غشا دارد. کاهش سرعت فتوسنتز ممکن است ناشی از بسته شدن روزنه‌ها، کاهش هدایت مزوفیلی، تنش اسمزی و یا ناشی از آسیب به دستگاه فتوسنتزی باشد (۱۳). شوری باعث طیف وسیعی از اثرات زیان‌بار مانند مهار فتوسنتز، سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، آسیب به نفوذپذیری غشای پلاسمایی، کاهش محتوای نسبی آب برگ و دیگر اختلالات متابولیکی می‌شود (۲۱). استفاده از کودهای زیستی با بهره‌گیری از قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های محرک رشد گیاه یکی از راهکارهای موثر در کاهش اثرات سمی ناشی از شوری بالا در رشد گیاهان به شمار می‌روند (۱۰).

دیمکپا و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که میکروارگانیسم‌های موجود در ریزوسفر، به ویژه باکتری‌های محرک رشد و قارچ‌ها می‌توانند موجب بهبود عملکرد گیاهان در محیط‌های تحت شرایط تنش شوند (۱۰). باکتری‌های محرک رشد می‌توانند رشد گیاهان را به طور غیر مستقیم از طریق کاهش پاتوژن‌های گیاهی و یا بطور مستقیم از طریق تسهیل جذب مواد مغذی از محیط زیست

درک بهتر از واکنش‌های فیزیولوژیکی تحت تنش شوری ممکن است به برنامه‌هایی که هدف آن‌ها ایجاد تحمل به شوری در گیاهان است کمک کند. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثرات کودهای زیستی و نانوآکسید روی پروتئین دانه و روند تغییرات هدایت روزنه‌ای، کارایی فتوشیمیایی فتوسیتیم II، هدایت الکتریکی، محتوای کلروفیل و عملکرد تریپتیکاله در شرایط شوری است.

مواد و روشها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری در چهار سطح (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌مولار بترتیب معادل ۱/۸۵، ۳/۷ و ۵/۵۵ دسی‌زیمس بر متر از نمک کلرید سدیم)، کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم باکتری-های محرک رشد سودوموناس و ازتوباکتر، کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد) و محلول پاشی با نانوآکسید روی در سه سطح (صفر، ۰/۴ و ۰/۸ گرم در لیتر) بودند. قارچ میکوریزا استفاده شده از گونه *mosseae* *Glomus* و باکتری‌ها *Pseudomonas putida strain 186* و *Azotobacter chroococcum strain 5* بودند. باکتری‌ها از موسسه تحقیقات آب و خاک کشور، قارچ میکوریزا از شرکت زیست فناوری توران و بذر تریپتیکاله رقم جوانیلو از موسسه تحقیقات نهال و بذر کرج تهیه شد. نانوآکسید روی مورد استفاده با درصد خلوص ۹۹٪، میانگین اندازه ذرات کمتر از ۳۰ میلی‌متر و سطح ویژه ذرات بیش از ۳۰ مترمربع بر گرم، تولید کشور چین بود که از شرکت نوترینو تهیه شد.

شوری در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مرحله اول در ۴-۶ برگی و مرحله دوم دو هفته بعد از اعمال شوری اول) اعمال گردید. محلول پاشی با نانوآکسید روی در دو مرحله از دوره رشد رویشی (بعد از اعمال شوری اول و مرحله قبل از چکمه‌زنی) انجام شد. بدلیل حلال نبودن نانوآکسید روی در آب، ابتدا در آب دی‌یونیزه به صورت معلق در آمده و با استفاده از لرزش و ارتعاشات دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه) این مواد پخش شده و محلول گردید (۳۹). برای تلقیح بذرهای میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود استفاده گردید. همچنین از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرهای استفاده شد. تمام بذرهای به مدت دو ساعت در مایه تلقیح در شرایط تاریکی قرار گرفتند (۳). قارچ میکوریزا به میزان ۱۰ گرم در کیلوگرم خاک بر اساس توصیه شرکت زیست فناوری توران، با خاک گلدان مخلوط گردید. ۴۰ عدد بذر در هر گلدان برای اعمال تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است، کشت شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد. در طول دوره رشد کنترل علف‌های هرز به طریقه دستی انجام شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۶-۱۵ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی 65 ± 7 درصد نگهداری شدند. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

روند تغییرات محتوای نسبی آب بافت برگ پرچم بعد از ظهور برگ پرچم در فواصل زمانی هر ۴ روز یک بار با استفاده از روش چلاه و همکاران (۲۰۱۱) اندازه‌گیری گردید (۹).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک مورد استفاده

مشخصه	آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیترژن	فسفر			pH	درصد اشباع	بافت
							پتاسیم	روی	(میلی گرم بر کیلوگرم)			
میزان	۱۵	۲۳	۴۲	۳۵	۰/۶۲	۰/۰۶۲	۱۹/۸	۲۱۲	۲۸	۷/۸	۴۷	سیلتی لومی

برگ پرچم اندازه‌گیری شد و میانگین داده‌های حاصل بعنوان محتوای کلروفیل یادداشت گردید.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) برگ پرچم، نمونه‌های برگ پرچم در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب تقطیر شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت و سپس میزان هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه از روش سه مرحله‌ای کج‌دلال (هضم، تقطیر، تیتراسیون) استفاده شد. در زمان رسیدگی به منظور تعیین عملکرد، ۱۰ بوته از هر گلدان انتخاب شد و عملکرد تک بوته در بوته‌های انتخابی اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل بعنوان ارزش آن صفت در جدول تجزیه واریانس منظور گردید. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS 9.1 و Excel استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر شوری، کودهای زیستی، نانوآکسید روی و اثر ترکیب تیماری این سه عامل بر عملکرد و پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲).

بیشترین عملکرد تک بوته (۳/۶۴ گرم در بوته) در عدم اعمال شوری، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز و محلول پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کم‌ترین آن (۱/۶۵ گرم در بوته) در شوری ۶۰ میلی‌مولار،

بدین صورت که نمونه‌های برگ پرچم بلافاصله بعد از نمونه‌برداری توزین و وزن تر آن‌ها یادداشت گردید و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، وزن آماس یافته اندازه‌گیری و وزن خشک نیز از توزین نمونه‌ها بعد از قرار دادن نمونه‌های آماس یافته در آن با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، حاصل شد. محتوای نسبی آب بافت از رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$\text{RWC} = (F_w - D_w) / (T_w - D_w) \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه RWC محتوای نسبی آب، F_w وزن تر، T_w وزن آماس یافته و D_w وزن خشک است.

برای اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای برگ پرچم، از ۶۶ روز بعد از سبز شدن هر چهار روز یک بار توسط دستگاه پورومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK) از هر تیمار به طور تصادفی ۴ برگ پرچم توسعه یافته انتخاب و اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل برگ پرچم، از ۶۶ روز بعد از سبز شدن هر چهار روز یک بار توسط دستگاه Chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-30 (USA) از هر تیمار به طور تصادفی ۴ برگ پرچم توسعه یافته (در فاصله زمانی ساعت ۸-۱۰ صبح) انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیس‌های مخصوص، شاخص‌های F_v/F_m و F_m ، F_o اندازه‌گیری شدند (۵).

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ پرچم، از ۶۶ روز بعد از سبز شدن هر چهار روز یک بار توسط دستگاه (SPAD-502; Konica Minolta Sensing, Inc., Japan) از هر تیمار به طور تصادفی ۴ برگ پرچم و از ۳ قسمت هر

عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی بدست آمد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نانو اکسید روی، کودهای زیستی و محدودیت آبی بر عملکرد و پروتئین دانه تربتی کاله

میانگین مربعات			منابع تغییرات
پروتئین دانه	عملکرد تک بوته	درجه آزادی	
۰/۸۳ **	۰/۳۹ **	۲	تکرار
۱۶۹/۰۳ **	۶/۸۱ **	۳	شوری
۹/۶۴ **	۲/۲۵ **	۳	کودهای زیستی
۱۹/۶۸ **	۱/۴۷ **	۲	نانو اکسید روی
۱/۳۹ **	۰/۰۵۸ **	۹	شوری × کودهای زیستی
۱/۲۶ **	۰/۰۰۴ **	۶	شوری × نانو اکسید روی
۰/۵۳ **	۰/۰۰۲ *	۶	نانو اکسید روی × کودهای زیستی
۰/۲۷ *	۰/۰۱۱ **	۱۸	شوری × نانو اکسید روی × کودهای زیستی
۰/۱۳۲	۰/۰۰۶۴	۹۴	اشتباه آزمایشی
۲/۴۵	۳/۱۶	-	ضریب تغییرات (%)

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری نانو اکسید روی، کود زیستی و شوری بر عملکرد و میزان پروتئین دانه تربتی کاله

شوری	کود زیستی	عملکرد تک بوته (گرم)			درصد پروتئین دانه		
		سطوح روی (گرم در لیتر)	سطوح روی (گرم در لیتر)	سطوح روی (گرم در لیتر)	سطوح روی (گرم در لیتر)	سطوح روی (گرم در لیتر)	سطوح روی (گرم در لیتر)
		۰	۰/۴	۰/۸	۰	۰/۴	۰/۸
	عدم کاربرد کود زیستی	۲/۴۵ no	۲/۶۸ j	۲/۸۲ h	۱۰/۵۹ y	۱۰/۹۷ xy	۱۱/۴۳ wx
صفر	میکوریز	۲/۷۲ ij	۲/۸۹ fg	۳/۱ d	۱۱/۲۵ wx	۱۲/۰۹ uv	۱۲/۴۷ s-u
	باکتری	۳/۱ d	۳/۱ d	۳/۳۹ b	۱۱/۷۲ vw	۱۲/۲۸ t-v	۱۲/۷۵ st
	میکوریز + باکتری	۳/۱۱ d	۳/۴۱ b	۳/۶۴ a	۱۲/۱۹ t-v	۱۲/۶۶ s-u	۱۳/۸۸ pq
	عدم کاربرد کود زیستی	۲/۳۴ p	۲/۴۳ o	۲/۶ k	۱۲/۹۴ rs	۱۳/۵۱ qr	۱۴/۹۲ l-n
۲۰ میلی مولار	میکوریز	۲/۴۹ mn	۲/۶ k	۲/۸۶ gh	۱۲/۷۵ st	۱۴/۲۶ op	۱۵/۱ l-n
	باکتری	۲/۷۲ ij	۲/۹۳ f	۳ e	۱۳/۴۱ qr	۱۴/۸۲ m-o	۱۵/۹۵ h-j
	میکوریز + باکتری	۲/۹۱ f	۳/۰۱ e	۳/۲۸ c	۱۴/۶۳ no	۱۴/۶۳ no	۱۶/۴۲ gh
	عدم کاربرد کود زیستی	۱/۹۳ t	۲/۱۲ r	۲/۳۲ p	۱۴/۸۲ m-o	۱۵/۰۱ l-n	۱۵/۰۱ l-n
۴۰ میلی مولار	میکوریز	۲/۰۶ s	۲/۲ q	۲/۴۳ o	۱۴/۵۴ no	۱۶/۵۱ f-h	۱۶/۳۲ g-i
	باکتری	۲/۲۱ q	۲/۳۲ p	۲/۵۴ l	۱۵/۲۹ k-m	۱۵/۷۶ i-k	۱۵/۷۶ i-k
	میکوریز + باکتری	۲/۵۲ lm	۲/۷۳ i	۲/۸۹ fg	۱۵/۴۸ j-l	۱۵/۹۵ h-j	۱۶/۳۲ g-i
	عدم کاربرد کود زیستی	۱/۶۵ v	۱/۸۲ u	۲/۰۸ rs	۱۶/۶۱ e-g	۱۷/۰۷ b-f	۱۷/۵۵ b
۶۰ میلی مولار	میکوریز	۱/۸۲ u	۱/۹۶ t	۲/۱۲ r	۱۶/۷ d-g	۱۷/۴۶ bc	۱۷/۴۵ bc
	باکتری	۱/۹۴ t	۲/۲ q	۲/۳۳ p	۱۷/۱۷ b-e	۱۶/۸۹ c-g	۱۷/۴۵ bc
	میکوریز + باکتری	۲/۱۳ r	۲/۲۳ q	۲/۳۱ p	۱۶/۵۱ f-h	۱۷/۲۶ b-d	۱۸/۲ a

۰/۵۹

۰/۰۴

LSD_{0,05}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر صفت اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند.

روند تغییرات عملکرد کوانتومی در پاسخ به کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی با نانوآکسید روی در شرایط شوری و عدم شوری از الگوی نسبتاً یکسانی برای تمام تیمارها تبعیت کرد (شکل ۳). بنظر می‌رسد استفاده از نانوآکسید روی و باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط شوری و عدم اعمال شوری موجب بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه شده است. کارایی فتوسنتزی (F_v/F_m) در شرایط اعمال سطوح مختلف شوری روند کاهشی داشت، به طوری‌که در ۹۴ روز پس از سبز شدن حداکثر میزان F_v/F_m برگ پرچم (۰/۶۲۴) در ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانوآکسید روی، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط عدم شوری و حداقل آن (۰/۱۶۳) در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی و عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط شوری ۶۰ میلی‌مولار بدست آمد (شکل ۳).

بررسی روند تغییرات محتوای کلروفیل برگ پرچم در شکل ۴ نشان می‌دهد که این تغییرات در تمامی تیمارها روند نزولی نسبتاً مشابهی داشت، بطوری‌که محتوای کلروفیل در مراحل اول نمونه برداری بالا بوده است و سپس تا انتهای فصل رشد به دلیل نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و همچنین پیر شدن برگ‌ها روند نزولی داشت. نتایج نشان داد در اثر محلول‌پاشی نانوآکسید روی و کاربرد میکوریز و باکتری‌های محرک رشد، روند تغییرات عدد کلروفیل متر نوسان کمتری نشان داد. بطوری‌که در ۹۴ روز پس از سبز شدن حداکثر محتوای کلروفیل برگ پرچم (۴۱/۳) در ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانوآکسید روی، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط عدم اعمال شوری و حداقل آن (۱۷/۹) در ترکیب تیماری شوری ۶۰ میلی‌مولار، عدم محلول‌پاشی و عدم کاربرد کودهای زیستی بدست آمد (شکل ۴). این در حالی است که بیشترین و کم‌ترین میزان فلورسانس کلروفیل (F_v/F_m) نیز در همین تیمارها بدست آمد (شکل ۳).

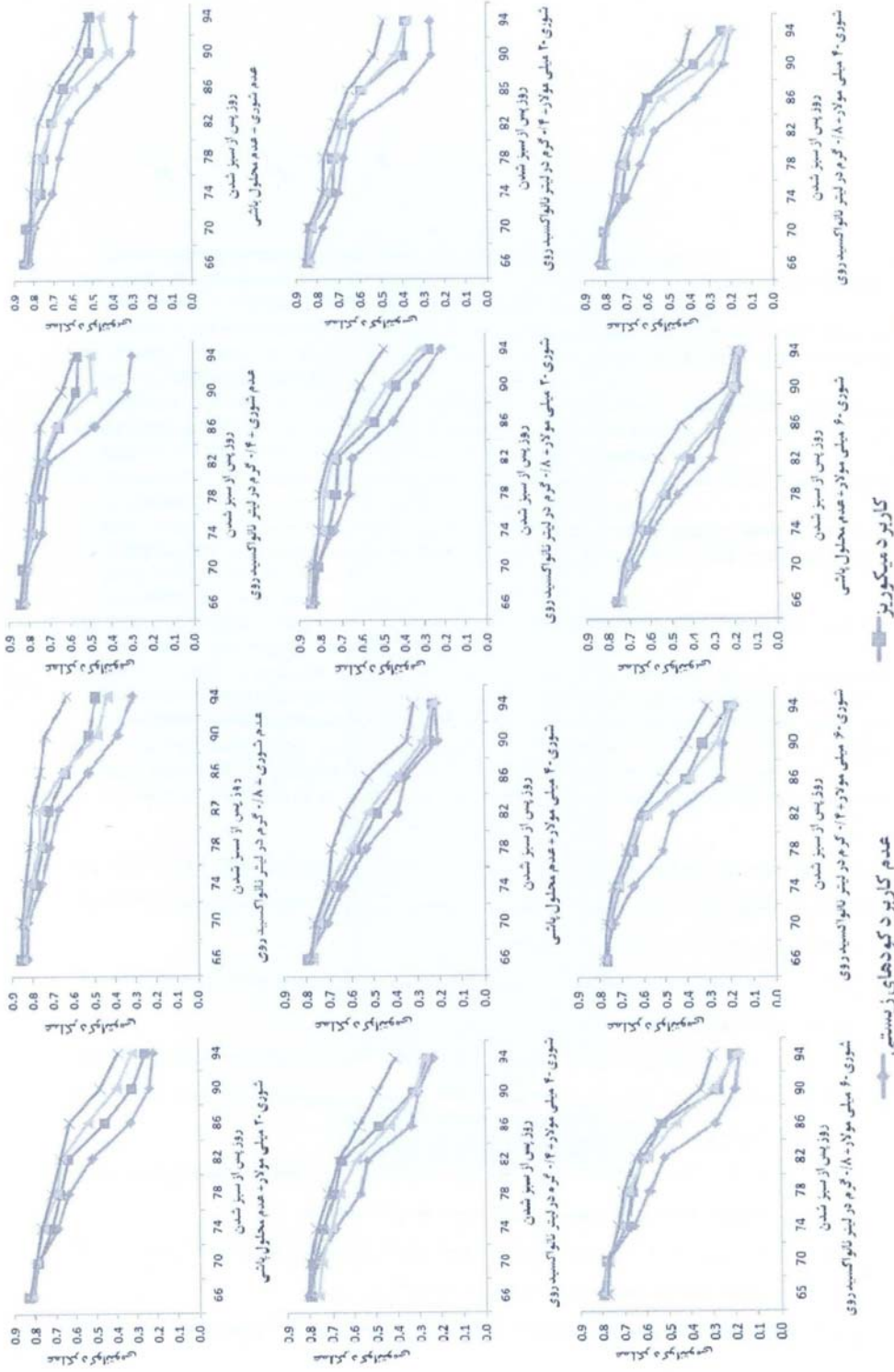
نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد پروتئین (۱۸/۲ درصد) در شوری ۶۰ میلی‌مولار، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریزی و محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کم‌ترین درصد پروتئین (۱۰/۵۹ درصد) در عدم اعمال شوری، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی بدست آمد (جدول ۳).

بررسی روند تغییرات فلورسانس حداقل (F_0) در پاسخ به محلول‌پاشی نانوآکسید روی و کاربرد باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در طول فصل رشد نشان داد اعمال شوری در سطوح مختلف باعث افزایش F_0 شده است. بعلاوه میزان فلورسانس حداقل (F_0) همواره در شرایط عدم اعمال شوری کمتر از شرایط شوری بود که می‌تواند ناشی از افزایش مقدار کلروفیل (شکل ۴) بدلیل محلول‌پاشی نانوآکسید روی و کاربرد کودهای زیستی (باکتری‌های محرک رشد و میکوریز) باشد که سبب کاهش میزان فلورسانس حداقل شده است (شکل ۱). در ۹۴ روز پس از سبز شدن بیشترین فلورسانس حداقل (۱۸۴) از ترکیب تیماری شوری ۶۰ میلی‌مولار، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی با نانوآکسید روی بدست آمد. کم‌ترین میزان آن (۱۴۹) از محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط عدم اعمال شوری بدست آمد (شکل ۱).

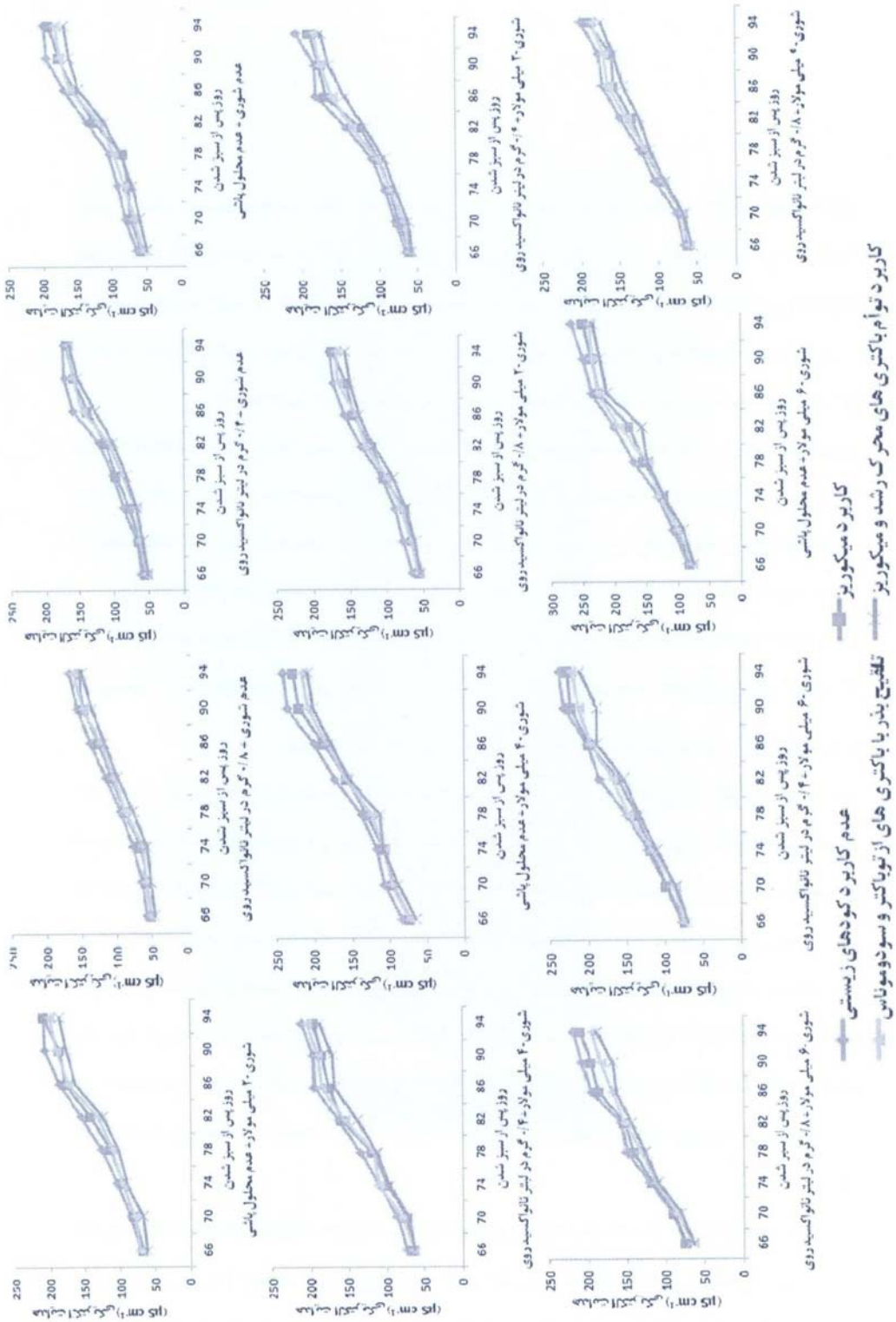
نتایج اندازه‌گیری فلورسانس حداکثر (F_m) نشان می‌دهد که در شرایط اعمال سطوح مختلف شوری، فلورسانس حداکثر کاهش یافت. نتایج نشان داد ۹۴ روز پس از سبز شدن بیشترین میزان فلورسانس حداکثر (۳۹۶) مربوط به محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانوآکسید روی، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط عدم اعمال شوری بود و کم‌ترین میزان آن (۲۲۰) در ترکیب تیماری شوری ۶۰ میلی‌مولار، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی نانوآکسید روی بود (شکل ۲).

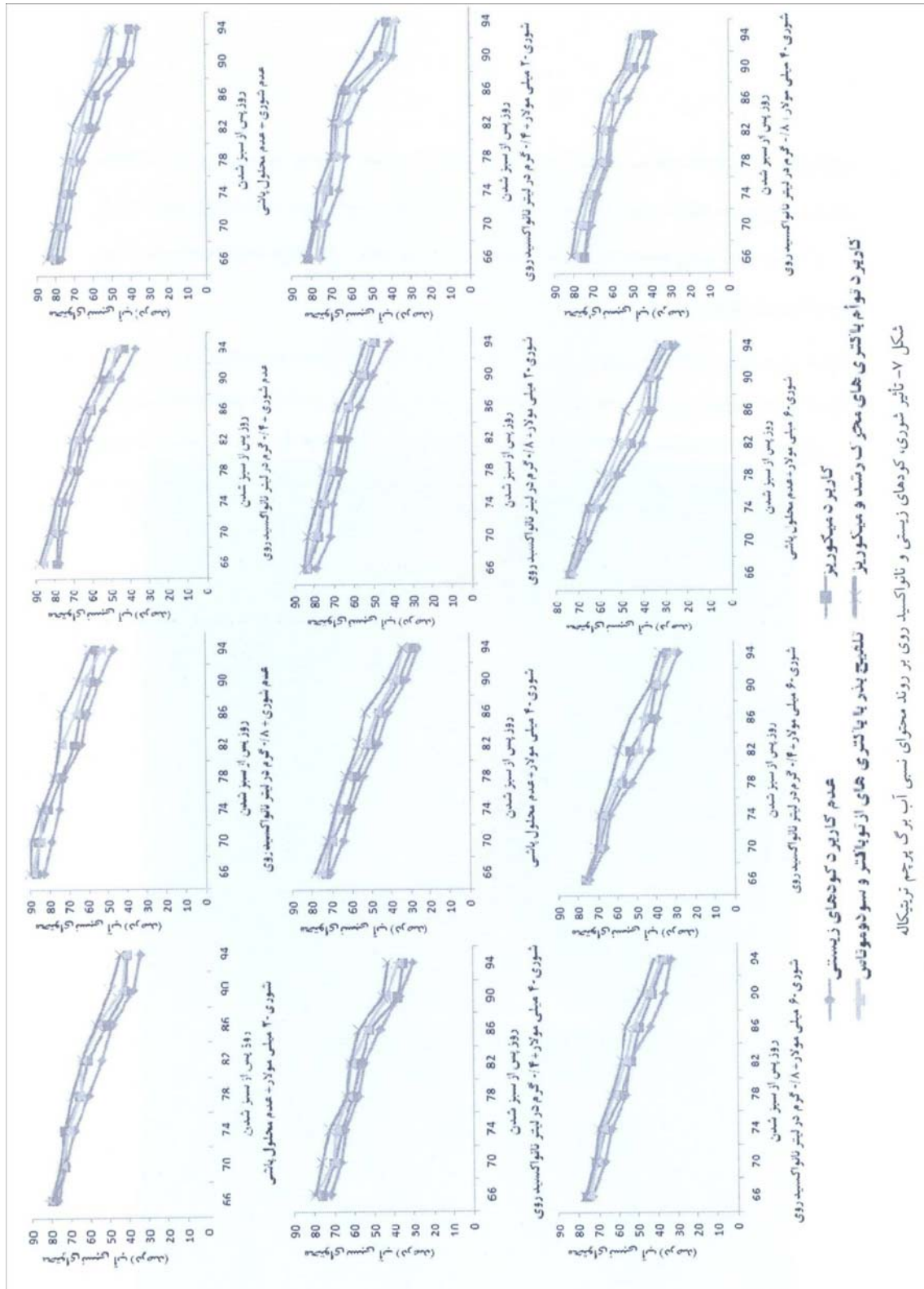


شکل ۲- تاثیر شوری، کردهای زیستی و نانواکسید روی بر روند فلورسانس-حداکثر برگ پرچم- تریکاله



شکل ۳- تاثیر کودهای کودهای زیستی و نانواکسید روی بر روند عملکرد کوانتومی برگ برچشم تریکاله





۶۰ میلی‌مولار، عدم محلول‌پاشی و عدم کاربرد کودهای زیستی بدست آمد (شکل ۷).

بحث

آبیاری کامل و کاربرد کودهای زیستی موجب افزایش عملکرد گردید. بخشی از افزایش عملکرد در شرایط آبیاری کامل و کاربرد باکتری‌های محرک رشد و میکوریز را می‌توان به برهم‌کنش مثبتی که میان آن‌ها وجود دارد نسبت داد بدین صورت که کودهای زیستی از طریق ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن آن‌ها، افزایش حفظ سلامتی ریشه در طول دوره رشد در رقابت با پاتوژن‌های ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی موجب رشد گیاه شده و از این طریق به افزایش عملکرد کمک می‌کنند (۲ و ۴۱). رایت و همکاران (۱۹۹۸) اظهار داشتند که کربن اضافی تثبیت شده توسط گیاهان میکوریزی شده به قارچ‌های میکوریز تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسمیلات‌ها، موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد کمک می‌کنند (۵۵). کایا و همکاران (۲۰۰۲) بهبود عملکرد و اجزای عملکرد را به واسطه تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد به نقش موثر این باکتری‌های در تثبیت نیتروژن و رهاسازی آن در مراحل حساس رشدی نظیر ساقه‌دهی و خوشه‌دهی نسبت دادند (۲۲). مادر و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که در اثر تلقیح توأم بذر گندم با قارچ میکوریز و سودوموناس، عملکرد دانه به میزان ۴۱ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (۲۹). همانتراجان و گری (۱۹۸۸) علت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در اثر کاربرد روی را به تأثیر این عنصر در افزایش کلروفیل برگ و غلظت ایندول استیک اسید نسبت دادند (۲۰).

شوری در بیشتر موارد موجب کاهش پروتئین در گیاهان تحت تنش می‌شود که دلیل این امر، کاهش سنتز پروتئین و افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده پروتئین است.

بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی در پاسخ به شوری در طول فصل رشد نشان داد که هدایت الکتریکی برگ پرچم در اثر محلول‌پاشی نانوآکسید روی و کاربرد میکوریز و باکتری‌های محرک رشد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۵). طوری که ۹۴ روز پس از سبز شدن، بیشترین هدایت الکتریکی (۲۶۸/۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) مربوط به تیمار اعمال شوری ۶۰ میلی‌مولار، عدم محلول‌پاشی با نانوآکسید روی و عدم کاربرد کودهای زیستی و کم‌ترین آن (۱۴۸/۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) از تیمار محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد در شرایط عدم اعمال شوری بدست آمد (شکل ۵).

بررسی روند تغییرات هدایت روزنه‌ای در بین تیمارهای آزمایش مشخص کرد که هدایت روزنه‌ای برگ پرچم در طول دوره رشد گیاه با گذشت زمان از روند کاهشی برخوردار بودند (شکل ۶). بطوری‌که ۹۴ روز پس از سبز شدن، بیشترین هدایت روزنه‌ای (۲۴/۶ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری، کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کم‌ترین آن (۱۱/۵ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) از تیمار عدم محلول‌پاشی و عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط شوری ۶۰ میلی‌مولار بدست آمد (شکل ۶).

تأثیر محدودیت آبی بر روند تغییرات محتوای نسبی آب برگ پرچم در طول فصل رشد از الگوی نسبتاً یکسانی برای تمامی تیمارها تبعیت کرد. با افزایش سطح شوری محتوای نسبی آب نسبت به عدم اعمال شوری کاهش بیشتری را نشان داد (شکل ۷). در ۹۴ روز پس از سبز شدن، بیشترین میزان محتوای نسبی آب (۵۸/۹۹ درصد) در تیمار محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط عدم شوری و کم‌ترین آن (۲۴/۹ درصد) در تیمار شوری

کاهش در فلورسانس حداکثر (F_m) در شرایط تنش نشان دهنده اکسیداسیون کمتر Q_A است که موجب کاهش واکنش‌های فتوشیمیایی در شرایط تنش می‌شود (۵۴). تنش با تأثیر منفی که بر آسیمیلایون کربن می‌گذارد، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش داده، در نتیجه سیستم به سرعت به F_m می‌رسد که نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر (F_v) خواهد بود. از طرفی، با افزایش شدت نور، سیستم فتوستزی با یک روش تنظیمی برای کاهش انرژی القا شده تحریکی، انرژی مازاد را به صورت فرآیند غیر تشعشعی از دست می‌دهد. با این مکانیسم تنظیمی، ضمن حفاظت از مراکز واکنش، موجب می‌گردد که حداقل صدمه به این مراکز وارد شود (۷).

فلورسانس کلروفیل چندین پارامتر دارد که می‌تواند جهت بررسی تنش و آثار منفی آن بر روی فتوستنز استفاده شود. نسبت فلورسانس متغیر (F_v) و فلورسانس اولیه (F_0) پارامترهایی هستند که کارایی فتوستزی را نشان می‌دهند. با افزایش میزان تنش نسبت F_v/F_m کاهش یافته که نشانه کاهش میزان حفاظت نوری و تقلیل کارایی فتوستزی است. مقدار F_v/F_m نشان دهنده ظرفیت انتقال الکترون از فتوسیستم II است (۳۶). تنش با ایجاد اختلال در مسیر انتقال الکترون و تخریب بافت‌های مرتبط با فتوستنز، گیاه را از استفاده مطلوب از سوپسترا و انرژی باز می‌دارد و موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (۴۶). سایر و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند عملکرد کوتومی فتوسیستم II توسط قارچ‌های میکوریز افزایش می‌یابد (۴۵). قارچ‌های میکوریز نقش مهمی را در بهبود F_v/F_m بواسطه بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان ایفا می‌کنند. باکتری‌های محرک رشد می‌توانند رشد گیاه را با از بین بردن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، حل فسفات نامحلول و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بهبود بخشند. بنابراین، F_v/F_m را بوسیله بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، به ویژه فسفر که عنصر مهمی برای بهبود فتوستنز است افزایش می‌دهند (۲۴).

افزایش سطح پروتئین در شرایط شوری بدلیل افزایش سنتز پروتئین‌های نو القا شده از شوری یا کاهش فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک است (۳۷). در تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد میزان پروتئین دانه افزایش یافت که بنظر می‌رسد علت این افزایش با توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه، تثبیت بیولوژیکی موثرتر و بهتر نیتروژن مرتبط باشد (۳۵). گلیک و همکاران (۲۰۰۱) بهبود درصد پروتئین دانه را در حالت تلقیح بذر با باکتری‌ها به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و فراهمی آن در زمان پر شدن دانه نسبت دادند (۱۴). ساجدی و رجالی (۱۳۹۰) نیز بیان داشتند که کاربرد قارچ میکوریز و روی باعث افزایش مقدار پروتئین دانه ذرت می‌شود (۱).

فلورسانس اولیه (F_0) توسط تنش‌های محیطی دچار تغییر می‌شود که علت آن دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم II می‌باشد (۷). از آنجایی که تیمار محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز نسبت به سایر تیمارها دارای محتوای آب نسبی بیشتری است (شکل ۷)، بنظر می‌رسد استفاده از این ترکیب تیماری توانسته است به نحو مناسب‌تری از رطوبت خاک استفاده کند. شاید اهمیت رطوبت نسبی از این نظر باشد که بین این ویژگی‌ها و تعداد زیادی از ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه از جمله سرعت تبادل کربن و میزان هدایت روزنه‌ای ارتباط مستقیمی وجود دارد، در نتیجه شرایط فتوستزی بهتر، مانع از افزایش بیش از حد فلورسانس حداقل شده است (۳۸). بنظر می‌رسد کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای و هدایت روزنه‌ای (شکل ۶) شده است. ضمن آنکه باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز احتمالاً دارای اثرات هم‌افزایی با یکدیگر هستند که در نهایت منجر به بهبود پارامترهای فلورسانس تریتیکاله در شرایط تنش شوری شده است.

پروتئین و کلروفیل آسیب می‌بینند که این امر موجب پراکسیداسیون چربی‌های غشای سلولی و کاهش پایداری آن می‌شود (۲۳). مشخص شده است که افزایش کلرید سدیم موجب کاهش پتاسیم می‌شود و بدلیل افزایش یون-های سدیم، پایداری غشا نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۵۱). نقاش‌زاده (۲۰۱۴) بیان داشت کاربرد قارچ میکوریز با افزایش جذب مواد غذایی، توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود وضعیت آبی گیاهان موجب ثبات غشای سلولی در گیاه ذرت می‌شود (۳۳). تلقیح با باکتری‌های محرک رشد کاهش نشت الکترولیت تحت شرایط تنش را موجب می‌شود (۴۳).

تنش‌های محیطی از جمله شوری با تأثیری که بر میزان جذب آب دارد، منجر به تغییر در باز شدن روزنه‌ها می‌شود و با ادامه تنش و کاهش باز شدن روزنه‌ها، تغییر در میزان غلظت دی اکسید کربن در محل‌های کربوکسیلاسیون، تحت تأثیر قرار گرفتن چرخه تثبیت کربن و پمپ پروتون را به دنبال دارد (۳۴). بطور کلی، با افزایش شوری، هدایت روزنه‌ای کاهش و مقاومت آن افزایش می‌یابد و این امر در نهایت، به ممانعت از رشد گیاه منجر می‌شود. همچنین، گیاهان جهت کنترل شرایط آبی خود در مواجهه با تنش، دو مکانیسم هورمونی دارند که یکی از آن‌ها تغییر میزان گشودگی منافذ روزنه‌ای است. کاهش هدایت روزنه‌ای، بیان‌کننده تغییر در موقعیت اسمزی محیط ریشه است که به سرعت روابط آبی را در اندام‌های هوایی، تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۸). شوری موجب تولید ABA در ریشه‌ها می‌شود که با انتقال به اندام هوایی، بسته شدن روزنه‌ها را به دنبال دارد و سرانجام، رشد سلولی را محدود می‌کند. بسته شدن روزنه‌ها با ایجاد اختلال در تبادل گازی به تولید گونه‌های فعال اکسیژن منتهی می‌شود (۵۲). بنظر می‌رسد پیش‌تیمار بذر با باکتری بدلیل گسترش ریشه و دسترسی بهتر به منابع آبی، موجب کاهش آبسبزیک اسید و افزایش هدایت روزنه‌ای شده است. وانگ و جین (۲۰۰۵) گزارش کردند کمبود روی از

بر اساس نظر لیندکوئیست و همکاران (۲۰۰۵) گیاهانی که شاخص کلروفیل بالاتری دارند دوام بیشتری داشته و مدت زمان استفاده از تشعشع و فتوسنتز در آن‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی و کارایی تولید می‌تواند به دلیل تأثیر سوء تنش بر میزان سبزی‌نگی گیاه نیز باشد (۲۷). اثرات مفید تلقیح باکتری بر افزایش محتوای کلروفیل بنظر می‌رسد ناشی از دسترسی بالاتر گیاه به نیتروژن به واسطه تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های محرک رشد باشد. همچنین افزایش سطوح اتیلن توسط تنش شوری و خشکی می‌تواند منجر به پیری برگ گردد، ولی در حضور باکتری‌های محرک رشد حاوی ACC دی آمیناز، ساخت اتیلن بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد (۳) بنابراین تجزیه کلروفیل کاهش می‌یابد. بطورکلی، بهبود شرایط تغذیه‌ای و محیطی توسط قارچ میکوریز باعث افزایش توان گیاه در تولید کلروفیل در برگ‌ها و تولید انرژی بیشتر می‌شود که این به احتمال زیاد بر میزان کلروفیل نیز تأثیر می‌گذارد. سانازرو و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریز گونه *Glomus intraradices* میزان کلروفیل بالاتری نسبت به گیاهان بدون تلقیح داشتند (۴۴). افزایش میزان کلروفیل در اثر تلقیح با میکوریز می‌تواند ناشی از جذب فسفر از خاک توسط گیاه باشد (۴۹). شارما و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند کاربرد روی باعث افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی در برگ‌های کلم شد (۴۸).

اثر شدید تنش محیطی به‌ویژه تنش شوری بر گیاه، تغییر ساختار غشای سلولی است که با افزایش تراوایی و تراوش یون‌ها مشخص می‌شود (۲۳). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تنش‌های غیر زیستی مانند تنش شوری با تولید رادیکال‌های آزاد، منجر به پراکسیداسیون چربی‌های غشا در برگ‌ها و سنبله گندم می‌شوند (۶) که این امر کاهش پایداری غشا را به دنبال دارد. خندان بچندی و همکاران (۲۰۰۹) نیز بیان کردند که با افزایش رادیکال‌های آزاد تحت شرایط تنش، تعداد زیادی از ترکیبات سلولی از جمله لیپید،

درصدی در شرایط محدودیت آبی نسبت به شاهد می‌شود (۴۷).

نتیجه‌گیری کلی

با افزایش شوری عملکرد، هدایت روزنه‌ای، عملکرد کوانتومی، محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب کاهش و هدایت الکتریکی و محتوای پروتئین دانه افزایش یافت. کاربرد کودهای زیستی (میکوریز و باکتری‌های محرک رشد) و محلول پاشی با نانو اکسید روی در مقایسه با عدم کاربرد و عدم محلول پاشی منجر به بهبود عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای، عملکرد کوانتومی، محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب، هدایت الکتریکی و پروتئین دانه گردید. نتایج نشان داد که اعمال شوری ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌مولار از نمک کلرید سدیم عملکرد دانه را بترتیب ۸/۹، ۲۲/۱۱ و ۳۲/۳۴ درصد کاهش داد و استفاده توأم کودهای زیستی و نانو اکسید روی بترتیب ۴۰/۱۷، ۴۹/۷۴ و ۴۰ درصد از این کاهش عملکرد را جبران کرد. بنظر می‌رسد کاربرد توأم میکوریز با باکتری‌های محرک رشد و محلول پاشی با نانو اکسید روی با نقشی که در تعدیل اثرات شوری دارند می‌توانند در بهبود رشد و تولید تریبتیکاله موثر واقع شوند.

طریق کاهش هدایت روزنه‌ای موجب کاهش ظرفیت فتوسنتزی می‌شود (۵۳). روی با نقشی که در حفظ پتاسیم در سلول‌های نگهبان روزنه دارد باعث کنترل هدایت روزنه‌ای می‌شود (۵۳).

از آنجایی که محتوای نسبی آب، مقدار حقیقی آبی را که گیاه جهت رسیدن به اشباع کامل نیاز دارد، بیان می‌کند، شاخص مفیدی برای بررسی تعادل آبی گیاه است (۱۷). محتوای نسبی آب برگ در واقع ابزار مناسبی برای گزینش گیاه متحمل در شرایط تنش است و بطور معنی‌داری تحت تنش شوری کاهش می‌یابد (۱۱). گزارش‌ها نشان داده‌اند که گیاهان تلقیح شده با میکوریز همواره محتوای نسبی آب بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی دارند. گائو و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که ریشه‌های تلقیح شده با قارچ میکوریز می‌توانند در حجم وسیعی از خاک پراکنده شوند و این قارچ‌ها به کمک هیف‌های خود باعث بهبود جذب آب و مواد غذایی از خاک می‌شوند. بنابراین وضعیت آبی مناسب گیاه در حالت کاربرد میکوریز می‌تواند در نتیجه‌ی فعالیت ریشه‌های تلقیح شده با میکوریز باشد (۱۸). شاهارونا و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش ۵ تا ۱۶ درصدی محتوای نسبی آب در شرایط عدم تنش و ۲۹-۲۲

منابع

- ۱- ساجدی، ن. ع. و رجالی، ف. ۱۳۹۰. تأثیر تنش خشکی، کاربرد روی و تلقیح میکوریز بر جذب عناصر کم مصرف در ذرت. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). (۲): ۸۳-۹۲
- ۲- سیدشریفی، ر. و حیدری سیاه‌خلکی، م. ص. ۱۳۹۴. تأثیر کودهای بیولوژیک بر شاخص‌های رشدی و سهم فرایند انتقال مجدد ماده خشک در عملکرد دانه گندم. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران). (۲): ۳۲۶-۳۴۳.
- ۳- سیدشریفی، ر. و خاوازی، ک. ۱۳۹۱. تأثیر پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد بر فیلوکرون و سرعت ظهور برگ ذرت (*Zea mize L.*). مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران). (۲): ۱۹۳-۱۸۳.
- ۴- فلاحی، ح. و محمدی‌گنبد، ر. ا. ۱۳۸۷. زراعت تریبتیکاله، انتشارات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، ۸ ص.
- 5- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24(1): 1-15.
- 6- Beltrano, J., Montaldi, E., Bartoli, C., and Carbone, A. 1997. Emission of water stress ethylene in wheat (*Triticum aestivum L.*) ears: Effects of rewatering. *Plant Growth Regulation*. 21(2): 121-126.
- 7- Bhardway, R., and Singhal, G. 1981. Effect of water stress on photochemical activity of chloroplasts during greening etiolated barley

- seedlings. *Plant and Cell Physiology*. 22(2): 155-162.
- 8- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*. 302(1): 1-17.
 - 9- Chelah, M.K.B., Nordin, M.N.B., Musliania, M.I., Khanif, Y.M., and Jahan, M.S. 2011. Composting increases BRIS soil health and sustains rice production on BRIS soil. *ScienceAsia*. 37: 291-295.
 - 10- Dimkpa, C., Weinand, T., and Ash, F. 2009. Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. *Plant, Cell and Environment*. 32(12): 1682-1694.
 - 11- El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*. 45(3): 215-224.
 - 12- Evelin, H., Kapoor, R., and Giri, B. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Annals of Botany*. 104(7): 1263-80.
 - 13- Flexas, J., Bota, F., Loreto, F., Cornic, G., and Sharkey, T.D. 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C₃ plants. *Plant Biology*. 6(3): 269-279.
 - 14- Gillick, B.E., Penrose, D., and Wenbo, M. 2001. Bacterial promotion of plant growth. *Biotechnology Advances*. 19: 135-138.
 - 15- Giri, B., Kapoor, R., and Mukerji, K.G. 2003. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. *Biology and Fertility of Soils*. 38(3): 170-175.
 - 16- Gong, M.G., Tang, M., and Chen, H. 2013. Effects of two *Glomus* species on the growth and physiological performance of *Sophor davidii* seedlings under water stress. *New Forests*. 44(3): 399-408.
 - 17- Gonzalez, L., and Gonzalez-Vilar, M. 2001. Determination of relative water content. Reigosa, M.J. (Ed.), *Handbook of plant ecophysiology techniques*. Dordrecht: Kluwer Academic. 207-212.
 - 18- Guo, Y., Ni, Y., and Huang, J. 2010. Effects of rhizobium, arbuscular mycorrhiza and lime on nodulation, growth and nutrient uptake of lucerne in acid purplish soil in China. *Tropical Grasslands*. 44: 109-114.
 - 19- Harrier, L.A., and Weston, C.A. 2004. The Potential role of Arbuscular mycorrhiza (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. *Pest Management Science*. 60(Suppl 2): 149-157.
 - 20- Hemantaranjan, A., and Gray, O.K. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality *Triticum aestivum* L. *Journal of Plant Nutrition*. 11(6-11): 1439-1452.
 - 21- Karimi, G., Ghorbanli, M., Heidari, H., Khavari Nejad, R.A., and Assareh, M.H. 2005. The effects of NaCl on growth, water relations, osmolytes and ion content in *Kochia prostrata*. *Biologia Plantarum*. 49(2): 301-304.
 - 22- Kaya, Y.K., Arisoy, R.Z., and Gocmen, A. 2002. Variation in grain yield and quality traits of bread wheat genotypes by zinc fertilization. *Journal of Agronomy*. 1: 142-144.
 - 23- Khandan Bejandi, T., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., Namvar, A., and Molaei, P. 2009. Seed priming and sulfur effects on soybean cell membrane stability and yield in saline soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 44(9): 1114-1117.
 - 24- Kloepper, J.W., Lifshitz, R., and Zablotowicz, R.M. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology*. 7(2): 39-44.
 - 25- Kohler, J., Caravaca, F., Carrasco, L., and Roldan, A. 2006. Contribution of *Pseudomonas mendocina* and *Glomus intraradices* to aggregates stabilisation and promotion of biological properties in rhizosphere soil of lettuce plants under field conditions. *Soil Use and Management*. 22(3): 298-304.
 - 26- Kohler, J., Hernandez, J.A., Caravaca, F., and Roldan, A. 2009. Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. *Environmental and Experimental Botany*. 65(2-3): 245-252.
 - 27- Lindquist, J.L., Arkebauer, J.T., Walters, T.D., Cassman, G.K., and Dobermann, A. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy Journal*. 97: 72-78
 - 28- Ludewig, M., Dorffling, K., and Seifert, H. 1988. Abscisic acid and water transport in sunflowers. *Planta*. 175(3): 325-333.
 - 29- Mader, P., Kaiser, F., Adholeya, A., Singh, R., Uppal, H.S., Sharma, A.K., Srivastava, R., Sahai, V., Aragno, M., Wiemken, A., Johri, B.N., and Fried, P.M. 2011. Inoculation of root microorganisms for sustainable wheaterice and

- wheatblack gram rotations in India. *Soil Biology and Biochemistry*. 43: 609-619.
- 30- Martineka, P., Vinterova, M., Buresova, I., and Vyhnanek, T. 2008. Agronomic and quality characteristics of *triticale* (Triticosecale Wittmack) with HMW glutenin subunits 5+10. *Journal of Cereal Science*. 47(1): 68-78.
- 31- Mayer, R., and Lozano-del Rio, A.J. 2004. Triticale as animal feed, In: Mergoum, M., and Gómez-Macpherson, H, (Eds.), *Triticale improvement and production*, FAO Plant Production and Protection Paper No. 179, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, pp. 49-58.
- 32- Mergoum, M., Singh, P.K., Pena, R.J., Lozano-del Rio, A.J., Cooper, K.V., Salmon, D.F., and Gomez Macpherson, H. 2009. Triticale: a 'New' crop with old challenges, in 'Cereals'. In: Carena MJ, editor. *Handbook of plant breeding*. New York: Springer; p. 267-287.
- 33- Naghashzadeh, M.R. 2014. Response of relative water content and cell membrane stability to mycorrhizal biofertilizer in Maize. *Electronic Journal of Biology*. 10(3): 68-72.
- 34- Nelson, D.E., Rammesmayr, G., and Bohnert, H.J. 1998. Regulation of cell-specific inositol metabolism and transport in plant salinity tolerance. *The Plant Cell*. 10(5): 753-764.
- 35- Nieto, K.F., and Frankenberger, W.T. 1991. Influence of adenine, isopentyl alcohol and *Azotobacter chroococcum* on the vegetative growth of *Zea mays*. *Plant and Soil*. 135(2): 213-221.
- 36- Paknejad, F., Majidi Heravan, E., Noor Mohammadi, Q., Siyadat, A., and Vazan, S. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 5(4): 162-169.
- 37- Pessaraki, M. 1999. *Handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker, Inc. 1188 pp.
- 38- Prakash, M., and Ramachandran, K. 2000. Effects of moisture stress and anti transpiration leaf chlorophyll, soluble protein and photosynthetic rate in brinjal plants. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 184(3): 153-156.
- 39- Prasad, T.N., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreepasad, T.S., and Sajanlal, P.R. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*. 35(6): 905-927.
- 40- Roach, T., and Liskay, A.K. 2014. Regulation of photosynthetic electron transport and photoinhibition. *Current Protein and Peptide Science*. 15(4): 351-362.
- 41- Roesty, D., Gaur, R., and Johri, B.N. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. *Soil Biology and Biochemistry*. 38(5): 1111-1120.
- 42- Saghafi, K., Ahmadi, J., Asgharzadeh, A., and Bakhtiari, S. 2013. The effect of microbial inoculants on physiological responses of two wheat cultivars under salt stress. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 1(4): 421-431.
- 43- Sandhya, V., Ali, S.K.Z., Grover, M., Reddy, G., and Venkateswaralu, B. 2010. Effect of plant growth promoting *Pseudomonas spp.* on compatible solutes antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation*. 62(1): 21-30.
- 44- Sannazzaro, A.I., Alberto, E., Ruiz, O.A., and Menendez, B. 2005. Influence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* on the saline stress physiology of *Lotus glaber*. *Lotus Newsletter*. 35: 29-30.
- 45- Sayar, R., Khemira, H., Kameli, A., and Mosbahi, M. 2008. Physiological tests as predictive appreciation for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Agronomy Research*. 6(1): 79-90.
- 46- Scantsciarnugnozza, G., Deangelis, P., Matteucci, G., and Valentini, R. 1996. Long term exposure to elevated CO₂ in a natural *Quercus ilex* L. community. Net photosynthesis and photochemical efficiency of psn at different levels of water stress. *Plant, Cell and Environment*. 19(6): 643-654.
- 47- Shaharoon, B., Arshad, M., and Zahir, Z.A. 2006. Effect of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase on maize (*Zea mays* L.) growth under axenic conditions and on nodulation in mung bean (*Vigna radiata* L.). *Letters in Applied Microbiology*. 42(2): 155-159.
- 48- Sharma, P.N., Kumar, N., and Bisht, S.S. 1994. Effect of zinc deficiency on chlorophyll content, photosynthesis and water relations of cauliflower plants. *Photosynthetica*. 30: 353-359.

- 49- Smith, S.E., and Read, D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, third Ed. Academic Press, London, UK. 800 p.
- 50- Tahir, M., Fiaz, N., Nadeem, M.A., Khalid, F., and Ali, M. 2009. Effect of different chelated Zn sources on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.). Soil and Environment. 28: 179-183.
- 51- Turan, M.A., Elkarim, A.H.A., Taban, N., and Taban, S. 2009. Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. African Journal of Agricultural Research. 4(9): 893-897.
- 52- Uzma, F., and Asghari, B. 2006. Effect of abscisic acid and chlorocholine chloride on nodulation and biochemical content of *Vigna radiata* L. under water stress. Pakistan journal of botany. 38(5): 1511-1518.
- 53- Wang, H., and Jin, J.Y. 2005. Photosynthetic rate, chlorophyll fluorescence parameters and lipid peroxidation of maize leaves as affected by zinc deficiency. Photosynthetica. 43(4): 591-596.
- 54- Wilson, J.M., and Greaves, J.A. 1993. Development of fluorescence based screening programs for temperature and water stress in crop plant. In: Adaptation of food crop to temperature and water stress. Pp. 389-398, AVRDC, Shanhua, Taiwan.
- 55- Wright, D.P., Scholes, J.D., and Read, D.J. 1998. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *trifolium repense* L. Plant, Cell and Environment. 21(2): 209-216.
- 56- Yamaguchi, T., and Blumwald, E. 2005. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. Trends in Plant Sciences. 10(12): 615-620.

Alleviation of Salt Stress Effects in Triticale (\times *Triticosecale*) by Bio Fertilizers and Zinc Application

Kheirizadeh Arough Y., Seyed Sharifi R. and Khalilzadeh R.

Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, I.R. of Iran.

Abstract

Triticale is a human-made crop, being a hybrid formed by cross-fertilization of wheat and rye. In recent years, interest in triticale has developed because of its potential use for the grain and its use as a forage crop. In order to study the alleviation of salt stress effects in *triticale* with bio-fertilizers and zinc application, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in a research greenhouse of the Faculty of Agriculture Sciences, University of Mohagheh Ardabili in 2014. Experiment factors were included soil salinity in four levels (0, 20, 40 and 60 mM NaCl; equal to 1.85, 3.7 and 5.55 dS m⁻¹ respectively), biofertilizers in four levels (no bio-fertilizers, application of mycorrhiza, application of *Azotobacter chroococcum* strain 5 + *Pseudomonas putida* strain 186, both application PGPR + mycorrhiza) and nano zinc oxide in three levels (0, 0.4 and 0.8 g L⁻¹). Results showed that salinity stress decreased photochemical efficiency of photosystem II (F_v/F_m), chlorophyll content, stomatal conductance, relative water content and grain yield. Whereas, electrical conductivity and grain protein were increased. Means comparison showed that the highest of grain yield, photochemical efficiency of photosystem II, stomatal conductance, relative water content and chlorophyll content were obtained at application of PGPR+mycorrhiza, foliar application of 0.8 g L⁻¹ nano zinc oxide and no-salinity. The highest electrical conductivity amount was belonged to treatment 60 mM NaCl, no bio-fertilizers and without nano zinc oxide. Grain yield decreased 8.9%, 22.11% and 32.34% under salinity treatments of 20, 40 and 60 mM NaCl, respectively. Application of biofertilizers and nano zinc oxide compensated yield reduction 40.17%, 49.74% and 40% respectively. Based on the results, application of biofertilizers and nano zinc oxide can be recommended for profitable *triticale* production under soil salinity condition.

Key words: Salinity, Grain Yield, Grain Protein, Electrical Conductivity, Stomatal Conductance