فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۲، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۱۴۵-۱۵۹
https://doi.org/10.22034/13.62.145

مقاله پژوهشی

اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر بهبود صفات فیزیولوژیکی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهچه برنج (*Oryza sativa*) تحت تنش شوری

هانیه سعادت و محمد صدقی*

گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹)

چکیده

به منظور تعیین اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر بهبود صفات فیزیولوژیکی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاهچه برنج تحت تنش شوری آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و سه سطح سدیم نیتروپروساید (صفر (آب‌مقطر)، ۴۰ و ۸۰ میکرومولار) بود. نتایج نشان داد که شوری شاخص‌های جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص طولی بنیه گیاهچه و شاخص وزنی بنیه گیاهچه را کاهش داد، ولی پرایمینگ بذر با سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید به‌ویژه سطح ۸۰ میکرومولار این صفات را بهبود بخشید. شوری میانگین مدت جوانه‌زنی را افزایش داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین میانگین مدت جوانه‌زنی (۰/۳۷۱ روز) در پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید ۴۰ میکرومولار و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در پیش‌تیمار با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب در حدود ۳۷ و ۴۰ درصد نسبت به شاهد (آب‌مقطر) و بدون شوری بیشتر بود. شوری فعالیت آنزیم پراکسیداز را افزایش داد. به‌طوری‌که کمترین آنزیم پراکسیداز (۵۸/۴۴۴ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در شاهد (بدون شوری) به‌دست آمد. همچنین، فعالیت آنزیم پراکسیداز در پیش‌تیمار با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار حدود ۱۴ درصد نسبت به شاهد (آب‌مقطر) افزایش نشان داد. نتایج نشان داد که تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار موجب بهبود جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی بذر برنج در شرایط شور می‌شود و به دلیل کاهش تنش اکسیداتیو می‌تواند اثرات مضر شوری بر برخی صفات در گیاهچه برنج را کاهش داده و رشد گیاهچه را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: برنج، پیش‌تیمار، سدیم نیتروپرساید، کلرید سدیم، هیدروپرایمینگ

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* (L.) سومین غله مهم دنیا و منبع مهم تغذیه بیش از، نیمی از جمعیت دنیا با حجم تولید ۵۱۴ میلیون تن در سال است (Wang *et al.*, 2021). این گیاه یکساله و از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار است (Fahad *et al.*, 2019). برنج، غنی از کربوهیدرات و حاوی پروتئین، لیپید و کمپلکس‌های ویتامین B مانند ریبوفلاوین، نیاسین و تیامین است (Fresco, 2005). تنش شوری ناشی از فعالیت‌های انسانی بر جوانه‌زنی بذر برنج، رشد گیاهچه، محتوای مواد مغذی و بهره‌وری بعدی تأثیر منفی می‌گذارد (Razzaq *et al.*,

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m_sedghi@uma.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

2020). افزایش تولید برنج جهت برآوردن نیاز غذایی جمعیت در حال رشد مستلزم اتخاذ استراتژی‌های لازم جهت افزایش عملکرد است (Zhao *et al.*, 2020). در حال حاضر شوری یکی از مشکلات اصلی در جهان است. براساس آمارهای اخیر، شوری در ۸۰ میلیارد هکتار از اراضی مناطق خشک اختلال ایجاد می‌کند و استفاده از زمین برای اهداف کشاورزی را کاهش می‌دهد (Gopalakrishnan and Kumar, 2020). شوری از طریق اختلال در سنتز پروتئین، متابولیسم چربی‌ها و انرژی گیاه مرحله جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (زینی‌وند و نصر اصفهانی، ۱۴۰۰؛ Salek Mearaji *et al.*, 2019). تنش شوری باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد در برنج می‌شود (سعادت و همکاران، ۱۴۰۲). شوری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز و صفات بیوشیمیایی مانند مقدار مالون دی‌آلدئید را افزایش و فعالیت آنزیم آمیلاز در گیاهان مختلف را کاهش می‌دهد (سعادت و همکاران، ۱۴۰۲؛ Saadat *et al.*, 2023).

روش‌های مختلفی برای بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه وجود دارد (Chaichi *et al.*, 2022). یکی از این روش‌ها تکنیک پرایمینگ است. پرایمینگ یک روش ساده فیزیولوژیک، اقتصادی، سازگار با محیط‌زیست و قابل توصیه به کشاورزان است که سبب افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، سبزشدن بذور و استقرار گیاهچه تحت شرایط محیطی مختلف می‌شود (Sen and Puthur, 2020). پیش‌تیمار بذر اثرات منفی انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی از جمله شوری را کاهش می‌دهد (Hussein *et al.*, 2021). بذرهای پرایم‌شده آمادگی جوانه‌زنی و استقرار را قبل از قرارگرفتن در بستر خود به‌دست می‌آورند (بابایی‌پور و همکاران، ۱۴۰۰).

سدیم نیتروپروساید یک ترکیب آزادکننده نیتریک اکسید (NO) است که به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان در کاهش تنش اکسیداتیو با سم‌زدایی گونه‌های اکسیژن فعال در گیاهان نقش دارد (Yasir *et al.*, 2021). نیتریک اکسید یک مولکول گازی بدون بار و چربی‌دوست است که می‌تواند بر روی برخی از بخش‌های درون سلولی تأثیر بگذارد (Takahashi and Shinozaki, 2019). نیتریک اکسید علاوه بر اینکه فراوان‌ترین گونه فعال نیتروژن در گیاهان است و نقش اساسی در چندین فرآیند فیزیولوژیکی مانند تنظیم رشد و تحمل به شرایط استرس‌زای زنده یا غیرزیستی دارد (Sanchez-Vicente *et al.*, 2019; Hesami *et al.*, 2020). همچنین، در فرآیندهای رشد و نمو گیاه از جمله جوانه‌زنی بذر، رشد اولیه ریشه، عملکرد میتوکندری، متابولیسم گیاه و مرگ سلولی و در فعالیت‌های مختلفی مانند بیان ژن ATPase، حفظ تعادل یونی بین سدیم و پتاسیم، افزایش ژن‌های بیان‌کننده آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از جمله پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و بهبود تجمع پرولین نقش دارد (Karthik *et al.*, 2019; Nabaei and Amooaghaie, 2019).

پیش‌تیمار با سدیم نیتروپروساید می‌تواند اثرات سوء ناشی از تنش‌های محیطی از جمله شوری را به‌طور مؤثر کاهش دهد و موجب بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان مختلف شود (ارشان و همکاران، ۱۴۰۲a؛ ارشان و همکاران، ۱۴۰۲b؛ کبیری و همکاران، ۱۴۰۰؛ Maslennikova *et al.*, 2023; Kappen *et al.*, 2022).

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی اثر سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید در شرایط آزمایشگاهی و تحت تنش شوری بر میزان صفات فیزیولوژیکی و برخی صفات بیوشیمیایی جهت تعدیل اثرات سوء ناشی از تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی به‌منظور مطالعه اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر بهبود صفات فیزیولوژیکی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهچه برنج تحت تنش شوری به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و سه سطح

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

جدول ۱- روابط محاسباتی مورد استفاده برای تعیین برخی صفات گیاهچه برنج

صفات	روابط	منابع
درصد جوانه‌زنی (Germination Percentage)	GP = (N×100) / M	امیدی و همکاران، ۱۳۹۳
سرعت جوانه‌زنی (Germination Rate)	GR =$\sum_{i=1}^{N} Si / Di$	Ellis and Roberts, 1980
میانگین مدت جوانه‌زنی (Mean germination time)	MGT = Σ (Ni) /ΣN)	امیدی و همکاران، ۱۳۹۳
شاخص طولی بنیه بذر (Seedling Length Vigor Index)	SLVI = SL (mm) × GP	ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۱
شاخص وزنی بنیه بذر (Seedling Weight Vigor Index)	SWVI = SDW (g) × GP	ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۱

N: تعداد بذر جوانه‌زده، M: تعداد کل بذور، N: تعداد دفعات شمارش، Ni: تعداد بذر جوانه‌زده در روز، Si: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز، Di: تعداد روز تا شمارش nام، GP: درصدجوانه‌زنی، SL: طول گیاهچه و SDW: وزن خشک گیاهچه.

سدیم نیتروپرساید (صفر (آب‌مقطر)، ۴۰ و ۸۰ میکرومولار) بود. ابتدا بذرها درون محلول‌های پرایمینگ و آب‌مقطر به‌مدت ۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. بعد از پرایمینگ، بذرها به‌وسیله آب‌مقطر شستشو و در دمای آزمایشگاه خشک شدند. پس از اعمال پرایمینگ، تعداد ۲۵ بذر درون هر پتری جهت کشت قرار گرفت (ISTA, 2013) و به هر پتری محلول شوری (کلرید سدیم) ۵ میلی‌لیتر اضافه شد، سپس پتری‌ها، به داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس منتقل شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده به‌صورت روزانه و به‌مدت هفت روز انجام گردید. برای خشک‌کردن گیاهچه‌ها از آون استفاده شد. به این صورت که نمونه‌ها در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفتند. برای محاسبه شاخص‌های مورد مطالعه از روابط جدول ۱ استفاده شد.

جهت تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برنج، گیاهچه‌ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در داخل پتری‌دیش درون ژرمیناتور به مدت ۹ روز رشد داده شدند. پس از باز شدن برگ‌های اولیه از هر تیمار پنج گیاهچه تصادفی انتخاب و بعد از قراردادن در فویل آلومینیومی، به فریزر با دمای ۷۲- درجه سلسیوس منتقل شدند. به‌منظور استخراج عصاره آنزیمی، ۰/۵ گرم نمونه از هر تیمار توزین و در داخل هاون چینی (که از قبل در یخچال نگهداری شده بود) با استفاده از نیتروژن مایع هموژن شد و بعد از آن ۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات سرد (pH=۷/۵) حاوی ۰/۵ میلی‌مولار EDTA به هاون افزوده شد. سپس، هموژن‌ها به اپندورف‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل شده و به مدت ۱۵ دقیقه با دمای ۴ درجه سلسیوس با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. تمامی مراحل در روند تهیه عصاره آنزیمی در دمای ۴-۱ درجه سلسیوس انجام گرفت. جهت پیشگیری از انجماد و ذوب متوالی نمونه‌ها سوپرناتانت حاصل به سه قسمت تقسیم شد و تا زمان اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند (Sairam *et al.*, 2002).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز طبق روش (Aebi, 1984) اندازه‌گیری شد. مواد شیمیایی مورد نیاز شامل ۰/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۷/۵ میلی‌مولار، ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷) و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود که حجم نمونه‌ها با افزودن آب-مقطر به ۳ میلی‌لیتر رسانده شد. با افزودن پراکسید هیدروژن واکنش شروع و تغییرات جذب در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت شد. محلول جذب زمینه برای دستگاه شامل تمام موارد استفاده شده به جز عصاره آنزیمی استخراج شده بود. میزان پراکسید هیدروژن تجزیه‌شده با استفاده از ضریب خاموشی (ε= 39/4 $\mu M^{-1}cm^{-1}$) محاسبه و فعالیت آنزیم کاتالاز براساس میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه‌شده در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز طبق روش (Hemeda and Klein, 1990) انجام شد. مخلوط واکنش شامل ۲۵۰ میکرولیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۲۵۰ میکرولیتر گایاکول ۱۰ میلی‌مولار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

محلول در آب دوبار تقطیرشده، ۳۴ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۷۰ میلی‌مولار محلول در فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۴۶۷ میکرولیتر آب دو بار تقطیر استریل شده و ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در نتیجه فعالیت آنزیم پراکسیداز بر حسب واحد میلی‌گرم بر پروتئین در دقیقه گزارش شد.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: فعالیت آنزیم براساس روش (Giannopolitis and Ries, 1977) مورد سنجش قرار گرفت. مخلوط واکنش شامل بافر ۰/۱ مول در لیتر فسفات (pH=۷/۸) به میزان ۳ میلی‌لیتر که حاوی ۱/۳ میکرومول در لیتر ریبوفلاوین، متیونین به میزان ۱۳ میلی‌مول در لیتر، نیتروبلوتترازولیوم به میزان ۶۳ میکرومولار و عصاره آنزیمی به میزان ۰/۱ میلی‌لیتر بود. نمونه بلانک در تاریکی به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت و نمونه‌های شاهد و عصاره آنزیمی در محفظه نوری با دو لامپ فلورسنت ۲۰W به مدت ۱۵ دقیقه و ۱۰۰ دور در دقیقه برروی شیکر گذاشته شد. سپس، جذب در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر خوانده شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: در این تحقیق، اثر ساده سدیم نیتروپروساید و شوری روی درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تیمارها نشان داد که درصد جوانه‌زنی در پیش‌تیمار با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار حدود ۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل 1a). این صفت با تشدید شوری به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۵/۴۴ درصد) در شاهد (بدون شوری) و کم‌ترین آن (۷۲/۸۹ درصد) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد (شکل 1b).

سرعت جوانه‌زنی: جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سدیم نیتروپروساید و شوری روی سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). سرعت جوانه‌زنی در پیش‌تیمار با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و بدون شوری در حدود ۶۸ درصد نسبت به شاهد و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار افزایش نشان داد (شکل ۲).

میانگین مدت جوانه‌زنی: جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سدیم نیتروپرساید و شوری روی میانگین مدت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین، نتایج مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش بر میانگین مدت جوانه‌زنی نشان داد که بیش‌ترین میانگین مدت جوانه‌زنی (۰/۳۷۱ روز) در پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید ۴۰ میکرومولار و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین آن (۰/۱۰۱ روز) در پیش‌تیمار با نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و شاهد (بدون شوری) حاصل شد (شکل ۳).

شاخص وزنی و طولی گیاهچه: جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سدیم نیتروپروساید و شوری روی شاخص وزنی و طولی گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین شاخص وزنی و طولی گیاهچه نشان داد که بیش‌ترین شاخص طولی بنیه گیاهچه (۱۰/۰۹۳) و شاخص وزنی بنیه گیاهچه (۰/۰۲۶۰۵) از پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و بدون شوری مشاهده شد و کمترین شاخص طولی بنیه بذر (۲/۵۹۵) و شاخص وزنی بنیه بذر (۰/۰۰۵۷۲) در شاهد (آب‌مقطر) با شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (شکل ۴ و ۵).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز: جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سدیم نیتروپروساید و شوری روی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین بر روی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۲۶/۲۶۷ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) و سوپراکسید دیسموتاز (۱۷۱/۵۵۰ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) از پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد. و کم‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز نیز به ترتیب، ۱۶/۴۶۷ و ۱۰۲/۷۰۰ واحد میلی‌گرم

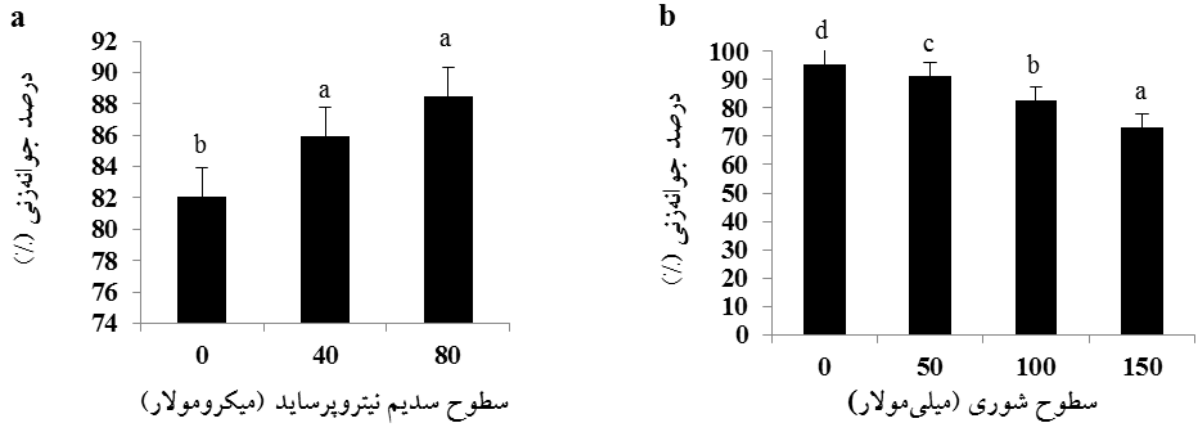
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

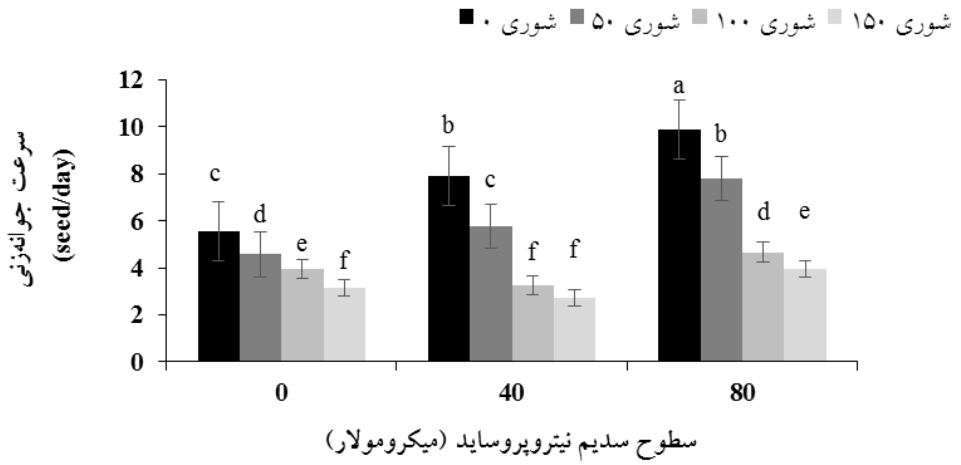
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سدیم نیتروپروساید و شوری بر صفات فیزیولوژیکی در گیاهچه برنج

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین مدت جوانه‌زنی	شاخص طولی بنیه گیاهچه	شاخص طولی بنیه گیاهچه
سدیم نیتروپروساید	۲	۱۲۵/۰۸۳**	۱۶/۶۱۲**	۰/۰۱۹۱۰۲۹۰**	۳۵/۲۴۷**	۰/۰۰۰۲۶۱۷۰**
شوری	۳	۹۰۰/۰۳۷**	۳۷/۷۵۶**	۰/۰۵۹۲۲۷۰۸**	۳۳/۱۵۴**	۰/۰۰۰۲۰۷۵۵**
سدیم نیتروپروساید × شوری	۶	۱۷/۸۹۸ns	۲/۷۷۲**	۰/۰۰۲۹۲۳۲۴**	۰/۵۵۵**	۰/۰۰۰۰۰۴۰۱**
خطای آزمایشی	۲۲	۱۴/۹۶۹	۰/۱۰۶	۰/۰۰۰۵۱۱۷۲	۰/۱۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۵۷
ضریب تغییر (٪)		۴/۵۲۵	۶/۱۹۱	۱۰/۲۱۶	۵/۵۲۸	۵/۲۵۱

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



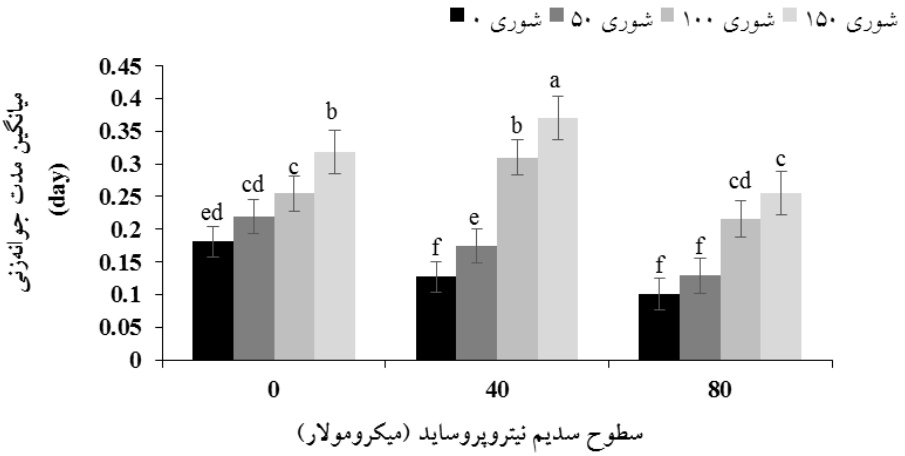
شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات ساده شوری (a) و سدیم نیتروپروساید (b) بر درصد جوانه‌زنی در برنج. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.



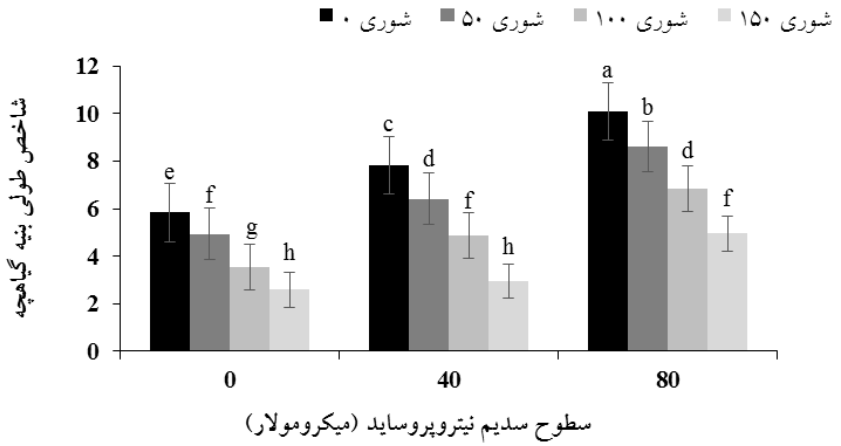
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و شوری بر سرعت جوانه‌زنی در برنج. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

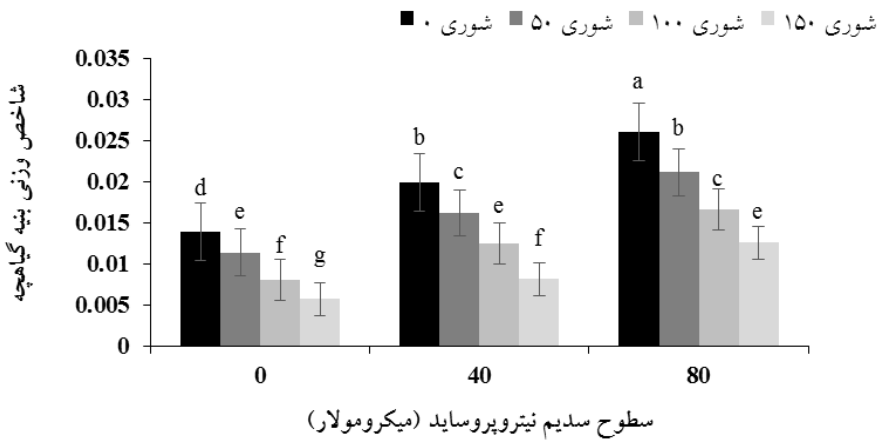
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی میانگین مدت جوانه‌زنی در برنج. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی شاخص طولی بنیه گیاهچه در برنج. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی شاخص وزنی بنیه گیاهچه در برنج. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

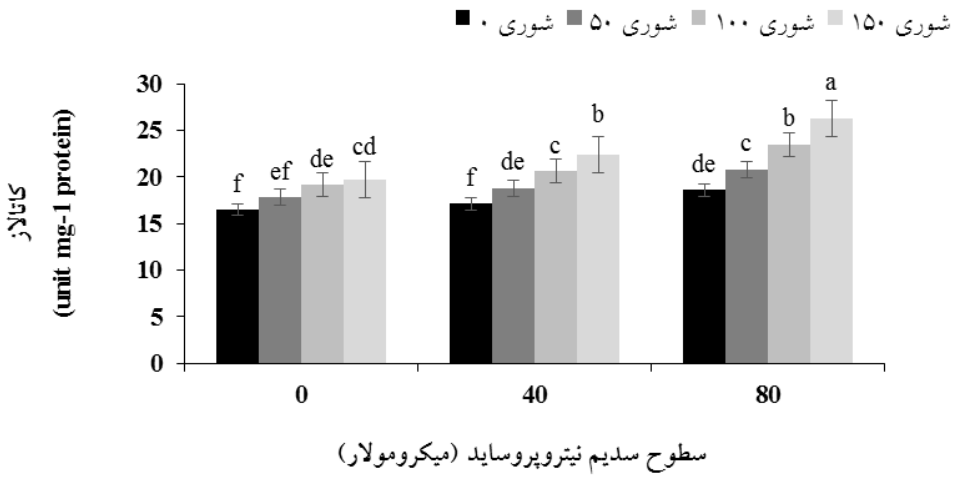
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

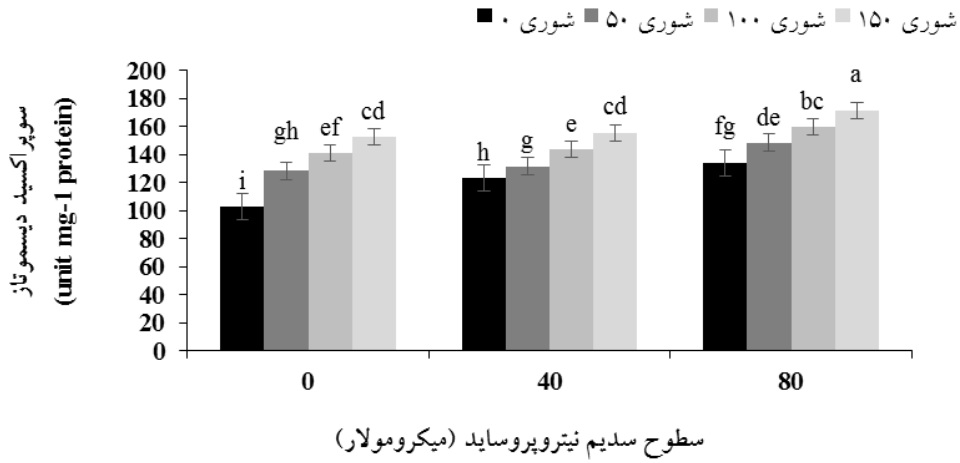
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سدیم نیتروپروساید و شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهچه برنج

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		کاتالاز	پراکسیداز	سوپراکسید دیسمیوتاز
سدیم نیتروپروساید	۲	۴۹/۳۹۱**	۳۱۷/۶۰۳**	۱۴۷۲/۸۷۱**
شوری	۳	۴۹/۵۴۶**	۸۷۹/۳۸۵**	۲۵۲۳/۵۴۷**
سدیم نیتروپروساید × شوری	۶	۲/۸۸۴**	۱۰/۲۱۰ns	۶۴/۲۰۳**
خطای آزمایشی	۲۲	۰/۵۶۴	۹/۹۹۷	۱۵/۰۳۸
ضریب تغییر (٪)		۳/۷۳۶	۴/۵۰۹	۲/۷۵۳

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



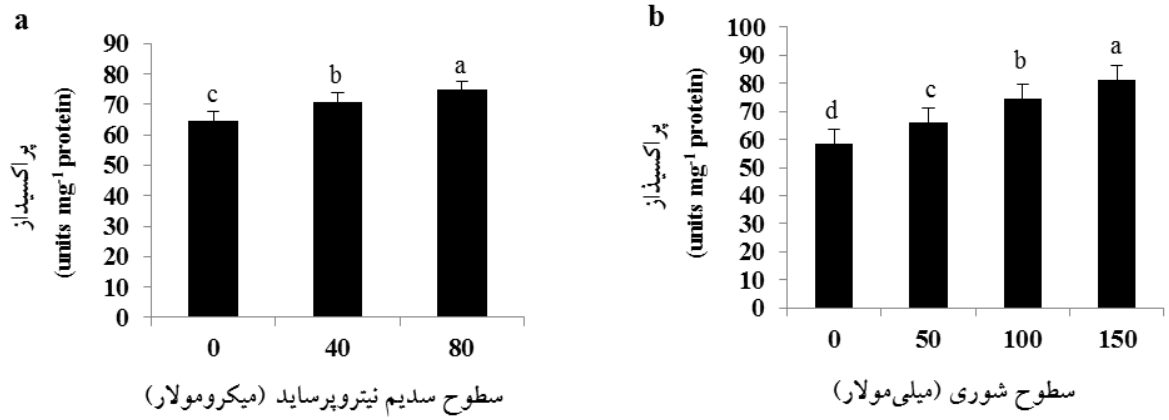
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی فعالیت کاتالاز در برنج. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی فعالیت سوپراکسید دیسموتازدر برنج. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]



شکل ۸- مقایسه میانگین اثرات ساده سدیم نیتروپروساید و شوری بر روی فعالیت پراکسیداز در برنج. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

بر پروتئین در شاهد (آب‌مقطر) و بدون شوری مشاهده شد (شکل ۶ و ۷).

فعالیت آنزیم پراکسیداز: اثر ساده سدیم نیتروپروساید و شوری بر آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل آن‌ها غیرمعنی‌دار شد (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۷۴/۷۸۳ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در تیمار با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و کم‌ترین آن (۶۴/۶۰۰ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در شاهد (آب‌مقطر) بود (شکل ۸a). شوری این صفت را افزایش داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۸۱/۱۷۸ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین مقدار آن (۵۸/۴۴۴ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در شاهد (بدون شوری) به‌دست آمد (شکل ۸b).

مطالعات متعدد در گذشته نشان داده‌اند که نیتریک اکسید حاصل از سدیم نیتروپروساید در تحمل شوری نقش داشته و به‌عنوان جاذب گونه‌های فعال اکسیژن، مولکول سیگنال‌دهنده و برهم‌کنش با سایر مولکول‌ها عمل می‌کند (Nabi *et al.*, 2019; Ahmad *et al.*, 2020; Hasanuzzaman *et al.*, 2018). تحقیقات نشان داده است که کاربرد سدیم نیتروپروساید با افزایش بیان ژن‌های مرتبط با آنتی‌اکسیدان در برنج به‌طور قابل‌توجهی اثر تنش شوری را بر رشد گیاهچه کاهش داده است (Adamu *et al.*, 2018). علاوه‌براین، پراکسیداسیون لیپیدی وابسته به گونه‌های فعال اکسیژن و اکسیداسیون پروتئین توسط گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش شوری به‌طور مؤثری توسط نیتریک اکسید مهار می‌شود (Fancy *et al.*, 2017). سدیم نیتروپروساید از طریق حفظ تنظیم اسمزی باعث محدود کردن تنش در نتیجه آسیب اکسیداتیو ناشی از آن می‌شود (Ragab and Saad-Allah, 2020). نیتریک اکسید در شرایط تنش به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی در سلول‌ها باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولیدشده در کلروپلاست می‌شود (Ahmad *et al.*, 2020). کاهش جذب آب تحت تنش شوری روند جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rajabi Dehnavi *et al.*, 2020) که با نتایج این پژوهش نیز تطابق دارد. کاهش سرعت جوانه‌زنی همراه با افزایش سطوح شوری در این پژوهش، ناشی از تنش خشکی فیزیولوژیک است. این تنش به علت کاهش سرعت اولیه جذب آب منجر به کاهش شاخص‌های رشد می‌شود (عطاردی و همکاران، ۱۳۹۰). شوری با ایجاد پتانسیل اسمزی منفی‌تر، نفوذ آب به داخل بذرها محدود کرده و موجب کاهش جوانه‌زنی می‌شود. هم‌چنین غلظت بالای یون‌های سدیم و کلر بذرها را مسموم کرده و اجازه جذب آب به آن‌ها را نمی‌دهد (شاکرمی و همکاران، ۱۳۸۹). اثر مثبت پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی ناشی از توسعه جنین و تغییرات بیوشیمیایی لازم جهت شروع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

جوانه‌زنی مانند هیدرولیز و متابولیسم مواد بازدارنده، جذب آب و فعالیت آنزیم‌ها است (Mussa *et al.*, 1999). یکی از دلایل افزایش درصد جوانه‌زنی بذر پرایم شده، افزایش سوخت و ساز نشاسته و انتقال آن به جنین می‌باشد (Afzal *et al.*, 2012). پرایمینگ بذر با افزایش سرعت و تقسیم سلولی و جذب آب سبب پیشبرد فرآیندهای نظیر سنتز پروتئین، mRNAها، حفظ DNA، افزایش مقدار سطح انرژی سلول‌ها شده در نهایت درصد و سرعت جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (طاهری و همکاران، ۱۳۹۷؛ Varier *et al.*, 2010). سدیم نیتروپروساید با افزایش آنزیم‌های هیدرولیزکننده مانند آلفا و بتا آمیلاز و تبدیل نشاسته به قند و تأثیر بر سیستم آنتی‌اکسیدان و کاهش اثرات آسیب‌زای تنش شوری موجب بهبود درصد جوانه‌زنی بذرها در شرایط تنش شور می‌گردد (Bialecka and Kepczynski, 2010; Zheng *et al.*, 2009). سدیم نیتروپروساید به علت نقش نیتریک اکسید در کاتابولیسم هورمون آبسیزیک اسید و تحریک مسیر سیگنال‌دهی هورمون اتیلن درصد جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (Arc *et al.*, 2013). نتایج آزمایشی نشان داد که پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید تحت تنش شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی را در گیاه کنجد و سیاهدانه افزایش داد (کبیری و همکاران، ۱۴۰۰؛ فتحی و همکاران، ۱۳۹۷). گزارش‌ها نشان داده است که پرایمینگ تأثیر مثبتی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی در برنج و لوبیا تحت شرایط شوری دارد (فرهنگجو و همکاران، ۱۴۰۲؛ سعادت و همکاران، ۱۴۰۲؛ سعادت و همکاران، ۱۴۰۱a). افزایش میانگین مدت جوانه‌زنی طی تنش شوری، به دلیل تأخیر در جذب آب توسط بذر است، زیرا فعال‌شدن آنزیم‌های مورد نیاز بذر در فرآیند جوانه‌زنی نیازمند جذب آب برای رسیدن به مرحله دوم جوانه‌زنی هستند و بذرهای پرایم‌شده به دلیل گذراندن دو مرحله از سه مرحله جوانه‌زنی، به آب کمتری برای تکمیل فرآیند جوانه‌زنی نیاز دارند (Varier *et al.*, 2010). تغییرات متابولیک و بیوشیمیایی در فرآیند جوانه‌زنی در بذور پرایم‌شده اتفاق می‌افتد. در بذور پرایم‌شده، آنزیم‌های هیدرولیزکننده، پروتئین‌ها و کربوهیدرات را می‌شکنند تا در روند جوانه‌زنی استفاده شود، در نتیجه باعث جوانه‌زنی سریع و کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی می‌شود (Bittencourt *et al.*, 2005). همچنین، پرایمینگ با افزایش فعالیت‌های متابولیکی و سرعت تقسیم سلولی میانگین مدت جوانه‌زنی کاهش می‌دهد، که این فرضیه در پژوهشی که روی برنج انجام گرفته، نشان داده شده است (Basra *et al.*, 2002). افزایش میانگین مدت جوانه‌زنی تحت تنش شوری در تحقیقات دیگر روی برنج و لوبیا نیز گزارش شده است (سعادت و همکاران، ۱۴۰۲؛ سعادت و همکاران، ۱۴۰۱a). تنش شوری از طریق کاهش پتانسیل آب و اثرات متعاقب آن و ایجاد مسمومیت در بذر ناشی از غلظت کاتیون و آنیون (کلر و سدیم) شاخص‌های بنیه گیاهچه را کاهش می‌دهد (مدحج و کربلایی، ۱۳۹۸؛ Chamhidar and Farhoodi 2019). افزایش شاخص‌های طولی و وزنی بنیه گیاهچه در پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید، به دلیل بیشتربودن درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه بوده است که موجب افزایش تعداد کل بذرهای جوانه‌زده و طول گیاهچه گردیده است زیرا شاخص طولی و وزنی بنیه، حاصل‌ضرب درصد جوانه‌زنی با طول و وزن خشک گیاهچه است، در نتیجه افزایش در این صفات سبب افزایش شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه می‌گردد. همچنین، دلیل افزایش شاخص‌های بنیه گیاهچه تحت پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید می‌تواند ناشی از تحرک ذخایر غذایی، فعالیت و ساخت آنزیم‌ها، بازسازی RNA و DNA، سنتز پروتئین و تقسیم سلولی سریع سلول‌های جنینی در نتیجه برطرف‌شدن موانع جوانه‌زنی طی پرایمینگ باشد (Basra *et al.*, 2003; Ventura *et al.*, 2012). پژوهشگران بیان کردند که تیمار با سدیم نیتروپروساید به دلیل تأثیر سینرژیستی روی پرکسید هیدروژن موجب افزایش سرعت انتقال پروتئین‌های ذخیره‌ای به جنین در حال رشد شده و از این طریق بنیه گیاهچه را افزایش می‌دهد (Qiao *et al.*, 2014). نتایج آزمایشی نشان داد که پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید تحت تنش شوری شاخص‌های بنیه گیاهچه در گیاه سیاهدانه و کنجد را افزایش داد (کبیری و همکاران، ۱۴۰۰؛ فتحی و همکاران، ۱۳۹۷). این پژوهش نشان داد که افزایش سطوح

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

مختلـف شوری، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه را کاهش داد کـه مطـابق نتیجه به‌دسـت آمـده در سـایر پژوهش‌هـا بـود (سعادت و همکاران، ۱۴۰۲؛ سعادت و همکاران، ۱۴۰۱b). نتایج این تحقیق نشان داد که فعالیت آنـزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در شـرایط تـنش شـوری نسبت به عدم اعمال تنش بیشتر می‌شود (فرهنگجو و همکاران، ۱۴۰۲؛ سعادت و همکاران، ۱۴۰۲؛ Saadat *et al.*, 2023) و دلیل این امر می‌تواند کاهش توانـایی جذب آب، سمیت یونی، تنش اکسیداتیو، تغییرات فرآیندهای متابولیک، تخریب غشا و یا کاهش تقسیم سلولی تحت تنش شوری باشد (Zhu, 2007). افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت شرایط شوری نقش حفاظتی این آنزیم را در مقابل تنش‌های مختلف نشان می‌دهد. افزایش آنزیم پراکسیداز با توجه به نقش آن در حذف پرکسید هیدروژن، کاهش مالون دی‌آلدئید و حفظ پایداری غشای سلول منطقی است. افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با پایین نگه داشته میزان رادیکال سوپراکسید، صدمات اکسیداتیو ناشی از تنش شوری را کاهش می‌دهد (Borzouei *et al.*, 2012). افزایش غلظت پرکسید هیدروژن ناشی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز جهت تجزیه پرکسید هیدروژن می‌شود (Bowler *et al.*, 1992). افزایش این آنزیم‌ها تخریب غشای سلولی ناشی از اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهند (Pullen and Saeed, 2012). گونه‌های فعال اکسیژن باعث اختلال در لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شوند (کافی و همکاران، ۱۳۹۷). استفاده از سدیم نیتروپروساید تولید آنزیم‌های پاک‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن را تحریک کرده و جمع‌شدن پراکسید هیدروژن در میتوکندری‌ها تحت تنش را کاهش می‌دهد (Shi *et al.*, 2007). در واقع، نیتریک اکسید حاصل از سدیم نیتروپروساید روی رادیکال‌های آزاد اثر گذاشته و آنـزیم‌هـای آنتـی‌اکـسیدان را برای کاهش غلظت رادیکال آزاد تحریـک کرده و تـنش اکسیداتیو را در گیاه کـاهش می‌دهد (Panda *et al.*, 2011). پرایمینگ با سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید رونویسی و بیان ژن‌های کدکننده کاتالاز را القا می‌کند (Qiao *et al.*, 2014). اثر حفاظتی نیتریک اکسید رهاشده از سدیم نیتروپروساید تحت تنش به علت ترمیم میتوکندری و توانایی نیتریک اکسید در القای فعالیت سوپراکسید دیسموتاز است (روحی و همکاران، ۱۳۹۸). عـدم افـزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب کاهش توانایی گیاه جهت مقابله و تحمل آسیب‌های ناشی از تنش شـوری مـی‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که شوری می‌تواند اثرات معنی‌داری در کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهچه برنج در شرایط آزمایشگاه داشته باشد. کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی احتمالاً به‌دلیل تجمع رادیکال‌های اکسیژن و تنش اکسیداتیو ناشی از این تنش است. همچنین، نتایج نشان داد که سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید به‌ویژه سطح ۸۰ میکرومولار سبب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در شرایط شوری می‌شود. به عبارتی جوانه‌زنی بذرهای تیمارشده نسبت به بذرهای شاهد، در نتیجه شوری محیط سریع‌تر آغاز خواهد شد و نیتریک اکسید حاصل از سدیم نیتروپرساید از راه افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجب کاهش اثرات سوء شوری می‌شود.

منابع

ابراهیمی، ام‌البنین، اسمعیلی، مجید محمد، صبوری، حسین، و طهماسبی، ابوالفضل (۱۳۹۱). آثار تنش‌های شوری و خشکی بر روی جوانه‌زنی دو گیاه مرتعی *Agropyron desertrum* و *Agropyron elongatum*. *مجله مهندس اکوسیستم بیابان*، *۱*(۱)، ۳۱-۳۸.

ارشان، کلثوم، صمصام‌پور، داود، و پاسالاری، حسین (۱۴۰۲a). تأثیر سدیم نیتروپروساید بر ویژگی‌های عملکردی، فیتوشیمیایی و فیزیولوژیکی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، *۱۲*(۵۶)، ۳۱۵-۳۲۴.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.20.4
ارشان، کلثوم، صمصام‌پور، داود، و پاسالاری، حسین (۱۴۰۲b). اثر سدیم نیتروپروساید (SNP) بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری. *پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۰(۱)، ۸۵-۱۰۲. DOR: 10.22069/JOPP.2022.20194.2931
امیدی، حشمت، جعفرزاده، لیلا، و نقدی بادی، حسنعلی (۱۳۹۳). بذر گیاهان دارویی و زراعی. انتشارات دانشگاه شاهد، تهران.
بابایی‌پور، رسول، عزیزی، خسرو، عیسوند، حمیدرضا، دانشور، ماشاله، و اکبرپور، امیرعلی (۱۴۰۰). اثر هیدروپرایمینگ بذر و محلول‌پاشی نیتروژن و گلایسین بتائین بر عملکرد کمّی و کیفی رقم عادل نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط دیم لرستان. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۵ (۵۸)، ۱۵۳-۱۷۰. DOR:10.30495/JCEP.2021.683380
روحی، حسین‌رضا، مرادی، علی، ثمن، مریم، و شاهبداغلو، علیرضا (۱۳۹۸). بهبود کارآیی بذرهای زوال‌یافته کدوی پوست کاغذی با استفاده از پیش‌تیمار نیتروپروساید سدیم تحت تنش خشکی. *علوم و فناوری بذر ایران*، ۸(۱)، ۸۱-۶۷. DOR: 10.22034/IJSST.2019.114505.1108
زینی‌وند، مهتاب، و نصر اصفهانی، مریم (۱۴۰۰). اثر پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و سدیم هیدروسولفید بر روی مراحل اولیه رشد یونجه (*Medicago sativa* L.) تحت تنش شوری. *فصلنامه زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۱۳(۳)، ۴۳-۶. DOR: 10.22108/IJPB.2022.131539.1270
سعادت، طیبه، سید شریفی، رئوف، و فرزانه، سلیم (۱۴۰۱a). تأثیر پرایمینگ با سطوح مختلف کیتوزان، روی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش شوری. *فن آوری تولیدات گیاهی*، ۱۴(۲)، ۷۵-۸۹. DOR: 10.22084/PPT.2023.26100.2075
سعادت، طیبه، سید شریفی، رئوف، و فرزانه، سلیم (۱۴۰۱b). تأثیر کیتوزان بر شاخص‌های جوانه‌زنی لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) رقم صدری در شرایط تنش شوری. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۹(۲)، ۱۵۱-۱۶۲. DOR: 10.29252/yujs.9.2.151.162
سعادت، هانیه، سلطانی، الیاس، و صدقی، محمد (۱۴۰۲). تأثیر پرایمینگ بذر با کیتوزان بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهچه‌های برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تنش شوری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۲(۵۴)، ۲۳۹-۲۵۸. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1728-fa.html
شاکرمی، بهمن، دیانتی تیلکی، قاسمعلی، طبری، مسعود، و بهتری، بهزاد (۱۳۸۹). اثر تیمارهای پرایمینگ بر مقاومت به شوری بذور *Festuca arundinacea* Schreb و *Festuca ovina* L. در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه. *نشریه تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران*، ۱۸(۲)، ۳۱۸-۳۲۸.
طاهری، شهرام، غلامی، احمد، عباس‌دخت، حمید، و مکاریان، حسن (۱۳۹۷). پاسخ عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ارقام گلرنگ به تنش کم‌آبی و پرایمینگ بذر. *مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۰(۳۸)، ۳۹- ۵۸. http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-1023-fa.html
عطاردی، هنگامه، ایران‌نژاد، حمید، شیرانی‌راد، امیرحسین، امیری، رضا، و اکبری، غلامعباس (۱۳۹۰). بررسی اثرات اعمال تنش خشکی و تاریخ کاشت روی گیاه مادری، بر بنیه و ظهور گیاهچه بذرهای تولیدی برخی ارقام کلزا. *مجله علوم گیاهان زراعی ایران*، ۴۲(۱)، ۷۱-۸۰. DOR: 20.1001.1.20084811.1390.42.1.8.4
فتحی، علیرضا، برادران فیروزآبادی، مهدی، و عامریان، محمدرضا (۱۳۹۷). تأثیر نیتریک اکسید بر جوانه‌زنی و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کنجد (*Sesamun indicum*) تحت تنش شوری. *علوم و تحقیقات بذر ایران*، ۵(۳)، ۸۸-۷۷. DOR: 10.22124/JMS.2018.2936
فرهنگجو، سیده الهام، خاوری‌نژاد، رمضانعلی، سعادتمند، سارا، نجفی، فرزانه، و باباخانی، بابک (۱۴۰۲). تأثیر اسید سالیسیلیک بر برخی صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تنش شوری. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

DOR: 10.22069/JOPP.2023.20675.2970 .۱۸۲-۱۶۳ ،(۲)۳۰

کافی، محمد، برزویی، اعظم، صالحی، معصومه، کمندی، علی، معصومی، علی، و نباتی، جعفر (۱۳۹۷). فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان، جهاد دانشگاهی واحد مشهد، مشهد.

کبیری، رزیتا، نقی‌زاده، مهدی، و دلفانی، مریم (۱۴۰۰). اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه سیاهدانه (*Nigella sativa*) تحت تنش شوری. *علوم و تحقیقات بذر ایران*، *۸*(۲)، ۱۹۴-۱۷۷. DOR: 10.22124/jms.2021.5219

مدحج، عادل، و کربلایی، اعظم (۱۳۹۸). واکنش جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه ژنوتیپ‌های گندم (*Triticum aestivum* and *Triticum durum* L.) به تنش شوری در رژیم‌های مختلف دمایی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۲(۱)، ۲۵۱-۲۶۲. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1278.1261

Adamu, T. A., Mun, B. G., Lee, S. U., Hussain, A., & Yun, B. W. (2018). Exogenously applied nitric oxide enhances salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) at seedling stage. *Agronomy*, *8*(12), 276. https://doi.org/10.3390/agronomy8120276

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, *105*, 121-126. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Afzal, I., But, A., Rehman, H. U., Basra, S. M. A., & Afzal, A. (2012). Alleviation of salt stress in fine aromatic rice by seed priming. *Australian Journal of Crop Science*, *6*(10), 1401-1407.

Ahmad, P., Alam, P., Balawi, T. H., Altalayan, F. H., Ahanger, M. A., & 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. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125480

Arc, E., Sechet, J., Corbineau, F., Rajjou, L., & Marionpoll, A. (2013). ABA crosstalk with ethylene and nitric oxide in seed dormancy and germination. *Frontiers in Plant Science*, *4*(63), 1-19. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00063

Basra, S. M. A., Pannu, I. A., & Afzal, I. (2003). Evaluation of seed vigor of hydro and matriprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Journal of Agriculturaln Biological*, *5*(2), 121-123.

Basra, S. M. A., Zia, M. N., Mehmood, T., Afzal, I., & Khaliq, A. (2002). Comparison of different invigoration techniques in wheat (*Tiriticum aestivum* L.) seeds. *Pakistan Journal of Arid Agriculture*, *5*, 325-329.

Bialecka, B. & Kepczynski, J. (2010). Germination, alpha-, beta-amylase and total dehydrogenase activities of Amaranthus caudatus seeds under water stress in the presence of ethephon or gibberellin A3. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*, *52*(1), 7-12. https://doi.org/ 10.2478/v10182-010-0001-0

Bittencourt, M. L. C., Dias, D. C., Dias, L. A., & Araujo, E. F. (2005). Germination and vigour of primed Asparagus seeds. *Scientia Agricola*, *62*(4), 319-324. https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000400003

Borzouei, A., Kafi, M., Akbari-Ghogdi, E., & Mousavi Shalmani, M. (2012). Long term salinity stress in relation to lipid peroxidation, superoxide dismutase activity and proline content of saltsensitive and salt-tolerant wheat cultivars. *Chilean Journal of Agricultural Research. 72*(4), 476-482. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392012000400003

Bowler, C., Montagu, M. V., & Inze, D. (1992). Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, *43*, 83-116. https://doi.org/10.1146/annurev.pp.43.060192.000503

Chaichi, M., Nemati, A., Dadrasi, A., Heydari, M., Hassanisaadi, M., Yousef, A. R., Baldwin, T. C., & Mastinu, A. (2022). Germination of *Triticum aestivum* L.: Efects of soil–seed interaction on the growth of seedlings. *Soil Systems*, 6(2), 37. https://doi.org/10. 3390/soilsystems6020037

Chamhidar, H. & Farhoodi, R. (2019). Evaluation of physiological respons of canola cultivars to salt stress at germination and seedling establishment stage. *Environmental Stresses Crop Sciences*, *12*(3), 907-921. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1470.1324

Ellis, R. H. & Roberts, E. H. (1980). Seed physiology and seed quality in soybean. In: Advances in Legume Science (eds. Summerfield, R. J. and Bunting, A. H.) Pp. 287-311. Royal Botanic Gardens, United Kingdom.

Fahad, S., Adnan, M., Noor, M., Arif, M., Alam, M., Khan, I. A., Ullah, H., Wahid, F., Mian, I. A., & Jamal, Y. (2019). Major constraints for global rice production. In: Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance (eds. Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Nahar, K. and Biswas, J. K.) Pp. 1-22. Woodhead Publishing, Sawston.

Fancy, N. N., Bahlmann, A. K., & Loake, G. J. (2017). Nitric oxide function in plant abiotic stress. *Plant, Cell & Environment*, *40*(4), 462-472. https://doi.org/ 10.1111/pce.12707

Fresco, L. (2005). Rice is life. *Journal of Food Composition and Analysis*, *4*, 249-253. https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2004.09.006

Giannopolitis, C. N. & Ries, S. K. (1977). Suoeroxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Journal of Plant*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

Physiology, *59*(2), 309-314. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309
Gopalakrishnan, T. & Kumar, L. (2020). Modeling and mapping of soil salinity and its impact on paddy lands in Jaffna Peninsula, Sri Lanka. *Sustainability, 12*(20), 8317. https://doi.org/10.3390/su12208317
Hasanuzzaman, M., Oku, H., Nahar, K., Bhuyan, M. B., Mahmud, J. A., Baluska, F., & Fujita, M. (2018). Nitric oxide-induced salt stress tolerance in plants: ROS metabolism, signaling, and molecular interactions. *Plant Biotechnology Reports, 12*(2), 77-92. https://doi.org/10.1007/s11816-018-0480-0
Hemeda, H. M. & Klein, B. P. (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. *Journal of Food Science, 55*, 184-185. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06048.x
Hesami, M., Tohidfar, M., Alizadeh, M., & Daneshvar, M. H. (2020). Effects of sodium nitroprusside on callus browning of *Ficus religiosa*: An important medicinal plant. *Journal of Forestry Research*, *31*(3), 789-796. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00063
Hussein, M. H., Eltanahy, E. G., Albakry, A., & Elsafty, N. (2021). Seaweed extracts as prospective plant growth bio-stimulant and salinity stress alleviator for *Vigna sinensis* and *Zea mays*. *Journal of Applied Phycology*, *33*(2), 1-18. https://doi.org/10.1007/s10811-020-02330-x
ISTA. (2013). International Rules for Seed Testing. Bassersdorf, Switzerland: The International Seed Testing Association (ISTA).
Kappen, L. J., Thomas, D., & Prameela, P. (2022). Chemical seed priming to improve salinity tolerance in rice. *Indian Society of Coastal Agricultural Research, 40*(1), 13-22. https://doi.org/10.54894/JISCAR.40.1.2022.116327
Karthik, S., Pavan, G., Krishnan, V., Sathish, S., & Manickavasagam, M. (2019). Sodium nitroprusside enhances regeneration and alleviates salinity stress in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *19*, 101173. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101173
Maslennikova, D., Knyazeva, I., Vershinina, O., Titenkov, A., & Lastochkina, O. (2023). Seed treatment with sodium nitroprusside ensures a long-term physiological and protective effect on wheat under salinity. *Life*, *13*, 1499. https://doi.org/10.3390/life13071499
Mussa, A. M., Johansen, C., Kumar, J., & Harris, D. (1999). Response of chickpea to seed priming in the high barind tract of Bangladesh. *International Chickpea and Pigeon pea Newsletter*, *6*, 20-22. http://oar.icrisat.org/id/eprint/2992
Nabaei, M. & Amooaghaie, R. (2019). Interactive effect of melatonin and sodium nitroprusside on seed germination and seedling growth of *Catharanthus roseus* under cadmium stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, *66*(1), 128-139. https://doi.org/10.1134/S1021443719010126
Nabi, R. B. S., Tayade, R., Hussain, A., Kulkarni, K. P., Imran, Q. M., Mun, B. G., & Yun, B. W. (2019). Nitric oxide regulates plant responses to drought, salinity, and heavy metal stress. *Environmental and Experimental Botany*, *161*, 120-133. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.003
Panda, P., Nath, Sh., Chanu, Th., Sharma, G. D., & Panda, S. K. (2011). Cadmium stressinduced oxidative stress and role of nitric oxide in rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Physiologiae Plantarum, 33*(5), 1737-1747. https://doi.org/10.1007/s11738-011-0710-3
Pullen, J. & Saeed, K. (2012). An overview of biodiesel oxidation stability. *Renew Sustainable Energy*, *16*(8), 5924-5950. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.024
Qiao, W., Li, C., & Fan, L. M. (2014). Cross-talk between nitric oxide and hydrogen peroxide in plant responses to abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany, 100*, 84-93. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.014
Ragab, G. & Saad-Allah, K. (2020). Seed priming with greenly synthesized sulfur nanoparticles enhances antioxidative defense machinery and restricts oxidative injury under manganese stress in *Helianthus annuus* (L.) seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation, 4*(5), 1894-1902. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10240-y
Rajabi Dehnavi, A., Zahedi, M., & Ludwiczak, A. (2020). Effect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. *Agronomy*, *10*(6), 859. https://doi.org/10.3390/agronomy10060859
Razzaq, A., Ali, A., Safdar, L. B., Zafar, M. M., Rui, Y., Shakeel, A., Shaukat, A., Ashraf, M., Gong, W., & Yuan, Y. (2020). Salt stress induces physiochemical alterations in rice grain composition and quality. *Journal of Food Science*, *85*(1), 14-20. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14983
Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023). 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. https://doi.org/10.30495/IJPP.2023.1978837.1460
Sairam, R. K., Rao, K. V., & Srivastava, G. C. (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. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9
Salek Mearaji, H., Tavakoli, A., Ghanimati, S., & Kathyrlo, P. (2019). The effect of salinity stress on traits related to germination of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Agroecology Journal*, *15*(3), 59-69.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

https://doi.org/10.22034/AEJ.2019.673021

Sánchez-Vicente, I., Fernandez-Espinosa, M. G., & Lorenzo, O. (2019). Nitric oxide molecular targets: Reprogramming plant development upon stress. *Journal of Experimental Botany*, *70*(17), 4441-4460. https://doi.org/10.1093/jxb/erz339.

Sen, A. & Puthur, J. T. (2020). Influence of different seed priming techniques on oxidative and antioxidative responses during the germination of *Oryza sativa* varieties. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *26*(3), 551-565. https://doi.org/10.1007/s12298-019-00750-9

Shi, Q., Fei, D., Xiufeng, W., & Min, W. (2007). Exogenous nitric oxide protects cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *45*(8), 542-550. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.05.005

Takahashi, F. & Shinozaki, K. (2019). Long-distance signaling in plant stress response. *Current Opinion in Plant Biology*, *47*(1), 106-111. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.10.006

Varier, A., Vari, A. K., & Dadlani, M. (2010). The subcellular basis of seed priming. *Current Science*, *99*(4), 450-456.

Ventura, L., Dona, M., Macovei, A., Carbonera, D., Buttafava, A., Mondoni, A., Rossi, G., & Balestrazzi, A. (2012). Understanding the molecular pathways associated with seed vigor. *Plant Physiology and Biochemistry*, *60*, 196-206. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.07.031

Wang, Y., Dimkpa, C., Deng, C., Elmer, W. H., Gardea-Torresdey, J., & White, J. C. (2021). Impact of engineered nanomaterials on rice (*Oryza sativa* L.): A critical review of current knowledge. *Environmental Pollution*, *297*, 118738. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118738

Yasir, T. A., Khan, A., Skalicky, M., Wasaya, A., Rehmani, M. I. A., Sarwar, N., Mubeen, K., Aziz, M., Hassan, M. M., & Hassan, F. A. S. (2021). Exogenous sodium nitroprusside mitigates salt stress in lentil (*Lens culinaris* Medik.) by affecting the growth, yield, and biochemical properties. *Molecules*, *26*(9), 2576. https://doi.org/10.3390/molecules26092576.

Zhao, H., Mo, Z., Lin, Q., Pan, S., Duan, M., Tian, H., & Tang, X. (2020). Relationships between grain yield and agronomic traits of rice in southern China. *Chilean journal of agricultural research*, *80*(1), 72-79. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000100072

Zheng, C., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., Liu, W., Jing, Q., & Cao, W. (2009). Exogenous nitric oxide improves seed germination in wheat against mitochondrial oxidative damage induced by high salinity. *Environmental and Experimental Botany*, *67*(1), 222-227. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.05.002

Zhu, J. K. (2007). Plant salt stress. *Ncyclopedia of Life Sciences*, 1-5. https://doi.org/10.1038/npg.els.0001300

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]

Effect of sodium nitroprusside pretreatment on the improvement of physiological traits and antioxidant enzymes in rice seedlings (*Oryza Sativa* L.) under salinity stress

Haniyeh Saadat, Mohammad Sedghi*

Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(Received: 2024/01/16, Accepted: 2024/04/07)

Abstract

In order to investigate the effect of sodium nitroprusside pretreatment on the improvement of physiological traits and antioxidant enzymes in rice seedlings under salinity stress, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications at Mohaghegh Ardabil University in 2023. Experimental treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 150 Mm) and sodium nitroprusside in three levels (control, 40 and 80 µm). The results showed that salinity of growth indices, including germination percentage (GP), germination rate (GR), Seedling Length Vigor Index (SLVI) and Seedling Weight Vigor Index (SWVI), reduced, but seed priming with different levels of sodium nitroprusside, especially the level of 80 µm, improved these traits. Salinity increased the Mean Germination Time (MGT), so that the highest MGT was observed at (0.371 days) sodium nitroprusside 40 µm and salinity of 150 mM. The Catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) enzymes activity in pretreatment with sodium Nitroprusside 80 µm and a salinity of 150 mM were 37 and 40% higher than the control (distilled water) and without salinity, respectively. Salinity increased the activity of peroxidase enzyme, so that the lowest was observed at peroxidase enzyme (58.444 units mg^{-1} protein) in the control (without salinity). Also, the peroxidase activity in pretreatment with sodium nitroprusside 80 µm compared with the control (distilled water) showed an increase of about 14%. The results showed that seed treatment with sodium nitroprusside 80 µm improves rice seed germination and biochemical traits, it can reduce the harmful effects of salinity on some traits in rice seedlings and improve seedling growth.

Keywords: Hydropriming, Pretreatment, Sodium Chloride, Sodium Nitroprusside, Rice

Corresponding author, Email: m_sedghi@uma.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.145]