تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۴۸۷-۴۹۹
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.281.01730

مقاله پژوهشی

اثرات کاربرد یونیکونازول و کودهای زیستی بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گندم تحت تنش شوری خاک

فاطمه آقایی[۱]، رئوف سید شریفی[۲*]، حامد نریمانی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی
۲. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی
۳. دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۰۴

چکیده

به‌منظور ارزیابی عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گندم تحت تنش شوری خاک در واکنش به کاربرد یونیکونازول و کودهای زیستی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در گلخانه پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. تیمارها شوری خاک در چهار سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد و اعمال شوری‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار در خاک) با نمک NaCl و کاربرد یونیکونازول و کودهای زیستی در هفت سطح (شاهد یا بدون کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول، کاربرد قارچ میکوریزا، یونیکونازول، باکتری سودوموناس، میکوریز با سودوموناس، میکوریزا با یونیکونازول و کاربرد میکوریزا با یونیکونازول و سودوموناس) را شامل می‌شدند. نتایج نشان داد کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول تحت شرایط عدم اعمال شوری، محتوای پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدهید و هدایت الکتریکی برگ پرچم را (به‌ترتیب به میزان ۷۷/۶، ۱۱۵/۵۲ و ۲۴۱/۴۸ درصد) نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار خاک کاهش داد ولی شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، عملکرد سیستم نوری، وزن صد دانه و طول سنبله را (به‌ترتیب به میزان ۶۰/۲۱، ۴۳/۲۷، ۳۰/۴۷، ۴۶/۶۶ و ۵۱/۳۴ درصد) نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار خاک افزایش داد. همچنین کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول عملکرد دانه تک بوته را نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی در بالاترین سطح از شوری خاک حدود ۱۰۸/۸۴ درصد افزایش داد. بر اساس نتایج این بررسی کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول می‌تواند در بهبود عملکرد گندم در شرایط شوری خاک مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: **پراکسید هیدروژن، عملکرد کوانتومی، مالون‌دی‌آلدهید، میکوریزا.**

مقدمه

شوری یکی از تنش‌های مهم محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه-خشک جهان است (Tammam and Hemeda, 2008) که در اثر سمیت یونی، تنش اسمزی و کمبود مواد غذایی در سلول‌های گیاهی موجب تغییر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان می‌شود (Munns and Tester, 2008). یکی از تغییرات بیوشیمیایی که در تنش‌های محیطی ازجمله تنش شوری رخ می‌دهد، تولید انواع گونه‌های فعال اکسیژن ازجمله رادیکال‌های سوپر اکسید (O^{-})، رادیکال‌های هیدروکسیل (OH^{-}) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) است که موجب تخریب عمده غشاء، چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Garratt et al., 2002).

زلاتف و یوردانو (Zelatev and Yordanov, 2004) اظهار داشتند که عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، مشخصه

* نگارنده پاسخگو: رئوف سید شریفی. پست الکترونیک: raouf_ssharifi@yahoo.com

خوبی برای تعیین تفاوت بین شرایط کنترل و تنش است و اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل می‌تواند روش مناسبی برای تخمین نحوه عمل فتوسنتز در گیاه باشد (Maxwell and Johnson, 2000). پایداری غشاء نیز راه‌کاری مناسب در جهت اندازه‌گیری میزان مقاومت در برابر تنش‌های محیطی است. در شرایط تنش شوری، پیری زودهنگام برگ موجب تغییر میزان نفوذپذیری غشاء می‌شود، ازاین‌رو نشت یونی غشاء می‌تواند بیانگر میزان صدمه وارده بر غشاء باشد (Saffari et al., 2013). افزایش نشت یونی غشا و کاهش محتوای نسبی آب با افزایش سطح شوری، در ارقام آفتابگردان نیز گزارش شده است (Saffari et al., 2013).

برای ردیابی و ارزیابی کیفی انباشتگی و آسیب‌زایی گونه‌های اکسیژن فعال در تنش‌های اکسایشی، از مالون‌دی‌آلدهید به‌عنوان نمایه‌ای از پاسخ گیاه به تنش استفاده می‌شود (Mates and Perez-Gomez, 1999). اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه موجود در غشاء فسفولیپیدی، بر اثر حمله ROSها به‌ویژه OH اکسید می‌شوند و با شکستگی زنجیره آن‌ها موجب می‌شود نشت‌پذیری غشاء سلول افزایش یابد. فسفولیپیدها قسمت‌های بنیادی غشای سلول هستند که شیره سلولی و اندامک‌هایی همچون هسته و میتوکندری را در بر می‌گیرند، ازاین‌رو آسیب به فسفولیپیدها می‌تواند در زنده‌مانی و کارایی سلول اثرگذار باشد (Bhattacharjee and Mukherjee, 2002).

امروزه یکی از شیوه‌های مناسب کشاورزی پایدار برای بهبود حاصلخیزی خاک، جبران میکروارگانیسم‌های ازدست‌رفته به‌واسطه اثر تنش‌های محیطی و تحمل بهتر شرایط تنشی، کاربرد یونیکونازول و کودهای زیستی است. یونیکونازول یکی از تنظیم‌کننده‌های رشدی است که از طریق افزایش نسبت ریشه به ساقه، افزایش محتوای کلروفیل برگ، تأخیری در پیری برگ و کاهش تنفس (Kamountsis et al., 1999)، موجب سازگاری ریختی می‌شود و به گیاه این اجازه را می‌دهد تا شرایط تنش را بهتر تحمل کند (Fernandez et al., 2006). باکتری‌های محرک رشد از جنس‌های ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس، گروه ویژه‌ای از میکروارگانیسم‌های خاک هستند که از طریق تشکیل کلنی در محیط ریشه، موجب رشد و کارایی گیاه از طریق مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم می‌شوند (Seyed Sharifi and Namvar, 2016). این باکتری‌ها با تولید مقادیر زیادی از هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکنین، رشد و نمو و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Seyed Sharifi and Namvar, 2016). قارچ‌های میکوریزا یکی دیگر از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های محیط ریشه محسوب می‌شوند که از طریق ایجاد همزیستی با ریشه‌ی گیاهان نقش کلیدی در پایداری ریزوسفر ایفا می‌کنند و همزیستی یک گیاه با قارچ‌های میکوریزا موجب می‌شود که گیاه بتواند مواد غذایی کم‌تحرک را در خاک‌های فقیر جذب کند (Gupta and Rutaray, 2005). این قارچ‌ها جزء مهمی از اکوسیستم‌ها هستند و در محیط‌های شور نیز شناسایی‌شده‌اند. بررسی‌های انجام‌شده نشان داده است که آغشتگی ریشه‌ی گیاهان با قارچ‌های میکوریزا، رشد گیاهان تحت تنش شوری را بهبود می‌بخشد (Seyed Sharifi and Namvar, 2016). همچنین، در گیاهان میکوریزایی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی تحت شرایط تنش تقویت‌شده و این امر می‌تواند گیاه را از اثر مخرب گونه‌های فعال اکسیژن حفاظت کند (Harinasut et al., 2003). بررسی خلیل‌زاده و همکاران (Khalilzadeh et al., 2017) نشان داد کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط تنش شوری موجب افزایش طول سنبله، وزن صد دانه و عملکرد دانه گندم شد. نریمانی و سیدشریفی (Narimani and Seyed Sharifi, 2018) گزارش کردند که افزایش تنش شوری از طریق افزایش محتوای پراکسید هیدروژن، موجب افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ گندم شد. بررسی نوری آکنده و همکاران (Noori Akandi et al., 2016) نشان داد کاربرد کودهای زیستی موجب کاهش پراکسید هیدروژن و محتوای مالون‌دی‌آلدهید تحت شرایط تنش شوری شد. سیدشریفی و همکاران (Seyed Sharifi et al., 2016) گزارش کردند تنش شوری موجب کاهش شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد کوانتومی شد ولی کاربرد کودهای زیستی با کاهش هدایت الکتریکی برگ و بهبود شاخص کلروفیل، موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم، عملکرد کوانتومی و عملکرد دانه گندم شد.

با توجه به روند گسترش تنش شوری و نقش کودهای زیستی و یونیکونازول در تعدیل اثر تنش شوری، کمبود بررسی‌های انجام‌شده در خصوص برهم‌کنش این عوامل، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گندم تحت تنش شوری در واکنش به کاربرد یونیکونازول و کودهای زیستی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گندم تحت تنش شوری خاک در واکنش به کاربرد یونیکونازول و کودهای زیستی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. در این آزمایش فاکتورهای موردبررسی شامل شوری خاک در چهار سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد و اعمال شوری‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار در خاک)، با استفاده از نمک کلرید سدیم و فاکتور دوم شامل کاربرد یونیکونازول و کودهای زیستی در هفت سطح (قارچ میکوریزا، یونیکونازول، سودوموناس، میکوریزا+ سودوموناس، میکوریزا+ یونیکونازول، میکوریزا + یونیکونازول + سودوموناس و شاهد بدون کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول) بود. از قارچ *Glomus intraradicese* برای تلقیح استفاده شد که مخلوطی از اسپور، هیف و قطعات جدا شده از ریشه‌های آلوده بود. این قارچ از شرکت زیست فناوران توران تهیه شد. مقدار مورداستفاده بر اساس توصیه شرکت مذکور ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک بود که به‌صورت تلقیح خاکی استفاده شد. ازباکتری *Psedumonas Putida* strain 186 که هر گرم آن ۱۰۷ عدد باکتری زنده و فعال بود برای تلقیح بذر استفاده شد. این باکتری از موسسه خاک و آب تهران تهیه شد. از محلول صمغ عربی به نسبت ۱۵ درصد وزنی‌حجمی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. مقدار نمک موردنیاز برای هر یک از سطوح شوری در خاک، با استفاده از نرم‌افزار Salt calc محاسبه شد. در این نرم‌افزار به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع، مقدار نمک موردنیاز برای هر کیلوگرم خاک گلدان محاسبه‌شده (Hagh Bahari and Seyed Sharifi, 2014) و به گلدان در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مرحله بعد از کاشت و مرحله ۴-۳ برگی همراه آب آبیاری) اعمال شد. برای حفظ شوری در طول دوره رشد در زیر هر گلدان زیرگلدانی قرار داده شد تا بعد از هر سه تا چهار نوبت آبیاری دوباره نمک‌های احتمالی واردشده به زیرگلدانی، در آب حل‌شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. محلول‌پاشی با یونیکونازول با غلظت ۰/۰۵ گرم درلیتر در مرحله ساقه‌روی انجام شد. یونیکونازول از شرکت تجهیزات آزمایشگاهی و شیمیایی جهان کیمیای ارومیه تهیه شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد. در این بررسی از گندم رقم زاگرس استفاده شد. این رقم دارای تیپ رشد بهاره، زودرس، با متوسط ارتفاع بوته ۸۸ سانتی‌متر و وزن هزار دانه آن ۳۸ گرم است که از کیفیت خوب نانوائی نیز برخوردار بوده و از میانگین عملکرد ۳۶۳۰ کیلوگرم در هکتار برخوردار است. برای رسیدن به تراکم ۳۶۰ بذر در مترمربع که تراکم مطلوب و توصیه‌شده این رقم است، ۵۰ عدد بذر در گلدان‌های به قطر ۴۲ سانتی‌متر کشت شدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. بعد از اعمال تیمارها و در مرحله ظهور برگ پرچم (مطابق با کد ۳۹ از مقیاس BBCH Seyed Sharifi and) Khalilzadeh, 2018)، مقدار آنتوسیانین با روش واگنر (Wagner, 1979)، محتوای پراکسید هیدروژن با روش الکسیوا و همکاران (Alexieva et al., 2001)، مالون‌دی-آلدهید با روش استوارت و بولی (Stewart and Beweley, 1980) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل برگ پرچم توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (مدل OS-30p، شرکت OPTI SCIENCES، آمریکا) از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی شش برگ پرچم توسعه‌یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) اندازه‌گیری شدند (Kheirizadeh Arough et al., 2016). برای اندازه-گیری درصد محتوای نسبی آب برگ پرچم از هر واحد آزمایشی چهار برگ پرچم توسعه‌یافته به‌طور تصادفی انتخاب و بعد از قرار دادن در فویل‌های آلومینیومی، داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده و خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از رابطه پیشنهادی (Kostopoulou et al., 2010) مقدار آن محاسبه شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب، نمونه‌های برگ پرچم در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای اتاق قرارگرفته و سپس میزان هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر (مدل pet 103، شرکت atron، ایران) اندازه‌گیری شد. شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل SPAD-502، شرکت Konica Minolta، ژاپن)، اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی تعداد پنج بوته به‌ظاهر یکنواخت و مشابه که به‌طور تصادفی در هر گلدان مشخص شده بود برداشت شد

سپس صفات مختلف مانند عملکرد تک بوته، طول سنبله و وزن صد دانه در پنج بوته اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کودهای زیستی، تنش شوری و برهم‌کنش این دو عامل برتمامی صفات موردبررسی ازجمله محتوای مالون‌دی‌آلدهید، پراکسید هیدروژن، محتوای آنتوسیانین، هدایت الکتریکی، عملکرد کوانتومی، محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، وزن صد دانه، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد تک بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر کودهای زیستی و یونیکونازول بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی گندم تحت شرایط شوری خاک

Tabel 1. Analysis of variance (Mean squared) of biological fertilizers and uniconazole on yield, yield components and biochemical traits of wheat under soil salinity conditions

منابع تغییرات Source of variations		درجه آزادی df	مالون دی‌آلدهید MDA	پراکسید هیدروژن H_2O_2	آنتوسیانین Anthocyanin	هدایت الکتریکی EC	عملکرد کوانتومی Fv/Fm	محتوای نسبی آب RWC
Replication	تکرار	2	0.0002^{**}	0.099^{**}	0.00005^{**}	89.14^{**}	0.00007^{ns}	7.34^{**}
Salinity (S)	شوری	3	0.013^{**}	1.888^{**}	0.00012^{**}	34459.10^{**}	0.062^{**}	1370.62^{**}
Biofertilizers,Uniconazole (B)	کود زیستی، یونیکونازول	6	0.0006^{**}	0.071^{**}	0.000005^{**}	2243.74^{**}	0.005^{**}	126.43^{**}
S×B	شوری×کود	18	0.00003^{*}	0.012^{**}	0.0000003^{**}	50.79^{**}	0.0001^{**}	3.10^{**}
Error	خطا	54	0.000017	0.005	0.0000001	3.44	0.00005	0.98
C.V (%)	ضریب تغییرات	-	*3.88*	*4.96*	*2.32*	*1.68*	*0.87*	*5.11*

Table 1. Continued **جدول ۱. ادامه**

منابع تغییرات Source of variations		درجه آزادی df	شاخص کلروفیل SPAD	طول سنبله Spike length	وزن صد دانه 100-grain weight	تعداد دانه در سنبله number of grain per spike	عملکرد دانه تک بوته Grain Yield (per Plant)
Replication	تکرار	2	3.1^{ns}	0.13^{**}	0.54^{**}	42.65^{**}	0.07^{**}
Salinity (S)	شوری	3	1785^{**}	6.29^{**}	4.09^{**}	38.61^{**}	2.12^{**}
Biofertilizers,Uniconazole (B)	کود زیستی، یونیکونازول	6	139.6^{**}	0.55^{**}	0.35^{**}	4.96^{**}	0.008^{**}
S×B	شوری×کود	18	2.9^{*}	0.02^{**}	0.04^{*}	0.72^{*}	0.0004^{**}
Error	خطا	54	1.7	0.01	0.02	0.38	0.0002
C.V (%)	ضریب تغییرات	-	*2.09*	*2.28*	*3.24*	*3.93*	*1.30*

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively

محتوای مالون‌دی‌آلدهید

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین محتوای مالون‌دی-آلدهید (۰/۱۵۱۳ میکرومول برگرم وزن تر برگ) در عدم کاربرد کودهای زیستی و تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار خاک و کم‌ترین مقدار آن (۰/۰۷۰۲ میکرمول بر گرم وزن تر برگ) در کاربرد توأم میکوریزا با یونیکونازول و سودوموناس تحت شرایط عدم اعمال شوری به دست آمد (جدول ۲). مالون‌دی‌آلدهید به‌طور طبیعی در گیاهان تولید می‌شود و مقدار آن با شکست و جدایی اسیدهای چرب غیراشباع متناسب است. افزایش تولید آن از تخریب اسیدهای چرب دیواره سلول ناشی می‌شود. ازاین‌رو مقدار مالون‌دی-آلدهید می‌تواند نمایه مناسبی برای پراکسید شدگی چربی‌ها باشد. تحت شرایط تنش گیاهان تعدادی از گونه‌های فعال اکسیژنی مانند سوپراکسید، پراکسید هیدروژن، رادیکال‌های هیدروکسیل و اکسیژن منفرد تولید می‌کنند (Moller et al., 2007) که در اثر افزایش شدت تنش و با افزایش ترکیبات ROS ساختار غشاء آسیب‌دیده و لیپیدهای آن آزاد می‌شود که موجب افزایش مالون‌دی‌آلدهید می‌شود، وجود سیستم آنتی‌اکسیدان توانمند موجب کاهش ترکیبات ROS شده و به‌نوعی می‌تواند موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدی شود (Zafari et al., 2012). نریمانی و سیدشریفی (Narimani and Seyed Sharifi, 2018) طی آزمایشی گزارش کردند که افزایش تنش شوری از طریق افزایش محتوای پراکسیدهیدروژن موجب افزایش محتوای مالون‌دی-آلدهید برگ گندم شد. گوروانی و همکاران (Gururani et al., 2012) اظهار داشتند که کاربرد باکتری تحت شرایط تنش شوری و فلزات سنگین از طریق افزایش بیان ژن mRNA آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش پراکسید هیدروژن و به‌تبع آن کاهش مالون‌دی‌آلدهید شده است. سان و همکاران (Sun et al., 2010) گزارش کردند که قارچ *Piriformospora indica* به‌طور مستقیم موجب خنثی شدن فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. در بررسی نوری آکندی و همکاران (Noori Akandi et al., 2016) کاربرد قارچ *Piriformospora indica* با کاهش پراکسید هیدروژن، موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید تحت شرایط تنش شوری شد. کاربرد یونیکونازول که از تریازول‌ها است از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش تولید آنتوسیانین موجب کاهش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (Gilley and Fletcher, 1997). کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول با افزایش تولید آنتوسیانین موجب حفاظت از ساختار غشاء (Leng et al., 2000) می‌شود و بهبود ساختار غشاء می‌تواند یکی از دلایل کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ پرچم (جدول ۲) در چنین ترکیبات تیماری باشد.

محتوای پراکسید هیدروژن

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیش‌ترین محتوای پراکسید هیدروژن (۰/۴۴۴ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی-مولار و کم‌ترین محتوای آن (۰/۲۵۰ میکرومول برگرم وزن تر برگ) در کاربرد توأم میکوریزا با یونیکونازول و سودوموناس در شرایط عدم اعمال شوری خاک به دست آمد (جدول ۲). تنش‌های اکسیداتیو مسئول تولید گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان به شمار می‌روند. گونه‌های فعال اکسیژن می‌توانند موجب از بین بردن بیومولکول‌ها مانند لیپید غشا، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلوئیک شده و با افزایش این گونه‌های فعال اکسیژن در داخل گیاه، مرگ سلول رخ می‌دهد (Ahmad et al., 2013). یانگ و همکاران (Young et al., 2013) اظهار داشتند که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد از طریق تولید فاکتورهای آنتی‌اکسیدانی یا تعدیل کردن فتوسنتز، خسارت گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش و می‌توانند گیاه را در برابر حضور این گونه‌های فعال اکسیژن حمایت و از آسیب وارده جلوگیری کنند. گوروانی و همکاران (Gururani et al., 2012) نیز گزارش کردند که کاربرد باکتری تحت شرایط تنش شوری و فلزات سنگین با افزایش بیان ژن mRNA آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ضمن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب کاهش مالون‌دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن شد. قارچ *Piriformospora indica* به‌طور مستقیم موجب خنثی شدن فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (Sun et al., 2010) و حذف گونه‌های فعال اکسیژن موجب کاهش پراکسید هیدروژن تحت شرایط شوری می‌شود (Noori Akandi et al., 2016). کاربرد یونیکونازول نیز از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش تولید آنتوسیانین موجب کاهش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (Gilley and Fletcher, 1997). در این بررسی نیز کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول تحت شرایط تنش شوری از طریق افزایش محتوای آنتوسیانین برگ پرچم (جدول ۲)

موجب کاهش محتوای پراکسید هیدروژن برگ پرچم (جدول ۲) شد.

محتوای آنتوسیانین

تأثیر شوری، یونیکونازول و کودهای زیستی و اثر ترکیب تیماری این سه عامل بر مقدار آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین محتوای آنتوسیانین (۰/۰۲۲۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در کاربرد توأم میکوریزا با یونیکونازول و سودوموناس تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار خاک و کم‌ترین آن (۰/۰۱۳۳ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط عدم اعمال شوری به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و یونیکونازول بر محتوای مالون‌دی‌آلدهید، محتوای پراکسید هیدروژن، محتوای آنتوسیانین، هدایت الکتریکی، عملکرد کوانتومی و محتوای نسبی آب برگ پرچم گندم تحت شرایط شوری خاک

Tabel 2. Means Comparison of the effect of biological fertilizers and uniconazole on the content of malondialdehyde, hydrogen peroxide content, anthocyanin content, electrical conductivity and quantum yield of wheat flag leaf under salinity conditions of soil

ترکیب تیماری Treatment Combination	مالون‌دی‌آلدهید MDA	پراکسید هیدروژن H_2O_2	آنتوسیانین Anthocyanin	هدایت الکتریکی EC	عملکرد کوانتومی Fv/Fm	محتوای نسبی آب Relative water content
	----------(µmol/gFW)----------			(μsm^{-2})		%
s1×a1	0.091^{op}	0.274^{jklmn}	0.0133^{r}	82.68^{p}	0.858^{fg}	91.10^{f}
s1×a2	0.087^{pq}	0.272^{jklmn}	0.0139^{qr}	67.99^{s}	0.866^{ef}	93.52^{e}
s1×a3	0.085^{pq}	0.269^{klmn}	0.0145^{pq}	$65.73r^{s}$	0.877^{de}	95.58^{d}
s1×a4	0.083^{q}	0.265^{lmn}	0.0144^{q}	63.44^{s}	0.885^{cd}	95.93^{cd}
s1×a5	0.071^{r}	0.258^{lmn}	0.0153^{o}	58.76^{t}	0.895^{bc}	97.28^{bc}
s1×a6	0.070^{r}	0.256^{mn}	0.0151^{op}	56.71^{t}	0.901^{b}	98.21^{b}
s1×a7	0.070^{r}	0.250^{n}	0.0156^{no}	52.87^{u}	0.929^{a}	100.08^{a}
s2×a1	0.107^{ijkl}	0.304^{ghi}	0.016^{mn}	124.48^{j}	0.819^{kl}	84.44^{jk}
s2×a2	0.105^{jkl}	0.298^{hij}	0.0163^{lm}	113.06^{l}	0.829^{jk}	86.74^{hi}
s2×a3	0.104^{klm}	0.292^{hijk}	0.0164^{lm}	105.26^{m}	0.835^{ij}	87.69^{gh}
s2×a4	0.102^{lmn}	0.283^{ijkl}	0.0166^{klm}	96.57^{n}	0.843^{hi}	88.99^{g}
s2×a5	0.098^{mno}	0.280^{ijklm}	0.0167^{jk}	82.64^{o}	0.850^{gh}	91.24^{f}
s2×a6	0.096^{no}	0.278^{ijklm}	0.0171^{jk}	80.29^{p}	0.855^{fg}	91.04^{f}
s2×a7	0.094^{o}	0.276^{jklmn}	0.0173^{jk}	73.21^{q}	0.870^{e}	93.13^{e}
s3×a1	0.124^{f}	0.347^{de}	0.0177^{ij}	136.07^{h}	0.774^{p}	80.86^{mno}
s3×a2	0.118^{fg}	0.339^{ef}	0.0181^{ghi}	129.37^{i}	0.785^{op}	81.70^{lmn}
s3×a3	0.114^{gh}	0.334^{ef}	0.0181^{hi}	125.38^{j}	0.795^{no}	82.40^{lm}
s3×a4	0.113^{ghi}	0.329^{efg}	0.0183^{ghi}	117.64^{k}	0.801^{mn}	83.19^{kl}
s3×a5	0.111^{hij}	0.326^{efg}	0.0188^{efg}	111.488^{m}	0.809^{lm}	85.61^{ij}
s3×a6	0.111^{hij}	0.318^{fg}	0.0186^{fgh}	104.82^{m}	0.817^{l}	85.36^{ij}
s3×a7	0.107^{hijk}	$0.316f^{gh}$	0.0192^{def}	98.23^{n}	0.831^{ij}	88.10^{gh}
s4×a1	0.151^{a}	0.444^{a}	0.0193^{de}	180.54^{a}	0.712^{s}	69.85^{r}
s4×a2	0.146^{ab}	0.438^{ab}	0.0198^{cd}	173.16^{b}	0.743^{r}	72.63^{q}
s4×a3	0.144^{ab}	0.435^{ab}	0.02^{c}	166.35^{c}	0.754^{qr}	76.19^{p}
s4×a4	0.143^{bc}	0.414^{bc}	0.0204^{bc}	160.01^{d}	0.761^{p}	76.30^{p}
s4×a5	0.136^{cd}	0.406^{c}	0.0203^{bc}	153.47^{e}	0.775^{p}	79.44^{o}
s4×a6	0.130^{de}	0.370^{d}	0.0207^{b}	148.60^{f}	0.784^{op}	80.77^{no}
s4×a7	0.123^{f}	0.350^{de}	0.0225^{a}	143.75^{g}	0.794^{no}	82.77^{l}
LSD	0.006	0.02	0.0007	3.03	0.01	1.62

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

s1، s2، s3 و s4 به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی‌مولار. a1، a2، a3، a4، a5، a6 به‌ترتیب عدم مصرف کود زیستی، مصرف یونیکونازول، مصرف سودوموناس، مصرف میکوریزا، مصرف یونیکونازول و میکوریزا، مصرف میکوریزا و سودوموناس و مصرف میکوریزا و سودوموناس و یونیکونازول.

Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test 0.05 level

S_1, S_2, S_3 and S_4 no salinity, 40, 80 and 120 mM in soil salinity. a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, and a_7 are no application of bio fertilizers, application of uniconazole, pseudomon, application of mycorrhiza, application of uniconazole and mycorrhiza, application of mycorrhiza and pseudomonas, application of mycorrhiza and pseudomonas and uniconazole.

آنتوسیانین‌ها از رنگیزه‌های محافظ بوده و افزایش محتوای آن ضمن حذف مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن در طول تنش اکسیداتیو، گیاه را در برابر تنش محافظت می‌کند (Zahir et al., 2003).

در این راستا ویتراک و همکاران (Vitrac et al., 2000) علت افزایش آنتوسیانین در کاربرد کودهای زیستی را به جذب بهتر منیزیم و کلسیم در حضور این کودها نسبت دادند. ازآنجایی‌که واحدهای سازنده فلاونوئیدها نیاز مبرم به ATP و NADPH دارند و با توجه به این موضوع که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های فوق ضروری است، بنابراین باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق جذب کارآمد فسفر و نیتروژن توسط ریشه، موجب افزایش محتوای آنتوسیانین شده است (Hassan, 2009). علاوه بر این ریشه تلقیح شده با کودهای زیستی توانایی ساخت و ترشح مواد بیولوژیک فعال مانند ویتامین‌های گروه B، اسید نیکوتنیک، اسید پنتوتنیک، بیوتین، اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و غیره را دارند که این مواد موجب افزایش محتوای ماده آلی و هیدرات‌کربن گیاه و درنتیجه افزایش آنتوسیانین می‌شود (Rodriguez and Fraga, 1999). یونیکونازول نیز می‌تواند با دفع گونه‌های فعال اکسیژن از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی موجب افزایش رنگ‌دانه‌های نور ساختی مانند کلروفیل و آنتوسیانین شود (Gilley and Fletcher, 1997).

هدایت الکتریکی

بیش‌ترین و کم‌ترین هدایت الکتریکی برگ پرچم (۱۸۰/۵۴۳ و ۵۲/۸۷ میکروزیمنس بر متر) به‌ترتیب در عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار خاک و کاربرد توأم میکوریزا با یونیکونازول و سودوموناس و عدم اعمال شوری در خاک به دست آمد (جدول ۲). دلیل افزایش هدایت الکتریکی در شرایط تنش، می‌تواند ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌گردند که در نتیجه‌ی آن غشای سلولی پاره شده و موجب افزایش نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (Mohammadkhani and Heidari, 2007). توفیقی و همکاران (Tofighi et al., 2016) اظهار داشتند که کاربرد میکوریزا در شرایط تنش شوری با افزایش محتوای آنتوسیانین برگ، موجب افزایش ظرفیت مهار رادیکال‌های آزاد شد و با کاهش میزان گونه‌های فعال اکسیژن، نشت غشایی را کاهش داد. زو و همکاران (Zhu et al., 2011) اظهار داشتند که در شرایط تنش نشتی غشاء در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا به دلیل کم کردن تنش اکسیداتیو کمتر از عدم کاربرد میکوریزا بود (Zhu et al., 2011). لنگ و همکاران (Leng et al., 2000) افزایش محتوای آنتوسیانین را عامل مهمی در حفظ ساختارهای حساسی مانند غشاها نسبت دادند و به نظر می‌رسد که کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید (جدول ۲) و افزایش محتوای آنتوسیانین (جدول ۲) در کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول موجب بهبود ساختار غشاء و کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم (جدول ۲) شده است.

عملکرد کوانتومی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد کوانتومی برگ پرچم (۰/۹۲۹) در کاربرد توأم میکوریزا با یونیکونازول و سودوموناس در شرایط عدم اعمال شوری و کم‌ترین آن (۰/۷۱۲) در عدم کاربرد کودهای زیستی و بالاترین سطح از شوری خاک به دست آمد (جدول ۲). در بررسی محمدی چراغ‌آبادی و همکاران (Mohammady Cheraghabady et al., 2015) عملکرد کوانتومی فتوسیستم II تحت شرایط تنش شوری کاهش یافت، کاهش مشاهده‌شده در عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، اشاره به کاهش سرعت انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون کلروپلاستی دارد و کاهش پذیرنده‌های الکترون ممکن است موجب افزایش احتمال تولید رادیکال‌های واکنش‌پذیر شود. سیار و همکاران (Sayar et al., 2008) اظهار داشتند که عملکرد کوانتومی فتوسیستم II توسط قارچ‌های میکوریزا افزایش می‌یابد. قارچ‌های میکوریزا نقش مهمی را در بهبود عملکرد کوانتومی فتوسیستم II به‌واسطه بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه ایفا می‌کند. باکتری‌های محرک رشد می‌توانند رشد گیاه را با از بین بردن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، حل فسفات نامحلول و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی را بهبود بخشد؛ بنابراین، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را به‌وسیله بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، به‌ویژه فسفر که عنصر مهمی برای بهبود فتوسنتز است، افزایش می‌دهند (Kloepper et al., 1989). کاربرد یونیکونازول نیز در شرایط تنش موجب افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و افزایش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II

می‌شود (Gilley and Fletcher, 1997). در این بررسی نیز به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول با کاهش محتوای پراکسید هیدروژن (جدول ۲) و مالون‌دی‌آلدهید (جدول ۲)، ضمن کاهش هدایت الکتریکی برگ (جدول ۲) موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ (جدول ۳) شد که احتمالاً این افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم، شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را افزایش داده است (جدول ۳ و جدول ۲).

جدول ۳. مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و یونیکونازول بر محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، طول سنبله، وزن صد دانه و عملکرد دانه تک بوته گندم تحت شرایط شوری خاک

Tabel 3. Means Comparison of the effect of biol fertilizers and uniconazole on relative water content, chlorophyll index, spike length, 100-grain weight and grain yield per plant of wheat under soil salinity conditions

ترکیب تیماری Treatment Combination	شاخص کلروفیل SPAD	تعداد دانه در سنبله Grains per spike	طول سنبله Spike length	وزن صد دانه 100-grain weight	عملکرد تک بوته Yield per Plant
			(cm)	----------(g)----------	
s1×a1	68.46^{e}	16.33^{cdef}	5.27^{efg}	5.16^{cdef}	1.485^{d}
s1×a2	70.44^{de}	16.66^{cde}	5.36^{def}	5.19^{bcdef}	1.492^{d}
s1×a3	71.75^{bcd}	17.33^{bc}	5.42^{cde}	5.23^{bcde}	1.507^{cd}
s1×a4	71.63^{cd}	17^{bcd}	5.48^{cd}	5.24^{bcd}	1.518^{bc}
s1×a5	73.85^{ab}	17.33^{bc}	5.59^{bc}	5.34^{bc}	1.533^{b}
s1×a6	73.14^{abc}	18^{b}	5.75^{b}	5.42^{b}	1.533^{b}
s1×a7	75.03^{a}	19.66^{a}	6.29^{a}	6.09^{a}	1.606^{a}
s2×a1	60.71^{h}	15.33^{fghi}	4.86^{jkl}	4.94^{fghij}	1.134^{i}
s2×a2	62.82^{gh}	15.66^{efgh}	4.99^{ijk}	4.97^{efghij}	1.141^{hi}
s2×a3	66.10^{f}	16.33^{cdef}	5.04^{hij}	5.00^{defghi}	1.150^{hi}
s2×a4	66.03^{f}	15.66^{efgh}	5.12^{ghi}	5.02^{defghi}	1.161^{gh}
s2×a5	68.53^{e}	16^{defg}	5.21^{fgh}	5.08^{defgh}	1.176^{fg}
s2×a6	69.43^{e}	17b^{cd}	5.26^{efg}	5.11^{cdefg}	1.202^{ef}
s2×a7	71.62^{cd}	16.66^{cde}	5.36^{def}	5.17^{bcdef}	1.220^{e}
s3×a1	51.70^{l}	14.66^{hij}	4.44^{pqr}	4.52^{lm}	0.925^{m}
s3×a2	54.36^{jk}	14.66^{hij}	4.51^{opq}	4.60^{klm}	0.933^{lm}
s3×a3	56.43^{ij}	14.66^{hij}	4.56^{op}	4.73^{jkl}	0.945^{klm}
s3×a4	57.27^{i}	14.66^{hij}	4.63^{mno}	4.79^{ijk}	0.951^{kl}
s3×a5	60.99^{h}	14.66^{hij}	4.75^{lmn}	4.85^{ghijk}	0.958^{jk}
s3×a6	61.24^{h}	15^{ghij}	4.81^{klm}	4.83^{hijk}	0.965^{jk}
s3×a7	63.60^{g}	15.66^{efgh}	5.07^{hi}	4.97^{efghij}	0.976^{j}
s4×a1	46.83^{o}	13.33^{k}	4.15^{u}	4.15^{o}	0.769^{p}
s4×a2	47.74^{no}	14.66^{hij}	4.22^{tu}	4.17^{o}	0.771^{p}
s4×a3	49.39^{mn}	14^{jk}	4.25^{stu}	4.24^{no}	0.775^{p}
s4×a4	49.98^{lm}	14^{jk}	4.31^{rstu}	4.36^{mno}	0.783^{op}
s4×a5	53.93^{k}	15.33^{fghi}	4.36^{qrst}	4.39^{mno}	0.801^{no}
s4×a6	54.22^{k}	14.33^{ijk}	4.43^{pqrs}	4.45^{mn}	0.807^{n}
s4×a7	55.92^{ijk}	15.66^{efgh}	4.59^{nop}	4.60^{klm}	0.820^{n}
LSD	2.12	1.01	0.184	0.25	0.02

s1، s2، s3 و s4 به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی‌مولار خاک.

a1، a2، a3، a4، a5، a6 و به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد یونیکونازول، سودوموناس، کاربرد میکوریزا، کاربرد یونیکونازول و میکوریزا، کاربرد میکوریزا و سودوموناس و کاربرد میکوریزا و سودوموناس و یونیکونازول.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند

S_1, S_2, S_3 and S_4 no salinity, 40, 80 and 120 mM soil salinity soil.

a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, and a_7 are no application of bio fertilizers, application of uniconazole, pseudomon, application of mycorrhiza, application of uniconazole and mycorrhiza, application of mycorrhiza and pseudomonas, application of mycorrhiza and pseudomonas and uniconazole.

Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test at 0.01(*) and 0.05 (**) probability level.

محتوای نسبی آب

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر یونیکونازول و کودهای زیستی در سطوح مختلف شوری بر محتوای نسبی آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱)؛ و مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ پرچم (۱۰۰/۰۸ و ۶۹/۸۵ درصد) به‌ترتیب در کاربرد توأم میکوریز با یونیکونازول و سودوموناس در شرایط عدم شوری خاک و در عدم کاربرد کودهای زیستی در بالاترین سطح از شوری به دست آمد (جدول ۲). مونس و تستر (Munns and Tester, 2008) گزارش کردند که افزایش تجمع یون‌ها به‌ویژه سدیم و کلر به دلیل اعمال محدودیت در سیستم‌های ریشه‌ای و یا دسترسی کم به آب در شرایط تنش می‌تواند در کاهش محتوای آب نسبی مؤثر باشد. کاهش محتوای نسبی آب در شرایط شور می‌تواند ناشی از کاهش مقدار جذب آب در این شرایط باشد. بااین‌وجود اگر در شرایط شور مقدار بیشتری از یون‌های سدیم و کلر توسط گیاه جذب شده باشد ولی به آستانه مسمومیت نرسیده باشد، می‌توان انتظار داشت که گیاه بتواند آب بیشتری نیز جذب کند. گوا و همکاران (Guo et al., 2010) اظهار داشتند که ریشه‌های کلونیزه شده به قارچ میکوریزا می‌توانند در حجم وسیعی از خاک پراکنده شوند و این قارچ‌ها به کمک هیف‌های خود موجب بهبود جذب آب و مواد غذایی از خاک می‌شوند؛ بنابراین وضعیت آبی مناسب گیاه در حالت میکوریزا می‌تواند درنتیجه فعالیت ریشه‌های کلونیزه شده با میکوریزا باشد. سیدشریفی و همکاران (Seyed Sharifi et al., 2016) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط تنش شوری با بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم گندم شد. در ابن بررسی نیز به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول تحت شرایط تنش شوری ضمن افزایش محتوای آنتوسیانین (جدول ۲) با بهبود ساختار غشاء و کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۲) و افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم (جدول ۳) شده است.

شاخص کلروفیل

بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین شاخص کلروفیل برگ پرچم (۷۵/۰۳) در کاربرد توأم میکوریزا با یونیکونازول و سودوموناس تحت شرایط عدم اعمال شوری و کم‌ترین آن (۴۶/۸۳) در عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار خاک به دست آمد (جدول ۳). کاهش شاخص کلروفیل در شرایط شوری می‌تواند عمدتاً به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل-های جدید (Sultan, 2005) و یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز تحت شرایط تنش شوری باشد که موجب کاهش مقدار کلروفیل می‌شود (Reddy et al., 2005). برخی محققان اثر تلقیح باکتری بر افزایش شاخص کلروفیل را به قابل‌دسترس بودن بالاتر نیتروژن به‌واسطه تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های محرک رشد نسبت دادند (Seyed Sharifi and Namvar, 2016). هیویدی (Hewedy, 1999) اظهار داشت در حضور باکتری‌های محرک رشد حاوی ACC دی آمیناز، ساخت اتیلن به‌طور معنی‌داری کاهش می-یابد و همین امر موجب می‌شود تجزیه کلروفیل کاهش یابد. یونیکونازول نیز با به تأخیر انداختن پیری برگ‌ها (Kamountsis et al., 1999)، دفع گونه‌های فعال اکسیژن از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، موجب افزایش رنگ‌دانه‌های نور ساختی مانند کلروفیل و آنتوسیانین می‌شود (Gilley and Fletcher, 1997). در این بررسی کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول از طریق کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۲) و افزایش محتوای نسبی آب برگ (جدول ۳) موجب افزایش شاخص کلروفیل شده است، بخشی از این افزایش نیز به نظر می‌رسد ناشی از افزایش محتوای آنتوسیانین (جدول ۲) باشد، زیرا آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساسی مانند غشاها حفاظت کرده و از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کنند (Leng et al., 2000).

وزن صد دانه

بررسی تأثیر یونیکونازول، کودهای زیستی و شوری نشان داد که اثر ترکیب این سه عامل بر وزن صد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش-ترین وزن صد دانه (۶/۰۹۷ گرم) در کاربرد توأم میکوریز با یونیکونازول و سودوموناس در شرایط عدم اعمال شوری و کم‌ترین آن (۴/۱۵۷ گرم) در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی در بالاترین سطح شوری به دست آمد (جدول ۳). اختلال در انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه که نتیجه‌ی تجمع املاح مضر در گیاه و همچنین بر هم خوردن تعادل یونی است، ممکن است مهم‌ترین دلیل کاهش وزن دانه در شرایط

تنش باشد. همچنین وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پر شدن دانه است، بنابراین تنش‌های محیطی که موجب کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه شوند به‌طور معنی‌داری وزن دانه را کاهش می‌دهند (Mashi et al., 2008). خلیل-زاده و همکاران (Khalilzadeh et al., 2017) علت افزایش وزن صد دانه در کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط شوری را به بهبود وزن و حجم ریشه، افزایش شاخص کلروفیل و سطح برگ گندم نسبت دادند. یان هانگ و همکاران (Yan-Hong et al., 2009) دلیل اصلی بهبود وزن صد دانه در محلول‌پاشی یونیکونازول را به افزایش طولی و قطری ریشه و افزایش جذب نیتروژن و فسفر نسبت دادند. در این بررسی نیز به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول با بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه و شاخص کلروفیل (جدول ۳) موجب افزایش وزن صد دانه (جدول ۳) شده است.

طول سنبله و تعداد دانه در سنبله

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین طول سنبله و تعداد دانه در سنبله (به‌ترتیب ۶/۲۹ سانتی‌متر و ۱۹/۶۶) در کاربرد توأم میکوریزا با یونیکونازول و سودوموناس در شرایط عدم اعمال شوری و کم‌ترین آن‌ها (به‌ترتیب ۴/۱۵۶ سانتی‌متر و ۱۳/۳۳دانه در سنبله) در عدم کاربرد کودهای زیستی و شوری ۱۲۰ میلی‌مولار به دست آمد (جدول ۳). با افزایش سطوح شوری طول سنبله کاهش یافت. به‌طوری که تنش اعمال‌شده از یک‌سو، موجب تسریع در گلدهی و کاهش طول دوره گلدهی شده و از سوی دیگر موجب رشد رویشی کمتر و درنتیجه تولید مواد فتوسنتزی کمتر می‌گردد که تحت این شرایط، گیاه بقا خود را با هزینه کاهش تعداد دانه در سنبله که درنهایت به کاهش طول سنبله می‌انجامد تضمین می‌کند. با توجه به اینکه سنبله‌های بلندتر دارای تعداد دانه بیشتری هستند، ازاین‌رو طول سنبله به‌طور غیرمستقیم در عملکرد دانه نقش مهمی دارد. اثر کاهش دانه ممکن است به دلیل ممانعت از رشد گندم از طریق کاهش جذب آب، کاهش فعالیت‌های متابولیک به دلیل سمیت Cl-، Na+ و کاهش مواد غذایی ناشی از تداخل یونی باشد (De Lacerada et al., 2003). خلیل‌زاده و همکاران (Khalilzadeh et al., 2017) اظهار داشتند که تلقیح بذر با کودهای زیستی علاوه بر تولید هورمون‌های محرک رشد با گسترش وزن و حجم ریشه‌ای موجب افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، افزایش رشد رویشی و ارتفاع بوته و افزایش سهم اندام‌های زایشی ازجمله تعداد دانه در سنبله و طول سنبله شد. در این بررسی نیز به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول با بهبود عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و شاخص کلروفیل (جدول ۲ و ۳) منجر به بهبود شرایط فتوسنتزی و تعدیل اثر تنش شوری و درنهایت افزایش طول سنبله (جدول ۳) شده است.

ماس و گریو (Mass and Grieve, 1990) اظهار داشتند که تنش شوری با تغییر در ظرفیت نهایی سنبله، موجب کاهش معنی‌دار طول سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح و نیز تعداد دانه در سنبله شد. مایاک و همکاران (Mayak et al., 2004) علت کاهش تعداد دانه در سنبله و طول سنبله در شرایط شوری شدید را به تولید اتیلن بیشتر نسبت به شرایط معمول نسبت دادند که به‌عنوان بازدارنده رشد ریشه عمل نموده و موجب کاهش رشد گیاه می‌شود. حسن‌زاده و همکاران (Hassan zadeh et al., 2007) افزایش ۱۷ درصدی تعداد دانه در سنبله جو را تحت تأثیر باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن به نقش این باکتری‌ها در افزایش جذب عناصر غذایی و تحریک رشد زایشی نسبت دادند. بخشی از افزایش طول و تعداد دانه در سنبله به‌واسطه‌ی کاربرد یونیکونازول را می‌توان به تأخیر در پیری برگ (Leul and Zhou, 1999) و تسریع در مؤلفه‌های رشدی گیاه (Bekhta, 2009) نسبت داد. هان و یانگ (Han and Yang, 2009) گزارش کردند که کاربرد یونیکونازول در گندم موجب افزایش تعداد دانه شد.

عملکرد تک بوته

بیش‌ترین عملکرد تک بوته (۱/۶۰۶ گرم در بوته) در کاربرد توأم میکوریزا با یونیکونازول و سودوموناس در شرایط عدم اعمال شوری و کم‌ترین آن (۰/۷۶۹ گرم در بوته) در عدم کاربرد کودهای زیستی و بالاترین سطح از شوری خاک به دست آمد (جدول ۳). سیدشریفی و همکاران (Seyed Sharifi et al., 2016) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط تنش شوری با بهبود فعالیت آنتی-اکسیدانی و افزایش محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد. در بررسی نریمانی و سیدشریفی (Narimani and Seyed Sharifi, 2018) تنش شوری با افزایش محتوای پراکسید هیدروژن و محتوای مالون‌دی‌آلدهید موجب کاهش عملکرد دانه شد. در این بررسی نیز به نظر می‌رسد کاربرد کودهای

زیستی و یونیکونازول به دلیل کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و محتوای مالون دی‌آلدهید (جدول ۲)، افزایش شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی (جداول ۲ و ۳) موجب بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه و افزایش عملکرد دانه (جدول ۳) شده است.

نتیجه‌گیری نهایی

شوری خاک می‌تواند با افزایش محتوای پراکسید هیدروژن، مالون‌دی‌آلدهید، هدایت الکتریکی و کاهش کلروفیل و عملکرد کوانتومی، درنهایت به کاهش عملکرد دانه منجر شود. ولی کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول ازجمله عواملی بودند که با کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و مالون‌دی-آلدهید و بهبود کلروفیل، محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی گیاه در چنین شرایطی، موجب تعدیل اثر شوری و افزایش عملکرد و اجزای عملکردی گیاه شدند. ازاین‌رو به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و یونیکونازول با کاهش اثر مخرب ناشی از افزایش برخی صفات بیوشیمیایی و بهبود شرایط فتوسنتزی، درنهایت موجب افزایش عملکرد دانه گندم شود.

منابع

Ahmad, P., Ashraf, M., Azooz, M.M., Rasool, S., Akram, N.A., 2013. Potassium starvation-induced oxidative stress and antioxidant defense responses in *Brassica juncea*. Journal of Plant Interactions. 9, 1-9.

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., Karanov, E., 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant Cell and Environment. 24, 1337-1344.

Bekhata, M., 2009. Physiological studies on the effect of uniconazole on growth and productivity of vicea faba plants grown under different levels of salinity (Ph.D dissertation), Botany Department, Faculty of Science, Cairo University, Cairo.

Bhattacharjee, S., Mukherjee, A.K., 2002. Salt stress induced cytosolute accumulation, antioxidant response and membrane deterioration in three rice cultivars during early germination. Seed Science and Technology. 30, 279-287.

De Lacerda, C.F., Cambraia, J., Oliva, M.A., Ruiz, H.A., Prisco, J.T., 2003. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. Environmental and Experimental Botany. 49, 107-120.

Fernandez, J.A., Balenzategui, L., Banon, S., Franco, J.A., 2006. Induction of drought tolerance by paclobutrazol and irrigation deficit in Phillyrea angustifolia during the nursery period. Scientia Horticulturae. 107, 277-283.

Garratt, L.C., Janagoudr, B.S., Lowe, K.C., Anthony, P., Power, J.B., Davey, M.R., 2002. Salinity tolerance and antioxidant status in cotton cultures. Free Radical Biology and Medicine. 33, 502-511.

Gilley, A., Fletcher, R.A., 1997. Relative efficiency of paclobutrazol, propiconazole and tetraconazole as stress protectants in wheat seedlings. Plant Growth Regulatore. 1, 169-175.

Guo, Y., Ni, Y., 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.

Gururani, M., Upadhyaya, C., Baskar, V., Venkatesh, J., Nookaraju, A., Park, S., 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in solanum tuberosum through inducing changes in the expression of rosscavenging enzymes and improved photosynthetic performance. Journal Plant Growth Regulation. 32, 245–258.

Gupta, N., Rutaray, S., 2005. Growth and development of AM fungi and maize under salt and acid stress. Acta Agricultural Scandinavia, Section B, Soil and Plant Science. 55, 151-157.

Hagh Bahari, M., Seyed Sharifi, R., 2014. Effects of seed inoculation with growth promoting bacteria (PGPR) on yield, rate and grain filling at various levels of soil salinity. Environmental Stresses in Crop Sciences. 61, 65-75. [In Persian with English Summary].

Hassan, F.A.S., 2009. Response of *Hibiscus sabdariffa* L. plant to some biofertilization treatments. Annals of Agricultural Science. 54,437-446.

Hassan zadeh, E., Mazaheri, D., Chaichi, M.R., Kharazi, K., 2007. Efficiency of phosphorus solubilizing bacteria and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barley cultivar (Karoon Dar Kavir). Pajouhesh and Sazandegi. 75,111-118. [In Persian with English Summary].

Han, H., Yang, W., 2009. Influence of uniconazole and plant density on nitrogen content and grain quality in winter wheat in South China. Plant, Soil and Enviroment. 55, 159-166.

Harinasut, P., Poonsopa, D., Roengmongkol, K., Charonsataprom, R., 2003. Salinity effects on antioxidant enzymes in Mulberry cultivar. Science Asia. 29, 109-113.

Hewedy, A. M., 1999. Influence of single and multi-bacterial fertilizer on the growth and fruit yield of tomato. Egypt Journal of Applied Science. 14, 508-523.

Kamountsis, A.P., Chronopoulou-Sereli, A.G., Paspatis, E.A., 1999. Paclobutrazol affects growth and flower bud production in gardenia under different light regimes. Horticultural Science. 34, 674-675.

Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R., Jalilian, J., 2017. Physiological status and yield of saltstressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants affected by biofertilizer and cycocel application. Arid Land Research and Management. 32, 71-90.

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Barmaki, M., 2016. Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 44, 116-124.

Kloepper, J.W., Lifshitz, R., Zablotowicz, R.M., 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. Trends in Biotechnology. 7, 39-44.

Kostopoulou, P., Barbayiannis, N., Basile, N., 2010. Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. Plant and Soil. 330, 65-71.

Leng, P., Itamura, H., Yamamura, H., Deng, X., 2000. Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. Scientia Horticulturae. 83, 43-50.

Mashi, A., Galeshi, S., Zeinali, E., Noorinia, A., 2008. Salinity effect on seed yield and yield components in four Hull-les barley. Journal of Agricultural Science and Technology. 14, 1-10.

Mass, E.V., Grieve, C.M., 1990. Spike and leaf development in salt stressed wheat. Crop Science. 30, 1309-13.

Mates, J. M., Perez-Gomez, C., 1999. Antioxidant enzymes and human disease. Chemical Biochemistry. 32, 595-603.

Maxwell, K., Johnson. G. N., 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. Journal of Experimental Botany. 51, 659-668.

Mayak, S., Tirosh, T., Glick, B., 2004. Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. Plant Physiology and Biochemistry. 42, 565-572.

Moller, M., Jensen, P. E., Hansson, A., 2007. Oxidative modifications to cellular components in plants. Annual Review of Plant Biology. 58, 459-481.

Mohammady Cheraghabady, M., Roshanfekr, H., Hassibi, P., Meskarbashee, M., 2015. Evaluation of salt stress effect on chlorophyll fluorescence in two sugar beet (*Bata Vulgaris* L.) under salicylate foliar application. Iranian Journal of Field Crops Research. 13, 349-357 [In Persian with English Summary].

Mohammadkhani, N., Heidari, R., 2007. Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. Pakistan Journal of Biological Science. 10, 3835-3840.

Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual. Review of Plant Physiology. 59, 651-681.

Narimani, H., Seyed Sharifi, R., 2018. Effect of Soil application and Zinc Solubility on grain filling, grain yield and some biochemical traits of wheat under Salinity Stress. 13th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment. University of Mohagheh Ardabili. [In Persian with English Summary].

Noori Akandi, Z., Pirdashti, H.L. Yaghoubian, Y., Ghasemi Omran, V.L., 2016. Investigation of antioxidant enzymes activity and photosynthetic pigments content changes of stevia medicinal plant inoculated with piriformospora indica fungi under salt stress.

Journal of Crops Improvement. 18, 639-653. [In Persian with English Summary].

Reddy, M.P., Vora, A.B., 2005. Salinity induced changes in pigment composition and chlorophyllase activity of chelidonium. Indian Journal Plant Physiology. 29, 331-334.

Rodriguez, H., Fraga, R., 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances. 17, 319-339.

Sayar, R., Khemira, H., Kameli, A., Mosbahi, M., 2008. Physiological tests as predictive appreciation for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Agronomy Research. 6, 79-90.

Saffari, R., Maghsoudi Mood, A.A., Saffari, V.R., 2013. Effect of salt stress on chlorophyll fluorescence and grain yield of some sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. Seed and Plant Production. 29, 109-130.

Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., Jalilian, J., 2016. Effects of biofertilizers and cycocel on some physiological and biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. 63, 308-318.

Seyed Sharifi, R., Namvar, A., 2015. Bio fertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardabili press. [In Persian].

Seyed Sharifi, R., Khalilzade, R., 2018. Morphology and Growth and Development of Crops. University of Mohaghegh Ardabili press. [In Persian].

Stewart, R.C., Beweley, J.D., 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. Plant Physiology. 65, 245-248.

Sultan, A., 2005. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environmental and Experimental Botany. 42, 211-220.

Sun, C., Johnson, J.M., Cai, D., Sherameti, I., Oelmüller, R., Lou, B., 2010. Piriformospora indica confers drought tolerance in Chinese cabbage leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought related genes and the plastid-localized CAS protein. Journal of Plant Physiology. 167, 1009-1017.

Tammam, A.M.F., Hemeda, M., 2008. Study of salt tolerance in wheat (Triticum aestivum L.) cultivar banysaifl. Australin Journal of Crop Science. 115-125.

Tofighi, K., Khavari Nejad, R., Najafi, F., Razavi, Kh., Rejali, F., 2016. Interaction effect investigation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth regulator brassinolide on enhancing to wheat tolerance to salinity tension. Crop Physiology Journal. 8, 5-19. [In Persian with English Summary].

Vitrac, X., Larronde, F., Krisa, S., Decendit, A., Deffieux, G., Mérillon, J.M., 2000. Sugar sensing and Ca^{2+} calmodulin requirement in Vitis vinifera cells producing anthocyanins. Phytochemistry. 53, 659-665.

Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars free aminoacids, and anthocyanins in protoplast. Plant Physiology. 64, 88-93.

Yan-Hong, Y., Wen-Yu, Y., Zhang, J., 2009. Effect of spraying uniconazole on dry matter accumulation and distribution of soybean after blooming. World Appled Science Journal. 6, 3. 449-456.

Young, L.S., Hameed, A., Peng, S.Y., Shan, Y.H., Wu, S.P., 2013. Endophytic establishment of the soil isolate Burkholderia sp. CC-Al74 enhances growth and P-utilization rate in maize (*Zea mays* L.). Applied Soil Ecology. 66, 40-47.

Zahir, A.Z., Arshad, M., Frankenberger, W.F., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria: Application and perspectives inagriculture. Advances in Agronomy. 81, 97-168.

Zafari, S., Niknam, V., Musetti, R., and Noorbakhsh, N.S., 2012. Effect of phytoplasma infection on metabolite content and antioxidant enzyme activity in lime (*Citrus aurantifolia*). Acta Physiologiae Plantarum. 34, 561-568.

Zelatev, Z. S., Yordanov, I.T., 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in Bean plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology. 30, 3-18.

Zhou, W, Leul, M., 1999. Uniconazole-induced tolerance of rape plants to heat stress in relation to changes in hormonal levels, enzyme activities and lipid per oxidation. Plant Growth Regulation. 27, 99-104.

Zhu, X., Song, F., Liu, S., 2011. Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. Journal of Food, Agriculture and Environment. 9, 583-587.