"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد یازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱
(ص ۶۷-۵۵)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 11, No.: 2, Summer 2022
(pp: 55-67)
DOI: 10.22092/ijsst.2021.343168.1348
Research Article

تأثیر پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک‌اسید بر بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشائی گیاهچه گندم تحت تنش شوری

احمد افکاری[*1]

۱. استادیار فیزیولوژی گیاهی؛ واحد کلیبر؛ دانشگاه آزاد اسلامی کلیبر، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۹)

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک‌اسید بر بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشائی گیاهچه گندم رقم میهن، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کلیبر در سال ۱۳۹۷ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف سالیسیلیک‌اسید در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) و سطوح مختلف تنش شوری در چهار سطح (صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰و ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که برهمکنش سالیسیلیک‌اسید و تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پراکسیداسیون لیپیدهای غشائی گیاهچه، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و محتوای پروتئین بذر در سطح یک درصد، اما بر درصد جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پیش‌تیمار بذور با سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش درصد جوانه‌زنی، رشد طولی ریشه‌چه، ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و کاهش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای پروتئین بذر در محیط شور گردید. گردید. سنجش فعالیت آنزیمی نشان داد که فعالیت آنزیم‌ها در شرایط تنش شوری افزایش یافته و سالیسیلیک‌اسید با کاهش تنش شوری باعث کاهش فعالیت این آنزیم‌ها می‌شود. به نظر می‌رسد سالیسیلیک‌اسید به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی و مؤثر در شرایط تنش شوری، مکانیسم‌های تحمل گیاه را فعال و باعث بهبود خسارات ناشی از شوری بر جوانه‌زنی و رشد دانه گندم شده است.

کلمات کلیدی: پروتئین بذر، پیش‌تیمار، جوانه‌زنی، شوری، مالون دی‌آلدوئید.

The effect of salicylic acid priming on improvement of germination characteristics, activity of antioxidant enzymes and membrane lipid peroxidation of wheat under salinity conditions

A. Afkari[*1]

1. Assistant Professor Department of Physiology, Kaleybar Branch, Islamic Azad University Kaleybar, Iran
(Received: Jun. 02, 2021 – Accepted: Sept. 20, 2021)

Abstract

In order to investigate the effects of priming with salicylic acid and salinity stress on improvement of germination characteristics, activity of antioxidant enzymes and and membrane lipid peroxidation of wheat cultivar Mihan, an experiment was conducted as factorial in a completely randomized design with three replications in the physiology lab at the Islamic Azad University of Kaleiber Branch in 2018.The treatments consisted of different concentrations of acid salicylic in four levels (0, 0.5, 1 and 1.5 mM) and salt stress was inducted by NaCl solution (0, 50 100, 150 mM). The results analysis of variance showed that the effects of salinity and salicylic acid on germination indices and activity of antioxidant enzymes was significant.The results showed that the interaction of salicylic acid and salinity stress on the activity of antioxidant enzymes, membrane lipid peroxidation seedling, root length, shoot length and protein content of seeds 1% probability level, but the germination and seedling dry weight 5% probability level was significant. Results comparison of data showed that NaCl priming by salicylic acid increased the germination percentage, root growth, root, seedling dry weight and decreasing activity of antioxidant enzymes and seed protein content in the salty environment. Salicylic acid increased the level of cell division of seedlings and roots which caused an increase in plant growth. Enzymes activity assay showed that enzyme activity was increased under salt stress conditions and SA reduced activity of antioxidant enzyme by decreasing the salinity effects. In brief, the SA treatment reduced the damaging action of salinity on seedling growth and accelerated a restoration of growth processes. It seems that Salicylic acid as a plant growth regulator under salinity condition, activated plant tolerance mechanisms to salinity condition and decrease damaging effect of salinity on seed germination and seedling growth of wheat.

Key words: Germination, Malon dialdehyde, Pretreatment, Salinity, Seed protein.

* Email: ahmad.afkari55@gmail.com

مقدمه

گندم مهم‌ترین محصول زراعی از لحاظ میزان تولید و سطح زیر کشت در جهان است و نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری ایفا می‌کند (Arfan *et al*., 2007). تنش شوری از تنش‌های غیر زیستی مهم است که اثرات زیانباری بر عملکرد گیاه و کیفیت محصول دارد و به‌عنوان مهم‌ترین عامل تهدیدکننده تولید محصولات کشاورزی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و رشد و نمو گیاهان غیر نمک رست را کاهش می‌دهد (Rahimi Tashi and Niknam, 2015). شوری بر تمام فرایندهای اصلی گیاه مانند رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپید و انرژی اثر می‌گذارد، در نتیجه تمام مراحل زندگی گیاه را از جوانه‌زنی تا تولید زیست توده و دانه تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنش شوری باعث تجمع انواع اکسیژن فعال در سلول و آسیب رساندن به لیپیدهای غشائی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Doulatabadian *et al*., 2008). جوانه‌زنی دانه در گیاهان با جذب آب و شروع واکنش‌های متابولیسمی در بافت‌های رویان آغاز می‌شود که در مراحل اولیه جوانه‌زنی، انرژی مورد نیاز از طریق گلیکولیز و متابولیت‌های مورد نیاز برای تولید ترکیبات جدید به‌وسیله مسیر پنتوز فسفات تأمین می‌شود (Lin *et al*., 2013). جوانه‌زنی تحت تأثیر اندازه بذر، میزان کشت دانه در خاک، رطوبت خاک، میزان اکسیژن، دما، شوری و ژنتیک دانه قرار می‌گیرد (Shakeri *et al*., 2016). هم‌چنین افزایش استقرار بذر در اثر پیش‌تیمار ناشی از فعالیت‌های بیش‌تر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است (Chiu *et al*., 2006). در گیاهان سیستم دفاعی شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، سوپراکسیددیسموتاز (SOD) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR) است (Afkari, 2017). همانطور که ذکر شد تنش‌های محیطی سبب تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در کلروپلاست و دیگر اندامک‌های سلولی گیاه می‌شود. این رادیکال‌های آزاد اکسیژن ممکن است به‌وسیله آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تبدیل به پراکسید هیدروژن شده و سپس توسط آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در کلروپلاست تبدیل به آب شود. هم‌چنین آب اکسیژنه منتشر شده به قسمت بیرونی کلروپلاست به‌وسیلهٔ آنزیم کاتالاز در سلول‌های برگ پاکسازی می‌شود (Doulatabadian *et al*., 2008). در زمان تنش، معمولا فعالیت آنزیم‌هائی مانند سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز تحریک می‌شود (Mishra *et al.,* 1995). سالیسیلیک‌اسید به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی از نظر ساختاری یک ترکیب فنلی است که در سازکارهای دفاعی گیاهان در مقابل تنش‌های زیستی و غیر زیستی ایفای نقش می‌کند (Dong *et al*., 2011). سالیسیلیک‌اسید در جوانه‌زنی، نفوذپذیری غشاء، بسته شدن روزنه‌ها، انتقال مواد، فتوسنتز، سرعت رشد و جذب یون‌ها تأثیرگذار است (Shinwari *et al.,* 2015). در تحقیقاتی که روی گیاهان جو و گندم بهاره صورت گرفت، مشخص شد که پیش‌تیمار بذرها با سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Pakmehr *et al.,* 2014). شوری سبب کاهش درصد جوانه‌زنی در گیاه یونجه می‌شود. در حالی‌که اگر بذرها در محلول سالیسیلیک‌اسید خیسانده شود، باعث بهبود درصد جوانه‌زنی در تیمارهای تحت تنش شوری می‌شود (Palma *et al*., 2013). پیش‌تیمار بذر ذرت با سالیسیلیک‌اسید موجب بهبود سبزکردن، استقرار اولیه، پنجه‌زنی، آللومتری، عملکرد دانه، کاه و شاخص برداشت گردید (Farooq *et al*., 2008). بذرهای پرایم شده سورگوم با سالیسیلیک‌اسید درصد و سرعت جوانه‌زنی بیش‌تری نسبت به شاهد داشتند و در نتیجه این بذرها سریع‌تر از خاک خارج شده و زودتر استقرار

یافته‌اند (El Naim *et al.,* 2012). کیا رستمی و همکاران (Kiarostemi *et al.,* 2014) گزارش نمودند که تیمار با سالیسیلیک‌اسید به‌خصوص با غلظت ۰/۵ میکرومولار فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را در رقم حساس Y3000 گیاه کلزا به تنش شوری افزایش می‌دهد. سالیسیلیک‌اسید با اثر روی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پلی فنل‌اکسیداز و پراکسیداز آثار سمی ناشی از تنش را کاهش می‌دهد (Maasoumi *et al.,* 2016). بنابراین، این پژوهش با هدف تأثیر پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک‌اسید بر جوانه‌زنی، تغییرات بیوشیمیایی و میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشائی گندم رقم میهن از طریق تحریک سیستم آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی تحت شرایط تنش شوری به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کلیبر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف سالیسیلیک‌اسید در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) و سطوح مختلف تنش شوری در چهار سطح (صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰و ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) بودند. گندم رقم میهن تحمل به سرما، تحمل به خوابیدگی، مقاوم به بیماری زنگ زرد، نسبتا مقاوم به بیماری زنگ قهوه‌ای و نیمه مقاوم تا نیمه حساس به بیماری زنگ سیاه می‌باشد. هم‌چنین نیمه پاکوتاه با میانگین ارتفاع بوته ۸۸ سانتی‌متر، با ساقه ضخیم، کودپذیر و مناسب برای شرایط آبیاری بارانی است (Aminzadeh *et al*., 2015). بذرهای گندم رقم میهن پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۴۰ درصد به مدت ۵ دقیقه و اتانول ۷۰ درصد به مدت ۳۰ ثانیه، به خوبی با آب مقطر شسته و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۰ درجه سلسیوس درون محلول‌هائی با غلظت (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) سالیسیلیک‌اسید به‌طور جداگانه خیسانده شد. پس از آن، بذرهای خیس خورده در محلول سالیسیلیک‌اسید، به ظروف پتری استریل حاوی کاغذ صافی انتقال یافت. هم‌چنین برای ایجاد تنش شوری از محلول کلرید سدیم با غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰و ۱۵۰ میلی‌مولار به میزان ۱۰ میلی‌لیتر در هر ظروف پتری استفاده شد سپس درب ظروف پتری را با پارافیلم کاملا بسته و برای جوانه‌زنی در ژرمیناتور در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار دادیم. شمارش بذور جوانه زده هر ۱۲ ساعت یکبار و به مدت هشت روز انجام گرفت. تعداد بذرهای جوانه‌زده شمارش، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه‌ها محاسبه شد. برای خشک کردن نمونه‌ها، اندام‌های فوق ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شد. جهت سنجش فعالیت آنزیم‌ها و تعیین میزان پراکسیداسیون لیپیدی، گیاهچه‌ها در نیتروژن مایع فریز و تا زمان انجام آنالیزهای بیوشیمیائی در فریزر ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شد. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه ۱ استفاده گردید (Wakjira and Negash, 2013):

$$GP = (Ni/S) \times 100 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه GP درصد جوانه‌زنی و Ni تعداد بذور جوانه زده در روز i ام و S تعداد کل بذور کشت شده می‌باشد.

میزان پروتئین گیاهچه‌ها به روش برادفورد (Bradford, 1976)، فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز به روش هلی (Holy, 1972)، فعالیت آنزیم کاتالاز به روش آئبی (Aebi, 1984)، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به روش چنس و مهلی و آسادا (Chance and Maehly, 1955)، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز به روش بیوچمپ و فریدوویچ (Beauchamp and Fridovich, 1971)، فعالیت آنزیم مالون‌دی‌آلدئید به روش هیث و پاکر (Packer and Heath,1968) در بذرهای پرایم شده

اندازه‌گیری شدند.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و بیومارکر تخریب مالون‌دی‌آلدئید

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش سالیسیلیک‌اسید و تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و بیومارکر مالون‌دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

محتوای مالون دی‌آلدئید تحت تأثیر معنی‌دار شوری، سالیسیلیک‌اسید و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت. در شرایط شور پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید باعث کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید گردید. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیش‌ترین غلظت مالون‌دی‌آلدهید (۰/۷۲ واحد مول در گرم وزن تر) مربوط به عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید و سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین غلظت مالون‌دی‌آلدهید (۰/۲۴ واحد مول در گرم وزن تر) مربوط به پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار و عدم تنش شوری بود (جدول ۲). سالیسیلیک‌اسید بر پاک‌سازی اکسیژن فعال باعث کاهش اکسیداسیون چربی‌های غشاء سلولی و کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید می‌شود. کاهش آسیب غشاء سلولی در پاسخ به تیمار سالیسیلیک‌اسید که با افزایش وزن خشک گیاهچه‌های تنش دیده همراه است، می‌تواند نمایانگر القاء سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی توسط سالیسیلیک‌اسید، با از بین بردن رادیکال‌های آزاد به‌طور مستقیم و یا توسط آنزنیم‌های آنتی‌اکسیدان باشد که خسارت ناشی از این گونه‌های فعال را کاهش می‌دهد که در نتیجه آن، پراکسیداسیون لیپیدی غشاء کاهش یافته است. به نظر می‌رسد که سالیسیلیک‌اسید با پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد، از اکسیداسیون چربی‌ها جلوگیری کرده و مانع افزایش مالون دی‌آلدئید می‌شود (Gautam and Singh, 2009).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش

Table 1-The analysis of variance of measured traits in experiment

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase	فعالیت آنزیم پراکسیداز peroxidase	فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز Glutathione peroxidase	غلظت مالوندی‌آلدید Malon dialdehyde
تنش شوری Salt stress	3	98692.41**	407.61**	10531.35**	15282.19**	0.49**0
سالیسیلیک‌اسید Salicylic acid	3	24062.05**	382.29**	44936.27**	4825.43**	0.015*
سالیسیلیک‌اسید × تنش شوری Salt stress × Salicylic acid	9	8704.92**	71.94**	4309.82**	1901.74**	0.013**
خطای آزمایش Error	32	623.62	4.52	4.11	127.49	0.004
ضریب تغییرات (درصد) (%) CV	-	7.61	10.09	8.37	5.38	4.97

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

* and ** are significant at 5% and 1% probability level respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر برهمکنش اسیدسالیسیلیک و تنش شوری بر برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاه گندم

Table 2- Mean comparisons of interaction salicylic acid and salt stress on activity of some antioxidant enzymes of wheat

سالیسیلیک‌اسید Salicylic acid (mm)	تنش شوری Salt stress (mm)	غلظت مالوندی‌آلدهید Malon dialdehyde (Umol.g Fw)	فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز Glutathione (U/mg protein)	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (U/mg protein)	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase (U/mg protein)	فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز peroxidase (U/mg protein)
0	0	0.47c	6.43b	824.18ab	27.11c	213.21b
	50	0.48c	6.96b	831.28ab	29.72bc	222.28b
	100	0.61b	8.05 ab	886.47a	36.53b	262.84ab
	150	0.72a	8.57a	927.36a	44.08a	319.26a
0.5	0	0.34d	5.36	773.67b	18.41b	123.17d
	50	0.43cd	5.49c	774.31b	22.76cd	198.41bc
	100	0.46b	5.69bc	794.27b	23.18c	201.87bc
	150	0.57b	6.36b	813.08b	23.37c	209.72b
1	0	0.31d	4.31d	726.42c	11.69e	159.65c
	50	0.33d	4.73d	733.76bc	12.04	164.08c
	100	0.42cd	4.74d	742.64b	13.82e	165.72c
	150	0.54bc	5.31c	761.27c	18.24d	183.42c
1.5	0	0.24e	2.39f	599.87d	10.98e	104.08
	50	0.29de	2.72	642.48cd	11.14e	123.17d
	100	0.34d	3.12e	683.95c	11.21e	157.87c
	150	0.39cd	3.72e	698.83c	11.54e	183.07c

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نداشتن اختلاف آماری در سطح پنج درصد

The same letters in each column represents no significant difference in the level of 5%

از سوی دیگر علت کاهش پراکسیداسیون لیپیدها در بذرهای گندم را می‌توان در نتیجه استفاده از سالیسیلیک‌اسید به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی در حذف رادیکال‌های فعال اکسیژن دانست. البته کاهش تولید مالون دی‌آلدئید در اثر مصرف سالیسیلیک‌اسید تحت تنش شوری در عدسک آبی نیز مشاهده شده است (Rahimi Tashi and Niknam, 2015). این نتایج با نتایج بور و همکاران (Bor *et al*., 2003) که نشان دادند شوری سبب افزایش پراکسیداسیون لیپیدی برگ‌های چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) می‌شود مطابقت دارد. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (۸/۵۷ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید و سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (۲/۳۹ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار و عدم تنش شوری بود (جدول ۲). در شرایط تنش، گیاه برای کاهش اثرات تنش اکسیداتیو فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز را افزایش می‌دهد. به‌طورکلی میزان آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در گیاه گندم با پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش شوری در مقایسه با تیمار عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید بیش‌تر شد. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مهم‌ترین ترکیبات در سیستم‌های جاروب کردن اکسیژن‌های رادیکال آزاد هستند (Pan *et al*., 2006). در گیاهان عالی سیستم

جاروب کردن اکسیژن‌های رادیکال آزاد از چندین آنزیم آنتی‌اکسیدان ازجمله گلوتاتیون پراکسیداز تشکیل شده است که می‌توانند از غشاءها در برابر اثرات مخرب رادیکال‌های اکسیژن فعال که در برابر تنش شرایط غیرزنده تولید می‌شود، محافظت کنند و موجب مقاومت و پایداری گیاهان در برابر تنش‌هایی همچون شوری شوند (Mohamadkhani and Heidari, 2007). بالا رفتن میزان این آنزیم‌ها در طی بروز تنش شوری در گیاه گندم گزارش شده است (Sairam *et al.*, 2002). سالیسیلیک‌اسید با کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله گلوتاتیون پراکسیداز باعث افزایش هیدروژن پراکسید و برخی از گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد که این مولکول‌ها برای فعال کردن ژن‌های عامل مقاومت به شرایط تنش‌زا وارد عمل می‌شوند، بعد از فعال شدن ژن‌های عامل مقاومت رادیکال‌های آزاد باید از سلول حذف شوند که ترکیبات آنتی‌اکسیدانتی در تیمار سالیسیلیک‌اسید برای حذف آن‌ها مصرف شده و میزان آن‌ها را کاهش می‌دهد (Hernandez *et al.*, 2001). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و غلظت‌های مختلف سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۹۲۷/۳۶ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید و سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۵۹۹/۸۷ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار و عدم تنش شوری بود (جدول ۲).

محققان گزارش کردند که پیش‌تیمار با سالیسیلیک‌اسید منجر به تجمع آبسیزیک‌اسید می‌شود که می‌تواند پیش سازگاری گیاهچه‌های تحت تنش شوری را تحریک کند، در نتیجه آبسیزیک‌اسید، سنتز محدوده وسیعی از پروتئین‌های ضد تنش را القا کرده و باعث ایجاد مقاومت در گیاهان می‌شود. بعلاوه، این طرز عمل سطح انواع اکسیژن‌های فعال را پایین می‌آورد، از این‌رو فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در ریشه‌های جوان گندم کاهش می‌یابد (Shakirova *et al.*, 2003). با افزایش فعالیت این آنزیم سمیت‌زدایی یون سوپراکسید افزایش و آسیب‌های حاصله از آن در گیاه کاهش می‌یابد چون کاربرد خارجی سالیسیلیک‌اسید تحمل به تنش شوری و خشکی را در گیاهان افزایش می‌دهد (Tari *et al.*, 2002). بنابراین سالیسیلیک‌اسید با بهبود تحمل گیاهچه‌ها به شوری از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌ها برای مقابله با تنش عمل می‌کند. از آنجائیکه مصرف پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سبب کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به عدم مصرف آن می‌گردد می‌توان نتیجه گرفت که ممکن است این ماده به‌طور مستقیم در از بین بردن رادیکال‌های آزاد نقش داشته و با پاک‌سازی این گونه‌های فعال، از افزایش فعالیت آنزیم جلوگیری کند. این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات حمید و همکاران (Hamid *et al.*, 2010) مطابقت دارد. در این آزمایش تنش شوری سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و غلظت‌های مختلف سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۴۴/۰۸ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۱۰/۹۸ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار و عدم تنش شوری بود (جدول ۲). کاتالاز یکی از مهم‌ترین جاروب کننده‌های H_2O_2 محسوب می‌شود که این عمل را با تبدیل H_2O_2 به آب و O_2 انجام می‌دهد (Dixit *et al.*, 2001). سالیسیلیک‌اسید، بازدارنده فعالیت آنزیم کاتالاز است که یک آنزیم پاک‌سازی‌کننده پراکسیدهیدروژن است، در نتیجه کاهش فعالیت این آنزیم سبب افزایش این ماده در گیاه می‌شود (Horváth *et al.*, 2002). سالیسیلیک‌اسید با باند شدن به آنزیم کاتالاز، سبب کاهش فعالیت آن در توتون می‌گردد

(Chen *et al*., 1993). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج تحقیقات اگاروال و همکاران (Agarwal *et al.*, 2005) بر روی گندم و حسن‌پوردرویش (Hassanpour Darvishi, 2015) بر روی ماشک مطابقت دارد. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۳۱۹/۲۶ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید و سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۱۰۴/۹۲ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار و عدم تنش شوری بود (جدول ۲). پراکسیدازها از جمله آنزیم‌هائی به‌شمار می‌روند که نقش بسیار مهمی را در پاسخ به تنش‌های غیر زیستی مانند شوری دارند. پراکسیدازها مسئول حذف مقادیر اضافی پراکسید هیدروژن می‌باشند. در تنش شوری، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهان از قبیل پراکسیداز فعال می‌شوند که این ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) را تجزیه می‌کنند، در نتیجه ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان با تحمل تنش در گیاهان، رابطه مستقیم دارند (Mittler, 2002). محققان گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند پراکسیداز در برگ‌های کلزا تحت شرایط شوری افزایش می‌یابد (Ashraf and Ali, 2008).

جوانه‌زنی، ویژگی‌های گیاهچه و محتوای پروتئین بذر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده تنش شوری و پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید بر روی شاخص‌های جوانه‌زنی و محتوای پروتئین بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر روی درصد جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه در سطح احتمال پنج درصد، اما بر روی طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و محتوای پروتئین بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش

Table 3- The analysis of variance of measured traits in experiment

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percent	طول ریشه‌چه Length of radicle	طول ساقه‌چه Length of plumule	وزن خشک گیاهچه seedling dry weight	پروتئین بذر Seed protein
تنش شوری Salt stress	3	1509.04**	15.85**	33.94**	0.169**	0.00137**
سالیسیلیک‌اسید Salicylic acid	3	5389.784**	29.14**	7.02**	0.49**	0.00063**
سالیسیلیک‌اسید × تنش شوری Salt stress × Salicylic acid	9	250.96*	3.52**	4.79**	0.023*	0.00599**
خطای آزمایش Error	32	18.46	0.24	0.92	0.0004	0.00004
ضریب تغییرات (%) CV	-	11.86	11.47	12.18	8.62	5.73

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

* and ** are significant at 5% and 1% probability level respectively

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۸۸/۹۲ درصد) مربوط به پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار و سطح عدم تنش شوری (شاهد) و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۳۴/۰۳ درصد) مربوط به عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید و سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۴). تنش شوری سبب کاهش چشمگیری در درصد جوانه‌زنی بذرهای تنش دیده‌ای می‌شود که به‌وسیلهٔ سالیسیلیک‌اسید تیمار نشده باشد. با افزایش غلظت نمک درصد جوانه‌زنی بذر کاهش یافت در حالی‌که سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش جوانه‌زنی در تیمارهای شوری می‌شود. پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک‌اسید ۱/۵ میلی‌مولار در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار سبب کاهش اثر مضر تنش شده و جوانه‌زنی را افزایش داد. چنین به‌نظر می‌رسد که سالیسیلیک‌اسید از طریق تأثیر برسیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه گندم سبب کاهش اثر سمی و مخرب تنش شوری شده و در نتیجه درصد جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (Shakirova *et al.,* 2003). بر اساس نظر کایدان و یاگمور (Kaydan and Yagmur, 2008) کاهش جوانه‌زنی و در نتیجه سبز شدن بذرها در اثر افزایش سطوح شوری ممکن است به‌دلیل کاهش شیب پتانسیل آب بین بذرها و محیط اطراف باشد که در نتیجه سبب اختلال در سنتز آنزیم‌های لازم برای جوانه‌زنی می‌شود. قائوتام و سینگ (Gautam and Singh, 2009) نشان دادند که سالسیلیک‌اسید به مقدار زیادی اثرات منفی تنش شوری ناشی از افزایش تولید اکسیژن‌های فعال در طی جوانه‌زنی در ذرت را کاهش داد. گزارش شده است که سالیسیلیک‌اسید در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به‌طور موثری لوبیا را در مقابل تنش شوری محافظت کرده و موجب افزایش درصد جوانه‌زنی در این شرایط گردید (Azooz, 2009). هم‌چنین سالسیلیک‌اسید در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار در افزایش درصد جوانه‌زنی گوجه‌فرنگی مؤثر بود (Szepesi *et al.,* 2005). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیش‌ترین طول ریشه‌چه (۱۱/۰۹ سانتی‌متر) و طول ساقه‌چه (۱۲/۰۴ سانتی‌متر) مربوط به پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار و عدم تنش شوری و کم‌ترین طول ریشه‌چه (۳/۶۲ سانتی‌متر) و ساقه‌چه (۴/۱۸ سانتی‌متر) مربوط به عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید و سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۴).

سالیسیلیک‌اسید در شرایط عدم تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نداشت ولی تحت شرایط تنش شوری، هر سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه‌های گندم شدند. این افزایش در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید بیشتر از غلظت ۱ و ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید بود. نتایج حاکی از آن است که کاربرد سالیسیلیک اسید باعث بهبود طول ریشه‌چه و ساقه‌چه به‌ویژه کاربرد غلظت ۱/۵ میلی مولار این محلول در شرایط تنش شوری می‌گردد (جدول ۴). در این تحقیق طول ساقه‌چه نسبت به ریشه‌چه از حساسیت بیشتری نسبت به تنش شوری برخوردار بود که با نتایج سارکر و همکاران (Sarker *et al.,* 2014) در مورد کلزا مطابقت داشت.

با افزایش میزان شوری مقدار فعالیت‌های تجزیه لیپیدها و ساخت مواد در گیاه کاهش می‌یابد. سپس با کاهش فعالیت برخی آنزیم‌ها و اختلال در فتوسنتز باعث کاهش متابولیسم نیتروژن و کربن می‌شود. این موارد سبب کاهش در تقسیم سلولی شده و میزان رشد را کاهش می‌دهد (Poonam *et al.*, 2015). نتایج تحقیقات فرهودی و همکاران (Farhoudi *et al.*, 2007) نشان دادند که افزایش غلظت املاح در محیط جوانه‌زنی بذر سبب ایجاد تنش اسمزی برای بذرها در حال جوانه‌زنی می‌شود و از این طریق جذب آب توسط بافت‌های گیاهچه کاهش می‌یابد.

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش سالیسیلیک‌اسید و تنش شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و غلظت پروتئین گیاه گندم

Table 4- Mean comparisons of interaction salicylic acid and salt stress on of germination indices and seed protein of wheat

سالیسیلیک‌اسید Salicylic acid (mm)	تنش شوری Salt stress (mm)	درصد جوانه‌زنی Germination percent (%)	طول ریشه‌چه Length of radicle (cm)	طول ساقه‌چه Length of plumule (cm)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (gr)	پروتئین بذر Seed protein (%)
0	0	63.38d	7.23d	7.82d	0.51c	0.81a
	50	57.67d	6.04e	6.47e	0.26e	0.76b
	100	46.94e	4.18ef	5.11e	0.42d	0.74b
	150	34.03ef	3.62f	4.18f	0.13g	0.72b
0.5	0	70.14b	10.89a	11.19a	0.69ab	0.76ab
	50	61.43d	8.59c	10.47b	0.63b	0.72b
	100	59.25d	5.83e	8.36d	0.54c	0.69b
	150	39.11e	4.87e	7.89d	0.31e	0.67bc
1	0	79.37ab	10.18b	11.39a	0.74a	0.70b
	50	68.92b	8.92c	10.03c	0.71a	0.65c
	100	63.42d	7.01d	7.11de	0.62b	0.62c
	150	48.81e	5.47e	6.74e	0.33e	0.61cd
1.5	0	88.92a	11.09a	12.04a	0.79a	0.61cd
	50	81.08a	10.41ab	11.58a	0.76a	0.56d
	100	79.29ab	8.72c	9.75c	0.67ab	0.53d
	150	69.34b	6.27d	8.39d	0.37de	0.51d

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نداشتن اختلاف آماری در سطح پنج درصد

The same letters in each column represents no significant difference in the level of 5%

بنا بر گزارشات دولت‌آبادیان و همکاران (Doulatabadian *et a*l., 2008) ساز و کاری که سالیسیلیک‌اسید رشد ریشه و بخش هوائی را در برخی گیاهان افزایش می‌دهد به‌خوبی شناخته نشده است اما احتمال داده می‌شود که سالیسیلیک‌اسید طویل شدن و تقسیم سلولی را به‌همراه مواد دیگری از قبیل اکسین تنظیم نماید (Wilson *et al*., 1994). تیمار گیاه گندم با سالیسیلیک‌اسید، میزان تقسیم سلولی مریستم رأسی ریشه‌های اولیه را که منجر به افزایش رشد طولی می‌شوند را زیاد می‌کند (Shakeri *et al*., 2015). از طرفی فریدودین و همکاران (Fariduddin *et al*., 2003) بیان کردند سالیسیلیک‌اسید از اکسیداسیون اکسین جلوگیری می‌کند که به‌نظر می‌رسد افزایش وزن گیاهچه در ارتباط با افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تأثیر سالیسیلیک‌اسید باشد زیرا تنش شوری سبب کاهش تقسیم سلولی می‌شود. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه (۱۱/۰۹ گرم) مربوط به پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار و عدم تنش شوری و کم‌ترین وزن خشک گیاهچه (۱۱/۰۹ گرم) مربوط به عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید و سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۴). بالاترین وزن خشک گیاهچه به ترتیب در غلظت‌های ۱/۵، ۱ و ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید در شرایط بدون تنش شوری مشاهده شد، اما بین تیمارهای فوق از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بدیهی است که افزایش وزن خشک ناشی از افزایش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه است. وزن خشک گیاهچه‌ها به‌شدت با افزایش غلظت نمک

کاهش می‌یابد. که این نتایج مطابق با نتایج غلام و همکاران (Ghoulam *et al*., 2002) می‌باشد. آن‌ها نیز نشان دادند که تنش شوری سبب کاهش رشد اندام‌هوائی و ریشه می‌شود. هم‌چنین گزارش شده است که مصرف سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش وزن خشک گیاهچه‌های گندم می‌شود (Doulatabadian *et al*., 2008). سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش وزن تر و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه‌های ذرت در شرایط تنش شوری شده است (Khodary, 2004). نتایج تحقیقات ال-تایب (El-Tayeb, 2005) نیز مشخص کرد که پیش‌تیمار نمودن بذرها با سالیسیلیک‌اسید وزن خشک گیاهچه‌های جو تحت تنش شوری را افزایش داد. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیش‌ترین محتوای پروتئین بذر (۰/۸۱ درصد) مربوط به تیمارهای عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید و عدم تنش شوری و کم‌ترین محتوای پروتئین بذر (۰/۵۱ درصد) مربوط به پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار و سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۴). تنش شوری محتوای پروتئین بذر را در تیمارهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش می‌دهند. سالیسیلیک‌اسید از اکسید شدن و تخریب ساختار پروتئین‌ها جلوگیری می‌کند. محتوای پروتئین به میزان اختلاف بین سنتز و تجزیه آن بستگی دارد. پژوهش‌گران متعددی کاهش مقدار پروتئین و افزایش نیترات، آمونیوم و اسیدهای آمینه آزاد را تحت شرایط شور گزارش کرده اند (Doulatabadian *et al*., 2008). کاهش در محتوای پروتئین هم‌چنین می‌تواند به‌دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌های نیترات ردوکتاز، گلوتامین سنتتاز و گلوتامین ۲-اگزالوگلوتارات آمینو ترانسفراز در اثر تنش شوری باشد. سالیسیلیک‌اسید یک پاداکساینده غیرزیمایه‌ای است که در سنتز پروتئین‌های خاصی بنام پروتئین کیناز نقش دارد این پروتئین‌ها نقش مهمی در تنظیم تقسیم، تمایز و ریخت‌زایی دارد (Doulatabadian *et al*., 2008). نتایج به‌دست آمده از تأثیر شوری و پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید بر محتوای پروتئین بذر با گزارش‌های رحیمی‌تشی و نیکنام (Rahimi Tashi and Niknam, 2015) روی گیاه گندم مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک‌اسید باعث بهبود درصد سبز شدن و رشد گیاهچه‌های گندم می‌شود. جوانه‌زنی بذرهای پیش‌تیمار شده نسبت به بذرهای شاهد زودتر آغاز شده، در نتیجه این بذرها سریع‌تر رشد می‌کنند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش درصد جوانه‌زنی، رشد طولی ریشه‌چه، ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و کاهش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای پروتئین بذر در محیط شور گردید. از طرفی پیش‌تیمار بذر گندم با سالیسیلیک‌اسید ۱/۵ میلی‌مولار اثر مثبتی بر جوانه‌زنی داشته و با تأثیر بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه سبب افزایش تحمل گیاهچه‌های گندم تحت تنش شوری می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت که پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید می‌تواند راهکار مناسبی برای کاهش اثرات مضر ناشی از تنش شوری در گندم باشد.

منابع

Reference

Aebi, H. 1984. Catalase in Vitro. 105: 121-126, In: Packer, L., (Ed.), Methods in Enzymology, Academic Press, San Diego, U.S.

Afkari, A. 2017. Effect of seed priming on germination characteristics and some antioxidant enzymes activity of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. Dev. Biol. 9(3): 33-44. (In Persian, with English Abstract)

Agarwal, S., R.K. Sairam, G.C. Srivatava, and R.C. Meena. 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. Biotechnol. Plantarum. 49(4): 541-550.

Aminzadeh, GH. R., M. Ghasemi, and SH. Shahalinajad. 2015. The bread wheat "Mihan" cultivar suitable for cultivation in Ardabil provience cold regions. Extension Manual. 53:1-12. (In Persian, with English Abstract)

Arfan, M., H.R. Athar, and M. Ashraf. 2007. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress. J. Plant Physiol. 164(6): 685-694. (In Persian, with English Abstract)

Ashraf, M., and Q. Ali. 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environ. Exp. Bot. 63: 266-273.

Azooz, M. 2009. Salt stress mitigation by seed priming with salicylic acid in two faba bean genotypes differing in salt tolerance. Int. J. Agric. Biol. 11: 343-350.

Beauchamp, C.O., and I. Fridovich. 1971. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Anal. Biochem. 44: 276–287.

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

Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annu. Rev. Biochem.72: 248-254.

Cakmak, I., and W. Horst. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glysin max*). Plant Physiol. 83:463-468.

Chance, B., and A.C. Maehly. 1955. Assay of catalases and peroxidase. Methods Enzymol. 2:764–775.

Chen, Z., J.R. Ricigliano, and D.F. Klessig. 1993. Purification and characterization of a soluble salicylic acid binding protein from tobacco. J. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S Am. 90: 9533-9537.

Chiu, K.Y., S.J. Chuang, and J.M. Sung. 2006. Both anti-oxidation and lipid-carbohydrate conversion enhancements are involved in priming-improved emergence of *Echinacea purpurea* seeds that differ in size. Sci. Hortic. (Amsterdam) 108:220–226.

Dixit, V., V, Pandey, and, R. Shyam. 2001. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum*). J. Exp. Bot. 52: 1101- 1109.

De Vos, C., H. Schat, M. De Waal, R. Vooijs, and W. Ernst. 1991. Increased to copper-induced damage of the root plasma membrane in copper tolerant silene cucubalus, Plant Physiol. 82:523-528.

Dong, C.J., X.L. Wang, and Q.M. Shang. 2011. Salicylic acid regulates sugar metabolism that confers tolerance to salinity stress in cucumber seedlings. Sci. Hortic. 129(4): 629-636.

Doulatabadian A., S.A.M. Modarres Sanavy, and F. Etemadi. 2008. Effect of pretreatment of salicylic acid on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination under salt stress. J. Biol. 21(4): 692-702. (In Persian, with English Abstract)

El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. J. Plant Growth Regul. 45:2 15-225.

El Naim, A.M., E.M. Khawla, E.A. Ibrahim, and N.N. Suleiman. 2012. Impact of Salinity on Seed Germination and Early Seedling Growth of three Sorghum (*Sorghum biolor* L.) Cultivars. J. Sci. Technol. 2: 16-20.

Farhoudi, R., F. Sharifzadeh, K. Poustini, M.T. Makkizadeh, and M. Kochak pour. 2007. The effects of NaCl priming on salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.) seedlings grown under saline conditions. Seed Sci. Technol. 35: 754-759. (In Persian, with English Abstract)

Fariduddin, Q., S. Hayat, and A. Ahmad. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthetica. 41 (2): 281-284.

Farooq, M., T. Aziz, S.M. Barsa, A.M.A. Cheema, and H. Rehman. 2008. Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid. J. Agron. Crop Sci. 194: 161-168.

Gautam, S., and P.K. Singh. 2009. Salicylic acid-induced salinity tolerance in corn grown under NaCl stress. Acta Physiol. Plantarum J. 31: 1185-1190.

Ghanati, F. A. Morita, and H. Yokota, 2002. Induction of suberin and increase of liginin content by exess Boron in Tabacco cell. Soil Sci. Plant Nutr. 48:3:357-364.

Ghoulam, C.F., F. Ahmed, and F. Khalid. 2001. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environ. Exp. Bot. 47: 139–50.

Girolamo, G.Di., and L. Barbanti. 2012. Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. Ital. J. Agron. 7: 178-188.

Hamid, H., K. Rehman, and Y. Ashraf. 2010. Salicylic acid–induced growth and biochemical changes in salt-stressed wheat. Common. Soil Sci. Plant Anal. 41:373-389. (In Persian, with English Abstract)

Hassanpour Darvishi, H. 2015. Effect of lead and zinc and mycorhiza fungi role on antioxidant enzymes activity and biomarkers of destruction in alfalf, green pea and vetch. Crop Physiol. J. 6(24):73-88. (In Persian, with English Abstract)

Health, R.L., and L. Packer. 1969. Phytoperoxidation in isolate chloroplast .I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch. Biochem. Biophys. 125:189-198.

Holy, M.C. 1972. Indole acetic acid oxidase: a dual catalytic enzyme. Plant Physiol. 50: 15-18.

Hernandez, J.A., M.A. Ferrer, A. Jimenez, A.R. Barcelo, and F. Sevilla, 2001. Antioxidant systems and O_2-/ H_2O_2 production the apoplast of pea leaves. Its relation with salt- induced necrotic lesions in minor veins. Plant Physiol. 127: 827-831.

Horváth, E, T. Janda, G. Szalai, and E. Páldi. 2002. In vitro salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isoenzymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. Plant Sci. 163:1129-1135.

Kaydan, D., and M. Yagmur, 2008. Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. Afr. J. Biotechnol. 7: 2862-2868.

Khodary, S.E.A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. Int. J. Agric. Biol. 6: 5–8.

Kiarostemi, KH., S.A. Sadri, N. Abdolmaleki, and O. Saboura. 2014. Influence of of salycilic acid on antioxidant enzyme system in Brassica napus under salt strees. J. Appl. Biol. 27(2): 85-106. (In Persian, with English Abstract)

Lin, Y., L. Yang, M. Paul, Y. Zu, and Z. Tang. 2013. Ethylene promotes germination of Arabidopsis seed under salinity by decreasing reactive oxygen species: Evidence for the involvement of nitric oxide simulated by sodium nitroprusside. Plant Physiol. Biochem. 73: 211-218.

Maasoumi, G., M. Lahouti, and H. Mahmoodzadeh. 2016. Effect of combined application of salicylic acid and zinc on germination indices and vegetative growth of mung bean (*Vigna radiata* L.). J. Plant Physiol. 8(30): 121-133.

Mishra, N.P., R.K. Mishra, and G.S. Singhal. 1995. Changes in the activities of anti-oxidant enzymes during exposure of intact wheat leaves to strong visual light at different temperatures in the prescence of protein synthesis inhibitors. Plant Physiol. 102: 903–910.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. Annu. Rev. Plant Sci. 7: 405-415.

Mohammdkhani, N., and R. Heidari, 2007. Effects of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. Pakistan J. Biol. Sci. 10 (21): 3835-3840.

Pakmehr, A., F. Shekari, and M. Rastgoo. 2014. Effect of seed priming by salicylic acid on some photosynthetic traits of cowpea under water deficit in flowering stage. Iranian J. Res. 5(2): 19-30.

Palma, F., M. Lopez-Gomez, N.A. Tejera, and C. Lluch. 2013. Salicylic acid improves the salinity tolerance of *Medicago sativa* in symbiosis with *Sinorhizobium meliloti* by preventing nitrogen fixation inhibition. Plant Sci. 208: 75-82.

Pan, Y., L.J. Wu, and Z.L Yu. 2006. Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). Plant Growth Regul. 49: 157-165.

Poonam Bhardwaj, R., R. Kaur, S. Bali, P. Kaur, G. Sirhindi, and A.P. Vig. 2015. Role of various hormones in photosynthetic responses of green plants under environmental stresses. Curr. Protein Peptide Sci. 16(5): 435-449.

Rahimi Tashi, T., and V. Niknam. 2015. Evaluation of salicylic acid pretreatment and salinity effect on some physiological and biochemical parameters in *Triticum aestivum* L. J. Plant Res. (Iranian J. Biol). 28(2): 297-306. (In Persian, with English Abstract)

Rahmani Iranshahi, D., M. Sepehri, A.H. Khoshgoftarmanesh, H.R. Eshghizadeh, and V. Jahandideh Mahjen Abadi. 2016. Inoculation effects of endophytic fungus (Piriformospora indica) on antioxidant enzyme activity and wheat tolerance under phosphorus deficiency in hydroponic system. J. Seed Technol. 6(4): 75-86. (In Persian, with English Abstract)

Sairam, R.K., K. Veerabhadra Rao and, G.C. Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Sci. 163:1037-1046.

Sarker, A., I. Hossain, and A. Kashem. 2014. Salinity (NaCl) tolerance of four vegetable crops during germination and early seedling growth. J. Ecol. Environ. Sci. 1:11-18.

Shakeri, S., F. Saeid Nematpour, and A. Akbar Safipour. 2014. Effect of salicylic acid and ethephon on seed germination and seedling growth of wheat under salt stress. J. Crop Ecophysiol. 3(7): 779-790. (In Persian, with English Abstract)

Shakirova, F.M., A.R. Sakhabutdinova, M.V. Bezrukova, R.A. Fatkhutdinova, and D.R. Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Sci. 164: 317-322.

Shinwari, K.I., M. Jan, G. Shan, S.R. Khattak, S. Urehman, M.K. Daud, R.A. Naeem, and M. Jami. 2015. Seed priming salicylic acid induces tolerance against chromium (VI) Toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). Pakistan J. Bot. 47: 161-170.

Szepesi, A., J. Csiszar, S. Bajkan, K. Gemes, and F. Horvath. 2005. Role of salicylic acid pretreatment on the acclimation of tomato plants to salt- and osmotic stress. Acta Biologica Szegediensis. 49: 123-125.

Tari, I., J. Csiszár Szalai, G. Horváth, F. Pécsváradi, A. Kiss, G. Szepesi, Á.M. Szabó, and. L. Erdei. 2002. Acclimation of tomato plants to salinity stress after a salicylic acid pre-treatment. Acta Biologica Szegediensis. 46(3-4): 55-56.

Wilson, C., R.A. Clark, and G.C. Shearer. 1994. Effect of salinity on the plasma membrane ATPase from tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) leaves. Plant Sci. 103(1): 1-9.