Archive of SID

"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد نهم، شماره ۱، بهار ۹۹
(ص ٤٤-۲۷)

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 9, No.: 1, Spring 2020
(pp: 27-44)
DOI: 10.22034/ijsst.2018.122519.1215

بررسی تاثیر پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاه بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهچه و شاخص‌های جوانه‌زنی دو رقم گندم نان در شرایط تنش شوری

سجاد فتح الهی[۱]، افشین مظفری[۲*]

۱. دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام، گروه تخصصی زراعت و اصلاح نباتات، ایلام، ایران.
۲. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام، گروه تخصصی زراعت و اصلاح نباتات، ایلام، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶)

چکیده

به منظور بررسی تاثیر بیوپرایمینگ بذر گندم با رایزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی گیاهچه و شاخص‌های جوانه‌زنی دو رقم گندم نان تحت شرایط تنش شوری، آزمایشی در سال ۱۳۹۶ در آزمایشگاه زیست‌شناسی گیاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار اجرا گردید. تنش شوری شامل: صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم، باکتری‌های PGPR شامل: عدم تلقیح بذر با PGPR (شاهد) و تلقیح بذر با PGPR و ارقام گندم شامل: تجن و افق بود. جنس و گونه‌های باکتری‌های PGPR مورد استفاده در این پژوهش شامل *Azotobacter chroococcum*، *Azospirillum berasilense* و *Pseudomonas potida* بود که از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. صفات مورد بررسی شامل فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و گلوتاتیون پرواکسیداز (GPX)، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر بود. اثر ساده عوامل آزمایش بر تمام صفات معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) شد. نتایج آزمایش نشان داد بذر گندم رقم افق در مقایسه با رقم تجن از نظر شاخص‌های جوانه‌زنی، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی برتر بود. تیمار پرایم بذر با PGPR در مقایسه با تیمار عدم مصرف باکتری‌های PGPR باعث بهبود صفات آزمایش شد. به‌طورکلی، پرایمینگ بذور گندم با باکتری‌های PGPR در مقایسه با تیمار شاهد از طریق بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی گیاهچه تا حدودی آثار مخرب تنش شوری را کاهش داد. در شرایط تنش شوری، بیش‌ترین وزن خشک ساقه‌چه و گیاهچه، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و فعالیت آنزیم CATبه ترتیب با ۳/۰۳۳ و ۳/۹۴۴ میلی‌گرم در پتری، ۱۳/۰۵۳ بذر در روز، ۱۳/۰۳ و ۳/۶۸۳ واحد بر گرم وزن تازه بافت مربوط به تیمار بیوپرایم بذر رقم افق در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین آنها به ترتیب با ۱/۸۱۳ و ۲/۵۱۶ میلی‌گرم در پتری، ۵/۳۰۷بذر در روز، ۲/۹۳۵ و ۱/۱۸۷ واحد بر گرم وزن تازه بافت به ترکیب تیماری شوری ۲۰۰ میلی‌مولار×عدم بیوپرایم با PGPR×رقم تجن تعلق داشت. به‌طور کلی، بیوپرایم بذر رقم گندم افق با باکتری PGPR در تمام سطوح تنش شوری نسبت به بیوپرایم بذر رقم تجن با باکتری PGPR از نظر صفات آزمایشی برتر بود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های PGPR، شوری، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، گندم، شاخص جوانه‌زنی.

Investigation the Effect of Seed Biopriming with Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Antioxidant Enzymes Activity of Seedling and Germination Indices of Two Wheat Cultivar under Salt Stress Conditions

Sajad Fathollahy[1], Afshin Mozaffari[2*]

1. Ph.D. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.
2. Assistant Professors, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.
(Received: Jul. 04, 2018 – Accepted: Oct. 08, 2018)

Abstract

In order to investigation the effect of seed Bio priming with Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on activity of antioxidant enzymes and Germination Indices of Two Wheat Cultivar under Salt Stress Conditions. An experiment was conducted as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications in a laboratory of Islamic Azad University, Ilam branch, Iran in 2017 year. Experimental factors included salt stress at four levels: zero (Control), 50, 100, and 200 mM sodium chloride, PGPR bacteria in two levels: non-inoculation with PGPR (control) and seed inoculation with PGPR and wheat cultivars include: Tajan and Ofogh. The genus and species of PGPR bacteria used in this study included *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum berasilense* and *Pseudomonas potida*, which were obtained from the Iranian soil and water research institute. Experimental traits included Activity of superoxide dismutase enzymes (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX), dry weight of radicl, gomul and seedling, germination percentage, germination rate and seed vigor index. The main effect of experimental factors on all traits was highly significant ($P\leq0.01$). The results of the experiment showed that Ofogh was superior to Tajan cultivar for all germination indices, dry weight of radicle, plumule, seedling, and activity of antioxidant enzymes. With increasing salt stress, all of traits were decreasing. Priming seeds with PGPR bacteria increased the traits studied. Under salt stress condistion, highest of pulumle dry weight and seedling dry weight, germination rate, seed vigour index and catalase enzyme activity with 3.033 and 3.944 (mg per petridish), 13.053 (seed per day), 13.03 and 3.683 (IU/g.Fw), respectively were realated to 50 mMolar salt consentration×biopriming with PGPR×Ofogh wheat cultivar and lowest of those with 1.813 and 2.516 (mg per petridish), 5.307 (seed per day). 2.935 and 1.187 (IU/g. Fw) were belong the 200 mMolar salt consentration×PGPR free×Tajan wheat cultivar, respectively. In general, priming of wheat seeds with PGPR in comparison with control treatment (non-inoculation) by improving germination indices and Activity of antioxidant enzymes to some extent reduced the harmful effects of salinity stress.

Keywords: PGPR, Salinity, Antioxidant enzymes, Germination indices and Wheat.

* Email: afshin.mozafari60@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

گندم مهمترین گیاه زراعی دنیا محسوب و در محدوده وسیعی از شریط آب و هوایی جهان رشد می‌کند. در حقیقت این گیاه سازگارترین غلات است (Nourmohammadi *et al.*, 2007). آمارها نشان می‌دهد حدود ۵۵/۶ میلیون هکتار یعنی ۳۴ ٪ از کل اراضی ایران تحت تنش شوری است (Momeni, 2010). تنش شوری تمام فرایندهای اصلی مانند رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم لیپیدها و انرژی و در نتیجه تمام مراحل زندگی گیاه از جوانه زنی تا تولید دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Maslenkova *et al.*, 1999; Naidoo and Naidoo, 2001). شوری از طریق کاهش پتانسیل اسمزی محیط رشد و سمیت یون‌های خاص باعث تأخیر در جوانه‌زنی، کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه شده (Huang and Remann, 1995; Ashraf and Harris, 2004) و فعالیت بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بذر را بوسیله ممانعت از تنفس هوازی یا تحریک مراحل کاتابولیسمی تغییر می‌دهد (Ejazrasll and Rehman, 1997). اغلب گیاهان در مرحله جوانه زنی نسبت به شوری حساسیت بیشتری دارند (Gale, 1970). همچنین زاپاتا و سرانو (Zapata and Serrano, 2004) نشان دادند شوری موجب کاهش درصد جوانه‌زنی بذرهای اسفناج، کاهو، چغندر قند و کلم می‌گردد. نتایجی که از مطالعه بر روی بسیاری از گیاهان یکساله به دست آمده تایید می‌کند با افزایش شوری، جوانه‌زنی کاهش یافته و حداکثر جوانه‌زنی در تیمار شاهد مشاهده می‌شود (Azarnivand *et al.*, 2004). مجیدی و همکاران (Majidi *et al.*, 2009) اثر تنش شوری بر جوانه‌زنی، ویژگی‌های دانه‌رست و تجمع عناصر سدیم و پتاسیم را در توده‌های مختلف اسپرس زراعی مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند افزایش غلظت نمک باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه، درصد پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در دانه‌رست می‌شود. تلقیح بذر با باکتری‌های زنده از جمله باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) را بیوپرایمینگ بذر گویند (Mahmood *et al.*, 2016; McDonald, 1999). بیوپرامینگ بذر با باکتری‌های PGPR باعث افزایش سرعت و یکنواختی در جوانه زدن می‌شود، همچنین باعث تثبیت سریع، یکنواختی و استقرار گیاه زراعی برروی سطح خاک شده و از اینرو محصول از نظر کمی و کیفی بهبود می‌یابد (Mahmood *et al.*, 2016). باکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) از جمله ریز جانداران مفید خاکزی موجود در محیط ریشه (Rizospher) هستند که با تولید هورمون های محرک رشدی نظیر اکسین (IAA)، جیبرلین (GA)، سایتو کنین (CK)، اتیلن و همچنین تولید اسیدهای آمینه مختلف، ویتامین‌ها، آنتی بیوتیک‌ها، سیدروفورها و عوامل رشدی که هنوز ساختمان شیمیایی آن‌ها دقیقا شناخته نشده است، باعث افزایش رشد و نمو گیاه زراعی حتی در شرایط تنش محیطی از جمله تنش خشکی و شوری می‌شوند. علاوه بر این، باکتری‌های محرک رشد (PGPR) باعث تحریک و فعال شدن سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانتی از نوع آنزیمی و غیرآنزیمی گیاه در برابر انواع تنش‌ها می‌شوند (Mozafari, 2014). باکتری‌های PGPR از طریق مکانیسم‌هایی مستقیم و غیر مستقیم و با بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه، باعث بهبود جوانه زنی و ظهور گیاهچه و القای ژن‌های دفاعی گیاه می شوند. باکتری‌های افزاینده ظهور گیاهچه (Emergence Promoting Rhizobactera, EPR)، گروهی از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه هستند که در افزایش سرعت و میزان ظهور گیاهچه و استقرار بوته در مزرعه مؤثر می‌باشند (Mozafari, 2013). برای نخستین بار کلوپر و همکاران در سال ۱۹۸۶سویه‌هایی از این باکتری‌ها را یافتند که درون گلدان‌های حاوی خاک در گلخانه و نیز در مزرعه موجب افزایش ظهور گیاهچه‌های سویا و کلزا شده و آن‌ها را با این اصطلاح نامیدند. این باکتری‌ها سرعت

www.SID.ir

Archive of SID

ظهور گیاهچه را در محصولات زراعی از قبیل کلزا گوجه فرنگی، هویج، گندم، نخود، لوبیا سفید و یونجه افزایش می‌دهند (Kloepper *et al.*, 1991). باکتری‌های PGPR می توانند از اثرات زیانبار تنش‌های زنده و غیر زنده در گیاه جلوگیری کنند (Han and Lee, 2005). شوکت و همکاران (Shaukat *et al.*, 2006b) نتیجه گرفتند تلقیح بذر با برخی از باکتری‌های PGPR میزان جوانه‌زنی را حتی در برخی موارد تا ۱۰۰٪ بیشتر از تیمار شاهد افزایش می دهد. این نتایج شاید به دلیل افزایش تولید هورمون های گیاهی نظیر هورمون جیبرلین باشد، که می‌تواند باعث فعال شدن آنزیم‌های خاصی که جوانه‌زنی زودهنگام را بهبود می‌بخشند (مانند آنزیم آمیلاز که باعث افزایش قابلیت دسترسی و تجزیه نشاسته می‌شود)، شود. از طرف دیگر افزایش قابل ملاحظه در بنیه یا ویگور گیاهچه می‌تواند با سنتز بهتر هورمون اکسین، رخ دهد (Bharathi *et al.*, 2004). بطورکلی، تلقیح باکتریایی باعث رشد و نمو زودتر گیاهچه می‌شود (Gholami *et al.*, 2009). این نتایج مشابه با یافته‌های دوبلاری و همکاران (Dobbelaere *et al.*, 2001) بود، آن‌ها تاثیر تلقیح بذور با باکتری PGPR گونه *Azospirillum brasilense* را در رشد گندم بهاره تعیین کردند. آنها اشاره داشتند که بوته های تلقیح شده با باکتری PGPR باعث جوانه‌زنی بهتر، نمو و گلدهی زودتر و همچنین افزایش در ماده خشک اندام‌های هوایی و سیستم ریشه می‌شود (Dobbelaere *et al.*, 2001). اثر اولیه شوری، کاهش پتانسیل اسمزی محیط است که بر جذب آب و فرآیندهای مرتبط با جوانه‌زنی موثر می‌باشد (Yacoubi *et al.*, 2013). تغییرات در هموستازی سلولی (Cellular homeostasis) به دلیل غلظت‌های بالای نمک، منجر به تولید گونه های اکسیژن واکنشگر (ROS) در سطوح سمی در سلول‌ها می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به رادیکال سوپراکسید (O_2^-) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) اشاره کرد. تجمع گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) باعث اکسیداسیون چربی‌های غشایی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و یا ممکن است منجر به مرگ سلول شود (Yao *et al.*, 2012). این مهم است که تاکید کنیم که گونه‌های اکسیژن واکنشگر (ROS) محصولات طبیعی متابولیسم هوازی نظیر تنفس عادی است (Mittler 2002). بعنوان مثال، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در مقادیر کافی در داخل سلول‌ها برای فرآیندهای متابولیکی مختلف مانند پیام دهی سلول[1] در پاسخ به تنش‌ها، ترمیم بافت‌ها[2] و جوانه‌زنی بذر مفید است (Gill and Tuteja, 2010; Rhee, 2006). بنابراین، طبیعیست که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت حتی در شرایط بدون تنش نیز فعالیت کنند. آنزیم های آنتی‌اکسیدانتی نظیر سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پرواکسیداز (POX) نمونه‌ای از مکانیسم‌های اصلی هستند که نقش مهمی در حذف و خنثی کردن گونه‌های اکسیژن واکنشگر تولید شده در شرایط تنش شوری ایفاء می کنند (Seckin *et al.*, 2010). بطورکلی، درک و فهم مکانیسم تحمل گیاه در مرحله جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای در مقایسه با مراحل بلوغ ضعیف است و این تحمل ممکن است بر اساس یکسری فاکتورهای ذاتی مربوط به گونه ها و محیط متفاوت باشد (Das, 2013). آنزیم‌های عمده مهارکننده ROS عبارتند از: سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)که سوپراکسید (O_2^-) را به پراکسید هیدروژن (H_2O_2) تبدیل می کند و پس از آن اقدام هماهنگ مجموعه‌ای از چهار آنزیم کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، گلوتاتیون پراکسیداز (GPX) و پروکسی ردوکسین‌ها (Prx) باعث احیاء پراکسید هیدروژن (H_2O_2) می شود (Mittler *et al.*, 2004). بنابراین با توجه به توضیحات بالا و کاربرد و توسعه این دسته از باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) جهت تخفیف اثرات مخرب تنش های محیطی بویژه تنش شوری، هدف از انجام این آزمایش بررسی تاثیر بیو پرایمینگ بذر با باکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

[1] Cell signaling.
[2] Tissues restoration.

www.SID.ir

Archive of SID

(SOD، CAT و GPX) و شاخص‌های جوانه‌زنی بذر دو رقم گندم تحت شرایط تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به منظور بررسی تاثیر بیوپرایمینگ بذر با رایزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی و شاخص‌های جوانه‌زنی دو رقم گندم نان تحت شرایط تنش شوری در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام در سال ۱۳۹۶ انجام گرفت. طرح آماری به صورت آزمایش فاکتوریل سه عامله در قالب طرح پایه کاملا تصادفی و در ۳ تکرار بود. فاکتور تنش شوری در سه سطح شامل: صفر (تیمار شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم[1]، بیوپرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاه شامل دو سطح: ۱) عدم مصرف باکتری های PGPR (شاهد) ۲) تلقیح بذر با باکتری‌های PGPR و ارقام گندم شامل دو سطح: تجن (حساس به تنش شوری) و افق (متحمل به تنش شوری). جنس و گونه‌های باکتری‌های PGPR مورد استفاده در این پژوهش شامل: (سویه 66) *Azospirillum berasilense*،*chroococcum Azotobacter* و (سویه P-168) *Pseudomonas potida* بود. جمعیت باکتری برای تلقیح بذر گندم، 10^8 تعداد کلنی باکتری در میلی‌لیتر مایه تلقیح (CFU/mLit) بود. بذرهای دو رقم تجن و افق به صورت پرورشی طبقه ۱ با منشاء موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر ایران، بخش غلات و تولید سال ۱۳۹۵تهیه شد. رقم تجن در سال ۱۳۷۴ توسط موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به زارعین معرفی شد. منشاء این رقم، سمیت و پدیگیری آن Bow"s"/Nkt"s با کد (CM67428-GM-LR-5M-3R-LB-Y) است، با توجه به پتانسیل بالای عملکرد، زودرسی، مقاومت در برابر زنگ زرد، زنگ قهوه ای و فوزاریوم خوشه و تحمل نسبت به جوانه زنی روی خوشه برای کشت در مناطق جلگه‌ای خزر مناسب می‌باشد (Mozafari, 2013). گندم افق با تیپ رشد بهاره و متحمل به شوری در سال ۱۳۹۱ معرفی شد (Zakeri *et al.*, 2012). این رقم دارای توان عملکرد مطلوب دراراضی تحت تنش شوری خاک در دامنه 7-14 ds/m و شوری آب در دامنه 6-12 ds/m، سازگاری اقلیمی بالا، مقاومت به خوابیدگی و ریزش دانه، نیمه مقاوم تا نیمه حساس نسبت به زنگ‌های زرد، قهوه‌ای و سیاه، میانگین ارتفاع بوته ۷۴ سانتیمتر، پروتئین ۱۱/۹۵ و کیفیت نانوایی مطلوب می‌باشد (Zakeri *et al.*, 2012). قبل از شروع آزمایش ابتدا بذرها به مدت ۵ دقیقه در محلول ۵ ٪ هیپوکلریت سدیم ضد عفونی و سپس چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد. پس از آن بذرها تا قبل از آزمون جوانه‌زنی در دمای اتاق خشک شدند. بذرها بر حسب نوع تیمار با باکتری PGPR آغشته شدند. لازم به ذکر است سویه‌های مختلف باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) به صورت مایع و حاوی ماده چسباننده (صمغ عربی) بود که از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور واقع در استان البرز تهیه شد. برای انجام آزمایش جوانه زنی، بذرها (۳۰ عدد) درون پتری‌های به قطر ۹ سانتی‌متری که یک لایه کاغذ صافی واتمن داخل آن قرار گرفته و با محلول کلرید سدیم با غلظت‌های صفر (آب مقطر)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار روزانه آبیاری شدند. پتری‌ها در دستگاه ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر اساس نتایج باریرو و همکاران (Buriro *et al.*, 2011) قرار داده و پس از ۲۴ ساعت شروع به شمارش بذور کرده و این عمل تا پایان روز هشتم انجام شد. خروج ریشه چه (به طول ۲ میلی‌متر) به عنوان معیار بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، تمامی گیاهچه‌های موجود در هر پتری در مرحله دوبرگی گیاهچه مشخص و سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، گیاهچه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون تحت دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و با ترازوی

[1] Merck German company

www.SID.ir

Archive of SID

دیجیتال بادقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردیدند. از مجموع وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک کل گیاهچه محاسبه شد. درصد و سرعت جوانه‌زنی (Maguire, 1962) از طریق فرمول‌های زیر محاسبه شدند:

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد بذور جوانه زده پس از ۸ روز}}{\text{تعداد کل بذور}} \times ۱۰۰$$

$$\text{سرعت جوانه‌زنی} = N_1/D_1+N_2/D_2+\ldots+N_i/D_i$$

Vg= سرعت جوانه زنی (بر حسب تعداد بذر در روز)

Ni= تعداد بذر جوانه زده در هر روز Di= شماره روز

شاخص وزنی بنیه بذر (Vigour Index, VI) با استفاده از رابطه زیر (Abdul-baki and Anderson, 1973) محاسبه گردید:

$$VI = \frac{Ms \times Pg}{100}$$

VI= شاخص وزنی بنیه بذر Ms= میانگین وزن خشک گیاهچه Pg= درصد جوانه‌زنی نهایی

جهت اندازه گیری میزان فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانتی سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) بر اساس تغییر شیمیائی نیترو بلو تترازولیوم و طبق روش مینامی و یوشیکاوا (Minami and Yoshikawa, 1979) استفاده شد. به‌منظور اندازه گیری آنزیم های گلوتاتیون پراکسیداز (GPX) و کاتالاز (CAT) از روش پاگلی و والنتین (Paglia and Valentine, 1967) استفاده گردید. در این تحقیق تمامی تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزارآماری SPSS نسخه ۲۳ صورت گرفت. جهت مقایسه میانگین داده‌ها از روش جدید چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵ درصد استفاده شد.

نتایج

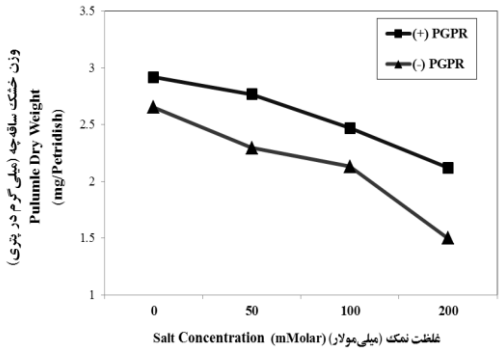
با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، تمامی اثرات ساده عوامل آزمایش بر روی صفات مورد مطالعه (به استثناء اثر ساده رقم بر وزن خشک ریشه چه) بسیار معنی‌دار (P≤۰/۰۱) تشخیص داده شد.

وزن خشک ساقه‌چه

نتایج مقایسه میانگین ها به روش دانکن در سطح ۵ ٪ نشان داد، رقم افق با ۲/۵۲۰ میلی گرم در پتری نسبت به رقم تجن با ۲/۱۹۳ میلی گرم در پتری از نظر وزن خشک ساقه‌چه برتر بود. همچنین تیمار مصرف باکتری PGPR با ۲/۵۶۸ میلی گرم در پتری نسبت به تیمار عدم مصرف PGPR (شاهد) با ۲/۱۴۵ میلی‌گرم در پتری از وزن خشک ساقه چه بیشتری برخوردار بود. دربین سطوح مختلف تنش شوری، تیمار بدون تنش (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم به ترتیب با ۲/۷۸۶، ۲/۵۳۱، ۲/۳۰۰ و ۱/۸۰۹ میلی گرم در پتری رتبه‌های اول تا چهارم را از نظر وزن خشک ساقه چه به خود اختصاص دادند. تمامی اثرمتقابل‌ها بر وزن خشک ساقه‌چه بسیار معنی‌دار (P≤۰/۰۱) تشخیص داده شد (جدول ۱). تلقیح بذور گندم با باکتری‌های PGPR در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) توانست با افزایش وزن خشک ساقه‌چه تحمل ارقام گندم را نسبت به تنش شوری در مرحله جوانه زنی افزایش دهد (شکل ۱). با توجه به شکل ۳، بیش‌ترین وزن خشک ساقه‌چه مربوط به دو ترکیب تیماری عدم تنش×بیوپرایم×رقم افق و شوری ۵۰ میلی مولار×بیوپرایم×رقم افق به ترتیب با ۳/۱۳۷ و ۳/۰۳۳ میلی گرم در پتری و کم‌ترین وزن خشک ساقه‌چه مربوط به دو ترکیب تیماری شوری ۲۰۰ میلی‌مولار × بیوپرایم ×رقم افق و ۲۰۰ میلی مولار×بیوپرایم×رقم تجن به ترتیب با ۱/۱۸۷ و ۲/۰۶۷ میلی گرم در پتری، بود (شکل ۲). به‌طور کلی، بیوپرایم بذر رقم گندم افق با باکتری PGPR در تمام سطوح تنش شوری نسبت به بیوپرایم بذر رقم تجن با باکتری PGPR از نظر وزن خشک ساقه‌چه برتر بود (شکل ۲).

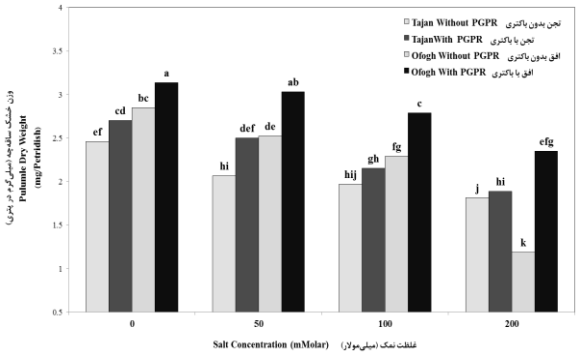
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- اثر متقابل بیوپرایمینگ و تنش شوری بر وزن خشک ساقه‌چه

Fig. 1- Interaction effect of biopriming and salt stress on Pulumle DW



شکل ۲- اثر متقابل بیوپرایمینگ، رقم گندم و تنش شوری بر وزن خشک ساقه‌چه

Fig. 2- Interaction effect of biopriming, wheat cultivar and salt Stress on Pulumle Dry Weight

وزن خشک ریشه‌چه

نتایج مقایسه میانگین ها به روش دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد، تیمار مصرف باکتری‌های PGPR با ۰/۸۵۰ میلی‌گرم در پتری نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) با ۰/۷۷۸ میلی‌گرم در پتری از وزن خشک ریشه چه بیشتری برخوردار بود (جدول ۲). در بین سطوح مختلف تنش شوری، تیمار شاهد (عدم تنش)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب با ۰/۹۱۴، ۰/۸۴۴، ۰/۷۷۹ و ۰/۷۱۹ میلی‌گرم در پتری رتبه‌های اول تا چهارم را از نظر وزن خشک ریشه‌چه به‌خود اختصاص دادند (جدول ۲). در بین اثرات متقابل، تنها برهمکنش دو گانه تنش شوری×بیوپرایم بذر با باکتری PGPR، بر وزن خشک ریشه چه معنی دار ($P\leq0/05$) تشخیص داده شد (جدول ۱). تلقیح بذور گندم با باکتری های PGPR در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) توانست با افزایش وزن خشک ریشه‌چه تحمل ارقام گندم را نسیت به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی افزایش دهد (شکل ۳).

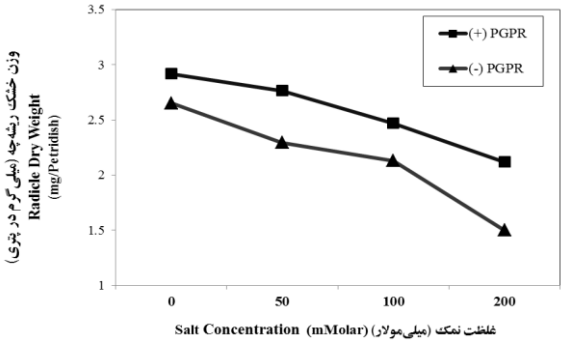
وزن خشک گیاهچه

نتایج مقایسه میانگین ها به روش دانکن نشان داد، رقم افق با ۳/۳۴۰ میلی گرم در پتری نسبت به رقم تجن با ۳/۰۰۲ میلی گرم در پتری از نظر وزن خشک گیاهچه برتر بود (جدول ۲). همچنین تیمار بیوپرایم بذر با باکتری های PGPR با ۳/۳۴۰ میلی گرم در پتری نسبت به تیمار شاهد (عدم پرایم با باکتری PGPR) با ۳/۰۰۲ میلی گرم در پتری از وزن خشک گیاهچه بیشتری برخوردار بود. (جدول ۲). در بین سطوح مختلف تنش شوری، تیمار شاهد (عدم تنش)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب با ۳/۷۰۰، ۳/۳۷۵، ۳/۰۷۹ و ۲/۵۲۸ میلی گرم در پتری رتبه‌های اول تا چهارم را از نظر وزن خشک گیاهچه به‌خود اختصاص دادند(جدول ۲). تمامی اثرمتقابل‌ها بر وزن خشک گیاهچه معنی‌دار تشخیص داده شد (جدول ۱). بیوپرایمینگ بذر در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) توانست با افزایش وزن خشک گیاهچه تحمل ارقام گندم را نسبت به تنش شوری در مرحله جوانه زنی افزایش دهد (شکل ۴). اثرمتقابل سه گانه بر وزن خشک گیاهچه بسیار معنی‌دار ($P\leq0/01$) تشخیص داده شد (جدول ۱). با توجه به شکل ۵، بیش ترین وزن خشک گیاهچه مربوط به دو ترکیب تیماری عدم تنش×بیوپرایم×رقم افق و شوری ۵۰ میلی مولار×بیوپرایم×رقم افق به ترتیب با ۴/۰۹۳ و ۳/۹۴۴ میلی گرم در پتری و کم‌ترین وزن خشک گیاهچه مربوط به دو ترکیب تیماری شوری ۲۰۰

www.SID.ir

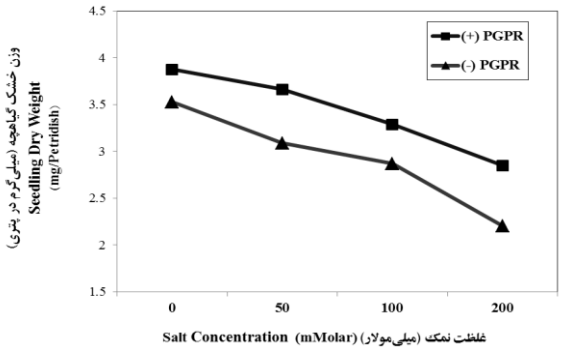
Archive of SID

میلی‌مولار×بیوپرایم×رقم افق و شوری ۲۰۰ میلی‌مولار×عدم پرایم×رقم تجن به ترتیب با ۱/۸۹۶ و ۲/۵۱۶ میلی گرم در پتری، بود. به‌طور کلی، بیوپرایم بذر رقم گندم افق با باکتری PGPR در تمام سطوح تنش شوری نسبت به بیوپرایم بذر رقم تجن با باکتری PGPR از نظر وزن خشک گیاهچه برتر بود (شکل ۵).



شکل ۳- اثر متقابل بیوپرایمینگ و تنش شوری بر وزن خشک ریشه‌چه

Fig. 3- Interaction effect of biopriming and salt stress on Radicle DW



شکل ۴- اثر متقابل بیوپرایمینگ و تنش شوری بر وزن خشک گیاهچه

Fig. 4- Interaction effect of biopriming and salt stress on Seedling DW

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تنش شوری و باکتری‌های PGPR بر صفات دو رقم گندم مورد بررسی در آزمایش.

Table1- Analysis of variance (Mean of squares) effect of salt stress and PGPR bacteria on two wheat cultivar experimental traits

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی df	Mean of Squares میانگین مربعات								
		فعالیت سوپراکسید دیسموتاز SOD	فعالیت کاتالاز CAT	فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز GPX	وزن خشک ساقه‌چه Pulumle DW	وزن خشک ریشه‌چه Radicle DW	وزن خشک گیاهچه Seedling DW	درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	شاخص بنه بذر VI
تکرار Replication	2	0.027 ns	0.046 ns	0.008 ns	0.009 ns	0.004 *	0.001 ns	17.546 ns	2.444 ns	2.438 ns
رقم (V) Variety	1	4.877**	8.325**	0.538**	1.277**	0.002 ns	1.371**	267.908 *	59.809**	62.838**
باکتری (P) Bacteria	1	2.921**	3.096**	0.740**	2.155**	0.062**	2.950**	1136.853**	45.280**	74.275**
تنش شوری (S) Salt stress	3	2.749**	5.798**	1.379**	2.070**	0.085**	2.973**	3190.550**	104.680**	184.850**
V×P	1	0.044 ns	0.506**	0.0002 ns	0.443**	0.003 ns	0.518**	208.333 *	6.916**	12.546**
V×S	3	0.042 ns	0.241**	0.079**	0.226**	0.001 ns	0.216**	32.994 ns	5.478**	5.704**
P×S	3	0.116**	0.151**	0.049**	0.072**	0.003 *	0.057 *	104.482 ns	0.847 ns	1.275 ns
V×P×S	3	0.061 ns	0.062*	0.017 ns	0.177**	0.0003 ns	0.177**	62.753 ns	5.894**	7.536**
اشتباه آزمایش Exp. error	32	0.025	0.02	0.007	0.0137	0.0012	0.0141	36.223	0.733	1.045
ظریب تغییرات (%) (CV)	6	8.70	6.16	7.75	4.96	4.26	3.74	7.51	9.99	13.16

*، ** و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می باشند.

* and ** and ns: Significant at the 5% and 1% Levels of Probability and Non-Significant, Respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

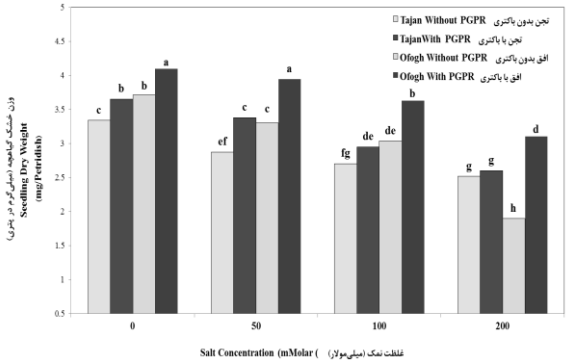
جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تاثیر رقم، تنش شوری و باکتری‌های PGPR.

Table 2- Mean comparison of experimental traits affected by wheat cultivar, salt stress and PGPR bacteria.

تیمارهای آزمایشی Exp. Treatments	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز SOD (IU/g.Fw)	فعالیت کاتالاز CAT (IU/g.Fw)	فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز GPX (IU/g.Fw)	وزن خشک ساقه‌چه Plumule DW (mg/Petridish)	وزن خشک ریشه‌چه Radicle DW (mg/Petridish)	وزن خشک گیاهچه Seedling DW (mg/Petridish)	درصد جوانه‌زنی Germination (%)	سرعت جوانه‌زنی Germ. Rate (Seed/day)	شاخص بنه بذر (VI)
رقم Cultivar									
تجن Tajan	1.499 b	1.884 b	1.167 a	2.193 b	0.808 a	3.002 b	77.767 b	8.063 b	6.622 b
افق Ofogh	2.136 a	2.717 a	0.955 b	2.520 a	0.820 a	3.340 a	82.492 a	10.296 a	8.910 a
باکتری‌های PGPR									
بدون باکتری PGPR free	1.571 b	2.046 b	0.937 b	2.145 b	0.778 b	2.923 b	75.262 b	8.208 b	6.522 b
با باکتری With PGPR	2.064 a	2.554 a	1.185 a	2.568 a	0.850 a	3.418 a	85.000 a	10.151 a	9.010 a
تنش شوری Salt Stress									
صفر Without Stress	2.375 a	3.065 a	1.448 a	2.786 a	0.914 a	3.700 a	98.883 a	13.333 a	13.151 a
50 میلی‌مولار mMolar	2.023 b	2.588 b	1.213 b	2.531 b	0.844 b	3.375 b	87.217 b	8.892 b	7.914 b
100 میلی‌مولار mMolar	1.584 c	2.111 c	0.908 c	2.300 c	0.779 c	3.079 c	72.767 c	8.072 c	5.967 c
200 میلی‌مولار mMolar	1.288 d	1.437 d	0.676 d	1.809 d	0.719 d	2.528 d	61.650 d	6.422 d	4.031 d

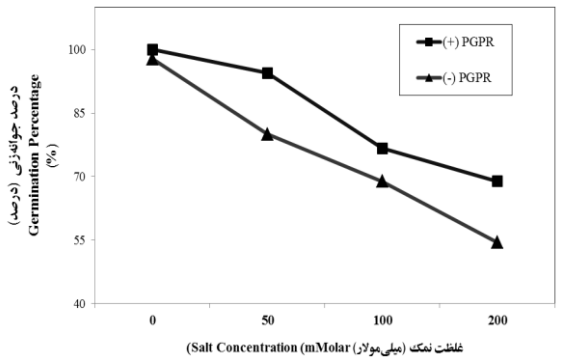
* اختلاف میانگین های هر ستون که دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن معنی‌دار نمی‌باشد.

Means difference within the same column sharing the same letters are not statistically significant at the 5% level based on Duncan's multi-domain test (P< 0.05)



شکل ۵- اثر متقابل بیوپرایمینگ، رقم گندم و تنش شوری بر وزن خشک گیاه‌چه

Fig. 5- Interaction effect of biopriming, wheat cultivar and salt stress on seedling dry weight



شکل ۶- اثر متقابل بیوپرایمینگ و تنش شوری بر درصد جوانه‌زنی

Fig. 6- Interaction effect of biopriming and salt stress on germination percentage

www.SID.ir

Archive of SID

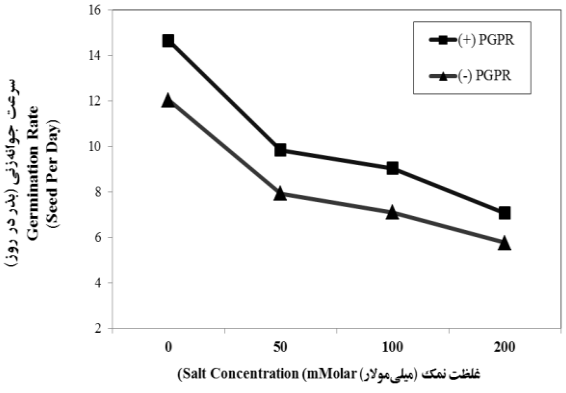
درصد جوانه‌زنی

با توجه به نتایج مقایسه میانگین ها به روش دانکن در سطح ۵ ٪، رقم افق با ۸۲/۹۹۶ ٪ نسبت به رقم تجن با ۷۷/۷۶۷ ٪ از نظر درصد جوانه زنی برتر بود (جدول ۲). تیمار مصرف باکتری های PGPR با ۸۵/۰۰ ٪ نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) با ۷۵/۲۶۲ ٪ از درصد جوانه‌زنی بیشتری برخوردار بود (جدول ۲). در بین سطوح مختلف تنش شوری، تیمار شاهد (عدم تنش)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب با ۹۸/۸۸۳، ۸۷/۲۱۷، ۷۲/۷۶۷ و ۶۱/۶۵۰ ٪ رتبه‌های اول تا چهارم را از نظر درصد جوانه زنی به خود اختصاص دادند (جدول ۲). در بین اثرمتقابل ها، تنها اثرمتقابل دو گانه باکتری×رقم بر درصد جوانه زنی معنی دار (P≤۰/۰۵) تشخیص داده شد (جدول ۱). بیوپرایم بذور هر دو رقم با باکتری‌های PGPR نسبت به تیمار شاهد (عدم پرایمینگ بذرهای هر دو رقم گندم با باکتری‌های PGPR) از نظر درصد جوانه‌زنی برتر بود (شکل ۶).

سرعت جوانه‌زنی

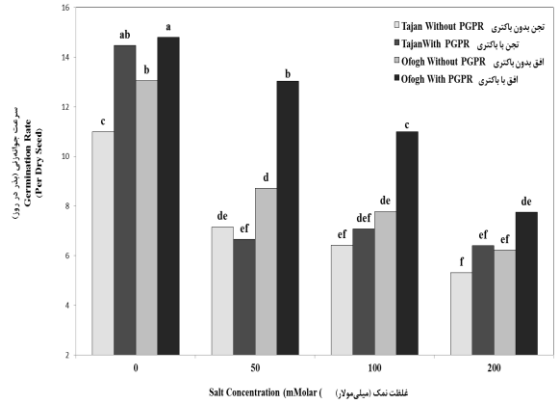
بر اساس نتایج مقایسه میانگین ها به روش دانکن در سطح ۵ ٪، رقم افق با ۱۰/۲۹۶ نسبت به رقم تجن با ۸/۰۶۳ جوانه در روز از نظر سرعت جوانه زنی برتر بود (جدول ۲).

همچنین تیمار مصرف باکتری های PGPR با ۱۰/۱۵۱ نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) با ۸/۲۰۸ جوانه در روز از سرعت جوانه زنی بیشتری برخوردار بود (جدول ۲). اگرچه اثرمتقابل دو گانه تنش×باکتری معنی دار نشد، اما تلقیح بذور گندم با باکتری‌های PGPR در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) توانست با افزایش سرعت جوانه زنی تحمل ارقام گندم را نسبت به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی افزایش دهد (شکل ۷). اثرمتقابل سه‌گانه بر سرعت جوانه زنی بسیار معنی دار (P≤۰/۰۱) تشخیص داده شد (جدول ۱). با توجه به شکل ۸، بالاترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به دو ترکیب تیماری عدم تنش×بیوپرایم×رقم افق و شوری ۵۰ میلی‌مولار×بیوپرایم×رقم افق به ترتیب با ۱۴/۸۰۷ و ۱۳/۰۵۳ بذر در روز و پایین ترین سرعت جوانه زنی مربوط به دو ترکیب تیماری شوری ۲۰۰ میلی‌مولار×عدم پرایم×رقم تجن و شوری ۲۰۰ میلی مولار×بیوپرایم×رقم افق به ترتیب با ۵/۳۰۷ و ۶/۴۰۷ بذر در روز، بود. به طور کلی، بیوپرایم بذر رقم گندم افق با باکتری PGPR در تمام سطوح تنش شوری نسبت به بیوپرایم بذر رقم تجن با باکتری PGPR از نظر سرعت جوانه‌زنی برتر بود (شکل ۸).



شکل ۷- اثر متقابل بیوپرایمینگ و تنش شوری بر درصد جوانه‌زنی

Fig. 7- Interaction effect of biopriming and salt stress on germination rate



شکل ۸- اثر متقابل بیوپرایمینگ، رقم گندم و تنش شوری بر سرعت جوانه‌زنی

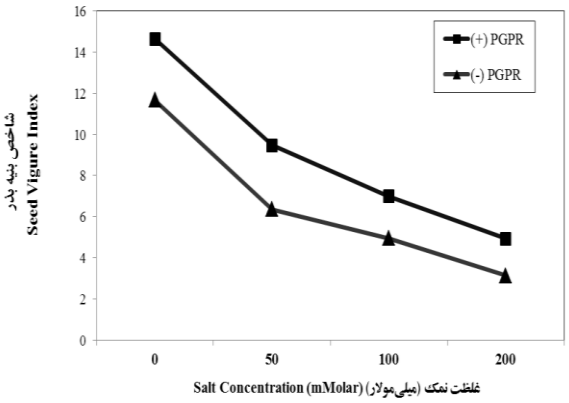
Fig. 8- Interaction effect of biopriming, wheat cultivar and salt stress on germination rate

www.SID.ir

Archive of SID

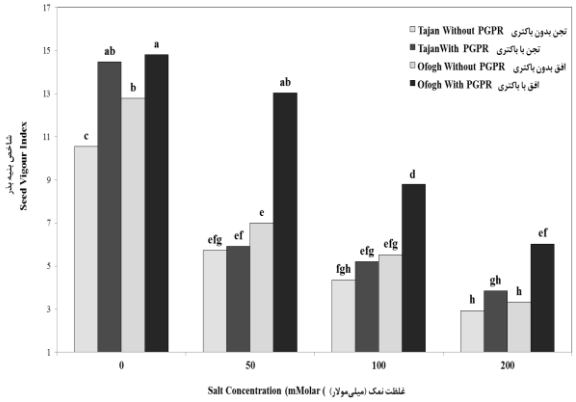
بنیه بذر (VI)

نتایج مقایسه میانگین ها به روش دانکن در سطح ۵ ٪ نشان داد رقم افق با ۸/۹۱۰ نسبت به رقم تجن با ۶/۶۲۲ از نظر شاخص بنیه بذر (VI) برتر بود. تیمار مصرف باکتری های PGPR با ۹/۰۱۰ نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) با ۶/۵۲۲ از شاخص بنیه بذر (VI) بیشتری برخوردار بود. همچنین در بین سطوح مختلف تنش شوری، تیمار شاهد (عدم تنش)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار به ترتیب با ۱۳/۱۵۱، ۷/۹۱۴، ۵/۹۶۷ و ۴/۰۳۱ رتبه های اول تا چهارم را از نظر شاخص بنیه بذر (VI) به‌خود اختصاص دادند. به استثناء اثرمتقابل دوگانه باکتری×تنش، تمامی اثرمتقابل ها بر شاخص بنیه بذر (VI) بسیار معنی دار ($P\leq ۰/۰۱$) تشخیص داده شد (جدول ۱). اگرچه اثرمتقابل دو گانه تنش×باکتری معنی دار نشد اما تلقیح بذور گندم با باکتری های PGPR در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) توانست با افزایش شاخص بنیه بذر (VI) تحمل ارقام گندم را نسبت به تنش شوری در مرحله جوانه زنی افزایش دهد (شکل ۹). با توجه به شکل ۱۰، بیش‌ترین شاخص بنیه بذر مربوط به دو ترکیب تیماری عدم تنش و تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار×بیوپرایم×رقم افق به ترتیب با ۱۴/۸۰۷ و ۱۳/۰۳ بود. علاوه براین، دو ترکیب تیماری شوری ۲۰۰ میلی‌مولار×عدم پرایم×رقم تجن و شوری ۲۰۰ میلی مولار×بیوپرایم×رقم افق به ترتیب با ۲/۹۳۵ و ۳/۳۱۸ پایین ترین شاخص بنیه بذر (VI) را بخود اختصاص داد. به‌طور کلی، بیوپرایم بذر رقم گندم افق با باکتری PGPR در تمام سطوح تنش شوری نسبت به بیوپرایم بذر رقم تجن با باکتری PGPR از نظر شاخص بنیه بذر (VI) برتر بود (شکل ۱۰).



شکل ۹- اثر متقابل بیوپرایمینگ و تنش شوری بر شاخص بنیه بذر

Fig. 9- Interaction effect of biopriming and salt stress on seed vigour index



شکل ۱۰- اثر متقابل بیوپرایمینگ، رقم گندم و تنش شوری بر شاخص بنیه بذر

Fig. 8- Interaction effect of biopriming, wheat cultivar and salt stress on seed vigour index

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن، رقم افق با ۲/۱۳۶ واحد بر گرم وزن تازه بافت نسبت به رقم تجن با ۱/۴۹۹ واحد بر گرم وزن تازه بافت از نظر میزان فعالیت آنزیم SOD برتر بود (جدول ۲). تیمار مصرف باکتری های PGPR با ۲/۰۶۴ واحد بر گرم وزن تازه بافت نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) با ۱/۵۷۱ واحد بر گرم وزن تازه بافت از میزان فعالیت آنزیم SOD بیشتری برخوردار بود (جدول ۲). دربین سطوح مختلف تنش شوری، تیمار شاهد (عدم تنش)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰

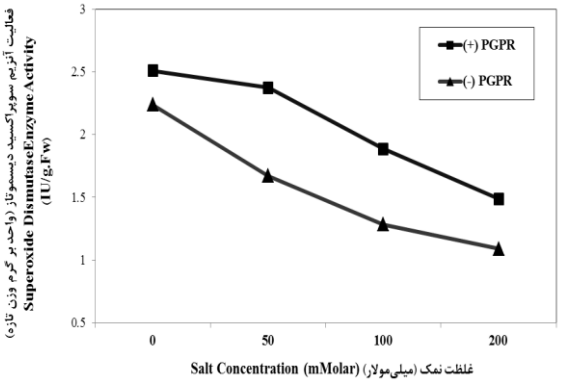
www.SID.ir

Archive of SID

میلی مولار به ترتیب با ۲/۳۷۵، ۲/۰۲۳، ۱/۵۸۴ و ۱/۲۸۸ واحد بر گرم وزن تازه بافت رتبه‌های اول تا چهارم را SOD به‌خود اختصاص دادند (جدول ۲). در بین اثرات متقابل، تنها اثرمتقابل دوگانه تنش شوری و بیوپرایم بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) بسیار معنی‌دار (P≤۰/۰۱) شد (جدول ۲). تلقیح بذور گندم با باکتری های PGPR در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) توانست با افزایش میزان فعالیت آنزیم SOD میزان تحمل ارقام گندم را نسبت به تنش شوری افزایش دهد (شکل ۱۱).

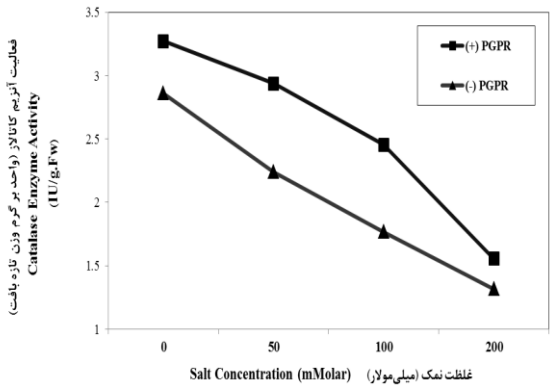
فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)

بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن، رقم افق با ۲/۷۱۷ واحد بر گرم وزن تازه بافت نسبت به رقم تجن با ۱/۸۸۴ واحد بر گرم وزن تازه بافت از نظر فعالیت آنزیم CAT برتر بود (جدول ۲). تیمار مصرف باکتری های PGPR با ۲/۵۵۴ واحد بر گرم وزن تازه بافت نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) با ۲/۰۴۶ واحد بر گرم وزن تازه بافت از نظر فعالیت آنزیم CAT برتر بود (جدول ۲). دربین سطوح مختلف تنش شوری، تیمار شاهد (عدم تنش)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب با ۳/۰۶۵، ۲/۵۸۸، ۲/۱۱۱ و ۱/۴۳۷ واحد بر گرم وزن تازه بافت رتبه های اول تا چهارم را از نظر فعالیت آنزیم CAT به خود اختصاص دادند (جدول ۲). کلیه اثرمتقابل دوگانه و سه گانه عوامل آزمایش (رقم، تنش شوری و کاربرد باکتری‌های PGPR) بر فعالیت آنزیم CAT معنی‌دار تشخیص داده شد (جدول ۱). تلقیح بذور گندم با باکتری های PGPR در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) توانست با افزایش فعالیت آنزیم CAT میزان تحمل ارقام گندم را نسبت به تنش شوری افزایش دهد (شکل ۱۲). بیش‌ترین فعالیت آنزیم CAT مربوط به دو ترکیب تیماری عدم تنش×بیوپرایم×رقم افق و شوری ۵۰ میلی‌مولار×بیوپرایم×رقم افق به ترتیب با ۳/۷۷ و ۳/۶۶۳ واحد بر گرم وزن تازه بافت و کم ترین فعالیت آنزیم CAT مربوط به دو ترکیب تیماری شوری ۲۰۰ میلی‌مولار×عدم پرایم×رقم تجن و شوری ۲۰۰ میلی مولار×بیوپرایم×رقم تجن به ترتیب با ۱/۱۸۷ و ۱/۲۳ واحد بر گرم وزن تازه بافت، بود. به‌طور کلی، بیوپرایم بذر رقم گندم افق با باکتری PGPR در تمام سطوح تنش شوری نسبت به بیوپرایم بذر رقم تجن با باکتری PGPR از نظر فعالیت آنزیم CAT برتر بود (شکل ۱۰).



شکل ۱۱- اثر متقابل بیوپرایمینگ و تنش شوری بر آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

Fig. 11- Interaction effect of biopriming and salt stress on SOD enzyme activity



شکل ۱۲- اثر متقابل بیوپرایمینگ و تنش شوری بر آنزیم کاتالاز

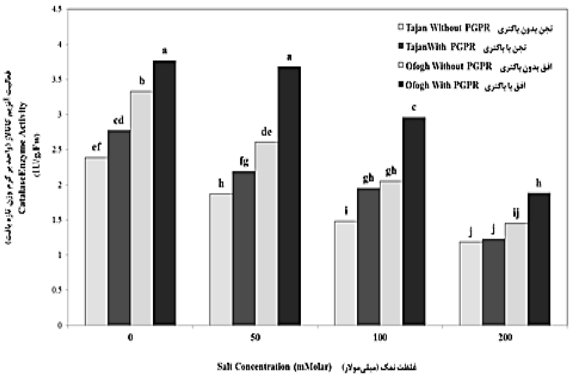
Fig. 12- Interaction effect of biopriming and salt stress on CAT enzyme activity

www.SID.ir

Archive of SID

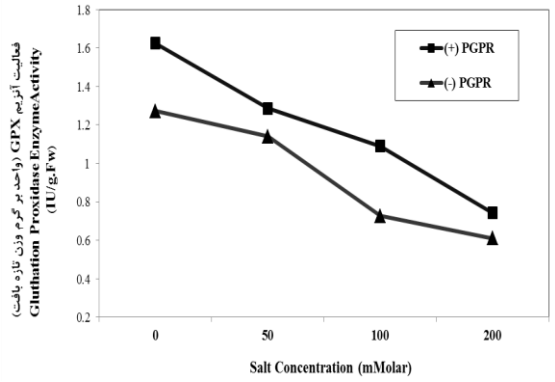
فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (GPX)

بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن، رقم تجن با ۱/۱۶۷ واحد بر گرم وزن تازه بافت نسبت به رقم افق با ۰/۹۵۵ واحد بر گرم وزن تازه بافت از نظر فعالیت آنزیم GPX برتر بود (جدول ۲). پرایم بذر با باکتری های PGPR با ۱/۱۸۵ واحد بر گرم وزن تازه بافت نسبت به تیمار شاهد (عدم پرایم با PGPR) با ۰/۹۳۷ واحد بر گرم وزن تازه بافت از نظر فعالیت آنزیم GPX برتر بود (جدول ۲). دربین سطوح مختلف تنش شوری، تیمار شاهد (عدم تنش)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب با ۱/۴۴۸، ۱/۲۱۳، ۰/۹۰۸ و ۰/۶۷۶ واحد بر گرم وزن تازه بافت رتبه‌های اول تا چهارم را از نظر فعالیت آنزیم GPX به خود اختصاص دادند (جدول ۲). در بین اثرات متقابل، تنها اثرمتقابل دوگانه رقم×تنش و تنش×باکتری بر فعالیت آنزیم GPX بسیار معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) شد (جدول ۱). تلقیح بذور گندم با باکتری های PGPR در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف PGPR) توانست با افزایش میزان فعالیت آنزیم GPX میزان تحمل ارقام گندم را نسبت به تنش شوری افزایش دهد (شکل ۱۴).



شکل ۱۳- اثر متقابل بیوپرایمینگ، رقم گندم و تنش شوری بر فعالیت آنزیم کاتالاز

Fig. 13- Interaction effect of biopriming, wheat cultivar and salt stress on catalase enzyme activity



شکل ۱۴- اثر متقابل بیوپرایمینگ و تنش شوری بر آنزیم GPX

Fig. 14- Interaction effect of biopriming and salt stress on GPX enzyme activity

بحث

به طور کلی، تنش شوری تقریبا در هر جنبه ای از فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان تاثیر می‌گذارد (Cuartero *et al.*, 2005). شوری باعث کندی سرعت جوانه‌زنی و در سطوح بالاتر شوری درصد جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد. روش های بیوپرامینگ بذر برای بهبود تحمل به شوری گیاهان موثر است (Basra *et al.*, 2003). آنانتی و همکاران (Ananthi *et al.*, 2017) در پژوهشی با عنوان ارزیابی بیوپرایمینگ بذر فلفل تند تحت شرایط تنش شوری نتیجه گرفتند که بطورکلی بیوپرایمینگ بذر با باکتری‌های PGPR به ویژه با گونه *Pseudomonas fluorescens* توانست میزان تحمل گیاهچه‌های فلفل را نسبت به تنش شوری بهبود بخشد. آنها این اثر مثبت باکتری‌های محرک رشد گیاه را به مکانیسم‌های مستقیم این باکتری‌ها در تولید تنظیم کننده های رشد گیاه ربط دادند. استفاده از بیوپرایمینگ علاوه بر ارتقاء رشد گیاه باعث بهبود سریع جوانه‌زنی بذر می‌شود (Moeinzadeh *et al.*, 2010). بیوپرایمینگ بذر با باکتری‌های PGPR سرعت و قدرت جوانه‌زنی و نیز استقرار

www.SID.ir

Archive of SID

گیاهچه‌ها را افزایش می‌دهد (Anitha *et al.*, 2013). بیو-اسموپرایمینگ بذر هنگامی که همراه با پوششی از باکتری بود باعث افزایش یکنواختی در جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی گیاه شد (Bennett, 1998).

وزن تر ساقه چه و وزن تر کل گیاهچه ذرت در تیمار مصرف باکتری‌های PGPR در یک پژوهش آزمایشگاهی افزایش یافت (Gholami *et al.*, 2009). کاسیم و همکاران (Kasim *et al.*, 2013) از تکنیک بیوپرایمینگ بذر جهت افزایش تحمل گندم در برابر تنش خشکی استفاده کرده است. آنها با استفاده از بیوپرایمینگ بذر با دو سویه *Azospirillum brasilense* و *B. amyloliquefaciens* تحمل به تنش خشکی بوته‌های گندم را از طریق تنظیم ژن‌های مربوط به تنش، افزایش داد. سویه‌های مختلف باکتری ازتوباکتر (*Azotobacter*)، آزوسپیریلوم (*Azospirillum*) و سدوموناس (*Pseudomonas*) بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه موثرند (Shaukat *et al.*, 2006a). مایه تلقیح‌های باکتریایی قادر به افزایش رشد گیاه و سرعت جوانه‌زنی، بهبود رویش گیاهچه در پاسخ به تنش های خارجی هستند و گیاه را در برابر بیماری‌ها حفاظت می‌کنند (Lugtenberg *et al.*, 2002). غلامی و همکاران (Gholami *et al.*, 2009) در تحقیقی با عنوان تاثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و عملکرد دانه ذرت نتیجه گرفتند که تیمار بذر ذرت با باکتری های PGPR جوانه زنی بذر، بنیه گیاهچه، رویش گیاهچه و استقرار گیاهچه در شرایط آزمایشگاه در مقایسه با تیمار شاهد بیشتر بود. نتایج مشابهی در ارتباط با دیگر غلات نظیر گندم (Shaukat *et al.*, 2006b) سورگوم (Raju *et al.*, 1999) و ارزن نیز گزارش شده است (Niranjan *et al.*, 2003 and 2004). غیاثی و همکاران (Ghiasi *et al.*, 2012) در تحقیقی با عنوان اثر روش‌های مختلف پرایمینگ (بیوپرایمینگ، بیو-اسموپرایمینگ، اسموپرایمینگ و عدم پرایمینگ) بر جوانه زنی و بنیه گیاهچه گندم و جمعیت باکتری بر بذر نتیجه گرفتند که دو تیمار بیوپرایم و بیو-اسموپرایمینگ در مقایسه با تیمار شاهد (عدم پرایمینگ بذر) از نظر شاخص های جوانه زنی، بنیه گیاهچه و حفظ جمعیت باکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) روی بذرها موثر بود. آن ها همچنین گزارش دادند که تیمار بیوپرایمینگ بذر با باکتری‌های PGPR در مقایسه با سایر تیمارها به‌ویژه تیمارعدم استفاده از از نطر وزن تر و خشک ساقه چه، ریشه چه و گیاهچه، شاخص بنیه وزنی و طولی گیاهچه برتر بود. انتصاری و همکاران (Entesari *et al.*, 2013) در پژوهشی با عنوان تاثیر بیوپرایمینگ بر مولفه‌های جوانه‌زنی، صفات فیزیولوژیکی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و کنترل بیماری رایزوکتونیایی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در دو آزمایش جداگانه اثر بیوپرایم برخی جدایه‌های قارچ تریکودراما (*Trichoderma* spp.) و باکتری سدوموناس فلورسنس (*Pseudomonas fluorescens*) بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی لوبیا رقم یاس و همچنین اثر تیمارهای مذکور بر کنترل بیماری رایزوکتونیا سولانی (*Rhizoctonia solani*) گیاه مذکور مورد بررسی قرار دادند. آن ها نتیجه گرفتند که ترکیب مواد بیولوژیک (قارچ تریکودراما و باکتری سدوموناس) با بذور پرایمینگ شده نسبت به ترکیب با بذور بدون پرایمینگ تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه داشته است، و توانستند وزن خشک ریشه چه، ساقه چه و گیاهچه را به ترتیب ۵۲/۲۹، ۵۰ و ۵۲/۶ درصد افزایش معنی‌داری دهند (Entesari *et al.*, 2013). انتصاری و همکاران (Entesari *et al.*, 2013) بیان داشتند که به طورکلی استفاده از تیمارهای بیولوژیک به همراه بذرهای پرایمینگ شده می‌تواند نسبت به شرایطی که بذور بدون این ترکیب تیماری باشند (حتی اگر یکی از این تیمارها باشد) کارایی مولفه های جوانه زنی و همچنین فعالیت های فیزیولوژیکی گیاه را بهبود ببخشد. نتایج آزمایش ما نشان داد که پرایم کردن بذر با باکتری های

www.SID.ir

Archive of SID

PGPR بر اغلب صفات مورد مطالعه اثر معنی‌داری داشت. پرایم کردن بذر با باکتری‌های PGPR باعث افزایش وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاهچه‌های هر دو رقم گندم تحت شرایط تنش شوری شد. همچنین رقم افق از نظر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاهچه‌های و شاخص‌های جوانه‌زنی و توانایی تحمل به تنش شوری، نسبت به رقم تجن برتر بود.

در کنار آنتی اکسیدان‌های غیر آنزیمی از جمله اسید اسکوربیک (ویتامین C)، توکوفرول (ویتامین E) گلوتاتیون (GSH)، آنزیم های آنتی‌اکسیدانی نیز با فعالیت خود به حفظ سطح تعادل و حالت پایدار درون سلولی ROSها کمک می کنند که این امر منجر به رشد، نمو، چرخه سلولی، سیگنالینگ هورمون‌ها و پاسخ‌های مناسب به انواع عوامل تنش‌زای زیستی و غیر زیستی می شوند (Foyer and Noctor, 2005; Mittler *et al.*, 2004). فان و همکاران (Fan *et al.*, 2013) گزارش دادند که در شرایط تنش شوری، آنزیم آنتی‌اکسیدانتی سوپراکسید دیسموتاز (SOD) نقش کلیدی را به عنوان یک سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانتی ایفاء می کند. آنزیم SOD اولین خط دفاعی در برابر گونه‌های اکسیژن واکنشگر (ROS) است که رادیکال سوپراکسید (O_2^-) را به هیدروژن پراکساید (H_2O_2) تبدیل می کند (Harter *et al.*, 2014). بنابراین کاهش فعالیت این آنزیم ممکن است در ارتباط با تجمع H_2O_2 در گیاهچه باشد (Sivritepe *et al.*, 2008). پین هیرو و همکاران (Pinheiro *et al.*, 2016) در آزمایشی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی را در بذور خربزه (*Cucumis melo* L.) در معرض تنش شوری (۰/۲-، ۰/۳-، ۰/۴- و ۰/۵- مگاپاسکال) و در زمان‌های مختلف (۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از مرحله آبنوشی) مورد بررسی قرار داد، آن‌ها گزارش دادند پس از ۲۴ ساعت و ۷۲ ساعت از مرحله آبنوشی فعالیت آنزیم SOD در ۰/۴- مگاپاسکال افزایش شدیدی یافت و پس از آن در ۰/۵- مگاپاسکال کاهش پیدا کرد. عملکرد اصلی آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (GPXs) احیای فسفولیپید هیدروکسی پراکسید به شکل الکل مربوطه با استفاده از تیوردوکسین‌ها (TRX) به عنوان اهدا کننده الکترون می‌باشد (Navrot *et al.*, 2006). این آنزیم می‌تواند H_2O_2 را در چرخه آسکوربات-گلوتاتیون نیز مهار کند (Foyer *et al.*, 1997). نتایج برخی مطالعات نشان داده است که آنزیم‌های واجد بخش پروتئینی تیول نقش مهمی در واکنش به رادیکال‌های فعال اکسیژن (ROS) دارند (Foyer and Noctor, 2005; Larkindale *et al.*, 2005). از مهم‌ترین این آنزیم‌ها، آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز است که نقش مهمی در مقابله با تنش اکسیداسیونی و ایجاد تعادل بین رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارد. چنین نقشی ممکن است به طور مستقیم با واکنش بدون واسطه یا از طریق ساز و کار آنزیمی با کاهش غلظت پراکسید هیدروژن صورت گیرد (Anne and Bruno, 1997; Pitzschke *et al.*, 2006). فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) مخصوصا در شروع مراحل جوانه زنی و رشد گیاهچه خیلی مهم است، چراکه این آنزیم باعث برداشت یا خنثی کردن پراکسید هیدروژن (H_2O_2) تولیدی در طی فرآیند بتا اکسیداسیون (β-oxidation) اسید های چرب، می شود (Bewley *et al.*, 2013; Dantas *et al.*, 2015). بطور خلاصه، علاوه بر غلظت نمک، اثرات تنش شوری بستگی به زمان قرار گرفتن در معرض NaCl، ژنوتیپ و عوامل محیطی مرتبط است (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 2012) بیان داشتند که همکاری بین آنزیم کاتالاز (CAT) با دو آنزیم گلوتایون پراکسیداز (GPX) و پراکسیداز (POX) در جاروب و برداشت هیدروژن پراکسیدهای (H_2O_2) اضافی در سلول وجود داشته و میزان فعالیت آنها بسته به شدت، مدت و طبیعت تنش شوری متفاوت است. روند و یا الگوی تغییرات فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی با توجه به

www.SID.ir

Archive of SID

میزان، شدت و مدت اعمال تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی متفاوت است (Pinheiro *et al.*, 2016). جذب آب توسط بذر برای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی ضروری است، اما همزمان با فعالیت این آنزیم ها در بذور تحت تنش شوری، مسیرهای متابولیکی متنوعی هستند که به تولید و تجمع گونه‌های اکسیژن واکنشگر (ROS) کمک کرده و اثر منفی بر فرآیند جوانه‌زنی می‌گذارند (Yao *et al.*, 2012). سیلیکول-آکای (Celikkol-Akcay *et al.*, 2010) اشاره کردند که ممانعت از جذب آب توسط بذر و پایین بودن قابلیت دسترسی بذر به آب در شرایط تنش شوری، باعث تجمع بیش از حد گونه های اکسیژن واکنشگر (ROS) شده و نهایتا این موضوع منجر به اکسیداسیون و غیرفعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی نظیر سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پرواکسیداز (POX) می‌شود.

نتیجه‌گیری گلی

نتایج آزمایش نشان داد که پرایم کردن بذر با باکتری های PGPR بر تمامی صفات مورد مطالعه در این آزمایش اثر معنی‌داری داشت. پرایم کردن بذر با باکتری‌های PGPR باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های SOD، CAT و GPX گیاهچه و شاخص‌های جوانه‌زنی هر دو رقم گندم تحت شرایط تنش شوری شد. همچنین رقم افق از نظر فعالیت آنزیمی، شاخص‌های جوانه‌زنی و توانایی تحمل به تنش شوری، نسبت به رقم تجن برتر بود. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد، بیوپرایمینگ کردن بذور هر دو رقم گندم با باکتری‌های PGPR توانست آثار مخرب تنش شوری را در مرحله جوانه‌زنی گندم کاهش دهد.

منابع

Reference

Abdul-Baki, A.A., and J.D. Anderson. 1973. Vigor Determination in Soybean Seed by Multiple Criteria1. Crop Sci. 13: 630-633.

Ananthi, M., P. Selvaraju, and K. Sundaralingam. 2017. Evaluation of Bioprimed Chilli Seeds under Salt Stress Condition. Chem. Sci. Rev. Lett. 6(23): 1735-1738.

Anitha, D., T. Vijaya, and N.V. Reddy. 2013. Microbial endophytes and their potential for improved bioremediation and biotransformation: a review. Indo Am. J. Pharm. Res. 3: 6408–17.

Anne, C.L., and T. Bruno. 1997. Glutathiowe-mediated regulation of ATP sulfurylase activity, SO42-, uptake and oxidative stress response in lntact canola roots. Plant Physiol. 114: 177-183.

Ashraf, M., and P.J.C. Harris. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Sci. 166: 3-16.

Azarnivand, H., Z. Ahmadi, and H. Nasseri. 2004. Investigation of salinity on germination of two species of *Artemisia fragrans* and *Artemisia spicigera*. J. Desert. 9 (2): 315-307. (In Persian, with English Abstract)

Basra, S.M.A., I.A. Pannu, and I. Afzal. 2003. Evaluation of seedling vigour of hydro and matriprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. Int. J. Agric. Biol. 5: 121-123.

Bennett, M.A. 1998. The use of biologicals to enhance vegetable seed quality. Seed Technol. 20: 198–208.

Bewley, J.D., K.J. Bradford, H.W.M. Hilhorst, and H. Nonogaki. 2013. Seeds: physiology of development, germination and dormancy. 3. ed. New York: Springer.

Bharathi, R., R. Vivekananthan, S. Harish, A. Ramanathan, and R. Samiyappan. 2004. Rhizobacteria-based bio-formulations for the management of fruit rot infection in chillies. Crop Protec. 23: 835–843. 2004.

Buriro, M., F.C. Oad, M.I. Keerio, S. Tunio, and A.W. Gandahi. 2011. Wheat seed germination under the influence of temperature regimes. Sarhad J. Agric. 27(4): 539-543.

www.SID.ir

Archive of SID

Celikkol Akcay, U., O. Ercan, M. Kavas, L. Yildiz, C. Yilmaz, H.A. Oktem, and M. Yucel. 2010. Drought-induced oxidative damage and antioxidant responses in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings. Plant Growth Regual. 61: 21-28.

Cuartero, J., M.C. Bolarin, M.J. Asins, and V. Moreno. 2005. Increasing salt tolerance in tomato. J. Exp. Bot. 57: 1045-1058.

Dantas, B.F., R. de Cássia Barbosa da Silva, R.C. Ribeiro, and C.A. Aragão. 2015. Respiration and antioxidant enzymes activity in watermelon seeds and seedlings subjected to salt and temperature stresses. Am. J. Exp. Agric. 7(2): 0-77.

Das, A.B. 2013. Bio prospecting and genetic engineering of mangrove genes to enhance salinity tolerance in crop plants. In: S.M. Jain, and S.D. Gupta, Biotechnology of Neglected and Underutilized Crops. New York: Springer, p. 385-456.

Dobbelaere, S., A. Croonenborghs, A. Thys, D. Ptacek, J. Vanderleyden, P. Dutto, C. Labendera-Gonzalez, J. Caballero-Mellado, J.F. Aguirre, Y. Kapulnik, S. Brener, S. Burdman, D. Kadouri, S. Sarig, and Y. Okon. 2001. Response of Agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. Aus. J. Plant Physiol. 28: 871–879.

Ejazrasll, A.W., and A. Rehman. 1997. Germination response of sensitive and tolerant sugarcane lines to sodium chloride. Seed Sci. Technol. 25: 465-471.

Entesari, M., F. Sharifzadadh, M. Dashtaki, and M. Ahmadzadeh. 2013. Effects of Biopriming on the Germination Traits, Physiological Characteristics, Aantioxidant Enzymes and Control of Rhizoctonia solani of a Bean Cultivar (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian J. Field Crop Sci. 44(1): 35-45 (In Persian, with English Abstract)

Fan, H.F., C.X. Du, L. Ding, and Y.L. Xu. 2013. Effects of nitric oxide on the germination of cucumber seeds and antioxidant enzymes under salinity stress. Acta Physiol. Plant. 35(9): 2707-

Foyer, C.H., H. Lopez-Delgado, J.F. Dat, and I.M. Scott. 1997. Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. Physiol. Plant. 100: 241–254

Foyer, C.H., and G. Noctor. 2005. Oxidant and antioxidant signaling in plants: A re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. Plant Cell and Environ. 28: 1056-1071.

Gale, J. 1970. Growth of *Atriplex halimus* L. in sodium chloride salinated cultured solution as effected by the relative humidity of the air. Aust. J. Biol. Sci. 23: 947-952.

Gholami A., S. Shahsavani, and S. Nezarat. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. World Acad. Sci. Eng. Technol. 49: 19–24.

Ghiasi, A., S. Parsa, A. Hamidi, and K. Khavazi. 2012. The effect of priming methods on germination and vigure of wheat seedling and the population of the bacteria on the seed. J. Seed Sci. Technol. 1: 38-25. (In Persian)

Gill, S.S., and N. Tuteja. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiol. Biochem. 48: 909-930.

Han, H.S., and K.D. Lee. 2005. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. Res. J. Agric. Biol. Sci. 1(3): 210-215.

Harter, L.S.H., F.S. Harter, C. Deuner, G.E. Meneghello, and F.A. Villela. 2014. Effect of salinity on physiological performance of mogango seeds and seedlings. Hort. Brasi. 32(1): 80-85.

Hasanuzzaman, M., K. Nahar, and M. Fujta. 2013. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In: Ahmad, P. *et al.* (Eds.). Ecophysiology and responses of plants under salt stress. New York: Springer. 25-87.

Huang, J., and R.E. Remann. 1995. Salt tolerance of *Hordeum* and *Brassica* species during germination and early seedling growth. Can. J. Plant Sci. 75: 815-819.

Kasim, W.A., M.E. Osman, M.N. Omar, I.A. Abd El-Daim, S. Bejai, and J. Meijer. 2013. Control of drought stress in wheat using plant-growth promoting bacteria. J. Plant Growth Regul. 32: 122–130.

www.SID.ir

Archive of SID

Kloepper, J.W., R.M. Zablotowicz, E.M. Tipping, and R. Lifshitz. 1991. Plant growth promoting mediated by bacterial rhizosphere colonizers. pp: 315-326. In: D.L. Keister, and P.B. Cregan (Eds.). The rhizosphere and plant growth. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Larkindale, J.D., J.R. Hall, M. Knight, and E. Vierling. 2005. Heat stress phenotypes of *Arabidopsis* mutants implicate multiple signaling sathways in the acquisition of thermo-tolerance. Plant Physiol. 138: 882-897.

Lugtenberg, B., T. Chin-A-Woeng, and G. Bloemberg. 2002. Microbe–plant interactions: principles and mechanisms. Antonie van Leeuwenhoek. 81: 373–383.

McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. Seed Sci. Technol. 27: 177–237.

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sci. 2: 176-177.

Mahmood, A., O.C. Turgay, M. Farooq, and R. Hayat. 2016. Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria. FEMS Microbiol. Ecol. 92(8): 1-14.

Majidi, M.M., M.R. Jazayeri, and Gh. Mohammadinejad. 2009. Salt effects on germination and seedling growth of sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) genotypes. Iranian J. Range. Forest Plant Breed Genet. Res. 17(2): 256-269. (In Persian, with English Abstract)

Maslenkova, L.T., T.S. Miteva, and P. Popoval. 1999. Changes in the polypeptide patterns of barley seedling exposed to jasmonic acid and salinity. Plant Physiol. 98: 700-707.

Minami, M., and H. Yoshikawa. 1979. A simplified assay method of superoxide dismutase activity for clinical use. Clin. Chim. Acta. 92: 337–342.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Sci. 7(9): 405-410.

Mittler, R., S. Vanderauwera, M. Gollery, and F. Van Breusegem. 2004. Reactive oxygen gene network of plants. Trends Plant Sci. 9: 490-498.

Moeinzadeh A., F. Sharif-Zadeh, M. Ahmadzadeh, and F. Heidari-Tajabadi. 2010. Biopriming of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed with *Pseudomonas fluorescens* for improvement of seed in vigoration and seedling growth. Aust. J. Crop Sci. 4: 564.

Momeni, A. 2010. Geographical Distribution and Salinity Levels of Iranian Soil Resources. Iranian J. Soil Res. (Soil Water Sci.). 24(3): 203-215. (In Persian)

Mozaffari, A. 2013. Physiological evaluation of drought tolerance in two cultivars of bread wheat inoculated with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). Ph.D. thesis. Islamic Azad University, Takestan Branch, Iran. (In Persian)

Mozaffari, A. 2014. Evaluation the effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on SOD, MDA and Proline content in two wheat cultivars. 20th World Congress of Soil Science. June 8-13, Jeju, Korea.

Naidoo, G., and Y. Naidoo. 2001. Effects of salinity and nitrogen on growth, ion relations and proline accumulation in *Triglochin bulbosa*. Wetl. Ecol. Manag. 9: 491-497

Navrot, N., V. Collin, J. Gualberto, E. Gelhaye, M. Hirasawa, P. Rey, D.B. Knaff, E. Issakidis, J.P. Jacquot, and N. Rouhier. 2006. Plant glutathione peroxidases are functional peroxiredoxins distributed in several subcellular compartments and regulated during biotic and abiotic stresses. Plant Physiol. 142: 1364-1379.

Niranjan, S.R., S.A. Deepak, P. Basavaraju, H.S. Shetty, M.S. Reddy, and J.W. Kloepper. 2003. Comparative performance of formulations of plant growth promoting rhizobacteria in growth promotion and suppression of downy mildew in pearl millet. Crop Prot. 22: 579–588.

Niranjan, S.R., N.P. Shett, and H.S. Shetty. 2004. Seed bio-priming with *Pseudomonas fluorescens* isolates enhances growth of pearl millet plants and induces resistance against downy mildew. Int. J. Pest Manag. 50(1): 41-48.

Nourmohammadi, Gh., S.A. Siadat, and A. Kashani. 2007. Cereal Crops. Shahid Chamran University of Ahvaz Press. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Paglia, D.E., and W.N. Valentine. 1967. Studies on the qualitative and quantitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. J. Lab. Clin. Med. 70: 158-169.

Pinheiro, D.T., da A.L. Silva, L.J. da Silva, M.C. Sekita, and D.C.F. dos Santos Dias. 2016. Germination and antioxidant action in melon seeds exposed to salt stress. Agropec. Trop., Goiânia. 46: 336-342.

Pitzschke, A., C. Forzani, and H. Hirt. 2006. Reactive oxygen species signaling in plants. Antioxid. Redox. Signal. 8: 1757-1764.

Raju, N.S., S.R., Niranjana, G.R. Janardhana, H.S. Prakash, H.S. Shetty, and S.B. Mathur. 1999. Improvement of seed quality and field emergence of *Fusarium moniliforme* infected sorghum seeds using biological agents. J. Sci. Food Agri. 79: 206-212.

Rhee, S.G. 2006. H_2O_2, a necessary evil for cell signaling. Sci. 312: 1882-1883.

Seckin, B., I. Turkan, A.H. Sekmen, and C. Ozfidan. 2010. The role of antioxidant defense systems at differential salt tolerance of *Hordeum marinum* Huds. (sea barley grass) and *Hordeum vulgare* L. (cultivated barley). Environ. Exp. Bot. 69(1): 76-85.

Sharma, P., A.B. Jha, R.S. Dubey, and M. Pessarakli. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. J. Bot. 1(1): 1-26.

Shaukat, K., S. Affrasayab, and S. Hasnain. 2006a. Growth responses of *Helianthus annus* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer. J. Agric. Res. 1(6): 573-581.

Shaukat, K., S. Affrasayab, and S. Hasnain. 2006b. Growth responses of *Triticumn aestivum* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer. Res. J. Microbiol. 1(4): 330-338.

Sivritepe, N., H.Ö. Sivritepe, I. Türkan, M. Bor, and F. Özdemir. 2008. NaCl pre-treatments mediate salt adaptation in melon plants through antioxidative system. Seed Sci. Technol. 36(2): 360-370.

Yacoubi, R., C. Job, M. Belghazi, W. Chaibi, and D. Job. 2013. Proteomic analysis of the enhancement of seed vigour in osmoprimed alfalfa seeds germinated under salinity stress. Seed Sci. Res. 23(2): 99-110.

Yao, Z., L. Liu, F. Gao, C. Rampitsch, D.M. Reinecke, J.A. Ozga, and B.T. Ayele. 2012. Developmental and seed aging mediated regulation of antioxidative genes and differential expression of proteins during pre- and post-germinative phases in pea. J. Plant Physiol. 169(5): 1477-1488.

Zakeri, AK, O.R. Nikzad, M. Yasayi, SH. Sarikhani Khorrami, And M.J. Mino. 2012. Ofogh of wheat cultivar suitable for planting in temperate and relatively warm regions of the country with water or soil salinity. Fars Jihad-Agricultural Agricultural Research Center. (In Persian)

Zapata, P.J., and M. Serrano. 2004. Polyamines and ethylene changes during germination of different plant species under salinity. Plant Sci. 167: 781-788.

www.SID.ir