علوم و تحقیقات بذر ایران
سال پنجم/ شماره سوم/ ۱۳۹۷ (۸۸ - ۷۷)

DOI: 10.22124/jms.2018.2936

تاثیر نیتریک اکسید بر جوانه‌زنی و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کنجد (*Sesamun indicum*) تحت تنش شوری

علیرضا فتحی[۱*]، مهدی برادران فیروزآبادی[۲]، محمدرضا عامریان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۶

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی تأثیر نیتریک اکسید از منبع سدیم نیتروپروساید بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کنجد تحت تنش شوری به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه مرکز تحقیقات بذر کاشمر اجرا شد. تیمارها شامل پیش تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید در شش سطح (بدون پیشتیمار، آب مقطر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار) و تنش شوری در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار در لیتر) بود. نتایج نشان داد که تنش شوری موجب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی کنجد شد. پیش تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن ریشه چه و ساقه چه در شرایط تنش شد و عملکرد بذر را بهبود بخشید. همچنین فعالیت آنزیم های سوپراکسیددیسموتاز، گلوتاتیون ردوکتاز و آسکوربات پراکسیداز نیز تحت تیمارهای نیتریک اکسید افزایش یافت در حالی که فعالیت آنزیم کاتالاز و محتوای مالون دی آلدئید به عنوان شاخص تخریب غشاء کاهش یافت. به طور کلی غلظت مناسب و کارا برای کاهش اثرات شوری در گیاهچه کنجد در این آزمایش غلظت ۱۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروسایدبود، همچنین به نظر می رسد غلظت‌های بالاتر از ۱۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید، اثرات سمیت نیتریک اکسید را بر سلول القا کند.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، سدیم نیتروپروساید، سرعت جوانه‌زنی

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
*نویسنده مسئول: Alireza.fathi.af@gmail.com

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum L.*) گیاهی است یکساله و دیپلوئید (۲n=۲۶) که در رده‌بندی گیاهی در راسته توبی-فلوره[1]، خانواده پدالیاسه[2]، جنس سزامی و گونه ایندیکوم قرار دارد (Akpan *et al.,* 2007). کنجد که از آن به عنوان ملکه گیاهان روغنی یاد می‌شود، از جمله مهمترین دانه‌های روغنی و خوراکی در کشاورزی سنتی نواحی گرم به شمار می‌رود که سابقه کشت و کار آن به بیش از ۵۰۰۰ سال می‌رسد. این گیاه در نواحی با خشکی و گرمای شدید که امکان کشت گیاهان دیگر وجود ندارد، قابل کشت و کار می‌باشد (Langham *et al.,* 2006). کنجد محصول نواحی گرم است و در فاصله عرض جغرافیایی ۳۵ درجه جنوبی تا ۴۰ درجه شمالی و غالباً تا ارتفاع ۱۷۰۰ متر از سطح دریا کاشته می‌شود (Akpan *et al.,* 2007). گیاه کنجد ریشه توسعه یافته‌ای دارد که آن را تا حدی به خشکی مقاوم می‌سازد. لذا در سالهای اخیر به علت افت منابع آب و افزایش شوری آب آبیاری بویژه در مناطق گرم و خشک مرکز و شرق ایران عمده مشکل و تهدید زراعت این محصول مهم تنش شوری میباشد.

شوری پس از خشکی به‌عنوان مهمترین تنش غیر زنده شناخته می‌شود و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی را در مناطق مختلف دنیا تحت تاثیر قرار می‌دهد. غلظت یون‌های معدنی در محیط گیاه می‌تواند از نقصان و کمبود تا وفور متفاوت باشد. از واژه تنش شوری برای بیان وجود بیش از حد یون‌ها (کاتیون‌ها و آنیون‌ها)، در محلول خاک استفاده می‌شود. این املاح در درجه اول سدیم، کلر و سپس بی‌کربنات‌ها، سولفات‌ها می‌باشند. شوری از طرق مختلفی موجب کاهش رشد و پتانسیل تولیدی گیاهان می‌شود. تجمع یون‌های سدیم و کلر در خاک علاوه بر اثر سمی که بر گیاه دارد، سبب کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک می‌شود و گیاه را در جذب آب با مشکل روبرو می‌کند. در نتیجه گیاه دچار نوعی خشکی فیزیولوژیک یا تنش اسمزی می‌شود. از طرفی برهم‌کنش بین نمک‌ها و مواد غذایی خاک باعث بر هم زدن تعادل یونی محلول خاک می‌شود (Bor *et al.,* 2002). پیامد این اثرات سرانجام بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تثبیت CO_2 در گیاه است. فاکتورهای غیرروزنه‌ای از قبیل آنزیم‌های فتوسنتزی و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل و کاروتنوئید نیز به‌وسیله شوری تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Bor *et al.,* 2002).

گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل آسیب‌رسان به سلول‌ها، تحت تنش‌های زیستی و غیرزیستی مطرح می‌باشند. سوپراکسید (O_2)، پراکسیدهیدروژن (H_2O_2)، هیدروکسیل (HO) و اکسیژن مولکولی ازجمله گونه‌های فعال اکسیژن هستند که میزان آنها تحت شرایط تنش در گیاهان افزایش می‌یابد (Mittler *et al.,* 2004). این گونه‌های اکسیژن برای سلول سمی می‌باشند و به‌طور جدی با مولکول‌های حیاتی از جمله لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلوئیک واکنش می‌دهند و موجب پراکسیداسیون لیپیدها، دناتوره شدن پروتئین‌ها و تغییر و جهش در DNA می‌شوند (Kenneth, 1990). غشای سلول اولین مکانی است که تحت تنش شوری دچار آسیب و خسارت می‌شود. گونه‌های فعال اکسیژن قادرند با اسیدهای چرب اشباع نشده غشاء واکنش دهند. پراکسیداسیون غشای پلاسمالما منجر به نشت محتویات سلول و نهایتاً مرگ سلول می‌شود. بنابراین از استحکام غشای سلولی به‌عنوان یک شاخص مهم در تفاوت بین ارقام مقاوم و حساس به شوری استفاده می‌شود (Meloni *et al.,* 2003). گیاهان برای مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن بسته به ظرفیت ژنتیکی-شان سیستم‌های دفاعی آنتی اکسیداتیو را در خود گسترش می‌دهند. در این میان آنزیم‌های آنتی اکسیدان نقش مهمی در پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن از طریق یکسری واکنش‌های پیچیده ایفا می‌کنند. این واکنش‌ها شامل تبدیل اکسیژن مولکولی (O_2) به پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به‌وسیله آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و سمیت زدایی H_2O_2 بوسیله آنزیم‌های متعددی از قبیل پراکسیداز (POX)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، کاتالاز (CAT) وگلوتاتیون ردوکتاز (GR) می-باشد. کوکا و همکاران(Koca *et al.,* 2007) تأثیر تنش شوری را بر غلظت مالون دی‌آلدئید و آنزیم‌های آنتی اکسیدانی دو ژنوتیپ کنجد بررسی کردند. نتایج نشان داد که غلظت مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در هر دو ژنوتیپ با افزایش سطح تنش افزایش پیدا کرد. بذرافشان و احسان‌زاده (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2016)

[1]-Tubiflorae
[2]-Pedaliaceae

پاسخ هفت ژنوتیپ کنجد را به سه سطح شوری (صفر، ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم) در محیط آبکشت بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش شوری از سطح شاهد به سطح ۶۰ میلی‌مولار میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز و سوپراکسید دیسموتاز در ژنوتیپ‌های مورد بررسی افزایش یافت.

امروزه استفاده از ترکیباتی به منظور کاهش اثرات تنش در گیاهان مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. از جمله این ترکیبات می‌توان به نیتریک اکسید اشاره کرد. سدیم نیتروپروساید به صورت پودری قرمز رنگ و یک تنظیم کننده رشد گیاهی است. این ترکیب قادر به رها کردن نیتریک اکسید است که در حالت معمول به شدت به نور حساس بوده و تجزیه آن توسط اکسیژن و دمای زیاد تسریع می‌شود (Wieczorek *et al.*, 2006). نیتریک اکسید در تحریک جوانه‌زنی بذر، تقسیم سلولی، افزایش میزان کلروفیل و بسیاری از اعمال دیگر سلول دخالت دارد و قادر است با گونه‌های فعال اکسیژن واکنش داده و آسیب ناشی از آنها را کاهش دهد (Beligni and Lamattina, 2000). سدیم نیتروپروساید سبب توسعه برگ و ریشه می‌شود و پیری را به تأخیر می‌اندازد. این ماده در طی تنش‌های مختلف به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند (Leshem and Pinchasov, 2000). در رابطه با تاثیر نیتروپروساید در کاهش آثار تنش شوری، Uchida و همکاران (۲۰۰۲) با کاربرد غلظت یک میکرومولار SNP در گیاهچه های برنج، محافظت در برابر خسارت اکسیداتیو و افزایش تحمل به تنش اسمزی را گزارش کردند. در پژوهش انجام شده توسط فاروق و همکاران (Farooq *et al.*, 2009)، کاربرد خارجی سدیم نیتروپروساید موجب افزایش تحمل برنج به تنش خشکی، افزایش وزن خشک گیاهچه و افزایش ارتفاع گیاه شد. با توجه به موارد ذکر شده این آزمایش با هدف بررسی تأثیر نیتریک اکسید بر شرایط جوانه‌زنی و برخی فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی گیاهچه کنجد تحت تنش شوری اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر نیتریک اکسید بر ویژگی های جوانه زنی و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی کنجد آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه تحقیقات بذر ایستگاه تحقیقات شرق کشور انجام شد. ژنوتیپ کنجد (اولتان) مورد آزمایش، از مرکز تحقیقات نهال و بذر کرج تهیه شد. تیمارها شامل پیش تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید در شش سطح (بدون پیشتیمار، آب مقطر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار) و تنش شوری در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار در لیتر) بود. بذور کنجد به روش خیساندن با غلظت‌های مذکور سدیم نیتروپروساید پیش تیمار شدند. محیط کشت در این آزمایش ظروف پتری استریل شده به قطر ۹ سانتیمتر و ضخامت ۱۵میلی‌متر که قبلاً در آون ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت استریل شده بودند بود که در کف آن یک عدد کاغذ صافی واتمن شماره ۱ استریل شده قرار گرفت. در هر ظرف به عنوان یک واحد آزمایشی ۳۰ عدد بذر سالم قرار داده شد. بذور جهت ضدعفونی به مدت ۳۰ ثانیه در محلول وایتکس ۱۰٪ غوطه ور و بلافاصله با آب مقطر فراوان شستشو شدند. محلول‌های حاوی نمک کلرید سدیم به مقدار مورد نیاز تهیه و پس از انتقال بذور به محیط کشت، ۵ میلی لیتر از محلول تیمار مورد نظر به هر ظرف اضافه گردید. به منظور جلوگیری از تبخیر و نفوذ آلودگی اطراف پتری دیش‌ها با استفاده از نوار پارافیلم بسته شد، سپس پتری دیش‌ها در داخل ژرمیناتور با دمای ۱±۲۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. بذرها به طور روزانه و در ساعت معینی بازبینی و تعداد بذور جوانه زده (دارای طول ریشه‌چه حداقل ۲ میلی‌متر) ثبت شدند. برای محاسبه درصد جوانه زنی، از روش معمول نسبت بذرهای جوانه زده به کل بذر استفاده شده استفاده شد. سرعت جوانه‌زنی نیز از طریق معادله ماگوئر محاسبه شد.

$$\mathrm{Rs} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Si}{Di} \qquad (۱)$$

که در این معادله Si تعداد بذور جوانه زده در هر شمارش و Di تعداد روز شمارش تا روز nام می‌باشد.

بعد از گذشت ۷ روز، طول ریشه چه، طول ساقه چه، وزن خشک ریشه چه، وزن خشک ساقه چه و وزن خشک باقیمانده اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در دستگاه آون به مدت ۴۸ ساعت خشک و توزین نمونه ها به وسیلهٔ ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم صورت گرفت. در این آزمایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و

پراکسیداسیون لیپید گیاهچه نیز همزمان مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌این‌منظور ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه ساقه‌چه تازه را که با آب مقطر شسته و خشک شده است با ۵ میلی‌لیتر از محلول استخراج، حاوی ۰/۱ مول فسفات پتاسیم بافر (pH= ۷/۵) و ۰/۵ میلی‌مول EDTA، بوسیله هاون نرم سائیده و مخلوط حاصل از تنظیف عبور داده‌شد. سپس این محلول داخل تیوپ‌های ۱/۵ میلی‌لیتری ریخته شد و به مدت ۱۵ دقیقه بوسیله سانتریفوژ یخچال دار با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتیگراد جداسازی گردید. مایع شفاف داخل تیوپ که حاوی عصاره آنزیمی مورد نظر بود، جهت تعیین میزان فعالیت آنتی اکسیدان‌های سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، گلوتاتیون ردوکتاز (GR) و آسکوربات پراکسیداز (APX) مورد استفاده قرارگرفت.

جهت تعیین میزان فعالیت SOD از روش سایرام و همکاران (Sairam and Srivastava, 2001) استفاده شد. برای تهیه ترکیب واکنش از ۱۳ میلی مول متیونین، ۲۵ میکرومول نیتروبلوتترازولیوم (NBT)، ۶ میکرومول محلول ۰/۵مولار EDTA، ۱/۵ میلی‌لیتر از محلول ۱ مولار فسفات بافر(pH= ۷/۸)، ۶۰ میکرومول ریبوفلاوین ۱میلی‌مولار و ۵۰ میلی مول سدیم بیکربنات استفاده شد. سپس ۲/۹ میلی‌لیتر از مخلوط حاصل را داخل تیوپ استریل ریخته، بلافاصله پس از افزودن ۲ میکرومول ریبوفلاوین و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی، به مدت ۱۵ دقیقه زیر نور لامپ فلورسانس ۱۵×۲ وات قرار داده شد. جهت تعیین میزان فعالیت آنزیم SOD مخلوط حاصل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر در دمای ۲± ۲۳ درجه سانتیگراد طیف‌سنجی گردید.

برای تعیین میزان فعالیت کاتالاز موجود در عصاره آنزیمی از روش سایرام و همکاران (Sairam *et al.*, 2002) استفاده شد. بدین ترتیب که ترکیبی از ۱۵ میکرولیتر H_2O_2 و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی برداشته و با استفاده از محلول ۰/۱ مولار فسفات بافر (pH=۷) حجم محلول را به ۳میلی‌لیتر رسانده شد. سپس ترکیب حاصله در طول موج ۲۴۰ نانومتر، در مدت ۵ دقیقه هر ۵ ثانیه یکبار، مورد طیف سنجی قرار گرفت.

به‌منظور تعیین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز از روش فویر و هاویل (Foyer and Halliwell, 1976) استفاده شد. برای طیف سنجی ترکیب واکنش، ۱میلی‌لیتر فسفات پتاسیم بافر ۰/۲ مولار(pH =۷/۵) را که حاوی ۱ میلی مول EDTA، ۰/۵ میلی‌لیتر DTNB ۳ میلی‌مولار حل شده در ۰/۰۱ مول فسفات بافر pH =۷/۵، با ۰/۱ میلی‌لیتر NADPH ۲ میلی‌مولار بود، با ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی مخلوط نموده و بلافاصله پس از افزودن ۰/۱ میلی‌لیتر از گلوتاتیون اکسید شده ۲ میلی‌مولار ، در طول موج ۴۱۲ نانومتر و در مدت ۱۰دقیقه، هر ۱۵ ثانیه یکبار، مورد طیف سنجی قرار گرفت.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در یک میلی‌لیتر بافر واکنش به صورت ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم با pH=۷، ۰/۵ میلی‌مولار اسکوربیک اسید، ۰/۱ میلی‌مولار EDTA، ۱/۲۵ میلی‌مولار آب اکسیژنه و ۶۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اندازه‌گیری شد. کاهش جذب آسکوربات پراکسیداز در اثر فعالیت آسکوربات پراکسیداز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۹۰ نانومتر در مدت یک دقیقه اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که ضریب خاموشی آسکوربات پراکسیداز برابر $mM^{-1}cm^{-1}$ ۲/۸ در نظر گرفته شد (Nakano and Asada, 1981). میزان مالون دی‌آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپید (MDA) بر اساس واکنش تیوباربیتوریک (TBA) اندازه گیری شد. ضریب خاموشی $155\ mM^{-1}cm^{-1}$ در نظر گرفته شد (Heath and Packer, 1968). تجزیه آماری نتایج با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد.

نتایج و بحث

درصد و سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر شوری و نیتریک اکسید بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور کنجد معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین اثر متقابل دو عامل شوری و پیش تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید در سطح ۵ احتمال درصد بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۱). سرعت جوانه‌زنی در شوری ۵۰ میلی‌مولار، ۲۱ درصد و در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، ۵۵ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم تنش) کاهش یافت (جدول ۲). احتمال دارد کاهش سرعت جوانه‌زنی به سبب اختلال در جذب آب توسط بذر و کندی فعالیت‌های آنزیمی درون بذر باشد

که درنهایت، سبب می‌شود زمان لازم برای خروج ریشه‌چه افزایش یابد و یا به‌عبارت‌دیگر سرعت جوانه‌زنی کاهش نشان دهد. مشاهده شده است که سرعت جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی ارقام در تحمل به تنش است، به‌گونه‌ای که ارقام با سرعت جوانه‌زنی بالا در شرایط تنش شوری، امکان سبز شدن سریع‌تری نسبت به سایر ارقام دارند همچنین، ممکن است سرعت جوانه‌زنی به مقاومت پوسته بذر در کنترل و جذب آب و به نوع ژنوتیپ نیز بستگی داشته باشد. با افزایش شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافته به‌طوری‌که سرعت جوانه‌زنی حساس‌تر از درصد جوانه‌زنی بود (Abnoos, 2001). مطالعه محمود و همکاران (Mahmood et al., 2003) نیز نشان داد که درصد جوانه زنی بذور ارقام کنجد در شرایط کاربرد ۱۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بین حدود ۱۰ تا ۶۰ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. در مطالعه فاضلی کاخکی و همکاران (Fazeli et al., 2014) تنش شوری موجب کاهش درصد جوانه زنی اکوتیپ های کنجد گردید.

صرف‌نظر از شوری، پیش تیمار بذر کنجد با سدیم نیتروپروساید موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی گردید به طوری که کمترین سرعت جوانه‌زنی متعلق به تیمار شاهد بود (جدول ۲). سرعت جوانه زنی در تیمار ۱۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید، ۲۷/۳۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت، با این حال این تیمار باتیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۲). جیبا و همکاران (Giba *et al.,* 1998) افزایش سرعت جوانه زنی بذور درخت را در حضور نیتریک اکسید گزارش کردند. اگرچه درصد جوانه زنی بذور کنجد تحت تنش شوری کاهش یافت ولی این میزان کاهش در اثر پیش تیمار بذور با سدیم نیتروپروساید تقلیل یافت (شکل ۱ الف). بطوریکه بیشترین میزان افت در درصد جوانه زنی مربوط به تیمار شاهد (عدم پیش تیمار) تحت تنش ۱۰۰ میلی مولار بود و کمترین کاهش متعلق به تیمارهای ۱۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید تحت تنش ۱۰۰ میلی مولار بود (شکل ۱ الف). بلیگنی و لاماتینا (Beligni and Lamattina, 2000) گزارش کردند که مصرف خارجی نیتریک اکسید موجب القای مقاومت به شوری و افزایش جوانه زنی می‌گردد.

وزن خشک ساقه چه و ریشه چه

شوری و نیتریک اکسید تاثیر معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) بر وزن خشک ساقه چه و ریشه چه کنجد داشتند (جدول ۱). وزن خشک ساقه چه و ریشه چه تحت تنش شوری ۵۰ میلی مولار به ترتیب ۱۲ و ۲۵ درصد و تحت تنش ۱۰۰ میلی مولار به ترتیب ۵۰ و ۴۵ درصد نسبت به تیمار شاهد عدم تنش کاهش یافتند (جدول ۲). ریشه‌چه به سبب آنکه گیاه را در ارتباط مستقیم با خاک قرار می‌دهد و جذب آب و املاح را در ابتدای زندگی گیاه میسر می‌سازد و ساقه چه به دلیل فراهم نمودن مواد موردنیاز گیاه از ریشه‌چه و انجام فرایند فتوسنتز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. مطالعات نشان داده است که گیاهان در محیط شور جهت تحمل شرایط تنش ناچار به ساخت مواد آلی مانند پرولین و گلایسین و تجمع املاح معدنی جهت انجام تنظیم اسمزی می‌باشند .با توجه به اینکه ساخت این مواد نیازمند صرف انرژی است، لذا در این شرایط رشد گیاه با کاهش مواجه شده و وزن خشک گیاهچه کاهش می‌یابد. ازاین‌رو کاهش وزن خشک ساقه چه در این گیاه کنجد را می‌توان به انرژی‌ای نسبت داد که این گیاه به‌منظور بروز پاسخ‌های مقاومت به تنش صرف کرده است. والدیانی و همکاران (Valdiani *et al.,* 2005) کاهش وزن خشک ساقه چه و ریشه چه را تحت تنش شوری گزارش کردند. از طرفی، پیش تیمار بذور با سدیم نیتروپروساید در غلظت های مختلف موجب افزایش وزن خشک ساقه چه و ریشه چه در مقایسه با تیمارهای عدم مصرف سدیم نیتروپروساید شد (جدول ۲). بیشترین وزن خشک ساقه چه و ریشه چه به ترتیب ۲/۹۴ و ۲/۶۴ میلی گرم بود که در تیمار ۱۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که بین افزایش غلظت و وزن خشک ریشه‌چه رابطه خطی و مستقیمی وجود ندارد. به عبارت بهتر افزایش ۴ برابری در غلظت سدیم نیتروپروساید نه‌تنها افزایش در مقدار وزن خشک ریشه‌چه را در پی نداشته بلکه سبب کاهش بسیار جزئی و غیر معنی‌دار در میزان این صفت نسبت به غلظت ۵۰ سدیم نیتروپروساید شده است. وایشنای و همکاران (Vaishnav *et al.,* 2013) بیان کردند مصرف خارجی نیتریک اکسید موجب تعدیل اثرات منفی شوری در گیاه سویا شد.

طول ساقه چه و ریشه چه

طول ساقه چه و ریشه چه کنجد بطور معنی داری متاثر از دو عامل شوری و نیتریک اکسید بود (جدول ۱). بطوریکه تنش شوری ۵۰ میلی مولار موجب کاهش ۲۰ و ۲۷ درصدی طول ساقه چه و ریشه چه کنجد گردید. در حالی که این مقدار کاهش تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار به ترتیب ۴۴ و ۵۰ درصد بود (جدول ۲). شوری از طریق محدود کردن هیدرولیز ذخایر غذایی و همچنین ممانعت از انتقال آنها به سمت محور جنینی سبب کاهش طول ساقه‌چه می‌شود (Dakhil and Denden, 2010). علاوه بر آن، کاهش جذب آب از طریق بذر در شرایط تنش باعث کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و درنتیجه اختلال در رشد گیاه چه ساقه چه و ریشه‌چه می‌شود (کافی و همکاران، ۲۰۰۵). در بررسی‌هایی که بر روی ارقام مختلف گلرنگ و آفتابگردان با اعمال تنش شوری به‌عمل‌آمده مشاهده شد که درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه و ساقه چه و نیز وزن خشک آن‌ها با افزایش سطح شوری کاهش یافت. تحقیقات نشان داده است که با افزایش شوری، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، نسبت به شاهد بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Valdiani *et al.,* 2005). در آزمایش فاضلی کاخکی و همکاران (Fazeli *et al.,* 2014) طول ساقه چه اکوتیپ های کنجد تحت تنش شوری کاهش یافتند. اعتصامی و گالشی (Etesami and Galeshi, 2008) گزارش کردند که حساسیت ریشه چه به تنش شوری در جو بیشتر از ساقه چه است. نتایج مشابهی توسط زینعلی و همکاران (Zeinali *et al.,* 2001) بر روی کلزا در دسترس است.

صرف نظر از شوری، طول ساقه چه و ریشه چه تحت تاثیر پیش تیمار با سدیم نیتروپروساید در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۲). بیشترین طول ساقه چه و ریشه چه به ترتیب ۲۴/۶ و ۳۵/۲ میلی متر بود که در تیمار ۱۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید دیده شد. این در حالی است که بین تیمارهای مختلف سدیم نیتروپروساید از لحاظ طول ریشه چه اختلاف معنی داری مشاهده نشد. همچنین کمترین طول ریشه چه و ساقه چه متعلق به تیمار شاهد (عدم پیش تیمار) بود (جدول ۲).

محتوای مالون دی‌آلدئید

اثر شوری، نیتریک اکسید و اثر متقابل دو عامل بر محتوای مالون دی آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). میزان افزایش محتوای مالون دی آلدئید تحت تنش شوری با استفاده از پیش تیمار سدیم نیتروپروساید کاهش یافت (شکل ۱ب). همچنین عدم پیش تیمار بذر تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار منجر به افزایش ۲/۴ برابری محتوای مالون دی آلدئید شد (شکل ۱ ب). مالون دی آلدئید در اثر پر اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع توسط گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌شود. تغییر در پر اکسیداسیون لیپیدها به‌عنوان شاخص میزان خسارت اکسایشی در موجودات زنده محسوب می‌گردد. به نظر می‌رسد دلیل اصلی خسارت شدید به غشای سلولی تولید رادیکال‌های سوپراکسید ($O_2^{-\bullet}$)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل ($OH^{\bullet}$) باشد که درنهایت منجر به پر اکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی می‌گردد. تغییر در پر اکسیداسیون لیپیدها به‌عنوان یک شاخص مهم جهت تعیین میزان خسارت اکسیداتیو در موجودات زنده محسوب می‌شود و منجر به کاهش یکپارچگی غشاء در موجودات زنده تحت شرایط تنش می‌گردد. این‌گونه به نظر می‌رسد که نقش NO در غلظت های بالاتر از ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در پر اکسیداسیون لیپیدها، مربوط به توانایی این عنصر در واکنش با رادیکال‌های آلکوکسیل (LO) و پراکسیل (LOO) و درنتیجه، توقف زنجیره پر اکسیداسیون لیپیدها باشد (Liu *et al.,* 2014). همچنین تصور می‌شود در غلظت‌های بالای سدیم نیتروپروساید به‌ویژه در غلظت ۲۰۰ میکرومولار و بالاتر از آن با تولید بیش از حد رادیکال پراکسی نیتریت ($ONOO^-$) ایجاد تنش نیتروزاتیو شده و با رادیکال‌های اکسیژن در جهت تخریب سلول همکاری نماید.روند تغییرات میزان مالون دی آلدئید نشان می‌دهد که با افزایش میزان تنش، بر میزان مالون دی آلدئید افزوده می‌شود که خود نشان از افزایش میزان پر اکسیداسیون غشا و درنتیجه آن افزایش سطح این عامل در گیاه است.همچنین مشاهده شد که با مصرف سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید میزانپراکسیداسیون لیپید در غشا کاهش یافته و بطبع آن غلظت مالون د آلدهید نیز کاسته شد. یکی از علل کاهش غلظت این ماده را میتوان به توانایی NO در جمع‌کردن ROS ها و جلوگیری از افزایش تیوباربیتوریک (TBARS) و سایر آلدئیدها مربوط دانست(Beligni and Lamattina, 1999).نتایج آزمایش لوپز-کاریون و همکاران (López-Carrión *et al.,* 2008)

جدول ۱- تجزیه واریانس میانگین مربعات درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ساقه‌چه و ریشه چه، محتوای مالون دی آلدئید، فعالیت آنزیم های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز کنجد

Table 1. Analysis of variance (ANOVA) on mean square, germination rate and percentage, shoot and root length and dry weight, malondialdehyde (MDA) content, enzyme activities of superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in sesame

		میانگین مربعات Mean of Squares										
منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	وزن خشک ساقه‌چه Shoot dry weight	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	طول ساقه‌چه Shoot length	طول ریشه‌چه Radicle length	مالون دی آلدئید MDA	سوپراکسید دیسموتاز SOD	کاتالاز CAT	آسکوربات پراکسیداز APX	گلوتاتیون ردوکتاز GR
پیش‌تیمار Priming	5	85.2*	7.81**	0.78**	1.89**	153**	155**	53**	110**	0.54**	20.5**	0.02**
شوری Salinity	2	3361**	131**	12.1**	7.48**	471**	1748**	383**	589**	4.33**	272**	0.05**
پیش‌تیمار × شوری Priming ×Salinity	10	70.7*	1.59ns	0.05ns	0.13ns	3.91ns	5.46ns	12.9**	16ns	0.32**	1.90ns	0.009ns
خطا Error	36	34.5	1.57	0.12	0.10	7.20	19.8	4.32	9.65	0.05	3.38	0.006
ضریب تغییرات CV (%)		7.42	17.46	13.63	14.77	13.37	14.80	21.42	20.69	22.32	24.01	29.96

ns، * و ** به ترتیب بیانگر معنی‌دار نبودن، معنی‌دار بودن در سطوح ۵ درصد و ۱ درصد

ns,*,* represent non- significant, significant at probability of 5 and 1% respectively.

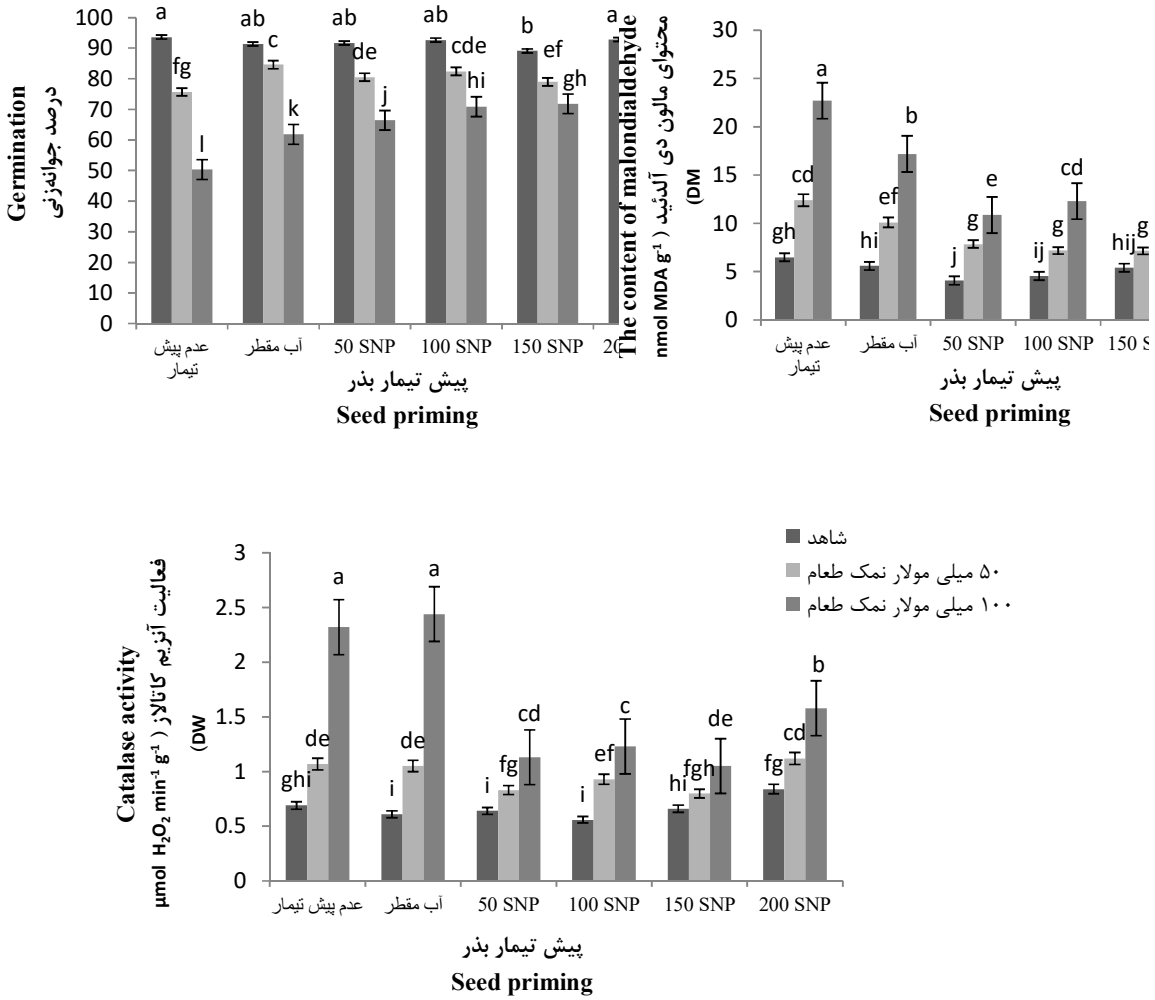
جدول ۲- مقایسه میانگین‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه، محتوای مالون دی آلدئید، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز کنجد

Table 2. Mean separation (comparison) of germination rate and percentage, shoot and rootlet length and dry weight, malondialdehyde (MDA) content, enzyme activities of superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in sesame

عامل آزمایشی Experimental factor	سرعت جوانه‌زنی Germination rate بذر در روز Seed.Day^{-1}	وزن خشک ساقه‌چه Shoot dry weight میلی‌گرم mg	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight میلی گرم mg	طول ساقه‌چه Shoot length میلی‌متر mm	طول ریشه‌چه Radicle length میلی‌متر mm	سوپراکسید دیسموتاز SOD Unit mg^{-1} DW	آسکوربات پراکسیداز SOD µmol NADPH min-1 g-1 DW	گلوتاتیون ردوکتاز GR
پیش تیمار بذر Seed priming								
No treatment	6.16c	2.21c	1.56c	14.2c	24.8b	10.6c	6.33cd	0.2b
Distilled water	6.23c	2.28c	1.62c	15.7c	25.1b	11.1c	5.56d	0.22b
50 µmol SNP	7.73ab	2.45bc	2.32b	21.2b	31.4a	15.2b	7.32bc	0.26ab
100 µmol SNP	7.43ab	2.80a	2.52ab	21.8b	32a	15.8b	8.56ab	0.26ab
150 µmol SNP	8.58a	2.94a	2.64a	24.6a	35.2a	18ab	8.69ab	0.34a
200 µmol SNP	6.92bc	2.68ab	2.29b	22.6ab	31.6a	19.1a	9.47a	0.31a
شوری (میلی‌مولار) Salinity(mmol)								
0	9.68a	3.22a	2.83a	25.1a	40.1a	9.30c	3.9c	0.22b
50	7.53b	2.82b	2.11b	20b	29.5b	14.9b	7.39b	0.25b
100	4.31c	1.64c	1.54c	14.9c	20.4c	20.7a	11.6a	0.33a

در هر ستون و برای هر واحد آزمایشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column, and for each experimental unit with at least one letter in common, there is no significant difference at probability level of 5%.



شکل ۱- تاثیر تیمارهای پیش تیمار بذر بر درصد جوانه‌زنی، محتوای مالون دی آلدئید و میزان فعالیت آنزیم کاتالاز کنجد تحت سطوح مختلف تنش شوری

Figure 1. Effect of sesame seed pretreatments on germination percentage, malondialdehyde content and catalase activity under different levels of salinity

بر روی کلم و شئوکاند و همکاران (Sheokand *et al.*, 2008) بر روی نخود نشان داد که مصرف خارجی نیتریک اکسید موجب کاهش محتوای مالون دی آلدئید تحت تنش شوری گردید. لیو و همکاران (Liu *et al., 2014*) بیان کردند مصرف خارجی نیتریک اکسید موجب افزایش رشد و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و کاهش غلظت مالون دی آلدئید پنبه تحت تنش شوری می‌گردد.

فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی گیاهچه

اثر شوری و نیتریک اکسید بر آنزیم های آنتی اکسیدانی سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز و آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). همچنین اثر متقابل شوری و نیتریک اکسید بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). شوری موجب افزایش قابل توجهی در میزان فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی فوق گردید. تحت تنش شوری ۵۰ میلی مولار، میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز ۶۰ درصد، گلوتاتیون ردوکتاز ۱۳ درصد و آسکوربات پراکسیداز ۸۷ درصد نسبت به تیمار عدم تنش افزایش یافت. در حالی که این مقادیر افزایش برای آنزیم های فوق تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار به ترتیب ۱۲۲، ۵۰ و ۱۹۷ درصد بود (جدول ۲). بذرافشان و احسان زاده (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2016) گزارش کردند که تنش شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی ارقام

مختلف کنجد میگردد. همچنین در آزمایشی دیگر تحت تنش شوری، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز و آسکوربات پراکسیداز آفتابگردان افزایش یافت (Torabian *et al.,* 2016).

پیش‌تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید موجب افزایش فعالیت آنزیم های سوپراکسیددیسموتاز، گلوتاتیون ردوکتاز و آسکوربات پراکسیداز شد (جدول ۲). بیشترین میزان فعالیت سوپراکسیددیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در تیمار ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز مربوط به تیمار ۱۵۰ میکرومولار بود که با سایر تیمارهای سدیم نیتروپروساید اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۲). داخیل و همکاران (Dakhil and Denden, 2010) بیان کردند که مصرف نیتریک اکسید موجب افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی شد. فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تنش شوری افزایش یافت ولی پیش تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید، سبب کاهش آن گردید (شکل ۱ ج). این در حالی است که فعالیت کاتالاز در تیمارهای عدم مصرف سدیم نیتروپروساید تحت تنش ۱۵۰ میلی مولار نسبت به تیمار شاهد (عدم تنش) تقریبا ۳ برابر شد (شکل ا ج). نیتریک اکسید به عنوان مولکول انتقال سیگنال شناخته شده است که در پاسخ گیاه به انواع تنش زنده و غیر زنده از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Fan *et al.,* 2007). تحت تنش شوری، نیتریک اکسید بوسیله فعالیت های مختلف فیزیولوژیکی تولید می شود، در حالی که خود به صورت آنتی اکسیدان در گیاه عمل می کند (Kopyra and Gwozdz, 2004). اعتقاد بر این است که نیتریک اکسید در بهبود سیستم دفاعی گیاه در برابر تنش های محیطی موثر است (Uchida *et al.,* 2002). شئوکاند و همکاران (Sheokand *et al.,* 2008) و ژی و همکاران (Xie *et al.,* 2008) بیان کردند نیتریک اکسید قادر به تعدیل اثرات منفی تنش شوری در گیاهان می باشد. افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز نخود در اثر مصرف نیتریک اکسید تحت تنش شوری مشاهده شد (Sheokand *et al.,* 2008). مصرف خارجی نیتریک اکسید موجب کاهش اثرات سمی شوری، پراکسیداسیون لیپید و افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی شد (Shi *et al.,* 2007). در مطالعه ای دیگر، چن و همکاران (Chen *et al.,* 2007) کاهش آسیب های اکسیداتیو را در ریشه گیاهچه گندم در اثر مصرف نیتریک اکسید گزارش کردند.

نتیجه گیری کلی

تنش شوری به مانند سایر تنش ها موجب افزایش گونه های فعال اکسیژن می گردد که گیاه به منظور کاهش آنها اقدام به سنتز آنزیم های آنتی اکسیدانی می‌کند. به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که پیش تیمار بذر با آب موجب بهبود نسبی رشد گیاهچه کنجد تحت تنش شوری میگردد. همچنین پیش تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید به عنوان منبع نیتریک اکسید و تعدیل کننده‌ای قوی، اثرات منفی شوری را کاهش داد. به نظر می رسد نیتریک اکسید با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی از قبیل سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز که در این آزمایش اندازه گیری شد موجب کاهش سطح گونه‌های فعال اکسیژن شده باشد. و از سویی دیگر، محتوای مالون دی آلدئید نیز کاهش پیدا کرد که خود عامل موثر دیگری در افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری میباشد. بطور کلی غلظت مناسب و کارا به جهت کاهش اثرات شوری در گیاهچه کنجد در این آزمایش غلظت ۱۵۰ میکرومولار سدیم نیترو پروساید بود. و غلظتهای بالاتر به سبب ایجاد اثر سمیت در گیاه توصیه نمی‌شوند.

منابع

Abnoos, M., 2001. The physiological study of drought stress effects on germination and seedling stage of lentil cultivars. Plant physiology MS. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)

Akpan-Iwo, G., A. A. Idowu and S. M. Misari. 2007. Collection and evaluation of sesame (Sesamum spp.) germplasm in Nigeria. PGR Newsletter. 142:59-62. **(Journal)**

Bazrafshan A. H., and Ehsanzadeh P. 2016. Evidence for differential lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in *Sesamum indicum* L. genotypes under NaCl salinity. Journal of Agriculture Science and Technology. 18: 207-222. (In Persian) **(Journal)**

Beligni M, Lamattina L. 2000. Nitric oxide stimulates seed germination and de-etiolation, and inhibits hypocotyl elongation, three light-inducible responses in plants. Planta. 210:215-221. **(Journal)**

Beligni, M.V. and Lamitina, L. 1999. Nitric oxide protects against cellular damage produced by methyle viologen herbicides in potato plants. Nitric oxide. Biology and Chemistry. 3: 199-208. **(Journal)**

Bor, M., Ozdemir, F. and Tutkan I. 2002. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet (*Beta maritima* L.). Plant Science. 164: 77-84. **(Journal)**

Chen M, Shen W B, Ruan H H, Xu L L. 2004. Effects of nitric oxide on root growth and its oxidative damage in wheat seedling under salt stress. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology. 30(5): 569-576 (in Chinese with English summary) **(Journal)**

Dakhil, B.B., Denden, M., 2010. Salt stress induced changes in germination, sugars, starch and enzyme of carbohydrate metabolism in *Abelmoschus esculentus* L. (Moench.) seeds. African Journal of Agricultural Research. 5(12): 1412-1418. **(Journal)**

Etesami, M., Galeshi. S. 2008. Evaluation reaction of ten genotype of barley in salinity on germination and seedling growth (Hordeum vulgar L.). Journal of Agricultural Science and Nature Resource. 15(5), 39-46. (In Persian) **(Journal)**

Fazeli, s., Nezami, A., Parsa, M., and Kafi, M. 2014. Evaluate germination and seedling growth of sesame ecotypes in saline conditions. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences. 7 (2): 217-232. (In Persian) **(Journal)**

Fan HF, Guo SR, Li J, Du CX, Huang BJ. 2007. Effects of exigenous nitric oxide on *Cucumis sativus* seedlings growth and osmotic adjustment substances contents under NaCl stress. Chines Journal of Ecology. 26:2045-2050. **(Journal)**

Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A. and Rehman, H. 2009. Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in fine grain aromatic rice. Journal of Agronomy and Crop Science. 195: 254-261. **(Journal)**

Foyer, C. H. and Halliwell, B. 1976. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: A proposed role in ascorbic acid metabolism. Planta. 133: 21-25. **(Journal)**

Giba Z, Grubisic D, Todorovic S, Sajc L, Stojakovic D, Konjevic R. 1998. Effect of nitric oxide releasing compounds on phytochromecontrolled germination of empress tree seeds. Plant Growth Regulators 26: 175-181. **(Journal)**

Heath, R.L. and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Archives of Biochemistry and Biophysics. 125: 189-198. **(Journal)**

Kenneth, K.T. 1990. Plant responses to saline and sodic condition. PP: 113-138. In: Agricultural salinity assessments and management, scientific publishers.

Koca, H., Bor, M., Özdemir, F. and Türkan, I. 2007. The Effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. Environmental and Experimental Botany. **60**: 344-351. **(Journal)**

Kopyra, M. and E.A. Gwozdz. 2004. The role of nitric oxide in plant growth regulation and responses to abiotic stresses. Acta Physiologiae Plantarum. 26: 459-472. **(Journal)**

Langham, D. R., G. Smith, T. Wiemers, and J. Riney. 2006. Southwest sesame grower's pamphlet. Sesaco Corporation, San Antonio, Texas.

Leshem, Y.Y. and Pinchasov, Y. 2000. Non-invasive photoacoustic spectroscopic determination of relative endogenous nitric oxide and ethylene content stoichiometry during the ripening of strawberries *Fragaria ananasa* (Duch.) and avocados *persea americana* (Mill.). Journal of Experimental Botany. 51: 1471-1473. **(Journal)**

Liu S., Dong Y., Xu L., Kong J. 2007. Effects of foliar applications of nitric oxide and salicylic acid on salt-induced changes in photosynthesis and antioxidative metabolism of cotton seedlings. Plant Growth Regulator. 73:67-78. **(Journal)**

López-Carrión, A.I., Castellano, R., Rosales, M.A., Ruiz, J.M., Romero, L.: 2008. Role of nitric oxide under saline stress: implications on proline metabolism. Biologia Plantarum **52**: 587-591.

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

Mahmood, S., Iram, S., Athar, H., 2003. Intraspecific variability in sesame (*Sesamum indicum* L.) for various quantative and qualitative attributes under differential salt regimes. Journal of Research Science 14(2), 177-186.

Meloni, D.A., Oliva, M.A., Martinez, C.A, and Cambraia, J. 2003. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. Environmental and Experimental Botany. 49: 69–76. **(Journal)**

Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. and Breusegem F.V. 2004. Reactive oxygen gene network of plants. Trends in Plant Science. 9: 490-498. **(Journal)**

Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant Cell Physiology. 22:867-880. **(Journal)**

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 Science. 163: 1037-1046. **(Journal)**

Sairam, R.K. and G.C. Srivastava. 2001. Water stress tolerance of wheat *Triticum aestivum* L.: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activiy in tolerant and susceptible genotype. Journal of Agronomy and Crop Science. 186: 63-70. **(Journal)**

Sheokand, S., Kumari, A., Sawhney, V.: 2008. Effect of nitric oxide and putrescine on antioxidative responses under NaCl stress in chickpea plants. Physiology and Molecular Biology of Plants. 14: 355-362. **(Journal)**

Shi Q, Ding F, Wang X, Wei M. 2007. Exogenous nitric oxide protect cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. Plant Physiology and Biochemistry 45:542-550.

Tester, M. and Davenport, R. 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annals of Botany. 91: 503-527. **(Journal)**

Torabian S., Zahedi M., and Khoshgoftarmanesh A. 2016. Effect of foliar spray of zinc oxide on some antioxidant enzymes activity of sunflower under salt stress. Journal of Agricultural Science and Technology. 18: 1013-1025. **(Journal)**

Uchida, A., A.T. Jagendorf, T. Hibino, T. Takabe and T. Takabe. 2002. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. Plant Science 163: 515-523.

Vaishnav A., S. Jain, A. Kasotia, S. Kumari, R, Kumar Gaur, D. Kumar Choudhary. 2013. Effect of nitric oxide signaling in bacterial-treated soybean plant under salt stress. Archives of Microbiology. 195:571–577. **(Journal)**

Valdiani, A.R., Hassanzadeh, A., Tajbakhsh, M., 2005. Study on the effects of salt stress in germination and embryo growth stages of the four prolific and new cultivars of winter rapeseed (*Brassica napus* L.). Pajouhesh and Sazandegi. 66, 23-32. (In Persian) **(Journal)**

Wieczorek, J.F., Milczarek, G., Arasimovicz, M. and Ciszewski, A. 2006. Do nitric oxide donors mimic endogenous No- related response in plants. Planta 224: 1363-1372. **(Journal)**

Xie, Y.J., Lin, T.F., Han, Y., Liu, K., Zheng, Q., Huang, L., Yuan, X., He, Z., Hu, B., Fang, L., Shen, Z., Yang, Q., Shen, W.: 2008. Carbon monoxide enhances salt tolerance by nitric oxide-mediated maintenance of ion homeostasis and up-regulation of antioxidant defense in wheat seedling roots. Plant Cell and Environment. 31: 1864-1881. **(Journal)**

Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S., 2001. Response of germination components to salinity stress in oilseed rape (*Brassica napus* L.). Journal of Agriculture Science and Natural Resource. 33(1), 137-145. (In Persian) **(Journal)**

The effect of nitric oxide on seed germination and activities of some antioxidant enzymes in sesame under salt stress

AliReza Fathi[1*], Mehdi Baradaran Firoozabadi[2], MohammadReza Amerian[2]

Received: May 27, 2017 Accepted: September 17, 2017

Abstract

The present experiment was aimed to investigate the effect of nitric oxide derived from sodium nitroprusside on sesame germination and some antioxidant enzymes activity under salinity stress in factorial manner and completely randomized design with three replications in seed research laboratory of Research Station in Eastern Iran (Kashmar). Treatments included seed pretreatment with sodium nitroprusside in six levels (zero, distilled water, 50, 100, 150 and 200 mM) and salinity stress at three levels (0, 50 and 100 mM l). The results showed that salt stress decreased germination rate, shoot and root length and dry weight and also were increase the activity of antioxidant enzymes superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in sesame. Pretreatment seeds with SNP were increased seed germination, root and shoot length and weight. The enzyme activity of superoxide dismutase, glutathione reductase and ascorbate peroxidase treated with nitric oxide were increased, while catalase activity and the content of malondialdehyde as the index fell membrane degradation were decreased. In general, suitable and efficient concentration to reduce the effects of salinity on plant seeds in this experiment was 150 mM, because in this concentration was found the highest germination rate and dry weight of shoot and root. It also seems to concentrations above 150 mM sodium nitroprusside, toxic effects on the cells induce nitric oxide.

Keywords: Ascorbate peroxidase; Germination; Sodium nitroprusside; Superoxide dismutase

How to cite this article

Fathi, A. R., Baradaran Firoozabadi, M. and Amerian, M. R. 2018. The effect of nitric oxide on seed germination and activities of some antioxidant enzymes in sesame under salt stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 5(3): 77-88. (In Persian)**(Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2018.2936

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Ph.D student in Crop Physiology, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

2. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Thechnology, Shahrood, Iran

*Corresponding Author Email: Alireza.fathi.af@gmail.com