علوم و تحقیقات بذر ایران
سال یازدهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۳ (۹۰ - ۷۷)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2024.8788

تاثیر سدیم نیتروپروساید بر فیزیولوژی رشد گیاهچه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت تنش شوری

شهروز پورمیرزا بیله سوار[۱]، محمد صدقی*[۲]، رئوف سیدشریفی[۳]، هانیه سعادت[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۷

چکیده

به منظور بررسی تاثیر سدیم نیتروپروساید بر فیزیولوژی رشد گیاهچه آفتابگردان تحت تنش شوری، یک آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۸ با سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل سه سطح شوری (صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم)، و سه سطح سدیم نیتروپروساید (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام) بود. نتایج نشان داد که شوری سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، شاخص طولی و وزنی را کاهش داد، اما پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید این صفات را بهبود بخشید. درصد جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه، شاخص طولی و وزنی گیاهچه در پیش‌تیمار با سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام و بدون شوری نسبت به شاهد به ترتیب ۲۲، ۵۷، ۷۴ و ۷۰ درصد افزایش تشان دادند. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام به ترتیب ۵ و ۷ درصد نسبت به شاهد بدون پرایمینگ افزایش یافت. هم‌چنین، شوری باعث کاهش محتوای کل پروتئین بذر شد به‌طوری که کم‌ترین آن (۰/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد ولی پرایمینگ این صفت را افزایش داد و بیش‌ترین میزان آن (۰/۴۵۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام به‌دست آمد. در کل، پیش‌تیمار بذر با سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید می‌تواند به‌عنوان بهبوددهنده رشد و کاهنده اثرات نامطلوب شوری در گیاه آفتابگردان مطرح باشد.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، سدیم نیتروپروساید، کلریدسدیم

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. cropecosystems@gmail.com
۲- استاد، گروه مدیریت تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. m_sedghi@uma.ac.ir
۳- استاد، گروه مدیریت تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. rssharifi@yahoo.com
۴- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. t.saadat2020@gmail.com
*نویسنده مسئول: m_sedghi@uma.ac.ir

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) گیاهی یک‌ساله از تیره Asteraceae است، که خاستگاه اولیه آن آمریکای مرکزی می‌باشد (Seiler and Jan. 2010). کشت آفتابگردان در ایران به عنوان دانه روغنی از سال ۱۳۴۴ آغاز شده و این محصول بعد از سویا و کلزا به عنوان منبع مهم تولید روغن خوراکی بوده و دارای کاربردهای زراعی گسترده می‌باشد (Simões *et al.* 2020). بررسی آمارهای تولید و مصرف روغن‌های نباتی در کشور طی چندین سال اخیر و نیز ارزهای تخصیص یافته به واردات این محصولات بیانگر نقش و اهمیت این کالا در اقتصاد کشور است. روغن آفتابگردان به دلیل تاثیر مهم آن‌ها در تامین اسیدهای چرب ضروری و دارا بودن کلسیم و انواع ویتامین‌ها از جمله A، D و E یکی از محصولات مهم در سبد غذایی خانوارها می‌باشد (Primo *et al.* 2018). تنش‌های غیرزیستی از جمله شوری یکی از عوامل محدود کننده تولید آفتابگردان است (Li *et al.* 2021). آفتابگردان به عنوان یک گیاه نسبتا حساس به شوری خاک مطرح می‌باشد ولی گونه‌هایی از آن نسبت به بقیه متحمل‌تر شناخته شده‌اند (Miladinović *et al.* 2019). امروزه یکی از اهداف مهم به‌نژادی گیاهان افزایش تحمل به شوری و ایجاد ظرفیت مناسب جهت مقابله با مشکل شوری زمین‌های زراعی است که با آب شور آبیاری می‌گردند، تا در این راستا بتوان تولید محصولات کشاورزی را با حداقل زیان تحت شرایط شور امکان‌پذیر ساخت. شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که روی تولید گیاهان اثر منفی دارد. تقریبا۲۰ درصد از اراضی کشاورزی تحت تاثیر شوری بالا در جهان قرار دارند (Saddiq *et al.* 2019). در سال‌های اخیر تنش شوری ناشی از فعالیت‌های انسانی در حال افزایش است (Feghhenabi *et al.* 2020). تنش شوری با کاهش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، سبب استقرار نامناسب و کاهش تراکم گیاهچه‌ها شده و در نهایت تولیدات محصولات کشاوزی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Javed *et al.*, 2022). شوری با محدود کردن قابلیت دسترسی به آب، تخریب ساختمان پروتئین‌ها و اختلال در استفاده از ذخایر غذایی ذخیره شده در بذر به فرآیند جوانه‌زنی آسیب وارد می‌کند (Zhao *et al.* 2020). تنش شوری اغلب فرآیندهای مورفوفیزیولوژیکی گیاهان از جمله آفتابگردان را مختل می‌کند (Ebrahimian *et al.* 2011). گزارش‌ها نشان داده است که فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسمیوتاز و کاتالاز تحت تنش شوری در آفتابگردان افزایش یافته و تجمع پراکسید هیدروژن کاهش می‌یابد (Umar and Siddiqui. 2018). همچنین، تحقیقات نشان داده است که شوری، شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد را در گیاهان مختلف را کاهش داده و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از جمله کاتالاز و پراکسیداز را افزایش می‌دهد (Saadat et al. 2023a; Saadat et al. 2023b; Saadat et al. 2023c).

پرایمینگ یک روش مقرون به صرفه و کم خطر جهت بهبود جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه از طریق القای فعالیت متابولیک پیش از جوانه‌زنی در شرایط تنش می‌باشد (Migahid *et al.* 2019). پرایمینگ بذر با موادی مانند سدیم نیتروپروساید می‌تواند رشد گیاهچه را بهبود بخشد. سدیم نیتروپروساید یک ترکیب رهاکننده اکسید نیتریک است که اسید نیتریک به‌عنوان یک گونه واکنش‌پذیر نیتروژن و مولکول سیگنالی شناخته شده است که در رشد و نمو گیاه در پاسخ به تنش شوری نقش ایفا می‌کند (Hesami *et al.* 2020; Ali *et al.* 2017). در واقع، سدیم نیتروپروساید یک ترکیب آزاد کننده اکسیدهای نیتریک در گیاهان است (Zheng *et al.* 2009) و به عنوان یک مولکول علامتی برای تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند (Saed-Moucheshi *et al.* 2014). این آنزیم‌ها نقش محافظت از پروتئین‌ها و لیپیدها را در برابر رادیکال‌های آزاد ایفا می‌کنند. اکسید نیتریک با بیشتر مسیرهای بیولوژیکی واکنش می‌دهد و آن‌ها را از آسیب اکسیداتیو حفظ می‌کند (Bai *et al.* 2015). تحقیقات نشان داده است که سدیم نیتروپروساید موجب تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شده و به این شکل اثر منفی شوری در سویا (*Glycine max* L.) را خنثی می‌کند (Jabeen *et al.* 2021). در کلزا (*Brassica napus* L.) (Badawy *et al.*, 2017)، سدیم نیتروپروساید موجب کاهش آثار سوء تنش شوری می‌شود. این آثار حاصل تأثیرات اسمزی و یونی است که نتیجه آن اختلال در رشد سلول و رشد کلی گیاه است (Shabala and Munns. 2012). افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و میزان کل پروتئین محلول با استفاده از سدیم نیتروپروساید در بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) و سویا (*Glycine max* L.) نیز گزارش شده است

(Verma *et al*. 2010; Aalam *et al*. 2019). سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش شوری از طریق سیگنال‌دهی باعث بیان ژن‌ها و فعالیت آنزیم‌ها در گیاه مرزه (*Satureja khuzestanica*) (Goorgini Shabankareh and Khorasani nejad. 2018) و کلزا (Rezapour *et al.* 2019) شد. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر بهبود صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آفتابگردان تحت تنش شوری بود. طبق بررسی‌های صورت گرفته در منابع معتبر داخلی و خارجی، تاکنون اثر نیتروپروساید سدیم بر جوانه‌زنی و رشد هتروتروفی آفتابگردان که گیاه نیمه حساس به شوری تلقی می‌شود، مورد بررسی قرار نگرفته است و این گزارش اولین مورد از اثر نیتروپروساید سدیم در شرایط شوری بر رفتار جوانه‌زنی بذر آفتابگردان است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر نیتروپروساید سدیم بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه آفتابگردان در محیط شور به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید. تیمارها شامل سه سطح شوری (صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و سه سطح سدیم نیتروپروساید (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام) بود. ابتدا بذرها (رقم رکورد تهیه شده از آذربایجان غربی شهر خوی تولید سال ۱۳۹۸) درون محلول‌های پرایمینگ و آب مقطر به‌مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شدند. پس از اعمال پرایمینگ، تعداد ۲۵ عدد بذر درون هر پتری جهت کشت قرار گرفت. و به هر پتری محلول شوری (کلرید سدیم) با سطوح مختلف (۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) اضافه شد سپس، به داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد منتقل شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه و به‌مدت ۹ روز انجام گردید. در این آزمایش، درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، شاخص طولی و وزنی گیاهچه و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت اندازه‌گیری شدند. برای تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، گیاهچه‌ها در پتری و درون ژرمیناتور در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد کشت و برگ‌های اولیه در فویل آلومینیومی، تا زمان استخراج عصاره آنزیمی به یخچال با دمای ۲±۷۰- درجه منتقل شدند. در این پژوهش، برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۱ (Elis and Rabertz, 1980)، شاخص‌های طولی و وزنی گیاهچه از رابطه ۲ و ۳ (Abdul-Baki and Anderson, 1973) استفاده شد. طول گیاهچه (با استفاده از خط‌کش بر حسب سانتی‌متر)، وزن خشک گیاهچه (با ترازوی دیجیتال ۰/۰۰۱) اندازه‌گیری شد.

درصد جوانه‌زنی: برای تعیین درصد جوانه‌زنی در پایان دوره جوانه‌زنی (۱۰ روز) تعداد کل بذرهای جوانه‌زنی شمارش شد.

رابطه (۱) $GR = \sum_{I=1}^{N} Si / Di$

GR: سرعت جوانه زنی (تعداد بذرها جوانه‌زنی در هر روز)، Si: تعداد بذور جوانه‌زده در هر روز، Di: تعداد روز تا شمارش nام

رابطه (۲) طول گیاهچه (سانتی‌متر) × درصدجوانه‌زنی = شاخص طولی بنیه گیاهچه

رابطه (۳) وزن خشک گیاهچه (گرم) × درصدجوانه‌زنی = شاخص وزنی بنیه گیاهچه

استخراج عصاره آنزیمی: برای استخراج عصاره آنزیم، ۰/۵ گرم نمونه از هر تیمار در داخلی هاون چینی با استفاده از نیتروژن مایع هموژن گردید و سپس ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات سرد (pH=۷) حاوی ۰/۵ میلی‌مولار EDTA به آن اضافه شد. محلول هموژن به اپندورف‌های ۲ میلی‌متری منتقل و در ۱۵۰۰۰ rpm با دمای ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شدند. روشناور تا زمان اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در دمای ۲۰- درجه‌ی سانتی‌گراد نگهداری شد (Sairam *et al.* 2002).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: فعالیت آنزیم کاتالاز به روش ابی (Aebi, 1984) اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با pH= ۷، ۲۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۳ درصد و ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم کاتالاز به صورت کاهش در جذب طی ۱ دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه شد. برای سنجش فعالیت کاتالاز از ضریب خاموشی (۳۶/۶ $cm^{-1}Mm^{-1}$) استفاده شد و فعالیت آنزیم با واحد میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت تازه گیاهی گزارش شد.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز (Kar and Mishra, 1976) پنج میلی‌لیتر از مخلوط واکنش برای فعالیت پراکسیداز شامل ۱۲۵ میکرومول بافر فسفات (pH 6.8)، ۵۰ میکرومول

پیروگالول، ۵۰ میکرومول H_2O_2 و یک میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی رقیق شده ۲۰ برابر بود. این مخلوط به مدت ۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد، پس از آن واکنش با اضافه کردن نیم میلی‌لیتر از 5% H_2SO_4 (حجمی) متوقف شد. مقدار پورپوروگالین تشکیل شده با اندازه‌گیری جذب در ۴۲۰ نانومتر تعیین شد. ۵۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی در ۲/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج حاوی بافر تریس ۱۰۰ میلی‌مولار و آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار و گایاکول ۱۰ میلی‌مولار اضافه شد و تغییرات جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت گردید.

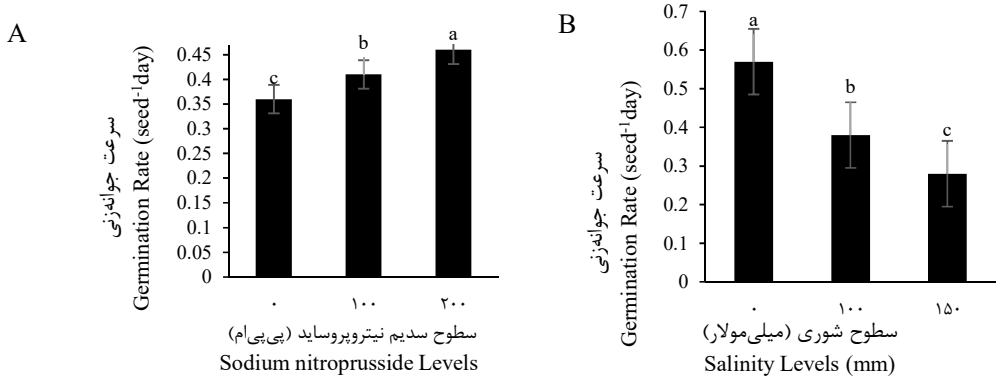
اندازه‌گیری میزان پروتئین: پروتئین کل به روش برادفورد (Bradford, 1976) اندازه‌گیری شد. در حدود ۰/۵ گرم برگ تازه در نیتروژن مایع منجمد شد. سپس، ۵۰ میلی‌گرم پلی وینیل پیرولیدون (PVP) و ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم حاوی متا بی‌سولفات سدیم (۰/۰۱ گرم در بافر ۱۰۰ میلی‌لیتر) طی فرایند آسیاب اضافه شد. پس از هموژناسیون ترکیب استخراج شده با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. در ادامه، ۱۷۵ میلی‌لیترگلیسرول ۵۰٪ به ۵۰۰ میلی‌لیتر روشناور اضافه شد. مخلوط حاصل در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پروتئین کل با معرف کوماسی بلو (G250) اندازه‌گیری شد. سپس، ۲۰ میلی‌لیتر از مخلوط فوق و ۹۸۰ میلی‌لیتر معرف بردفورد مخلوط و پس از ۵ دقیقه، میزان پروتئین در طول موج ۵۹۵ نانومتر با اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد (UV-2100، New Jersey suv S2100). از پروتئین آلبومین گاوی (BSA) برای محاسبه مقدار کل پروتئین محلول بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید. برای ترسیم اشکال نیز از نرم افزار Excel۲۰۱۸ استفاده شد.

بحث و نتایج

سرعت جوانه‌زنی: اثر ساده سطوح شوری و سدیم نیتروپروساید بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای آفتابگردان معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل این دو تیمار معنی‌دار نشد (جدول ۱). با افزایش تنش شوری سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت، به‌طوری که کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده گردید (شکل ۱). شوری جذب آب توسط بذر را کاهش می‌دهد، در نتیجه فعالیت‌های متابولیکی بذر به آهستگی صورت پذیرفته و زمان خروج ریشه‌چه طولانی می‌گردد که نتیجه آن کاهش سرعت جوانه‌زنی است. سرعت جوانه‌زنی بذر با تیمار سدیم نیتروپروساید افزایش یافت و بیش‌ترین آن در تیمار ۲۰۰ پی‌پی‌ام سدیم نیتروپروساید مشاهده شد (شکل ۱ A و B) که با نتایج کبیری و همکاران (Kabiri *et al.* 2020) و فتحی و همکاران (Fathi *et al.* 2018) در سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) مطابقت داشت. اکسید نیتریک آثار منفی تنش اکسیداتیو در غشا را خنثی و موجب کاهش اثرات تنش شوری در گیاهان می‌شود (Guo *et al.* 2018). افزایش سرعت جوانه‌زنی در اثر پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید، ناشی از افزایش فعالیت متابولیک است که طی جذب آب اتفاق می‌افتد. پرایمینگ با تغییر مقدار قند، ترکیبات آلی و یون‌های تجمع یافته در بذر سرعت جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (Shekari *et al.* 2010).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ساده سدیم نیتروپروساید (A) و شوری (B) بر روی سرعت جوانه‌زنی در آفتابگردان

Fig. 1. Mean Comparison for the effect of Sodium nitroprusside (A) and Salinity (B) on germination rate in Sunflower

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی صفات مطالعه شده در آفتابگردان

	میانگین مربعات Mean Square						
منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی DF	سرعت جوانه‌زنی Germinati Rate	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	طول گیاهچه Seedling Length	وزن خشک گیاهچه Seedling dry Weight	شاخص طولی گیاهچه Seedling Length Index	شاخص وزنی گیاهچه Seedling Weight Index
سدیم نیتروپروساید Sodium nitroprusside (SNP)	2	0.197^{**}	784.66^{**}	116.56^{**}	0.005^{**}	1309042.2^{**}	65519087.6^{**}
شوری Salinity (S)	2	0.024^{**}	158.69^{**}	$22/42^{**}$	0.0008^{**}	259974.5^{**}	11854210.5^{**}
SNP*S	4	0.0005^{ns}	16.48^{**}	3.5^{ns}	0.00006^{**}	54576.52^{*}	$1767960/4^{**}$
خطا Error (E)	18	0.0004	3.43	3.43	0.000002	15675.99	68263.5
ضریب تغییر CV(%)		4.82	2.41	19.26	1.84	16.41	3.99

Tabel 1. Analysis of variance for the effect of Sodium nitroprusside and Salinity on studied traits in Sunflower

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns, * and ** indicating not significant, the significant differences at 5 and 1 percent probability levels.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی صفات مطالعه شده در آفتابگردان

Tabel 2. Analysis of variance for the effect of Sodium nitroprusside and Salinity on studied traits in Sunflower

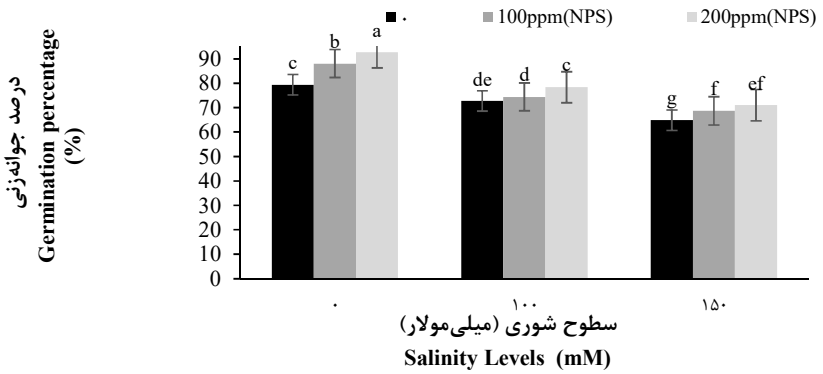
	میانگین مربعات Mean Square			
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	پروتئین Protein
سدیم نیتروپروساید Sodium nitroprusside (SNP)	2	0.022^{**}	0.051^{**}	0.014^{**}
شوری Salinity (S)	2	0.002^{**}	0.0024^{**}	0.001^{**}
SNP*S	4	0.000008^{ns}	0.0001^{ns}	0.0003^{ns}
خطا Error (E)	18	0.0001	0.0001	0.0001
ضریب تغییر CV (%)		1.23	2.26	2.81

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns and ** indicating not significant, the significant differences at 5 and 1 percent probability levels

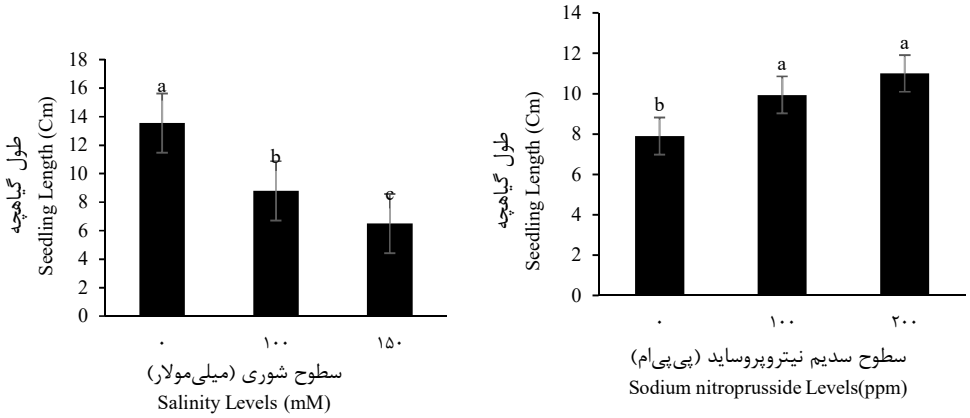
درصد جوانه‌زنی: اثر ساده سطوح شوری، سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل آن‌ها بر درصد جوانه‌زنی بذرهای آفتابگردان معنی‌دار بود (جدول ۱). در این تحقیق شوری بر روی درصد جوانه‌زنی تاثیر گذاشت و پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید درصد جوانه‌زنی را بهبود بخشید که با نتایج (Aalam *et al.,* 2019; Kabiri *et al.,* 2020; Fathi *et al.,* 2018) در گیاهان مختلف مطابقت داشت. بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در شرایط عدم شوری و پیش تیمار با سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام به‌دست آمد، که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (شکل ۲). کلرید سدیم به دلیل اثر مخرب سدیم در غشاء سیتوپلاسمی سلول، منجر به کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌گردد. پیش‌تیمار نیتریک اکسید با افزایش فعالیت دو آنزیم آلفاآمیلاز و بتاآمیلاز و در نتیجه تبدیل آسان‌تر نشاسته به قند و از راه تاثیر بر سیستم آنتی‌اکسیدانت و کاهش اثرات سمی و مخرب تنش شوری باعث بهبود درصدجوانه‌زنی بذور در شرایط تنش شور می‌گردد (Zheng *et al.,* 2009). افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت طی پرایمینگ بذرها موجب کاهش پراکسیداسیون لیپید در طول جوانه‌زنی شده و درصد جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (Farooq, 2007).

طول گیاهچه: اثر ساده سطوح شوری و سدیم نیتروپروساید بر طول گیاهچه حاصل از بذرهای آفتابگردان معنی دار بود، ولی اثر متقابل این دو عامل معنی دار نشد (جدول ۱). با افزایش شوری طول گیاهچه آفتابگردان کاهش یافت. کم‌ترین طول گیاهچه در شوری ۱۵۰ میلی مولار مشاهده شد، ولی تیمار بذور با سدیم نیتروپروساید طول گیاهچه را افزایش داد، به‌طوری که بیش‌ترین طول گیاهچه در تیمار ۲۰۰ پی‌پی‌ام سدیم نیتروپروساید به‌دست آمد (شکل ۳ Aو B). که با نتایج (Kabiri et al., 2020) در سیاهدانه مطابقت داشت. کاهش طول گیاهچه تحت



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی درصد جوانه‌زنی در آفتابگردان
Figure 2. Mean comparison (Sodium nitroprusside×Salinity) on germination percentage in Sunflower

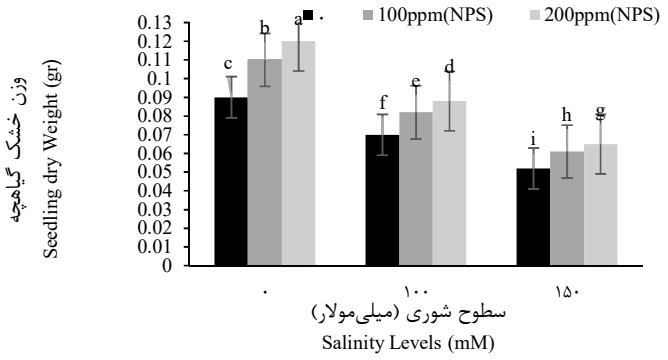
تاثیر شوری ممکن است که به‌دلیل اثر سمی یون‌ها بر غشای سلولی اتفاق بیفتد (Javadi et al., 2014). اکسیدهای نیتریک حاصل از سدیم نیتروپروساید موجب تحریک جوانه‌زنی، تقسیم سلولی و برخی از آثار دیگر در سلول می شوند و می توانند با رادیکال‌های اکسیژن واکنش داده و آسیب آن‌ها را کاهش دهند. سدیم نیتروپروساید سبب انگیزش تولید اکسین می‌گردد که می‌تواند در افزایش طول گیاهچه اثر مستقیم داشته باشد (He et al., 2014). به نظر می‌رسد که اکسید نیتریک بر تقسیم و تطویل سلول اثر دارد (Neill et al., 2003)، و این امر طول گیاهچه را افزایش می دهد. تحقیقات نشان داده است که طی پرایمینگ طول گیاهچه در آفتابگردان افزایش می‌یابد (Ghosh and Dutta. 2022).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر ساده سدیم نیتروپروساید (A) و شوری (B) بر روی طول گیاهچه در آفتابگردان
Figure 3. Mean Comparison for the effect of Sodium nitroprusside (A) and Salinity (B) on Seedling Length in Sunflower

وزن خشک گیاهچه: اثر ساده سطوح شوری و سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک گیاهچه معنی‌دار بود (جدول ۱). وزن خشک گیاهچه با افزایش شوری کاهش نشان داد، ولی سدیم نیتروپروساید وزن خشک گیاهچه را افزایش داد. بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه در شرایط عدم شوری و تیمار با ۲۰۰ پی‌پی‌ام سدیم نیتروپروساید مشاهده شد (شکل ۴). تنش اسمزی ناشی از شوری، دسترسی بذر به رطوبت را کاهش می‌دهد در نتیجه، سبب کاهش تقسیم و طویل شدن سلول می‌گردد. در نتیجه تجزیه مواد ذخیره‌ای دچار مشکل شده و وزن خشک گیاهچه کاهش می‌یابد (Lei *et al.,* 2007). کاهش وزن خشک گیاه در اثر شوری توسط سایر محققان (Nenova, 2008; Zeeshan *et al.,* 2020) نیز گزارش شده است. جلوگیری از ورود بیش از حد یون سدیم به ریشه در محیط‌های شور نیازمند مصرف مقدار زیادی انرژی است، در نتیجه سایر فرایندهای رشد با کمبود انرژی

مواجه می‌شوند. تنش شوری، با خشکی فیزیولوژیک همراه است که موجب کاهش رشد می‌گردد، ولی اثر تجمع املاح و سمیت یون‌ها نیز رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Wong, 2009). بهبود وزن خشک گیاهچه با کاربرد سدیم نیتروپروساید در سویا، سیاهدانه و چمن‌پوآ تحت تنش شوری گزارش شده است (Aalam, 2019; Kabiri *et al.,* 2020; Jalilzadehkhooei and Jabarzadeh, 2017) که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. نیتریک اکسید با تنظیم عملکرد خاصیت آنتی‌اکسیدانت در سلول‌ها در شرایط تنش باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد و رشد و نمو گیاه در شرایط تنش بهبود می‌بخشد (Ahmad *et al.,* 2020).

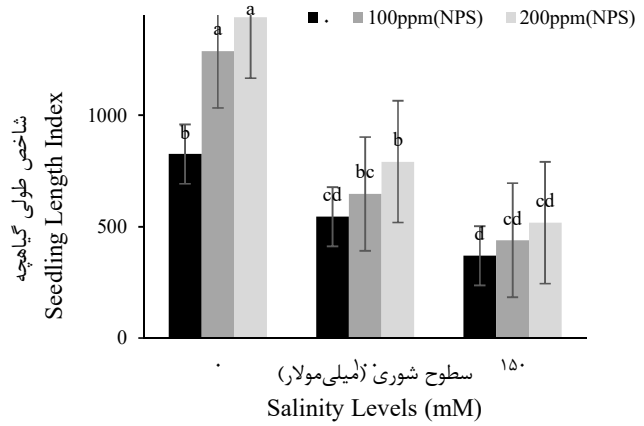


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی وزن خشک گیاهچه در آفتابگردان
Figure 4. Mean comparison (Sodium nitroprusside×Salinity) on seedling dry weight in Sunflower

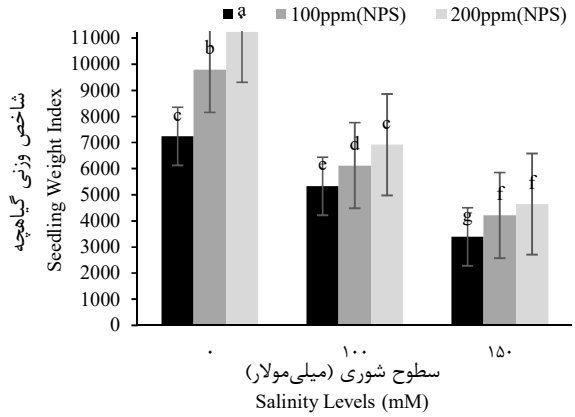
شاخص طولی گیاهچه: اثر ساده سطوح شوری، سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل این دو عامل بر شاخص طولی گیاهچه معنی‌دار بود (جدول ۱). پیش‌تیمار با سدیم نیتروپروساید در هر دو محیط شور و شاهد موجب افزایش شاخص طولی گیاهچه شد، به‌طوری که بیش‌ترین شاخص طولی گیاهچه در تیمار با ۲۰۰ پی‌پی‌ام سدیم نیتروپروساید و بدون شوری مشاهده شد (شکل ۵). که با نتایج (Kabiri *et al.,* 2020) در سیاهدانه مطابقت داشت. تنش شوری انتقال مواد غذایی از آندوسپرم به جنین را کاهش داده و مانع تقسیم سلولی و سنتز پروتئین می‌شود. همچنین، با تغییر در تعادل هورمونی، سبب کاهش رشد گیاهچه می‌گردد (Fan *et al.,* 2013). از آنجا که شاخص طولی حاصلضرب درصدجوانه‌زنی و طول گیاهچه است. هر مولفه‌ای این دو صفت را افزایش دهد. شاخص طولی گیاهچه را نیز افزایش می‌دهد. به همین دلیل افزایش شاخص طولی گیاهچه با استفاده از پرایمینگ می‌تواند با افزایش فعالیت آنزیم‌های جوانه‌زنی، افزایش مواد ذخیره‌ای بذر و طویل شدن گیاهچه در ارتباط باشد (Ansari *et al.,* 2013).

شاخص وزنی گیاهچه: شاخص وزنی گیاهچه تحت تأثیر اثر ساده سطوح شوری، سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل این دو قرار گرفت (جدول ۱). تنش شوری شاخص وزنی گیاهچه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد اما تیمار با سدیم نیتروپروساید موجب افزایش معنی‌دار شاخص وزنی گیاهچه شد. به‌طوری که بیش‌ترین شاخص وزنی گیاهچه در پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام و بدون شوری به‌دست آمد (شکل ۶) که با نتایج به دست آمده از کلزا (Rezapour *et al*., 2016)، نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) (Nenova, 2008) و سیاهدانه (Kabiri *et al*., 2020) مطابقت داشت. افزایش شاخص بنیه بذر تحت پرایمینگ بذرها با سدیم نیتروپروساید توسط روحی و همکاران (Rouhi *et al*., 2019). نیز گزارش شده است.

آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز: اثر ساده سطوح شوری و سدیم نیتروپروساید بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز معنی‌دار بود، اما اثر متقابل آنها معنی‌دار نشد (جدول ۲). تنش شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در آفتابگردان شد. که با نتایج به‌دست آمده از

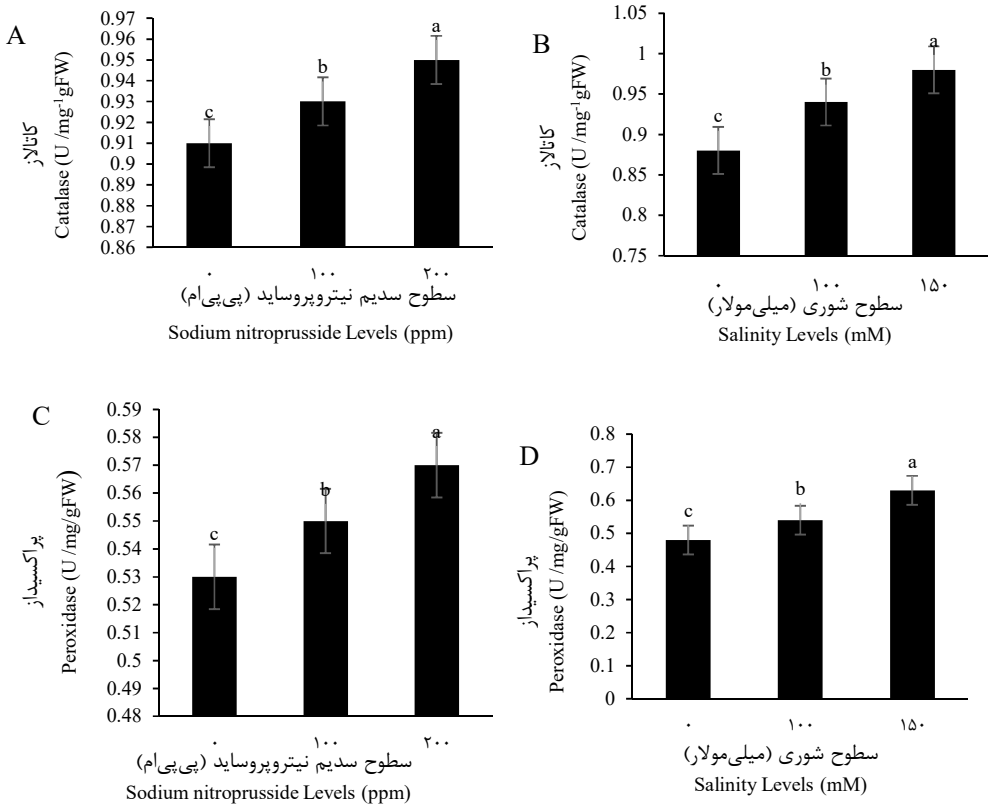


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی شاخص طولی گیاهچه در آفتابگردان
Figure 5. Mean comparison (Sodium nitroprusside×Salinity) on seedling length index in Sunflower



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی شاخص وزنی گیاهچه در آفتابگردان
Figure 6. Mean comparison (Sodium nitroprusside×Salinity) on seedling weight index in Sunflower

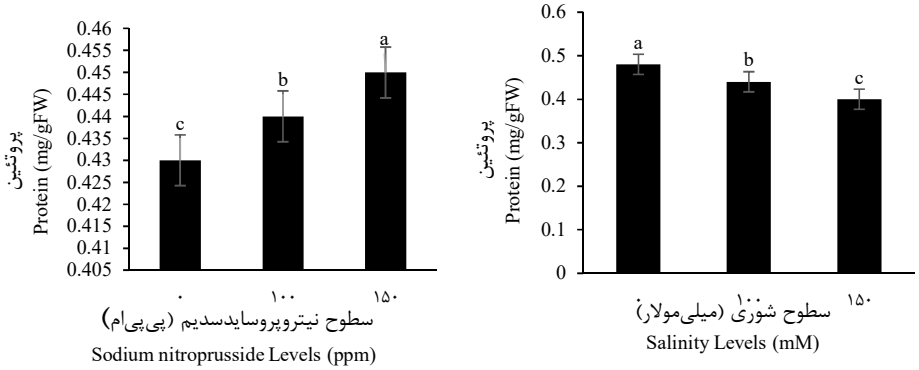
گیاهان مختلف مطابقت داشت (Torabian *et al.,* 2016; Chen *et al*., 2010; Ashraf and Ali, 2008). پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید این آنزیم‌ها را بهبود بخشید.که با نتایج (Aalam, 2019) در سویا و (Fathi *et al*., 2018) در کنجد مطابقت داشت. در واقع، بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام و کم‌ترین مقدار این آنزیم‌ها در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۷ A، B، C و D). بین مقاومت به تنش در گیاهان و فعالیت آنزیم های آنتی‌اکسیدان همبستگی وجود دارد (Hossain *et al*., 2015). ورما و همکاران (Verma *et al*., 2014) نشان داده‌اند که سدیم نیتروپروساید در غلظت‌های پایین موجب افزایش فعالیت کاتالاز و در غلظت‌های بالا موجب کاهش فعالیت این آنزیم می‌شود. سدیم نیتروپروساید، با آزاد کردن اکسیدهای نیتریک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را افزایش می‌دهد و این امر سلول‌ها را در برابر رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند (Rouhi *et al.,* 2019). اکسید نیتریک با رادیکال سوپراکسید ترکیب و رادیکال نیتریت پراکسی (ONOO-) را با سمیت کمتر تولید می‌کند و در نتیجه خسارت کمتری ایجاد می‌کند (Beligni *et al.,* 2002). در واقع، پرایمینگ در بهبود بیوسنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز و پراکسیداز به عنوان عاملی حیاتی در حفاظت از ساختار غشا عمل می‌کند و در نهایت بقای گیاهان در شرایط تنش افزایش می‌دهد (Yasir *et al*., 2023). افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تحت تنش شوری در گیاهان مختلف نیز گزارش شده است (Saadat *et al*. 2023b; Saadat *et al*., 2023a).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر ساده سدیم نیتروپروساید (A و C) و شوری (B و D) بر روی کاتالاز و پراکسیداز در آفتابگردان

Figure 7. Mean Comparison for the effect of Sodium nitroprusside (A and C) and Salinity (B and D) on Peroxidase in Sunflower

میزان پروتئین محلول: میزان پروتئین تحت تأثیر اثر ساده سطوح شوری و سدیم نیتروپروساید قرار گرفت اما اثر متقابل شوری و سدیم نیتروپروساید معنی‌دار نشد (جدول ۲). با افزایش سطوح شوری میزان پروتئین کاهش یافت. به‌طوری که کم‌ترین میزان پروتئین در شوری ۱۵۰ میلی-مولار مشاهده شد. اما پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید آن را بهبود بخشید که با نتایج (Yildiz *et al*., 2020) در جو و (Gavassi *et al*., 2019) در سویا مطابقت داشت و بیش‌ترین مقدار آن در سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام به‌دست آمد (شکل ۸). پروتئین‌ها بیومولکول‌های اساسی در فعالیت‌های سلولی به شمار می‌آیند و کاهش آن‌ها به دلیل آثار مخرب شوری، تولید بیشتر رادیکال‌های آزاد و کاهش سنتز پروتئین را به دنبال دارد (Moucheshi *et al.*, 2014). علت افزایش پروتئین تحت تنش شوری در



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر ساده سدیم نیتروپروساید (A) و شوری (B) بر روی پروتئین در آفتابگردان

Figure 8. Mean Comparison for the effect of Sodium nitroprusside (A) and Salinity (B) on Protein in Sunflower

پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید می‌تواند به دلیل افزایش مولکول‌های ساده باشد که مواد فتوسنتزی بیش‌تر به سوی ساخت پروتئین پیش می‌برد (Arab *et al.,* 2018). گزارش شده است که پرایمینگ بذرها با نیترو پروساید سدیم موجب افزایش پروتئین‌های محلول نسبت به شاهد می‌شود (Rouhi *et al.,* 2019).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که تنش شوری موجب کاهش صفات فیزیولوژیکی گیاه آفتابگردان شد و با افزایش شدت تنش شوری، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت افزایش یافت، اما پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید موجب افزایش صفات فیزیولوژیکی و بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گردید. در این مطالعه مؤثرترین تیمار پرایمینگ بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذور آفتابگردان پرایمینگ با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام بود. سدیم نیترو پروساید با کاهش آسیب‌های ناشی از شوری موجب افزایش شاخص‌های رشد، آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پروتئین شد. چنین به نظر می‌رسد که سدیم نیترو پروساید می‌تواند از اثرات سوء ناشی از شوری بکاهد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از مسئولین دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Aalam, L., Sedghi, M. and Sofalian, O. 2019. Sodium nitroprusside and salicylic acid decrease antioxidant enzymes activity in soybean. Iranian Journal of Plant Physiology, 10(1): 3073-3077. (In Persian) **(Journal)**

Abdul Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean by multiple criteria. Crop Science, 13: 630-633. **(Journal)**

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Methods in enzymology, 105: 121-126. **(Journal)**

Ahmad, P., Alam, P., Balawi, T.H., Altalayan, F.H., Ahanger, M.A. and Ashraf, M. 2020. Sodium nitroprusside (SNP) improves tolerance to arsenic (As) toxicity in *Vicia faba* through the modifications of biochemical attributes, antioxidants, ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase cycle. Chemosphere, 244: 125480. **(Journal)**

Ali, Q., Daud, M.K., Haider, M.Z., Ali, S., Rizwan, M., Aslam, N., Noman, A., Iqbal, N., Shahzad, F., Deeba, F., Ali, I. and Zhu, S. J. 2017. Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. Plant Physiology and Biochemistry, 119: 50-58. **(Journal)**

Ansari, O., Azadi, M., Sharif-Zadeh, F. and Younesi, E. 2013. Effect of hormone priming on germination characteristics and enzyme activity of mountain rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress conditions. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 9(3): 61-71. **(Journal)**

Arab, R., Yadavi, A., Balouchi, H. and Khadem hamzeh, H. 2018. The effect of irrigation interval and iron and zinc foliar application on some morpho-physiological characteristics and yield of sunflower. Journal of Crop Production, 11(2): 77-90. (In Persian) **(Journal)**

Ashraf, M. and Ali, Q. 2008. Relative membrance permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany, 63: 267-273. **(Journal)**

Badawy, E.M., Hanafy Ahmed, A., Aziz, E.E., Ahmed, S. S., Pistelli, L. and Fouad, H. 2017. Effect of salinity, selenium and boron on chemical composition of *Brassica napus* L. plants grown under sandy soil Conditions. Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences, 8(2):2645-2655. **(Journal)**

Bai, X.Y., Dong, Y.J., Xu, L.L., Kong, J. and Liu, S. 2015. Effects of exogenous nitric oxide on physiological by reducing copper uptake and oxidative damage in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. Journal Protoplasma, 251(6):1373-1386. **(Journal)**

Bazrafshan, A. and Ehsanzadeh, P. 2016. Evidence for Differential Lipid Peroxidation and Antioxidant Enzyme Activities in *Sesamum indicum* L. Genotypes under NaCl Salinity. Journal of Agricultural Science and Technology, 18(1): 207-222. **(Journal)**

Beligni, M.V., Fath, A., Bethke, P.C., Lamattina, L. and Jones, R.L. 2002. Nitric oxide acts as an antioxidant and delays programmed cell death in barley aleurone layers. Journal of Plant Physiology, 129:1642–1650. **(Journal)**

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72:248–254. **(Journal)**

Chen, F., Wang, F., Cai, Y. and Mao, W. 2010. Genotype-dependent effect of exogenous nitric oxide on Cdinduced changes in antioxidative metabolism, ultrastructure, and photosynthetic performance in barley seedling (*Hordeum vulgare*). Journal of Plant Growth Regulation, 4: 394-408. **(Journal)**

Ebrahimian, E., Roshdi, M. and Bybordi, A. 2011. Influence of salt stress on cations accumulation, quantity and quality of sunflower cultivars. Journal of Food, Agriculture and Environment, 9(2): 469-476. **(Journal)**

Ellis, R.H. and Roberts, E. H.1980. The quantification of aging and survival in arthodox seeds. Seed Science and Technology, 9: 377- 409. **(Journal)**

Fan, H.F., Du, C.X., Ding, L. and Xu, Y.L. 2013. Effects of nitric oxide on the germination of cucumber seeds and antioxidant enzymes under salinity stress. Acta Physiologiae Plantarum, 35: 2707-2719. **(Journal)**

Farooq, M.S.M.A., Basra, S.M.A. and Ahmad, N. 2007. Improving the performance of transplanted rice by seed priming. Plant Growth Regulation, 51(2): 129-137. **(Journal)**

Fathi, A., Baradaran, 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 Research, 5: 77-88. (In Persian) **(Journal)**

Feghhenabi, F., Hadi, H., Khodaverdiloo, H. and Van Genuchten, M. T. 2020. Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). Agricultural Water Management, 231: 106022. **(Journal)**

Gavassi, M.A., Gaion, L.A., Montciro, C.C., Santos, J.C. and Carvalho., R.F. 2019. Seed priming with sodium nitroprusside attenuates the effects of water deficit on soybean seedlings. Comunicata Scientiae, 10(1): 176-184. **(Journal)**

Ghosh, P.K. and Dutta, A. 2022. Pattern of seed development in sunflower (*Helianthus annuus* L.) as influenced by seed priming. Pharma Innovation, 11(7): 322-326. **(Journal)**

Goorgini Shabankareh, A. and Khorasani nejad, S. 2018. Effects of sodium nitroprusside on physiological, biochemical and essence characteristics of savory (*Satureja khuzestanica*) under deficit water regimes. Plant Protection Research, 24: 56-70. (In Persian) **(Journal)**

Guo, J., Liu, X., Zhang, Y., Shen, J., Han, W., Zhang, W., Christie, P., Goulding, K., Vitousek, P. and Hanafy Ahmed, F., Hanaa Mohamed, A. H., F. Y., Orabi, I. O. A. and El-Hefny, A. M. 2018. Influence of gamma rays, humic acid and sodium nitroprusside on growth, chemical constituents and fruit quality of snap bean plants under different soil salinity levels. Journal of Biological Research, 15(2):575–588. **(Journal)**

He, J., Ren, Y., Chen, X. and Chen, H. 2014. Protective roles of nitric oxide on seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) under cadmium stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 108: 114-119. **(Journal)**

Hesami, M., Tohidfar, M., Alizadeh, M. and Daneshvar, M.H. 2020. Effects of sodium nitroprusside on callus browning of Ficus religiosa: an important medicinal plantJournal of Forestry Research, 31(3):789-796. **(Journal)**

Hossain, M.A., Bhattacharjee, S., Armin, S.M., Qian, P., Xin, W., Li, H.Y., Burritt, D.J., Fujita, M. and Tran, L.S.P. 2015. Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: insights from ROS detoxification and scavenging. Frontiers in Plant Science, 6:420. **(Journal)**

Jabeen, Z., Fayyaz, H.A., Irshad, F., Hussain, N. and Hassan, M.N. 2021. Sodium nitroprusside application improves morphological and physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) under salinity stress. Plos One, 16(4): e0248207. **(Journal)**

Jalilzadehkhooei, A. and Jabarzadeh, Z. 2017. Effect of nitric oxide application on germination of Poa pratensis under salinity stress. The first International Conference Tehran City. 13-16 September, Tehran, Iran, pp: 12. **(Conference)**

Javadi, H., Seghatol Eslami, M.J. and Moosavi, G.R. 2014. Effect of salinity on seed germination and seedling growth of four medicinal plant species. Iranian Journal of Field Crops Research, 12: 53- 64. (In Persian) **(Journal)**

Javed, S.A., Shahzad, S.M., Ashraf, M., Kausar, R., Arif, M.S., Albasher, G., Rizwana, H. and Shakoor, A. 2022. Interactive effect of different salinity sources and their formulations on plant growth, ionic homeostasis and seed quality of maize. Chemosphere, 291:132678. **(Journal)**

Kabiri, R., Naghizadeh, M. and Delfani, M. 2020. Effect of sodium nitroprusside pretreatment on germination improvement and early growth of black cumin (*Nigella sativa*) under salinity stress. Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 8(2): 177-194. (In Persian) **(Journal)**

Kar, M. and Mishra, D. 1976. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Journal of Plant Physiology, 57: 315- 319. **(Journal)**

Lei, Y., Yin, C., Ren, J. and Li, C. 2007. Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings. Journal of Plant Biology, 516: 386-390. **(Journal)**

Li, W., Zeng, Y., Yin, F., Wei, R. and Mao, X. 2021. Genome-wide identification and comprehensive analysis of the NAC transcription factor family in sunflower during salt and drought stress. Scientific Reports, 11(1): 19865. **(Journal)**

Migahid, M.M., Elghobashy, R.M., Bidak, L.M. and Amin, A.W. 2019. Priming of *Silybum marianum* (L.) Gaertn seeds with H2O2 and magnetic field ameliorates seawater stress. Heliyon, 5(6): e01886. **(Journal)**

Miladinović, D., Hladni, N., Radanović, A., Jocić, S. and Cvejić, S. 2019. Sunflower and climate change: possibilities of adaptation through breeding and genomic selection. Genomic Designing of Climate-Smart Oilseed Crops, 173- 238. **(Journal)**

Moucheshi, A.S., Shekoofa, A. and Pessarakli, M. 2014. Reactive Oxygen Species (ROS) Generation and Detoxifying in Plants. Journal of Plant Nutrition, 37: 1573 – 1585. **(Journal)**

Neill, S.J., Desikan, R. and Hancock, J.T. 2003. Nitric oxide signaling in plants. New Phytologist, 159(1): 11-35. **(Journal)**

Nenova, V. 2008. Growth and mineral concentrations of pea plants under different salinity levels and iron supply. Journal of Plant Physiology, 34: 189-202. **(Journal)**

Primo, D.C., Menezes, R.S.C., de Oliveir, F.F., Dubeux Júnior, J.C.B. and Sampaio, E.V.S.B. 2018. Timing and placement of cattle manure and/or gliricidia affects cotton and sunflower nutrient accumulation and biomass productivity. Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 90(1): 415-423. **(Journal)**

Rezapour, R., Ganjali, A. and Abrishamchi, P. 2019. Study of sodium nitroprusside (SNP) and salt stress interaction on some traits of canola plant (*Brassica napus* L.cv. Modena. Journal of Plant Research, 32: 319-331. (In Persian) **(Journal)**

Rouhi, H.R., Moradi, A., Samanm, M., Mohammadi, Y. and Shahbodaghlo, A. 2019. Seed priming with SNP improves the performance of aged pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 8(1): 67-81. (In Persian) **(Journal)**

Saadat, H., Soltani, E. and Sedghi, M. 2023a. The effect of seed priming with chitosan on germination characteristics and activity of antioxidant enzymes in rice seedlings (*Oryza Sativa* L.) under salinity stress. Plant Process and Function, 12(54): 15. (In Persian) **(Journal)**

Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2023b. Expression of gibberellin synthesis genes and antioxidant capacity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadri) seeds induced by chitosan under salinity. Iranian Journal of Plant Physiology, 13(4): 4715-4728. **(Journal)**

Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2023c. The Effect of Priming with Different Levels of Chitosan on Physiological and Biochemical Traits in French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Under Salinity Stress. Phant Production Technology, 14(2):75-89. (In Persian) **(Journal)**

Saddiq, M.S., Iqbal, S., Afzal, I., Ibrahim, A. M., Bakhtavar, M.A., Hafeez, M.B. and Maqbool, M. M. (2019). Mitigation of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings through physiological seed enhancements. Journal of Plant Nutrition, 42(10): 1192–1204. **(Journal)**

Saed-Moucheshi A., Shekoofa, A., Sadeghi, H. abd Pessarakli, M. 2014. Drought and salt stress mitigation by seed priming with KNO3 and urea in various maize hybrids: an experimental approach based on enhancing antioxidant responses. Journal of Plant Nutrition, 37:674–689. **(Journal)**

Sairam, R.K., Rao, K.V. and Srivastava, G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyteconcentration. Plant Science, 163: 1037-1046. **(Journal)**

Simões, W.L., Silva, J.S., Oliveira, A.R., Neto, A.R., Drumond, M.A., Limas, J.A. and Nascimento, B.R. 2020. Sunflower cultivation under different irrigation systems and planting spacings in the sub-iddle region of São Francisco Valley. Ciências Agrárias, 41(2): 2899-2910. **(Journal)**

Seiler, G.J., Qi, L.L. and Marek, L.F. 2017. Utilization of sunflower crop wild relatives for cultivated sunflower improvement. Crop Science, 57: 1083–1101. **(Journal)**

Seiler, G. and Jan, C.C. 2010. Genetics, genomics and breeding of sunflower. In: Hu, J., Seiler, G. and Kole, C. (Eds). CRC Press. pp: 1-50.

Shabala, S. and Munns, R. 2012. Salinity Stress. In: Shabala, S. (Eds.) Physiological Constraints and Adaptive Mechanisms. Journal of Plant Stress Physiology. CAB International, Wallingford. UK. pp: 59-93. **(Book)**

Shekari, F., Baljani, R., Saba, J., Afsahi, K. and. Shekari, F. 2010. Effect of seed priming with salicylic acid on growth characterisics of borage (*Borago officinalis*) plants seedlings. Journal of Agricultural Science, 6(18): 47-53. (In Persian) **(Journal)**

Shi, G.R., Cai, Q.S., Liu, Q.Q. and Wu, L. 2009. Salicylic acid-mediated alleviation of cadmium toxicity in hemp plants in relation to cadmium uptake, photosynthesis, and antioxidant enzymes. Acta Physiologiae Plantarum, 31: 969–977. **(Journal)**

Torabian, S.H., Zahedi, M. and Khoshgoftar, A.H. 2016. Effects of foliar spray of two kinds of zinc oxide on the growth and ion concentration of sunflower cultivars under salt stress. Journal of Plant Nutrition, 39: 172-180. **(Journal)**

Umar, M. and Shaheed Siddiqui, Z. 2018. Physiological performance of sunflower genotypes under combined salt and drought stress environment. Acta Botanica Croatica, 77(1): 36-44. **(Journal)**

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

Verma, A., Malik, C. and Gupta, V. 2014. Sodium nitroprusside-mediated modulation of growth and antioxidant defense in the in vitro raised plantlets of peanut genotypes. Peanut Science, 41:25–31. **(Journal)**

Verma, D., Kanagaraj, A., Jin, S., Singh, N.D., Kolattukudy, P.E. and Daniell, H. 2010. Chloroplast-derived enzyme cocktails hydrolyse lignocellulosic biomass and release fermentable sugars. Journal of Plant Biotechnology, 8:332–350. **(Journal)**

Wong, H.M. 2009. Probing the interactions between iron nutrition, salinity and ultraviolet-B radiation on the physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.). M. Sc Dissertation, Lincoln University, Missouri. **(Thesis)**

Yasir, T.A., Muhammad Ateeq, M., Wasaya, A., Hussain, M., Sarwar, N., Khura Mubeen, K., Aziz, M., Iqbal, M.A., Ogbaga, C., Al-Ashkar, I. Md Atikur, R. and El Sabagh, A. 2023. Seed Priming and Foliar Supplementation with β-aminobutyric Acid Alleviates Drought Stress through Mitigation of Oxidative Stress and Enhancement of Antioxidant Defense in Linseed (*Linum usitatissimum* L.). Phyton, 92(11): 3114-3131. **(Journal)**

Yildiz, M., Celik, M. and Terzi, H. 2020. Proteomic Analysis of the Protective Effect of Sodium Nitroprusside on Leaves of Barley Stressed by Salinity. European Journal of Biology, 79(2): 89-97. **(Journal)**

Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J.K. and Shabala, S. 2020. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. The innovation, 1(1): 100017. **(Journal)**

Zeeshan, M., Lu, M., Sehar, S., Holford, P. and Wu, F. 2020. Comparison of biochemical, anatomical, morphological, and physiological responses to salinity stress in wheat and barley genotypes deferring in salinity tolerance. Agronomy, 10: 127. **(Journal)**

Zhang. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. Journal of Science. 327:1008–1010. **(Journal)**

Zheng, C., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., Liu, W., Jing, Q. I. and Cao, W. 2009. Exogenous nitric oxide improves seed germination in wheat against mitochondrial oxidative damage induced by high salinity. Environmental and Experimental Botany, 67: 222-227. **(Journal)**

The effect of Sodium nitroprusside on the growth Physiology of Sunflower seedling (*Helianthus annuus* L.) under Salinity Stress

Shahrooz Pourmirza Bilesvar[1], Mohammad Sedghi [2*], Raouf Seyed Sharifi [3], Haniyeh Saadat [4]

Received: June 6, 2024 Accepted: August 28, 2024

Abstract

In order to investigate the effect of priming on seed germination indices and antioxidant enzyme activity in chickpea seedlings under salinity stress and an experiment was conducted based on completely randomized design arranged in factorial with three replications at University of Mohaghegh Ardabili in 2023 with 3 replications. Treatments were four salinity levels (0, 50, 75 and 100 mM Derived from sodium chloride) and four levels of priming (without priming (control), hydropriming, priming with gibberellin (50 ppm) and salicylic acid (100 ppm)). The results showed that salinity stress reduced germination percentage (GP), daily germination coefficient (DGC), plumlue fresh weight (PFW). But seed priming with distilled water, salicylic acid, especially gibberellin improved these traits. Salinity increased the mean germination time (MGT), so that the highest (0.0387 seed per day) was observed at salinity of 100 Mm. The highest radicle fresh weight (RFW) (110.967 mg), radicle dry weight (RDW) (19.600 mg), plumule dry weight (PDW) (14.667 mg), seed length and weight vigor index (SLVI and SWVI) (12.041and 3.288) were observed in priming with gibberellin and control. The activity of catalase and glutathione enzymes reductase in priming with gibberellin were the application 66 and 42% higher than the control. The activity of peroxidase (enzyme in gibberellin treatment and salinity of 100 mM compared to the control showed an increase about 96%. Also. lowest amylase (2.1384 mg g-1 FW min-1) was obtained in salinity of 100 mM. In general, the results showed that gibberellin by stimulating antioxidant enzymes and neutralizing free radicals can reduce the harmful effects of salinity stress on some traits in chickpea seedlings and improve seedling growth.

Keywords: Antioxidant enzymes; Sodium chloride; Sodium nitroprusside; Sunflower

How to cite this article
Pourmirza Bilesvar, SH., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Saadat, H. 2024. The effect of Sodium nitroprusside on the growth Physiology of Sunflower seedling (*Helianthus annuus* L.) under Salinity Stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 11(2): 77-90. (In Persian)**(Journal)**
DOI: 10.22124/jms.2024.8788

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. M.Sc. Student of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. cropecosystems@gmail.com
2. Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. m_sedghi@uma.ac.ir
3. Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. rssharifi@yahoo.com
4. Ph.D of Crop Ecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. t.saadat2020@gmail.com
*Corresponding author: m_sedghi@uma.ac.ir