اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر روی بهبود صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذور سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) رقم ویلیامز تحت تاثیر پیری تسریع شده

هانیه سعادت[۱]، محمد صدقی*[۲]

۱-دانش‌آموخته دکتری اکولوژی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی*

۲- استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی

***رایانه نویسنده مسئول:** **m_sedghi@uma.ac.ir**

چکیده:

به منظور بررسی اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید در بهبود صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذور سویا رقم ویلیامز تحت تأثیر پیری تسریع شده آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل پیری تسریع شده در سه سطح (۰، ۲۴ و ۴۸ ساعت) و سدیم نیتروپروساید در سه سطح (شاهد، ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام) بود. نتایج نشان داد که فرسودگی شاخص‌های رشد شامل درصد جوانه‌زنی، ضریب آلومتری، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص طولی و وزنی بنیه بذر را کاهش داد، ولی پیش تیمار بذر با سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید به‌ویژه سطح ۲۰۰ پی‌پی‌ام این صفات را بهبود بخشید. پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید مقدار مالون دی‌آلدئید را کاهش داد، به‌طوری بیش‌ترین مقدار مالون دی‌آلدئید (۱۰/۳۶ میکرومول بر گرم) در تیمار شاهد دیده شد. فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز با پیش‌تیمار سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام ۲۵ درصد افزایش نشان داد. میزان فعالیت آنزیم لیپاز و محتوای پروتئین با پیش‌تیمار سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام و بدون فرسودگی به ترتیب در حدود ۶۳ و ۶۶ درصد افزایش داشت. نتایج نشان داد تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام مؤثرترین روش برای بهبود شاخص‌های رشد بذر سویا محسوب می‌شود و با تحریک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد می‌تواند اثرات مضر فرسودگی بر برخی صفات در گیاهچه سویا را کاهش داده و رشد گیاهچه را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ، سدیم نیتروپروساید، شاخص‌های رشد، صفات بیوشیمیایی و فرسودگی.

مقدمه:

سویا با نام علمی *Glycine max* (L.) جایگاه مهمی در بین محصولات صنعتی دارد و یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در جهان است. در حال حاضر ۵۵ درصد روغن دنیا توسط سویا تأمین می‌شود (Lodhi and Diwan, 2018). فرسودگی در بذر سویا به راحتی در مزرعه و در انبار ایجاد می‌شود (Yu *et al.*, 2021). فرسودگی بذر فعالیت گونه‌های اکسیژن فعال را افزایش می‌دهد و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نقش مهمی در مقابل افزایش رادیکاهای آزاد ناشی از تنش‌های اکسیداتیو دارند. از تغییرات مهم در طول فرسودگی می‌توان به تولید رادیکال‌های آزاد، دهیدروژناسیون آنزیمی و اکسیداسیون آلدئیدی پروتئین‌ها، کاهش نفوذپذیری غشا و فعالیت آنزیم‌ها و تغییر در ساختمان مولکولی اسیدهای نوکلئیک اشاره کرد (Janmohammadi *et al.*, 2008). تکنیک پرایمینگ بذر یکی از روش‌های موثر برای کاهش و اصلاح

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

خسارت ناشی از فرسودگی است و به فرآیند آبرسانی کنترل شده بذر و احیای متعاقب آن اشاره دارد که امکان بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مربوط به مراحل اولیه جوانه‌زنی و ظهور ریشه‌چه را فراهم می‌کند (Paparella *et al*., 2015; Becerra-Vazquez *et al*., 2020). سدیم نیتروپروساید به عنوان یکی از اجزای مهم پاسخ گیاه به تنش‌های غیرزیستی و زیستی نشان داده شده است (Khan *et al*., 2012; Ahmad *et al*., 2016). اکسید نیتریک (NO) مولکول سیگنال‌دهی چند وظیفه‌ای است و در فرآیندهای سازگاری با تنش گیاهان نقش دارد. NO در فرآیندهای رشد گیاه، از جمله جوانه‌زنی بذر، نمو گیاه، ترمیم غشای سلولی و غیره نقش اساسی دارد (Liu et al., 2017; Santa-Cruz et al., 2014). مقدار زیاد NOمی‌تواند با سوپراکسید ترکیب شد و رادیکال پراکسید نیتریت $ONOO^-$ را تولید کند این رادیکال سبب تخریب لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Beligni and Lamattina, 1999). کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید و نشت الکترولیت تحت تنش می‌شود (Liu *et al*., 2014; Yadu *et al*., 2017)، در نتیجه، کاربرد سدیم نیتروپروساید می‌تواند یک راه موثر برای جلوگیری از آسیب اکسیداتیو گیاهان تحت تنش باشد (Mostofa *et al*., 2015; Dong *et al*., 2015). مطالعات نشان داده است که پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را در بذرهای فرسوده کدو پوست کاغذی افزایش می‌دهد (روحی و همکاران، ۱۳۹۸) افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و میزان کل پروتئین محلول با استفاده از سدیم نیتروپروساید در بادام زمینی و سویا نیز گزارش شده است (Verma *et al*., 2010; Aalam *et al*., 2019). فرسودگی بذر به‌طور معنی‌داری طول گیاهچه، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و پروتئین کاهش می‌دهد، اما پرایمینگ این صفات مذکور را تحت فرسودگی در گیاهان مختلف بهبود بخشید (اسدی اقبلاغی و رضوی، ۱۴۰۰؛ سعادت و همکاران، ۱۳۹۸؛ سعادت و همکاران، ۱۳۹۹a؛ سعادت و همکاران، ۱۳۹۹b؛ سعادت و صدقی، ۱۴۰۰؛ سعادت و همکاران، ۱۴۰۰).

هدف از این پژوهش، بررسی اثر پرایمینگ با سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید بر روی بهبود صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذور سویا جهت کاهش اثرات فرسودگی و رادیکال‌های آزاد بود.

مواد و روش‌ها:

به‌منظور بررسی اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر روی بهبود صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذور سویا رقم ویلیامز تحت تأثیر پیری تسریع شده آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و سه سطح پیری تسریع شده (صفر، ۲۴ و ۴۸ ساعت) و سه سطح سدیم نیتروپروساید (شاهد (آب مقطر)، ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام) در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ انجام شد. طی آزمون پیری تسریع شده، بذرها در داخل آون با دمای ۴۰ درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی ۲± ۹۵ درصد (مقداری آب مقطر (بدون یون) در داخل ظرف پلاستیکی ریخته و یک الک خشک طوری روی آن قرار داده شد که آب با صفحه مشبک آن تماس نداشته باشد. سپس بذرها درون کیسه توری بصورت یک لایه روی صفحه الک قرار داده شد تا به صورت یکنواخت آب جذب کنند. درصد رطوبت داخل آون با رطوبت سنج دیجیتال کنترل گردید.) به مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت قرار داده شدند. سپس بذرهای فرسوده به همراه شاهد در درون محلول‌های پرایمینگ به مدت ۹ ساعت در دمای ۲۵ درجه قرار داده شدند. بعد از پرایمینگ، بذرها چندین بار توسط آب مقطر شستشو شدند، سپس، آزمون جوانه‌زنی استاندارد روی بذرها انجام شد. آزمون جوانه‌زنی به روش پتری‌دیش در سه تکرار ۲۵ بذری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت نه روز انجام گرفت (ISTA, 2012). در این

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

روش، از کاغذهای صافی واتمن استفاده شد. کف ظرف با استفاده از یک لایه کاغذ صافی پوشانده و ۲۵ عدد بذر روی کاغذ صافی که با آب مقطر خیسانده شده بود، قرار گرفت. پس از بستن درب، ظرف به داخل ژرمیناتور منتقل شد. در این مرحله از آزمون، شمارش بذرها یک روز پس از انتقال بذرها به محیط کشت آغاز شد و تا ثابت شدن جوانه‌زنی (نه روز) پس از کاشت ادامه یافت. معیار جوانه‌زنی یک بذر، خروج ریشه‌چه به میزان ۲ میلی‌متر از پوسته بذر در نظر گرفته شد. سپس، شاخص‌های رشد و صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شدند.

درصد جوانه‌زنی: جهت تعیین درصد جوانه‌زنی در پایان دوره جوانه‌زنی (۹ روز) تعداد کل بذرهای جوانه زده شمارش و یادداشت شد.

طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه: طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه (ریشه‌چه + ساقه‌چه) به‌وسیله‌ی خط کش مدرج بر حسب سانتی‌متر و با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه: وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بر روی ترازوی دیجیتالی و با دقت یک هزارم اندازه‌گیری شد.

ضریب آلومتری: با استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد (Scot *et al.*, 1984).

LS = طول ساقه‌چه LR = طول ریشه‌چه $CA = LS/LR$

شاخص طولی بنیه بذر: با استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

میانگین طول گیاهچه (گرم) × درصدجوانه‌زنی = شاخص طولی بنیه بذر

شاخص وزنی بنیه بذر: با استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

میانگین وزن گیاهچه (گرم) × درصدجوانه‌زنی = شاخص وزنی بنیه بذر

سنجش فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز: اندازه‌گیری فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز براساس روش Foyer و Halliwell (۱۹۷۶) انجام گرفت. در این روش ۰/۲۵ گرم نمونه گیاهی را در ۵ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۷/۵ حاوی سدیم کلرید ۱ نرمال پلی وینیل پیرولیدون و ۱ میلی مولار آسکوربات حل کرده سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتیگراد در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. بلافاصله ۰/۱ میلی مولار از عصاره آنزیمی در ۳ میلی‌لیتر مخلوط واکنش حاوی ۵۰ میلی‌مولار تریس با اسیدیته ۷/۶، ۵ میلی‌مولار منیزیم کلرید، ۰/۵ میلی‌مولار گلوتاتیون اکسید و ۰/۲ میلی مولار NADPH مخلوط کرده و در طول موج ۳۴۰ نانومتر قرائت شد.

سنجش فعالیت آنزیم لیپاز: سنجش فعالیت آنزیم لیپاز براساس روش Huang و همکاران (۱۹۸۵) انجام گرفت. ابتدا نمونه‌ها سه بار با آب مقطر شستشو شدند، سپس در ۲۵ میلی‌لیتر محیط آسیاب به‌وسیله‌ی هاون خرد گردید. محیط آسیاب شامل ساکارز به میزان ۰/۶ مول، EDTA به میزان ۱ میلی‌مولار، KCL به میزان ۱۰ میلی‌مولار، MgCl2 به میزان ۱ میلی‌مولار، DTT به میزان ۲ میلی‌مول و بافر تریس با pH= ۷/۵ به میزان ۰/۱۵ مولار بود (ابتدا مواد بر اساس غلظت با واحد مولار و میلی‌مولار تهیه شد، سپس با آب به حجم معین رسانده شدند). هموژن حاصل بعد از عبور دادن از کاغذ صافی در دمای ۵ درجه به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۳۰۰ دور سانتریفیوژ شد. روشناور حاصل بار دیگر در دمای ۵ درجه به مدت ۳۰ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید و روشناور حاصل از آن به‌منظور تعیین فعالیت آنزیم لیپاز مورد استفاده قرار گرفت. سنجش فعالیت این آنزیم به روش رنگ سنجی انجام شد. عصاره آنزیم به مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر با تری لینولئین ۵۰ میلی‌مولار به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر در بافر صمغ اقاقیای ۵٪ مخلوط شد. سپس، بافر

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

سنجش ۱۰۰ میلی‌مولار سوکسینات–هیدروکسید سدیم با pH= ۴/۷ و ۵ Mm DTT به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه قرار داده شد. واکنش با حرارت ۱۰۰ درجه به مدت ۵ دقیقه متوقف شد. سپس، به روش فلورومتری میزان فعالیت این آنزیم تعیین گردید.

سنجش مالون‌دی‌آلدئید(پراکسیداسیون لیپیدی): اندازه‌گیری میزان مالون دی‌آلدئید براساس روش Heath و Packer (۱۹۶۸) انجام شد. در این روش ابتدا ۰/۱ گرم بافت تر توزین، سپس در محلول تری کلرو اسید استیک ۱۰ درصد وزنی حجمی به میزان ۲/۵ میلی‌لیتر سائیده و به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس، ۱ میلی‌لیتر از عصاره رویی و اسید تیوباربیوتیک ۰/۵ درصد وزنی حجمی به تری کلرو اسید استیک ۲۰ درصد وزنی–حجمی اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۹۶ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در نهایت نمونه‌ها جهت متوقف شدن واکنش به مدت ۵ دقیقه در آب یخ قرار داده شد. سپس به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. جذب محلول حاصل در دو طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار مالون دی‌آلدئید بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

سنجش پروتئین: اندازه‌گیری پروتئین به روش Bradford (۱۹۷۶) انجام گرفت. در این روش مقدار ۰/۲ گرم از نمونه‌های منجمد شده با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH= ۶/۸) هموژن گردید، سپس در دمای ۴ درجه سلسیوس، با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵دقیقه سانتریفیوژ شد. جهت سنجش غلظت پروتئین، ۱۰ میکرولیتر از عصاره پروتئین استخراج شده به داخل میکروتیوپ‌های ۱/۵ میلی‌لیتری منتقل کرده و از محلول برادفورد به میزان ۹۹۰ میکرولیتر به آن اضافه گردید. پس از گذشت ۵ دقیقه، جذب نوری در طول موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر بر حسب میلی‌گرم بر گرم بذر محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اجرا گردید.

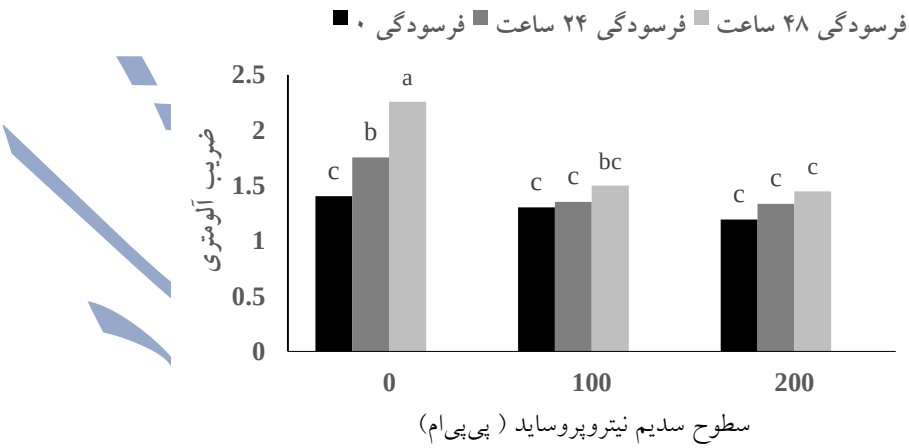
نتایج و بحث:

درصد جوانه‌زنی: طبق جدول تجزیه واریانس اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی روی درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد که درصد جوانه‌زنی در پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام حدود ۱۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد و این صفت با تشدید فرسودگی به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. به‌طوری که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در شاهد (بدون فرسودگی) (۸۶/۵۶ درصد) و کم‌ترین آن در فرسودگی ۴۸ ساعت (۶۸/۳۳ درصد) به دست آمد (جدول ۳ و ۴). پراکسیداسیون لیپیدها، نفوذپذیری غشای سلولی، افزایش تنفس، خسارت به فرآیند سنتز RNA، تخریب DNA و غیرفعال شدن آنزیم‌ها از دلایل عمده کاهش سرعت جوانه‌زنی در طی فرسودگی بذر هستند (Lehner *et al.*, 2008). در این تحقیق، سدیم نیتروپروساید باعث افزایش درصد جوانه‌زنی شد که با نتایج تحقیق نصیبی و همکاران (۱۳۸۸) روی گوجه فرنگی مطابقت داشت. افزایش درصد جوانه‌زنی بذرهای فرسوده در نتیجه پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید به دلیل افزایش پاسخ‌های مولکولی و بیوشیمیایی در سطح سلول است که موجب القای سنتز هورمون‌های محرک جوانه‌زنی از جمله جیبرلین و اتیلن می‌شوند (Varier *et al.*, 2010; Sirova *et al.*, 2011). در این راستا، Hayat و همکاران (۲۰۱۴) افزایش درصد جوانه‌زنی بذور را به دلیل فعال‌سازی بتا دگلوکاناز و تحریک مسیر بیوسنتزی هورمون جیبرلین ذکر کرده‌اند. همچنین، افزایش درصد جوانه‌زنی در

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

نتیجه استفاده از سدیم نیتروپروساید به دلیل نقش اکسید نیتریک در کاتابولیسم هورمون آبسیزیک اسید و تحریک مسیر سیگنالی هورمون اتیلن می‌باشد که باعث افزایش تولید هورمون اتیلن شده که به تبع آن جوانه‌زنی تحت تنش افزایش می‌یابد (Arc *et al.*, 2013). نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که فرسودگی درصد جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد ولی پرایمینگ موجب افزایش این صفت می‌گردد (سعادت و صدقی، ۱۴۰۰; سعادت و همکاران، ۱۴۰۰).

ضریب آلومتری: جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل پرایمینگ و فرسودگی بر صفت ضریب آلومتری معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین ضریب آلومتری (۲/۲۵۶) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) با فرسودگی ۴۸ ساعت مشاهده شد و کم‌ترین ضریب آلومتری (۱/۱۹۳) از پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام و بدون فرسودگی مشاهده گردید (شکل ۱). در شرایط عدم فرسودگی، پرایمینگ با نیتروپروساید تأثیری بر ضریب آلومتری نداشت، در حالی که در شرایط فرسودگی این تفاوت‌ها آشکار می‌شود. به عبارت دیگر در شرایط عادی این صفت تحت تاثیر پرایمینگ قرار نگرفت، ولی در شرایط فرسودگی، نیتروپروساید موجب رشد هم ریشه‌چه و هم ساقه‌چه شده و در نتیجه ضریب آلومتری تاحدودی ثابت می‌ماند. از تقسیم میانگین طول ریشه‌چه به ساقه‌چه ضریب آلومتری به‌دست می‌آید، که نشانگر نوعی از تحمل به شرایط تنش است. در این تحقیق، ضریب آلومتری طی فرسودگی افزایش یافت که نشان می‌دهد با افزایش سطوح فرسودگی کاهش طول ساقه‌چه در مقایسه با ریشه‌چه کمتر است، که با نتایج سعادت و صدقی (۱۴۰۰) مبنی بر تأثیر پرایمینگ و فرسودگی بر روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذر لوبیا مطابقت داشت. بلوچی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش بیان کردند که با افزایش فرسودگی ضریب آلومتری در گلرنگ کاهش یافت.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و فرسودگی بر روی ضریب آلومتری در سویا

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاهچه: تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی روی طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاهچه به ترتیب در پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام به‌ترتیب در حدود (۱۴، ۳۴ و ۱ درصد) نسبت به شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) افزایش داشت و این صفات با تشدید فرسودگی به‌طور معنی‌دار کاهش یافتند. به‌طوری که بیش‌ترین طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاهچه به ترتیب (۱۵/۰۴، ۱۱/۹۸ و ۲۷/۴) در شاهد (بدون فرسودگی) و کم‌ترین آن‌ها به ترتیب (۱۱/۰۹، ۷/۲۹ و ۱۹/۲) در فرسودگی ۴۸ ساعت (۱۱/۰۹ میلی‌متر) به دست آمد (جدول ۳ و ۴). علل کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در اثر فرسودگی کاهش کیفیت مواد ذخیره‌ای در طول فرسودگی است (Mortazavi

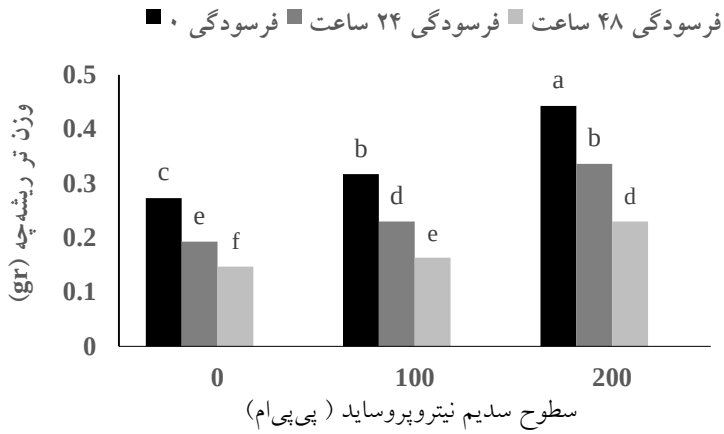
این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

et al., 2005). همچنین، کاهش طول ساقه‌چه و طول گیاهچه تحت تنش ناشی از تجزیه آهسته‌تر مواد آندوسپرم و عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین است (Soltani *et al.*, 2006). افزایش تنفس در گیاهچه ناشی از افزایش میزان گلوگز در خلال فرسودگی بذر و کاهش سنتز پروتئین در اثر فرسودگی نیز موجب کاهش رشد گیاهچه می‌شود (Krishnan *et al.*, 2003; Murthy *et al.*, 2003). یکی از اثرات اکسیدنیتریک کاتابولیسم اسیدآبسیزیک و تحریک سنتز هورمون‌هایی مانند اتیلن و جیبرلین است، به نظر می‌رسد افزایش تقسیم سلولی گیاهچه در بذور پرایم شده تحت تنش به دلیل افزایش غلظت جیبرلین درون سلولی است. هورمون جیبرلین آسیب‌های وارده شده به سلول‌ها را طی فرسودگی کاهش داده در نتیجه تقسیم سلول در ساقه‌چه را تحریک می‌کند (Li *et al.*,2013). افزایش طول گیاهچه‌های سویا در نتیجه پرایمینگ بذر با سدیم نیتروپرساید را می‌توان به قدرت بالای بذر و سرعت جوانه‌زنی بالاتر (در بذرهای پرایم شده) در مقایسه با شاهد نسبت داد. اکسید نیتریک آزاد شده از سدیم نیتروپروساید در تحریک جوانه‌زنی بذر، تقسیم سلولی و بسیاری از اعمال دیگر سلول دخالت داشته و با گونه‌های اکسیژن فعال واکنش داده و خسارت ناشی از آن را کاهش می‌دهد. سدیم نیتروپروساید موجب تحریک تولید اکسین شده و اکسید نیتریک رها شده از سدیم نیتروپروساید به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم در تقسیم و طویل شدن سلولی دخالت داشته و بر افزایش طول گیاهچه اثر مستقیم دارد (He *et al.*, 2014; Neill *et al.*, 2003). پرایمینگ بذرها با غلظت‌های مختلف سدیم نیترو پروساید، از کاهش معنی‌دار شاخص‌های جوانه‌زنی بذرهای زوال یافته کدوی پوست کاغذی جلوگیری می‌کند (روحی و همکاران، ۱۳۹۸). گزارش شده‌است که طول ساقه‌چه و ریشه‌چه طی فرسودگی کاهش یافت ولی پرایمینگ باعث افزایش این صفات شد، که با نتایج این تحقیق هم مطابقت دارد (سعادت و صدقی، ۱۴۰۰; سعادت و صدقی، ۱۴۰۱; سعادت و همکاران، ۱۳۹۹a; سعادت و همکاران، ۱۳۹۹b). تحقیقات نشان داده است که فرسودگی موجب کاهش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در بذرهای سویا شد (Maesaroh *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2021; Ebone *et al.*, 2020; Rajendra *et al.*, 2018).

وزن تر ساقه‌چه: طبق جدول تجزیه واریانس اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی روی وزن تر ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). وزن تر ساقه‌چه در پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام ۲۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد و این صفت با تشدید فرسودگی کاهش یافت. به‌طوری که میزان کاهش وزن تر ساقه‌چه نسبت به تیمار شاهد (بدون فرسودگی) ۳۲ درصد بود (جدول ۳ و ۴).

وزن تر ریشه‌چه: نتایج نشان داد که اثر متقابل پرایمینگ و فرسودگی روی وزن تر ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین وزن تر ریشه‌چه به‌ترتیب (۰/۴۴۳ گرم) از پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام و بدون فرسودگی مشاهده شد و کم‌ترین وزن تر ریشه‌چه (۰/۱۴۷ گرم) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) با فرسودگی ۴۸ ساعت مشاهد شد (شکل ۲).

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و فرسودگی بر روی وزن تر ریشه‌چه در سویا

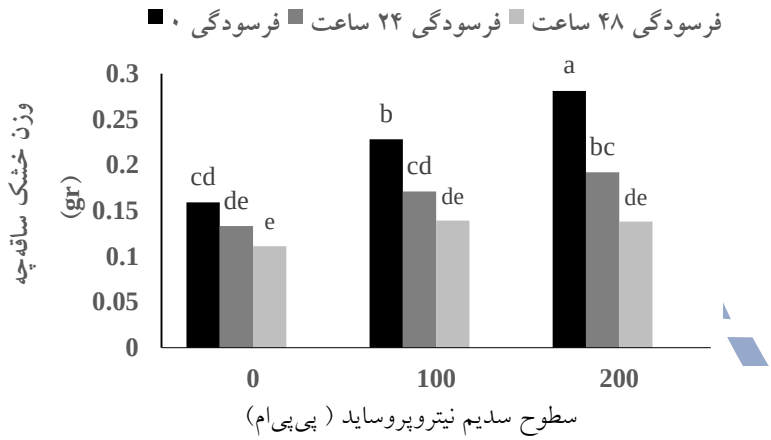
حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

در این تحقیق، وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه طی فرسودگی کاهش یافتند، ولی پرایمینگ با سطوح مختلف سدیم نیترو پرساید آن را افزایش داد، که با نتایج تحقیق انجام گرفته روی گیاهچه برنج و لوبیا مطابقت دارد (سعادت و همکاران، ۱۳۹۹a؛ سعادت و همکاران، ۱۳۹۹b). افزایش وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه با پرایمینگ تحت شرایط تنش گزارش شده‌است (سعادت و صدقی، ۱۴۰۱). کاهش وزن‌تر تحت فرسودگی به احتمال زیاد به‌دلیل کاهش تعداد و اندازه سلول است. پرایمینگ با تأثیر بر رشد محور جنین و نموی گیاهچه باعث افزایش هدایت الکتریکی شده و با تحت تأثیر قراردادن فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک گیاهچه سبب افزایش جذب آب و افزایش وزن‌تر ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود (Basra, 2006).

وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه: اثر متقابل پرایمینگ و فرسودگی روی وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه براساس جدول تجزیه واریانس معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین وزن خشک ساقه‌چه (۰/۲۸۱ گرم) از پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام و بیش‌ترین وزن خشک ریشه‌چه (۰/۱۴۱۳ گرم) از پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۱۰۰ پی‌پی‌ام و بدون فرسودگی مشاهده شد و کم‌ترین وزن خشک ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه به ترتیب (۰/۱۱۱ و ۰/۰۴۲۳گرم) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) با فرسودگی ۴۸ ساعت حاصل گردید (شکل ۳ و ۴). در این تحقیق، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه طی فرسودگی کاهش یافت، ولی پرایمینگ با سطوح مختلف سدیم نیتروپرساید آن را افزایش داد، که با نتایج تحقیق روی گیاهان مختلف مطابقت دارد (سعادت و همکاران، ۱۳۹۹a: ; سعادت و همکاران، ۱۳۹۹b). کاهش وزن خشک ساقه‌چه در سویا در طول فرسودگی می‌تواند به دلیل کاهش میزان پویایی ذخایر بذر و اختلال در کارکرد آنزیم‌های هیدرولیتیک باشد (Soltani *et al.*, 2008). کاهش وزن خشک ریشه‌چه نیز در سویا طی فرسودگی ناشی از کاهش فعالیت‌های بیوشیمیایی در بذر است، زیرا فرسودگی تاثیر منفی بر آنزیم‌های موردنیاز برای تبدیل مواد ذخیره‌ای جنین به شکل قابل استفاده و تولید گیاهچه دارد (Sung and Chang, 1993). بذرهای پرایم‌شده سرعت جوانه‌زنی بالاتری دارند، این امر باعث می‌شود بذرها، سریع جوانه زده و در نتیجه مادهٔ خشک بیشتری نسبت به بذرهای شاهد تولید کنند (شکاری و همکاران، ۱۳۸۹). پرایمینگ از طریق افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و در نتیجه افزایش وزن خشک گیاهچه می‌شود (عالیوند و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج تحقیق لطیف‌زاده شاهخالی و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که فرسودگی وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه را در چهار رقم برنج کاهش داد. بهبود وزن خشک گیاهچه با

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

کاربرد سدیم نیتروپرساید در سویا، سیاهدانه و چمن‌پوآ تحت تنش گزارش شده است (Aalam, 2019; کبیری و همکاران،۱۴۰۰ ; جلیل‌زاده خویی و جبارزاده، ۱۳۹۷). سعادت و صدقی (۱۴۰۱) اظهار داشتند که وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه با پرایمینگ تحت شرایط تنش افزایش یافت. تحقیقات نشان داده است که فرسودگی موجب کاهش وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه در بذرهای سویا شد (Maesaroh *et al*., 2021; Santos *et al*., 2021; Ebone *et al*., 2020; Rajendra *et al*., 2018).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و فرسودگی بر روی وزن خشک ساقه‌چه در سویا

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و فرسودگی بر روی وزن خشک ریشه‌چه در سویا

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

شاخص طولی و وزنی بنیه بذر: براساس جدول تجزیه واریانس اثر متقابل پرایمینگ و فرسودگی روی شاخص طولی و وزنی بنیه بذر معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین شاخص طولی و وزنی بنیه بذر به ترتیب (۰/۵۴۷ و ۱۹/۶۰۵ گرم) از پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام و بدون فرسودگی مشاهده شد و کم‌ترین شاخص طولی بنیه بذر (۰/۱۶۴ گرم) و شاخص وزنی بنیه بذر (۵/۰۱۴ گرم) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) با فرسودگی ۴۸ ساعت حاصل گردید

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

(شکل ۵ و ۶). فرسودگی با تخریب غشای سلولی و نشت مواد محلول باعث کاهش کیفیت فیزیولوژیکی بذر و کاهش بنیه بذر می‌شود (حاجی عباسی و همکاران، ۱۴۰۰). محققین بیان کردند که کاربرد سدیم نیتروپرساید به علت تاثیر سینرژیستی روی پراکسید هیدروژن، سرعت انتقال پروتئین‌های ذخیره‌ای به جنین در حال رشد را افزایش داده و در نتیجه بنیه بذر ر ا از این طریق افزایش می‌دهد (Qiao *et al.*, 2014). پرایمینگ با بازسازی DNA، RAN و پرتئین‌سازی باعث حفظ بنیه بذر می‌شود، چرا که این کار موجب ادامه یافتن تقسیم سلولی سلول‌های جنینی شده و منجر به رشد سلول و تقسیم آن‌ها می‌شود (Ventura *et al.*, 2012). همچنین، افزایش طول و وزن گیاهچه‌ها سبب افزایش شاخص طولی و وزنی بنیه بذر می‌شود. روحی و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کرده‌اند که پرایمینگ بذرها با نیترو پروسایدسدیم موجب افزایش شاخص بنیه بذر نسبت به شاهد می‌شود. افزایش شاخص طولی و وزنی بنیه بذر با پرایمینگ تحت شرایط تنش توسط سعادت و صدقی (۱۴۰۱) گزارش شده است.

جدول۱- تجزیه واریانس اثر پرایمینگ و فرسودگی بر روی صفات فیزیولوژیکی گیاهچه سویا

		میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	ضریب آلومتری	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول گیاهچه	وزن تر ساقه‌چه
پرایمینگ	۲	۱۶۸/۷۷**	۰/۶۱۴**	۱۰/۶۶۸**	۳۵/۱۰۷**	۸۲/۵۰۹**	۰/۰۶۸۹۳**
فرسودگی	۲	۷۴۷/۴۴**	۰/۴۳۱**	۲۷/۳۸۵**	۴۹/۴۶۹**	۱۵۰/۲۶۷**	۰/۱۰۲۴۹**
پرایمینگ × فرسودگی	۴	۳/۳۹ns	۰/۱۰۱*	۰/۱۷۵ns	۰/۳۷۱ns	۰/۳۰۹ns	۰/۰۰۰۳۳ns
اشتباه آزمایشی	۱۸	۱۱/۳۶	۰/۰۲۷	۰/۳۲۸	۰/۴۹۸	۰/۸۸۹	۰/۰۰۲۹۱
ضریب تغییر(٪)		۴/۳۵	۱۰/۹۵	۴/۱۷	۷/۳۱۷	۴/۰۴	۹/۷۷

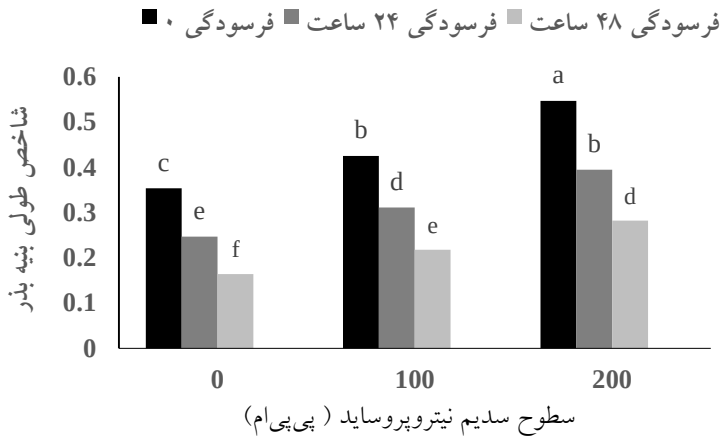
ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

ادامه جدول۱- تجزیه واریانس اثر پرایمینگ و فرسودگی بر روی صفات فیزیولوژیکی گیاهچه سویا

		میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	شاخص طولی بنیه بذر	شاخص وزنی بنیه بذر
پرایمینگ	۲	۰/۰۴۲۷۸۱**	۰/۰۱۱۱۳**	۰/۰۰۷۳۲۳۴**	۰/۰۵۳۱۴**	۸۷/۸۸**
فرسودگی	۲	۰/۰۶۱۰۸۱**	۰/۰۲۰۰۷**	۰/۰۰۴۹۷۰۳**	۰/۱۰۹۷۲**	۱۴۷/۸۱**
پرایمینگ × فرسودگی	۴	۰/۰۰۱۵۴۸**	۰/۰۰۱۷۶*	۰/۰۰۰۲۱۰۱*	۰/۰۰۱۱۸*	۷/۴۹**
اشتباه آزمایشی	۱۸	۰/۰۰۰۳۱۵	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰۰۵۵۲	۰/۰۰۰۳۹	۱/۳۱
ضریب تغییر(٪)		۶/۸۴	۱۳/۷۶	۷/۴۶	۶/۰۱	۱۰/۴۰

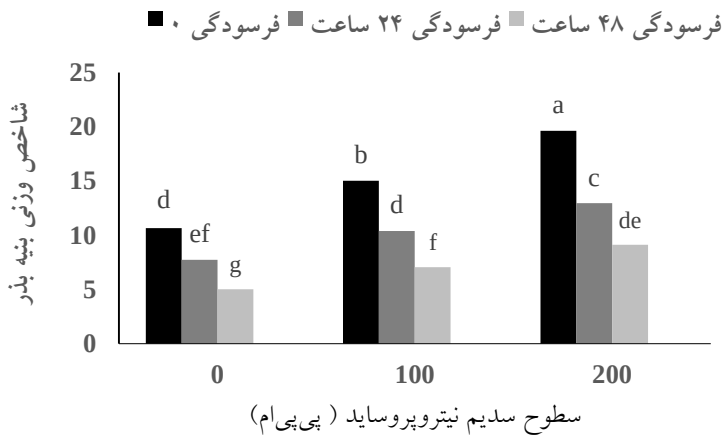
ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و فرسودگی بر روی شاخص طولی بنیه بذر در سویا

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و فرسودگی بر روی شاخص وزنی بنیه بذر در سویا

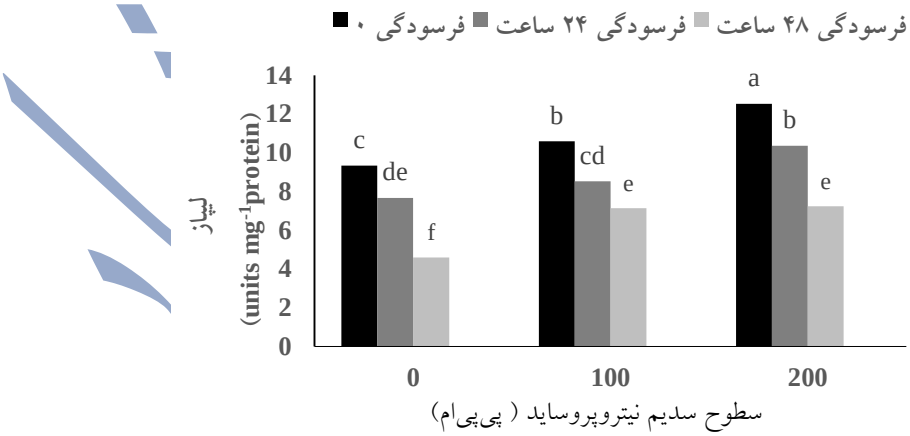
حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز: جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی روی آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین نشان می‌دهد که آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز در پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام ۲۵ درصد افزایش نشان داد و این صفت با تشدید فرسودگی به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. به‌طوری که بیش‌ترین آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز در فرسودگی ۴۸ ساعت (۰/۰۷۸ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) و کم‌ترین در آن شاهد (بدون فرسودگی) (۰/۰۵۵ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) به‌دست آمد (جدول ۳ و ۴). گلوتاتیون ردوکتاز یکی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی بوده ولی خواص آنتی‌اکسیدانتی ندارد. در حقیقت این آنزیم، گلوتاتیون‌دی‌سولفید به گلوتاتیون تبدیل می‌کند که این کار با مصرف NADPH همراه است (Hossain *et al.*, 2011). این آنزیم باعث تداوم چرخه گلوتاتیون شده و در تجزیه پراکسیدهیدروژن به‌طور غیر مستقیم دخالت دارد. فعالیت گلوتاتیون ردوکتاز در طول تنش اکسیداتیو با تخریب DNA کاهش می‌یابد. تحقیقات نشان داده که افزایش فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز موجب مقاومت به تنش و کاهش آن باعث افزایش حساسیت گیاه به تنش اکسیداتیو

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

می‌شود (Mittler, 2004). کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث تحریک آنزیم‌های جاروب کننده گونه‌های اکسیژن فعال و کاهش تجمع پراکسیدهیدروژن در میتوکندری‌ها تحت تنش می‌شود (Shi *et al.*, 2007). گزارشات نشان داده است که کاربرد سدیم نیتروپرساید موجب افزایش آنزیم گلوتاتیون ردکتاز نسبت به شاهد می‌شود (فتحی و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین، اکسید نیتریک سبب کاهش اثر تنش به‌وسیله تعدیل فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز و محتوای گلوتاتیون در گیاهچه آفتابگردان شده است (Kaur and Satish Bhatla, 2016).

آنزیم لیپاز: طبق جدول تجزیه واریانس اثر متقابل پرایمینگ و فرسودگی روی آنزیم لیپاز معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین آنزیم لیپاز (۱۲/۵۳۱ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) از پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام و بدون فرسودگی مشاهده شد و کم‌ترین آنزیم لیپاز (۴/۶۰۰ واحد میلی‌گرم بر پروتئین) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) با فرسودگی ۴۸ ساعت مشاهد شد (شکل ۷). در بذرهای روغنی، اولین قدم در استفاده از مواد ذخیره‌ای، استفاده از یک واکنش هیدرولیزکننده با کمک آنزیم لیپاز است (Bradford and Nonogaki, 2007). به وسیله این آنزیم چربی‌ها به گلیسرول و اسیدهای چرب هیدرولیز می‌شوند. روش تجزیه های اسیدهای چربی، بتااکسیداسیون است که باعث شکسته شدن اسیدهای چرب به استیل کوآنزیم A و ATP است. استیل کوآنزیم A جهت اکسیداسیون وارد چرخه کربس شده و تولید ATP می‌کند (Rylott *et al.*, 2001). در نتیجه سویا که گیاهی روغنی است، فعالیت آنزیم لیپاز در طول جوانه‌زنی جهت تامین انرژی اهمیت زیادی دارد، در واقع افزایش آنزیم‌های هیدرولیتیک، در طول پرایمینگ مواد ذخیره‌ای را به ساکارز و گلوکز تبدیل کرده و به جنین انتقال می‌دهد و باعث رشد جنین شده و در نهایت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد (Parera and Cantliffe, 1994).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و فرسودگی بر روی لیپاز در سویا

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

مالون دی‌آلدئید (پراکسیداسیون لیپیدی): جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی روی مالون دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین مالون دی‌آلدئید در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) (۱۰/۳۶ میکرومول بر گرم) و کم‌ترین آن (۵/۴۰ میکرو مول بر گرم) در پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام حاصل گردید. و این صفت با تشدید فرسودگی افزایش یافت. به‌طوری که بیش‌ترین مالون دی‌آلدئید در فرسودگی ۴۸ ساعت (۱۱/۵۲ نانو مول بر گرم وزن تر) و کم‌ترین در آن شاهد (بدون فرسودگی) (۴/۴۹ نانو مول بر گرم وزن تر) به دست آمد (جدول ۳ و ۴). مالون‌دی‌آلدئید شاخصی برای پراکسیداسیون لیپیدها در نظر گرفته می‌شود.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

پراکسید اسیون لیپیدها اثرات سوء بر عملکرد میتوکندری به واسطه اضمحلال غشاء داشته و منجر به کاهش میزان ATP تشکیل شده در طی جوانه‌زنی می‌شود. همچنین، موجب کاهش سنتز آنزیم‌های ضروری برای مراحل اولیه جوانه‌زنی شده که این اتفاقات زنجیروار جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت تاثیر قرار می‌دهند (McDonald, 1999). تغییر در لیپیدهای غشا سلولی ناشی از پراکسیداسیون، در افزایش نفوذپذیری غشاء و نشت سلولی که مرتبط با فرسودگی بذر هستند دخالت دارد (شیدائی و همکاران، ۱۳۹۸). با افزایش گونه‌های اکسیژن فعال طی فرسودگی پراکسیداسیون لیپیدها افزایش یافته و این افزایش منجر به تخریب غشاء سلولی و نشت الکترولیت می‌شود (بلوچی و استادیان بیدگلی، ۱۳۹۷). همچنین، گونه‌های اکسیژن فعال، صدمه به DNA و ناهنجارهای کروموزومی را در طول فرسودگی بذر افزایش می‌دهد (Bewley *et al.*, 2013). نقش اکسید نیتریک در ممانعت از پراکسیداسیون لیپیدها مرتبط به توانایی اکسید نیتریک جهت واکنش با رادیکال‌های لیپید آلکوکسیل و لیپید پراکسیل است که منجر به توقف پراکسیداسیون می‌شود (He *et al.*, 2014). سدیم نیتروپروساید با افزایش سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، مالون‌دی‌آلدئید را کاهش می‌دهد (Sirova *et al.*, 2011). مطالعات نشان داده است که با افزایش فرسودگی میزان مالون‌دی‌آلدئید در سویا و برنج افزایش می‌یابد (شیدائی و همکاران، ۱۳۹۹; لطف‌زاده شاهخالی و همکاران، ۱۴۰۰; Gao *et al.*, 2016). افزایش سطوح سدیم نیتروپرساید تحت تنش موجب کاهش مالون‌دی‌آلدئید در گیاه کدو پوست کاغذی و انگور شده است (روحی و همکاران، ۱۳۹۸; السادات حسینی و ارشادی، ۱۳۹۹)، که با نتایج این تحقیق هم مطابقت داشت. سعادت و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیق خود روی بذر لوبیا گزارش کردند که فرسودگی موجب افزایش مالون‌دی‌آلدئید می‌شود و پرایمینگ میزان آن را کاهش می‌دهد. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان مالون‌دی آلدئید در تیمار بدون پرایمینگ تحت فرسودگی بالا مشاده شده است. کایا و همکاران (Kaya *et al.*, 2019) اظهار داشتند که افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید به علت تخریب غشاء ناشی از آسیب اکسیداتیو است. تحقیقات نشان داده است که فرسودگی موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و افزایش پراکسیداسیون لیپید در بذرهای سویا شد (Maesaroh *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2021; Ebone *et al.*, 2020; Rajendra *et al.*, 2018).

پروتئین: طبق جدول تجزیه واریانس اثر ساده و متقابل پرایمینگ و فرسودگی روی پروتئین معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار پروتئین (۰/۷۹۳ میلی‌گرم برگرم) از پیش‌تیمار با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام و بدون فرسودگی مشاهده شد و کم‌ترین پروتئین (۰/۲۷۰ میلی‌گرم برگرم) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) با فرسودگی ۴۸ ساعت مشاهد گردید (شکل ۸). کاهش پروتئین در طی فرسودگی به دلیل تخریب آن‌ها توسط پروتئینازها است که موجب هضم پروتئین‌ها می‌گردد و اشاره به فعالیت پروتئولیتیکی بیشتر در طول فرسودگی دارد. بعضی اختلالات در ترکیبات پروتئین‌های غشاء به دلیل واکنش گلیکوسیون غیر آنزیمی پروتئین‌ها و آمینواسیدها با قندهای احیایی در واکنش‌های آما دوری و مایلارد است (Veselovsky and Veselova, 2012). در واقع، پروتئین‌ها به دلیل دناتوره شدن و آسیب‌های غیرقابل بازگشت به ساختار آن‌ها در نتیجه حمله رادیکال‌های آزاد طی فرسودگی کاهش می‌یابند (Kapoor *et al.*, 2010)، پرایمینگ از طریق سنتز پروتئین‌های جدید این آسیب را کاهش می‌دهد (Kibinza *et al.*, 2011; Tabatabaei, 2013). کاهش تنفس بذر طی فرسودگی و کاهش آمینواسیدهای اولیه در نتیجه حمله ROS ها موجب کاهش سنتز پروتئین می‌شود (Bailly, 2004; Jacoby *et al.*, 2012). در طول فرسودگی با افزایش میزان هیدروژن پراکسیداز فعالیت RNA اکسیداز کاهش می‌یابد، افزایش هیدروژن پراکسیداز و رادیکال‌های آزاد در سیتوپلاسوم در طول فرسودگی منجر به تولید هیدروژن در میتوکندری و غیر فعال شدن فعالیت‌های فتوسنتیک، ایجاد عدم تعادل بین رادیکال‌های آزاد و

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و کاهش پیوستگی پروتئین‌ها می‌شود (Berlett and Stadtman, 1997). افزایش پروتئین در پرایمینگ با سدیم نیترات پروساید تحت تنش می‌تواند به علت کاهش آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش و القاء سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت باشد (نصیبی و همکاران، ۱۳۸۸). فرسودگی سبب کاهش پروتئین در لوبیا شده اما پرایمینگ آن را بهبود می‌بخشد (سعادت و همکاران، ۱۳۹۸) که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. در تحقیق دیگر، پرایمینگ بذرها با نیترو پروساید سدیم موجب افزایش پروتئین‌های محلول نسبت به شاهد گردید (روحی و همکاران، ۱۳۹۸). پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید پروتئین را بهبود می‌بخشید که با نتایج (Yildiz *et al.*, 2020) در جو و (Gavassi *et al.*, 2019) در سویا مطابقت دارد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر پرایمینگ و فرسودگی بر روی صفات بیوشیمیایی گیاهچه سویا

		میانگین مربعات			
منابع تغییر	درجه آزادی	گلوتاتیون ردوکتاز	لیپاز	مالون دی‌آلدئید	پروتئین
پرایمینگ	۲	۰/۰۰۰۹۴۴۶۱**	۱۸/۲۵۷**	۵۵/۵۷**	۰/۰۷۱۸۴**
فرسودگی	۲	۰/۰۰۱۱۷۱۳۸**	۴۵/۸۰۳**	۱۱۳/۴۹**	۰/۲۷۷۳۹**
پرایمینگ × فرسودگی	۴	۰/۰۰۰۰۵۷۶۴^{ns}	۰/۹۵۸*	۱/۴۵ ^{ns}	۰/۰۰۷۷۱**
اشتباه آزمایشی	۱۸	۰/۰۰۰۰۳۲۸۳	۰/۲۹۷	۲/۶۶	۰/۰۰۱۵۹
ضریب تغییر(٪)		۱۰/۶۸	۶/۲۸	۲۱/۲۰	۷/۵۱

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده فرسودگی بر روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه سویا

فرسودگی	درصد جوانه‌زنی (درصد)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر)	طول گیاهچه (میلی‌متر)	وزن تر ساقه‌چه (گرم)	گلوتاتیون ردکتاز	مالون دی‌آلدئید
شاهد	۸۶/۵۶ ^{a}	۱۵/۴ ^{a}	۱۱/۹۸ ^{a}	۲۷/۴ ^{a}	۰/۶۶۱ ^{a}	۰/۰۵۵ ^{c}	۴/۴۹ ^{c}
۲۴ ساعت	۷۷/۷۸ ^{b}	۱۳/۹ ^{b}	۹/۶۶ ^{b}	۲۳/۶ ^{b}	۰/۵۴۹ ^{b}	۰/۰۶۲ ^{b}	۷/۰۸ ^{b}
۴۸ ساعت	۶۸/۳۳ ^{c}	۱۱/۹ ^{c}	۷/۲۹ ^{c}	۱۹/۲ ^{c}	۰/۴۴۸ ^{c}	۰/۰۷۸ ^{a}	۱۱/۵۲ ^{a}

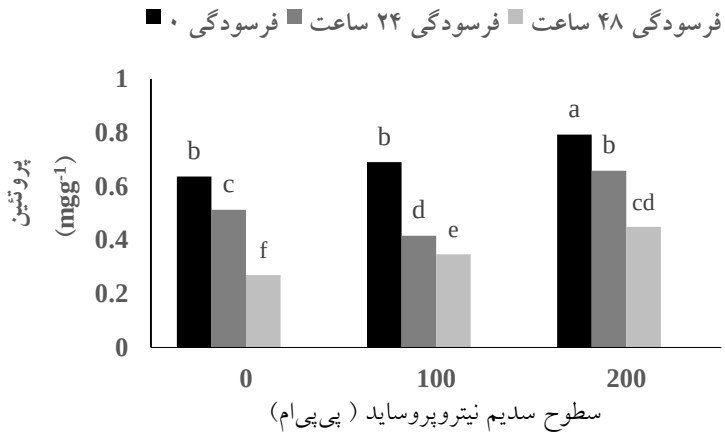
حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده پرایمینگ بر روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه سویا

پرایمینگ (پی‌پی‌ام)	درصد جوانه‌زنی (درصد)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر)	طول گیاهچه (میلی‌متر)	وزن تر ساقه‌چه (گرم)	گلوتاتیون ردکتاز	مالون دی‌آلدئید
شاهد	۷۵/۰۰ ^{b}	۱۲/۸۰ ^{c}	۷/۵۴ ^{c}	۲۶/۴ ^{a}	۰/۴۵۹ ^{c}	۰/۰۵۷ ^{b}	۱۰/۳۶ ^{a}
۱۰۰	۷۵/۱۱ ^{b}	۱۳/۴۹ ^{b}	۹/۹۱ ^{b}	۲۳/۴۱ ^{b}	۰/۵۶۶ ^{b}	۰/۰۶۱ ^{b}	۷/۳۵ ^{b}
۲۰۰	۸۲/۵۶ ^{a}	۱۴/۹۳ ^{a}	۱۱/۴۷ ^{a}	۸۲/۵ ^{a}	۰/۶۳۳ ^{a}	۰/۰۷۶ ^{a}	۵/۴۰ ^{c}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و فرسودگی بر روی پروتئین در سویا

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

نتیجه‌گیری:

با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر پرایمینگ بذر سویا با سطوح مختلف سدیم نیترو پروساید به‌مدت نه ساعت اثر معنی‌داری بر اکثر صفات مورد مطالعه نشان داد. سدیم نیترو پروساید باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاهچه سویا و فعالیت آنزیم‌های گلوتاتیون ردوکتاز، لیپاز و محتوای پروتئین تحت شرایط فرسودگی گردید. در این مطالعه مؤثرترین تیمار پرایمینگ بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذور سویا پرایمینگ با سدیم نیتروپرساید ۲۰۰ پی‌پی‌ام بود. سدیم نیترو پروساید با کاهش آسیب‌های ناشی از فرسودگی موجب افزایش شاخص‌های رشد، آنزیم‌های گلوتاتیون ردوکتاز، لیپاز و پروتئین شد.و چنین به نظر می‌رسد که سدیم نیترو پروساید می‌تواند از اثرات سوء ناشی از فرسودگی بکاهد.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

منابع:

بلوچی، حمیدرضا، کایدنظامی، راضیه، و باقری، فهیمه (۱۳۹۴). تاثیر تنش فرسودگی بذر بر جوانه‌زنی و مولفه‌های رشد گیاهچه‌های سه رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). *مجله تولیدات گیاهی*، ۳۸، ۲۷-۴۰. https://sid.ir/paper/165089/fa

جلیل‌زاده خویی، المیرا، و جبارزاده، زهرا (۱۳۹۷). تأثیر کاربرد نیتریک اکسید بر جوانه‌زنی بذر چمن پوآ تحت شرایط شوری. دهمین گنکره علوم باغبانی ایران، ۱۳ تا ۱۶ شهریور، تهران، ایران.

روحی، حسین رضا.، مرادی، علی.، ثمن، مریم.، شاهبداغلو، علیرضا، و محمدی، یاسین (۱۳۹۸). بهبود کارآیی بذرهای زوال یافته کدوی پوست کاغذی با استفاده از پیش‌تیمار نیترو پروساید سدیم تحت تنش خشکی. *علوم و فناوری بذر ایران*، ۸(۱)، ۶۷-۸۱. https://sid.ir/paper/525032/fa

السادات حسینی، محدثه، و ارشادی، احمد (۱۳۹۹). تأثیر ملاتونین و سدیم نیتروپروساید بر تحمل انگور رقم بیدانه سفید تحت تنش خشکی. پایانامه کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی علوم باغبانی، ارشادی، ا. (استاد راهنما)، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان.

سعادت، طیبه، صدقی، محمد، قلی‌پوری، عبدالقیوم، سیدشریفی، رئوف، و شیخ‌بگلو، رقیه (۱۳۹۸). اثر پرایمینگ و فرسودگی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و تحرک ذخایر بذر لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) رقم صدری. *علوم و فناوری بذر ایران*، ۸(۲)، ۱۹-۳۲. DOR: 10.22034/ijsst.2018.116851.1154

سعادت، طیبه، علیدوست، حمیده، و صدقی، محمد (۱۳۹۹a). ثاثیر پرایمینگ و فرسودگی بر جوانه‌زنی توده‌های بذر برنج با قدرت متفاوت. نشریه تحقیقات بذر، ۱۰(۴)، ۶۰-۶۷. DOR: .20.1001.1.22520961.1399.10.37.7.5

سعادت، طیبه، صدقی، محمد، قلی‌پوری، عبداقیوم، سیدشریفی، رئوف، و شیخ‌بگلو، رقیه (۱۳۹۹b). تأثیر پرایمینگ و فرسودگی بذر بر خصوصیات جوانه‌زنی، ویژگی‌های بیوشیمیایی و بیان ژن‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در لوبیا (*Phaseolus Vulgaris* L.). *علوم و تحقیقات بذر ایران*، ۷(۱)، ۱-۱۳. DOR: 10.22124/jms.2020.4267

سعادت، طیبه، علیدوست، حمیده، و صدقی، محمد (۱۴۰۰). اثر پرایمینگ بر فعالیت و بیان ژن‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در بذرهای فرسوده برنج. نشریه تحقیقات بذر، ۱۱(۴)، ۴۶-۵۴. DOR: 10.30495/JSR.2022.1928952.1210

سعادت، هانیه، و صدقی، محمد (۱۴۰۰). تاثیر پرایمینگ و فرسودگی بر روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذر لوبیا رقم صدری (*Phaseolus Vulgaris* L.). نشریه تحقیقات بذر، ۱۱(۳)، ۷۵-۸۷. DOR: 10.30495/JSR.2022.1945870.1228

سعادت، هانیه، و صدقی، محمد (۱۴۰۱). تاثیر سطوح مختلف کیتوزان روی شاخص‌های رشدگیاهچه برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تنش شوری. دومین کنفرانس ملی مدیریت سبز پسماند، ۲۱ تا ۲۲ شهریور، اردبیل، ایران.

سلطانی، الیاس.، کامکار، بهنام.، گالشی، سراله. و اکرم قادری، فرشید (۱۳۸۸). اثر فرسودگی بذر بر تخلیه ذخایر بذر و رشد هتروترفیک گیاهچه گندم، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۵(۱)، ۱۹۳-۱۹۶. https://sid.ir/paper/9594/fa

شکاری، فرید، بالجانی، رامین، صبا، جلال، افصحی، کامران، و شکاری، فریبرز (۱۳۸۹). تاثیر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید روی خصوصیات رشدی گیاهچه گاوزبان (Borago officinalis). *بوم شناسی گیاهان زراعی (دانش نوین کشاورزی)*، ۶(۱۸)، ۴۷-۵۳.

عالیوند، رامین، توکل افشار، رضا، و شریف‌زاده، فرزاد (۱۳۹۱). بررسی تاثیر جیبرلین، اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک بر بهبود خصوصیات جوانه‌زنی بذر زوال یافته کلزا. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۳(۴)، ۵۶۱-۵۷۱.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

DOR: 10.22059/IJFCS.2013.29413

عباس‌وند، الهام، حسن نژاد، سیروس، زهتاب سلماسی، سعید، وعلیزاده، سعیده (۱۳۹۸). اثر پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک روی پارامترهای فلورسانس کلروفیل a در ریحان آلوده به سس (Cuscuta campestris Yunk.). *مجله فیزیولوژی و پرورش گیاهان*، ۹(۲)، ۱۱-۱۸. DOR: 10.22034/JPPB.2019.10440

فتحی، علیرضا، برادران فیروزآبادی، مهدی، و عامریان، محمدرضا (۱۳۹۷). تاثیر نیتریک اکسید بر جوانه‌زنی و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کنجد (Sesamun indicum) تحت تنش شوری. *علوم و تحقیقات بذر ایران*، ۵(۳)، ۷۷-۸۸. DOR: 10.22124/JMS.2018.2936

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)، ۱۷۷-۱۹۴. DOR: 10.22124/JMS.2021.5219

لطیف‌زاده شاهخالی، محدثه، احتشامی، سیدمحمدرضا، و مرادی، فواد (۱۴۰۰). بررسی تأثیر زوال طبیعی و مصنوعی بذر بر گونه‌های فعال اکسیژن، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و خصوصیات جوانه‌زنی بذر در ارقام محلی و اصلاح شده برنج (*Oryza sativa*) حاصل از مزارع استان گیلان. *مجله پژوهش‌های بذر ایران*، ۸(۲)، ۲۱-۴۰. DOR: 20.1001.1.23831251.1400.8.2.8.4

نصیبی، فاطمه (۱۳۹۰). بررسی اثر غلظت‌های متفاوت نیتروپروساید سدیم (SNP) در تخفیف صدمات اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی در گیاه گوجه‌فرنگی. *زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۳(۹)، ۶۳-۷۴. DOR: 20.1001.1.20088264.1390.3.9.7.7

نصیبی، فاطمه، منوچهری‌کلانتری، خسرو، و خداشناس، منصوره (۱۳۸۸). اثر پیش‌تیمار سدیم نیترو پروساید (SNP) بر برخی عوامل بیوشیمیایی گیاهچه گوجه فرنگی(*Lycopersicun esculentum*) تحت تنش خشکی. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۶(۲)، ۱۲۱-۱۳۳.

Aalam, L., Sedghi, M., & Sofalian, O. (2019). Sodium nitroprusside and salicylic acid decrease antioxidant enzymes activity in soybean. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *10*(1), 3073-3077. https://doi.org/ 10.30495/IJPP.2019.670792

Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean by multiple criteria. *Crop Science*, *13*(6), 630-633. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x

Ahmad, P., Abdel Latef, A. A., Hashem, A., Abd-Allah, E. F, Gucel, S., & Tran, L S. P. (2016). Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 347. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00347

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

Bailly, C. (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Science Research*, *14*(2), 93-107. https://doi.org/10.1079/SSR2004159

Basra, A. S., Farooq, M., Afzal, I., & Hussain, M. (2006). Influence of osmopriming on the germination and early seedling growth of course and fine rice. *International Journal of Agriculture Biology*, *8*, 19-21.

Becerra-Vazquez, A. G., Coates, R., & Sanchez-Nieto, S. (2020). Effects of seed priming on germination and seedling growth of desiccation-sensitive seeds from Mexican tropical rainforest. *Journal of Plant Research*, *133*(6), 855-872. https://doi.org/10.1007/s10265-020-01220-0

Beligni, M., & Lamattina, L. (1999). Is nitric oxide toxic or protective?.*Trends in plant science 4*(8): 299-300. https://doi.org/10.1016/S1360-1385 (99)01451-X

Berlett, B. S, & Stadtman, E. R. (1997). Protein oxidation in aging, disease, and oxidative stress. *Journal of Biological Chemistry*, *272*(3), 20313-20316. https://doi.org/10.1074/jbc.272.33.20313

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W., & Nonogaki, H. (2013). Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy. 3rd Ed. Springer, New York.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

Bradford, K. J, & Nonogaki, H. (2007). Seed development, dormancy and germination. Blackwell Publishing Ltd. 389p.

Bradford, M. M. (1976). A Rapid and Sensitive Method for the Quantification of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(7), 248-254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999

Dong, Y. J., Wang, Z. L., Zhang, J. W., Liu, S., He, Z. L., & He, M R. (2015). Interaction effects of nitric oxideand salicylic acid in alleviating salt stress of *Gossypium hirsutum* L. *Journal of soil Science and Plant Nutrition*, *15*(3), 561–573. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000024

Ebone, L. A., Caverzan, A., Tagliari, A., Chiomento, J., Silveira, D., & Chavarria, G. (2020). Soybean seed vigor: uniformity and growth as key factors to improve yield. *Agronomy Journal*, *10*(4), 1-15. http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10040545

Foyer, C. H, & Halliwell, B. (1976). The presence of glutathione and glutathione reeducates in chloroplasts a proposed role in ascorbic acid metabolism. *Plantarom*, *133*, 21-25. http://dx.doi.org/10.1007/BF00386001

Gao, J., Fu, H., Zhou, X., Chen, Z., Luo, Y., Cui, B., Chen, G., & Liu, J. (2016). Comparative proteomic analysis of seed embryo proteins associated with seed storability in rice (*Oryza sativa* L.) during natural aging. *Plant Physiology and Biochemistry*, *103*, 31-44. http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.02.026

Gavassi, M. A., Gaion, L. A., Montciro, C. C., Santos, J. C., & Carvalho, R. F. (2019). Seed priming with sodium nitroprusside attenuates the effects of water deficit on soybean seedlings. *Common Science*, *10*(1), 176-184. http://dx.doi.org/10.14295/cs.v10i1.2842

Hayat, S., Yadav, S., Alyemeni, M. N., & Ahmad, A. (2014). Effect of sodium nitroprusside on the germination and antioxidant activities of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *20*(1), 140–144.

He, J., Ren, Y., Chen, X., & 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. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.05.021

Heath, L. R, & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts, Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *125*(1), 189-198. http://dx.doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

Hossain, M. A., Silva, J. A. T., & Fujita, M. (2011). Glyoxalase system and reactive oxygen species detoxification system in plant abiotic stress response and tolerance. In: An intimate relationship, in Abiotic Stress in Plants-Mechanisms and Adaptations (ed Shanker, A. k. and Venkateswarlu,. B) Pp 235-266.

Huang, J, & Redmann, R. E. (1995). Salt tolerance of hordeum and brassica species during germination and early seeding growth. *Canadian Journal of Plant Science*, *75*(4), 815-819. https://doi.org/10.4141/cjps95-137

Jacoby, R. P., Huang, L. Li, S., Lee, C. P., Millar, A. H., &Taylor, N. L. (2012). Mitochondrial composition, function and stress response in plants. *Journal International Plant Biologia*, *54*(11), 887-906. https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2012.01177.x.

Janmohammadi, M., Moradi Dezfuli, P., & Sharifzadeh, F. (2008). Seed invigoration techniques to improve germination and early growth of inbred line of maize under salinity and drought stress. *General and Applied Plant Physiology*, *34*(3-4), 215-226.

Kapoor, N., Aria, A., Siddiqui, M. A., Amir, A., & Kumar, H. (2010). Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated ageing. *Asian Journal of Plant Sciences*, *9*, 158-162. https://scialert.net/abstract/?doi=ajps.2010.158.162

Kaur, H, & Satish Bhatla, C. (2016). Melatonin and nitric oxide modulate glutathione content and glutathione reductase activity in Sunflower seedling cotyledons accompanying salt stress. *Nitric Oxide*, *59*, 42-53. https://doi.org/10.1016/j.niox.2016.07.001

Kaya, C, & Akram, N. A. (2019). Ashraf, M. Influence of exogenously applied nitric oxide on strawberry (Fragaria ×Ananassa) plants grown under iron deficiency and/or saline stress. *Physiologia Plantarum*, *165*(2), 247–263. https://doi.org/10.1111/ppl.12818

Khan, M. N., Siddiqui, M. H., Mohammad, F., & Naeem, M. (2012). Interactive role of nitric oxide and calcium chloride in enhancing tolerance to salt stress. *Nitric Oxide*, *27*(4), 210–218. https://doi.org/10.1016/j.niox.2012.07.005

Kibinza, A., Bazin, J., Bailly, C., Farrant, J. M., & Corbineau, F. (2011). Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Science*, *181*(3), 309-315. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.06.003

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

Kim, Y. H., Hwang, S. J., Waqas, M., Khan, A. L., Lee, J. H., & Lee, J. D. (2015). Comparative analysis of endogenous hormones level in two soybean (*Glycine max* L.) lines differing in waterlogging tolerance. *Frontiers in Plant Science*, *17*, 6–714. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00714

Krishnan, P., Nagarajan, S., Dadlani, M., & Moharir, A. V. (2003). Characterization of wheat (*Triticum aestivum*) and soybean (*Glycine max*) seeds under accelerated ageing Conditions by proton nuclear magnetic spectroscopy. *Seed Science and Technology*, *31*(3), 541- 550. https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.03

Lehner, A., Mamadou, N., Poels, P., Come, D., Bailly, C., & Corbineau, F. (2008). Change in soluble carbohydrates, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activityes in the embryo during aging in wheat grains. *Journal of Cereal Science*, *47*(3), 555-565. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.017

Li, X., Jiang, H., Liu, F., Cai, J., Dai, T., Cao, W., & Jinag, D. (2013). Induction of chilling tolerance in wheat during germination by pre-soaking seed with nitric oxide and gibberellin. *Plant Growth Regulation*, *71*, 31–40. https://doi.org/10.1007/s10725-013-9805-8

Liu, H., Song, J., Dong, L., Wang, D., Zhang, S., & Liu, J. (2017). Physiological responses of three soybean species (Glycine soja, G. gracilis, and G. max cv. Melrose) to salinity stress. *International Journal of Plant Research*, *130*(4), 723–733. https://doi.org/10.1007/s10265-017-0929-1

Liu, S., Dong, Y., Xu, L., & Kong, J. (2014). Effects of foliar applications of nitric oxide and salicylic acid on saltinduced changes in photosynthesis and antioxidative metabolism of cotton seedlings. *Plant Growth Regulation*, *73*(1), 67–78. https://doi.org/10.1007/s10725-013-9868-6

Lodhi, K, & Diwan, U. K. (2018). Effect of natural organic fertilizer (seaweed saps) on productivity and protein status of soybean. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, *5*(1), 157-168.

Maesaroh, S., Wahyu, Y., & Widajati, E. (2021). Seed storability and genetic parameters estimation on accelerated aging seed of argomulyo soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Mutant lines. *Journal of Agricultural Sciences*, *31*(3), 763-775. https://doi.org/10.29133/yyutbd.911571

McDonald, M. B. (1999). Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*, *27*(1), 177-237.

http://pascal francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=1898410

Mittler, R. (2004). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, *7*(9), 405-410. https://doi.org/10.1016/s1360-1385 (02)02312-9

Mortazavi, S. S. M., Pasban Eslam, B., Tajbaksh, M., & Zardashti, M. (2005) Effect of seed deterioration and salinity stress on seedling vigor of chickpea (*Cicer arietinum*) in laboratory and greenhouse conditions. *Agricultural Science Journal*, *15*, 131-147

Mostofa, M. G., Fujita, M., & Tran, L. S. P. (2015). Nitric oxide mediates hydrogen peroxide-and salicylic acid-induced salt tolerance in rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, *77*(3), 265–277.

https://doi.org/ 10.1007/s10725-015-0061-y

Murthy, U. M. N., Kumar, P. D., & Sun, W.Q. (2003). Mechanisims of seed aging under different storable conditions for *vigina vadiata* (L.) wilczek: lipid peroxidation, sugar hydrolysis, Maillavd rections and their relationship to state transition. *Journal of Experimental Botany*, *54*(384), 1057-1067.

https://doi.org/ 10.1093/jxb/erg092

Neill, S., Barros, R., Bright, J., Desikan, R., Hancock, J., Harrison, J., Morris, P., Rieeiro, D., & Wilson, I. (2008). Nitic oxide, stomatal closure and abiotic stress. *Journal of Experimental Botany*, *59*(2), 165-176. https://doi.org/10.1093/jxb/erm293

Paparella, S., Araujo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: State of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*, *34*(8), 1281-1293. https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y

Parera, C, & Cantliffe, D. (1994). Dehydration rate after solid matrix alters seed performance of shrunken-2 corn. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *119*(3), 629-35. https://doi.org/10.21273/JASHS.119.3.629

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

Rajendra, D., Satpute, A., & Sanjay, P. (2018). Studies on physiology of soybean seeds by applying tool of accelerated aging test for vigor assessment. *Journal of Pharma and Bio Science*, *7*(3), 2319-8141.

Rylott, E. L., Hooks, M. A., & Graham, I. A. (2001). Co-ordinate regulation of genes involved in storage lipid mobilization in Arabidopsis thaliana. *Biochemical Society Transactions*, *29*(2), 283– 287. https://doi.org/10.1042/bst0290283

Santa-Cruz, D. M., Pacienza, N. A., Zilli, C. G., Tomaro, M. L., Balestrasse, K. B., & Yannarelli, G. G. (2014). Nitric oxide induces specific isoforms of antioxidant enzymes in soybean leaves subjected to enhanced

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

ultravioletB radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *141*, 202–209. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.09.019

Santos, R. F., Placido, H. F., Bosche, L. L., Neto, H. Z., Ferando, H., & Alessandro, B. (2021). Accelerated aging methodologies for evaluating physiological potential of treated soybean seeds. *Journal of Seed Science*, *43*(41), e202143028. https://doi.org/10.1590/2317-1545v43250605

Scott, W. O, & Aldrich, S. R. (1983). Modern Soybean Production. S & A Publication, Champaign, IL.USA. 209 p.

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

Sirova, J., Sedlaova, M., Piterkova, J., Luhova, L., & Petrivalsky, M. (2011). The role of nitric oxide in the germination of plant seeds and pollen. *Plant Science*, *181*(5), 560–572. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.03.014

Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., & Sarparast, R. (2006). Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, *138*(1-4), 156-167. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.004

Sung, J. M, & Chang, Y. H. (1993). Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. *Seed Science and Technology*, *21*, 97-105.

Tabatabaei, S. A. (2013). The Effect of priming on germination and enzyme activity of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds after accelerated aging. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, *9*(4), 132-138.

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

Ventura, L., Donà, 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.

Veselovsky, V. A, & Veselova, T. V. (2012). Lipid peroxidation, carbohydrate hydrolysis, and amadori maillard reaction at early stages of dry seed aging. *Russian Journal of Plant Physiology*, *59*(6), 811- 817. https://doi.org/10.1134/S1021443712030181

Yadu, S., Dewangan, T. L., Chandrakar, V., & Keshavkant, S. (2017). Imperative roles of salicylic acid and nitric oxide in improving salinity tolerance in Pisum sativum L. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *23*(1), 43–58. https://doi.org/10.1007/s12298-016-0394-7

Yildiz, M., Celik, M., & 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. https://doi.org/10.26650/EurJBiol.2020.0026

Yu, S., Zhu, X., Yang, H., Yu, L., & Zhang, Y. (2021). A simple new method for aged seed utilization based on melatonin mediated germination and antioxidant nutrient production. *Scientific Reports*, *11*(1), 1-7. https://doi.org/10.1038/s41598-021-85541-7.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

Effect of sodium nitroprusside pretreatment on the improvement of physiological and biochemical characteristics of soybean (*Glycine max* L.) Merrill) (cv. Williams) seeds under the influence of accelerated aging

Haniyeh Saadat[1], Mohammad Sedghi[2*]

1. **Ph.D. Ecology, University of Mohaghegh Ardabili Faculty of Agriculture and Natural Resources**
2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili*
***For correspondence**: m_sedghi@uma**.ac.ir**

Abstract
In order to investigate the effect of sodium nitroprusside pretreatment on the improvement of physiological and biochemical characteristics of soybean seed cv. Williams under the influence of accelerated aging, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with three replications at the University of Mohaghegh Ardabili in 2023. Experimental treatments included accelerated aging treatment at three levels (control, 24 and 48 hours) and sodium nitroprusside at three levels (control, 100 and 200 ppm). The results showed that aging reduced growth indices including Germination Percentage (GP), Allometric Coefficient (AC), Radicle length (RL), Plumule length (PL) and seedling length (SL), Radicle and Plumule Fresh Weight (RFW and PFW), Radicle and Plumule Dry Weight (RDW and PDW), Seed Weight Vigor Index (SWVI) and Seed Length Vigor Index (SLVI), but seed pretreatment with different levels of sodium Nitroprusside, especially the level of 200 ppm, improved these traits. Pretreatment with sodium nitroprusside decreased the amount of malondialdehyde, so the highest content of malondialdehyde (10.36 µmol/g) observed in the control treatment (priming with distilled water). Glutathione reductase enzyme activity increased by 25% in pretreatment with sodium nitroprusside 200. The activity of the lipase enzyme and protein content with pretreatment sodium nitroprusside 200 ppm and without aging was increased by about 63 and 66%, respectively. The results showed that seed treatment with sodium nitroprusside 200 ppm is the most effective method to improve soybean seed growth indicators, and by stimulating antioxidant enzymes and neutralizing free radicals, it can reduce the harmful effects of aging on some traits in soybean seedlings and improve seedling growth.
Keywords: Aging, Antioxidant Enzymes, Germination Indicators, Priming and Sodium Nitroprusside.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.