مقاله پژوهشی

اثرات برهمکنش سالیسیلیک اسید و شوری بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و توزیع برخی عناصر در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.)

سعیده خادمی* و مژگان سیفی

گروه زیست‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۶/۰۷)

چکیده

گیاه کلزا یک گیاه روغنی ارزشمند متعلق به خانواده گیاهی براسیکاسه است، و با توجه به اینکه امروزه شوری خاک یکی از مهمترین مسائل محدودکننده کشاورزی است، بنابراین بررسی اثر سالیسیلیک اسید (به عنوان یک محرک زیستی و عامل بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی) بر گیاهان تحت تنش شوری، به منظور کاهش اثرات منفی ناشی از تنش شوری، ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق اثرات متقابل NaCl و سالیسیلیک اسید (SA) بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و توزیع برخی عناصر در گیاه کلزا رقم هایولا مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور گیاهچه‌های ۲۱ روزه تحت غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl و غلظت‌های صفر و ۵۰۰ میکرومولار SA به مدت دو هفته قرار گرفتند. نتایج بدست آمده نشان داد که میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز، و همچنین مقدار H_2O_2 در تیمارهای شوری در حضور SA کمتراز مقادیر آنها در تیمارهای شوری بدون حضور SA بود، که نشان از کاهش سطح تنش در حضور SA دارد. چرا که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو نشان‌دهنده افزایش سطح تنش و افزایش مقدار پراکسید هیدروژن شاخص صدمات غشایی در شرایط تنش هستند. در تیمارهای شوری، درحضور SA غلظت سدیم ریشه افزایش یافت که می‌تواند به دلیل تجمع سدیم در ریشه و عدم انتقال آن به اندام هوایی باشد که نوعی راه‌کار مقابله با تنش است و نیز افزایش غلظت پتاسیم ریشه در تیمارهای شوری در حضور SA مشاهده شد و از آنجایی که پتاسیم نقش مهمی در تنظیم پتانسیل اسمزی سلول‌ها دارد، این افزایش می‌تواند نشان از اثر مثبت SA در کاهش اثرات مخرب تنش شوری باشد. در کل، داده‌ها نشان می‌دهد که حضور SA باعث افزایش مقاومت این رقم کلزا نسبت به شوری شده است، همچنین به کارگیری SA در غلظت ۵۰۰ میکرومولار می‌تواند اثرات منفی شوری برروی گیاه کلزا رقم هایولا را محدود کند.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، سالیسیلیک اسید، کلزا

مقدمه

کلزا گیاه علفی یکساله با ارتفاع بوته ۵۰ تا ۱۷۰ سانتی‌متر و متعلق به خانواده Brassicaceae است. کلزا از مهمترین دانه‌های روغنی است که در بسیاری از نقاط جهان رشد می‌کند به گونه‌ای که در مناطق سرد، گرم و معتدل امکان کشت کلزا وجود دارد (Omidi *et al*., 2010). در سال‌های اخیر، به دلیل سازگاری کلزا با شرایط مختلف آب و هوایی، تولید آن مورد توجه قرار گرفته و سطح زیر کشت آن افزایش یافته است

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: skhademi1977@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

(Berry and Spink, 2006). این گیاه معمولاً در تناوب با محصولات کشاورزی چون غلات کشت می‌شود، چرا که در کنترل بیماری‌ها، آفات و علف‌های هرز مزارع مؤثر است (Carvalho *et al.*, 2006). بیشتر آب‌های کره زمین محتوی حدود ۳۰ گرم بر لیتر کلرید سدیم است. این آب‌های شور، زمین‌هایی که محصولات کشاورزی در آن کشت می‌شوند را تحت تأثیر قرار می‌دهند و خطری جدی برای توسعه کشت محصولات کشاورزی هستند (Munns, 2002). مکانیسم‌های مولکولی دخیل در مقاومت گیاهان به شوری بسیار پیچیده است و ژن‌های زیادی در آن دخیل هستند. برای مطالعه مکانیسم‌های تحمل به تنش شوری لازم است که مطالعات روی گیاه کلزا تحت شرایط مختلف تنش شوری انجام شود (Salekdeh and Komatsu, 2007). همان طور که بیان شد در بین تنش‌های غیرزیستی، شوری خاک یکی از مخرب‌ترین آن‌هاست. شوری به معنای وجود بیش از اندازه نمک‌های قابل حل و عناصر معدنی در محلول خاک است که منجر به تجمع نمک در ناحیه ریشه شده و گیاهان را در جذب آب کافی از محلول خاک با اشکال روبه رومی‌کند (Shannon and Grieve, 1998). تنش شوری به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای وزن تر و خشک برگ، و عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Parida and Das, 2005). سالیسیلیک اسید یک متابولیت ثانویه و ترکیب فنلی است که در تعداد زیادی از موجودات پروکاریوتی و یوکاریوتی، از جمله گیاهان تولید می‌شود. این ماده یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است که در غلظت‌های بسیار کم باعث افزایش رشد و افزایش تحمل به شرایط نامساعد محیطی می شود. اسید سالیسیلیک در واکنش گیاه به شرایط محیطی نامطلوب مانند تنش شوری و اسمزی نقش مهمی ایفا می‌کند (Hara *et al.*, 2012). سالیسیلیک اسید در القای گلدهی، رشد و نمو، بیوسنتز آنزیم‌ها، و تنفس در گیاهان نقش مهمی دارد همچنین در تنش‌های زیستی و غیرزیستی، به عنوان یک مولکول سیگنال در مسیر انتقال پیام عمل می‌کند. تولید گرما در گیاهان گرما دوست، افزایش مقاومت به بیماری‌ها و گلدهی هم از اثرات مهم اسید سالیسیلیک در گیاهان است (Akhkha *et al.*, 2011). سالیسیلیک اسید یکی از اسیدهای آلی که دارای مصارف دارویی است و نقش مهمی در مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی دارد. یکی از راه‌های مؤثر در بهبود کمی و کیفی محصولات کشاورزی و به حداقل رساندن خسارات ناشی از عوامل نامساعد، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است. سالیسیلیک اسید ممکن است پاسخ‌های دفاعی گیاهان (برای مثال سیستم دفاع آنتی‌اکسیداتیو) در برابر بسیاری از تنش‌های غیرزیستی را تحت تأثیر قرار دهند. سالیسیلیک اسید، یک ترکیب فنلی مهم است که می‌تواند جنبه‌های مختلف بیولوژیکی محصولات را تحت تأثیر قرار دهد (Hayat *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2017). این ماده، جذب و جابجایی مواد مغذی، فتوسنتز و رشد را تحریک می‌کند (Gill *et al.*, 2006; Khan *et al.*, 2003). سالیسیلیک اسید همچنین پاسخ گیاهان به محیط‌های نامساعد مانند تنش نمکی را واسطه‌گری می‌کند (Farhangi-Abriz and Ghassemi-Golezani, 2016; Khademian, 2019). تیمار با سالیسیلیک اسید، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، قندهای محلول، محتوای آب، پایداری غشا، رنگدانه‌های برگ گیاهان تحت تنش خشکی را بهبود می‌بخشد (Farhangi-Abriz and Ghassemi-Golezani, 2016; Khademian, 2019). سالیسیلیک اسید همچنین می‌تواند از طریق افزایش رنگدانه‌های برگ، فعالیت کربوکسیلاز روبیسکو (Singh and Usha, 2003)، جلوگیری از سنتز اتیلن (Shakirova, 2007) و مهار ROS با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، به تحمل خشکی کمک کند. سالیسیلیک اسید به وسیله آمینواسید فنیل‌آلانین به صورت زیستی سنتز می‌شود که از اسیدی‌کردن سدیم سالیسیلات به وسیله اسید سولفوریک، سالیسیلیک اسید حاصل می‌شود. اسید سالیسیلیک نقش منحصر به فردی در رشد گیاه والقای گلدهی دارد. همچنین باعث افزایش سطح رنگدانه‌های فتوسنتزی، میزان فتوسنتز و فعالیت برخی آنزیم‌ها می‌شود (ایران و همکاران، ۱۳۹۲).

با توجه به اهمیت گیاه کلزا در کشاورزی، صنعت و اقتصاد و با توجه به توسعه شوری خاک‌ها و وسعت خاک‌های شور

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

در دنیا و به ویژه ایران، شناسایی ارقام مقاوم به شوری کلزا و نیز شناسایی راه‌های افزایش مقاومت به شوری این گیاه (از جمله استفاده از ترکیباتی مثل سالیسیلیک اسید)، امری ضروری است.

مواد و روش‌ها

کشت و تیمار گیاه کلزا: این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور شوری با سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰میلی‌مولار) و سالیسیلیک اسید با دو سطح (صفر و ۵۰۰ میکرومولار) و با چهار تکرار، در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس انجام شد. بذرهای گیاه کلزا، رقم هایولا، از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج (تهیه و با محلول هیپوکلریت سدیم ۲ درصد به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی و در پتری‌دیش‌های محتوی کاغذ صافی مرطوب که از قبل استریل شده بودند قرار داده شدند و در انکوباتور ۲۵ درجه به مدت شش روز برای جوانه‌زنی قرار داده شد. دانه‌رست‌های یکدست و هم اندازه به تعداد چهار عدد در هر گلدان با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر، و محتوی خاک مزرعه با هدایت الکتریکی ۶۵۰ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) منتقل شد. بعد از سه هفته، تیمارهای صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، و تیمار صفر و ۵۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید، به صورت جدا و توأم، اعمال شد. تیماردهی، دو بار در هفته انجام شد. گلدان‌ها تحت ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی با شدت نور ۴۰۰ میکرومول فوتون در مترمربع در ثانیه و تناوب دمایی ۲۲ درجه سانتی‌گراد شب و ۲۶ درجه سانتی‌گراد روز و رطوبت نسبی ۷۵ درصد قرار گرفتند و بعد از دو هفته تیماردهی برداشت شدند. ریشه و اندام هوایی گیاهان جدا و با آب‌مقطر شسته و بخشی برای سنجش آنزیمی در دمای منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد در فریزر نگهداری و بخشی هم در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو روز خشک شده و برای سایر سنجش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

سنجش عناصر سدیم و پتاسیم برگ و ریشه: نمونه‌های گیاهی (برگ و ریشه) در آون با دمای ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت خشک و به منظور سنجش عناصر، پودر خشک حاصل در مخلوط اسیدی 1:5 ($HCl: HNO_3$) هضم و در نهایت غلظت عناصر توسط اسپکتروسکوپی جذب اتمی (Atomic Absorption Varian مدل SpectrAA-200) تعیین گردید (Bouazizi *et al.*, 2010).

سنجش مقدار آنتی‌اکسیدان‌های برگ‌های گیاه، سنجش آنزیم کاتالاز: برای سنجش کاتالاز یک ترکیب متشکل از بافر فسفات پتاسیم (۵۰mM و pH ۷)، H_2O_2 ۲۰ mM و مقدار مناسب عصاره آنزیمی برگ در حجم نهایی ۳ ml تهیه شد. فعالیت آنزیمی به دنبال کاهش جذب در ۲۴۰ nm به مدت ۴۰ ثانیه ارزیابی و با استفاده از ضریب تصحیح ۳۹/۴ $mM^{-1}\ cm^{-1}$ محاسبه و فعالیت آنزیم مذکور به میکرومول H_2O_2 تجزیه شده در هر دقیقه در هر گرم وزن تر بافت بیان شد (Aeb, 1984).

سنجش سوپراکسید دیسموتاز: فعالیت (SOD) Superoxide dismutase با مطالعه میزان جلوگیری از احیاء فتوشیمیایی نیتروبلو تترازولیوم کلراید nitro blue tetrazolium (NBT) توسط آنزیم صورت پذیرفت. در این روش از فتولیز ریبوفلاوین (Riboflavin)، O_2^{1-} تولید شد که آن نیز به نوبه خود NBT آبی رنگ را به مجموعه ارغوانی رنگ دی‌فورمازان احیا کرد. در این روش اثر سایر مولکول‌های آنتی‌اکسیدانت که همانند SOD در جاروب O_2^{-1} مؤثرند، از بین رفت. مایع رویی ابتدا به دو بخش تقسیم شده که یک بخش به عنوان مایع رویی فعال، حفظ و بخش دوم برای بدست آوردن مایع رویی غیر فعال در حمام آب گرم برای از بین‌بردن فعالیت‌های آنزیمی حرارت داده شد. ۷۵ میکرولیتر از هر دو مایع رویی فعال و غیرفعال جداگانه به لوله‌های آزمایش شیشه‌ای دارای ۲ میلی-لیتر مخلوط فرآیند، که روی یک حمام آب ۲۵ درجه سانتی-گراد و شرایط نوری کاملاً نفوذپذیر قرار گرفته بودند، ریخته شد. در حجم نهایی، مخلوط دارای بافر فسفات پتاسیم (mM ۲۵ و pH ۷/۸)، ۱۳ mM L- متیونین، ۰/۰۶ mM NBT، mM ۰/۱ EDTA، ۰/۰۲۵ Triton X - 100 درصد و ۰/۰۰۱ mM ریبوفلاوین بود. لوله‌ها بین دو لامپ فلوئوروسنت ۲۰ وات قرار گرفته و برای ۷ دقیقه، در محیطی که به خوبی برای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

اجتناب از افزایش دما هوادهی می‌شود، مورد تابش قرار گرفتند. پیشرفت رنگ در nm ۵۶۰ اندازه‌گیری و سری مایع رویی غیرفعال به عنوان مقادیر استاندارد مورد استفاده قرار گرفت. جلوگیری از پیشرفت رنگ توسط مایع رویی فعال محاسبه و مقدار آنزیم موجود در مایع رویی فعال مطابق با ۵۰ درصد بازدارندگی، به عنوان یک واحد آنزیم SOD تعریف شد (Blokhina *etal*., 2003).

سنجش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز: کمپلکس واکنش (۲ میلی‌لیتر) شامل ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷) ۲۵۰ میکرولیتر از EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، ۱ میلی‌لیتر گایاکول ۵ میلی‌مولار، ۱ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی استخراج‌شده از برگ‌ها بود. میزان جذب واکنش آنزیمی در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر در زمان شروع واکنش و یک دقیقه پس از آن خوانده شد. فعالیت آنزیمی گایاکول پراکسیداز برگ‌ها بر اساس میزان ترا گایاکول تشکیل‌شده پس از زمان یک دقیقه محاسبه شد (Tang and Newton, 2005).

سنجش پراکسید هیدروژن: برای این منظور حدود ۱ گرم از نمونه تازه گیاهی با ۴ میلی‌لیتر از TCA، ۰/۱ درصد در حمام یخ، همگن شد. ماده همگن حاصله در g ۱۲۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و سپس مقدار H_2O_2 آن اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۱ میلی‌لیتر از سوپرناتانت حاصله از مرحله قبل به ۱ میلی‌لیتر از بافر فسفات پتاسیم (۷ pH) و ۲ میلی‌لیتر از یدید پتاسیم ۱ میلی‌مولار اضافه و محتوی H_2O_2 بر پایه جذب در ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Bohnert and Jensen,1996).

سنجش پراکسیداسیون لیپید: با توجه به تولید مالون دی‌آلدئید (MDA) و واکنش آن با تیوباربیتوریک اسید TBARS و تشکیل کمپلکس رنگی MDA – TBARS می‌توان با کمک اسپکتروفتومتری غلظت آن را اندازه‌گیری نمود. مطابق این روش، ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌های برگ‌های گیاهی مورد آزمایش، در ۵ میلی‌لیتر تیوباربیتوریک اسید ۰/۱ درصد W/V هموژن شده و سپس مواد حاصله با دستگاه سانتریفیوژ در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. به ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی، ۴ میلی‌لیتر محلول ۲۰ درصد تری کلرواستیک اسید TCA که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید بود اضافه شد. مخلوط حاصله به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و بلافاصله در یخ، سرد شد. سپس نمونه‌ها مجدداً در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ و شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. برای حذف اثر ترکیبات مزاحم، جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۶۰۰ نانومتر از جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر کسر شد. غلظت کمپلکس MDA – TBARS با استفاده از معادله $A= \varepsilon bc$ محاسبه شد که در آن A جذب خوانده‌شده، ε ضریب خاموشی کمپلکس MDA – TBARS معادل $155\ mM^{-1}\ cm^{-1}$، b عرض کووت و c غلظت کمپلکس بر حسب میلی‌مول بر گرم وزن تر گیاه بود. مقدار MDA به دست آمده به صورت $n\ mol\ g^{-1}\ FW$ بیان شد (Heat and Paker, 1968).

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور شوری (NaCl) در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰میلی‌مولار) و سالیسیلیک اسید، در دو سطح (صفر و ۵۰۰ میکرومولار) با چهار تکرار انجام شد. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار Spss انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. نمودارها با کمک نرم‌افزار Excell رسم گردید.

نتایج

*** منظور از شاهد، در کل نتایج، تیمار بدون شوری و بدون سالیسیلیک اسید (صفر و صفر) است.**

تأثیر NaCl و SA بر سدیم برگ: مطابق نتیجه تجزیه واریانس، اثر شوری و سالیسیلیک اسید به تنهایی و نیز اثر متقابل شوری و سالیسیلیک اسید، بر مقدار سدیم برگ، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

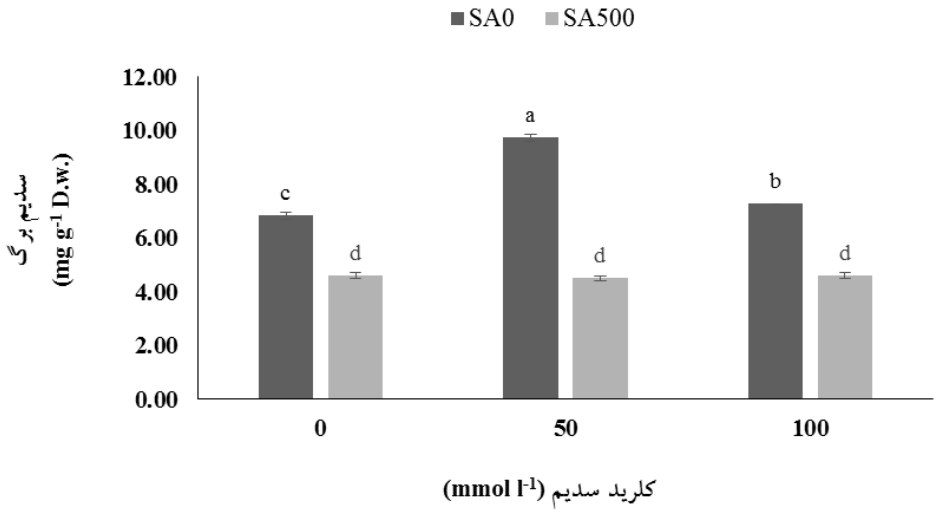
در غلظت ۵۰ و۱۰۰ میلی‌مولار نمک، بدون حضور سالیسیلیک اسید، افزایش معنی‌داری در سدیم برگ نسبت به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر سالیسیلیک اسید و شوری بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیداتیو و توزیع برخی عناصر در گیاه کلزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	سدیم ریشه	سدیم برگ	پتاسیم ریشه	پتاسیم برگ	کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز	گایاکول پرکسیداز	پرکسید هیدروژن	مالون دی آلدئید
سالیسیلیک‌اسید (A)	۱	۳۱۰۶/۰۲**	۱۴۰۱/۲۰**	۲۷۱/۵۱**	۱۶۲۱/۱۱**	۷۱/۱۸**	۳۰۵۶/۷۸**	۱/۷۵^{ns}	۱/۰۷^{ns}	۰/۰۰^{ns}
شوری (B)	۲	۵۷۵/۴۷**	۹۳/۰۱**	۴۹۲/۳۴**	۵۴/۹۸**	۱۰/۵۹**	۲۷/۷۸**	۱۱/۱۲**	۲۴/۲۵**	۳۰/۶۲**
(B) × (A)	۲	۶۹۹/۸۷**	۱۰۶/۸۷**	۱۰/۴۱**	۶۷/۷۷**	۱۳/۴۰**	۶/۰۴*	۸/۹۷**	۳۷/۵۶**	۲/۶۰^{ns}
خطا	۱۲	۰/۹۱۴۹	۰/۰۳۶۷	۰/۰۹۶۸	۰/۰۹۶۸	۰/۰۰۱۶	۰/۹۱۹۲	۰/۶۱۵۴	۰/۱۲۱۶	۰/۰۲۲۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۶/۷۷	۳۱/۶۱	۲۵/۲۹	۳۲/۸۴	۲۴/۰۵	۲۹/۱۱	۱۰/۳۹	۳۳/۰۲	۷/۲۳

****، * و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار است.**



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر مقدار سدیم برگ گیاه کلزا

شاهد دیده شد. مقادیر سدیم برگ در تیمارهای مختلف شوری در حضور سالیسیلیک نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت (شکل ۱).

تأثیر NaCl و SA بر سدیم ریشه: با افزایش شوری افزایش معنی‌داری در مقدار سدیم ریشه، در تیمارهای شوری توأم با سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد دیده شد. و مقدار سدیم ریشه در تیمارهای بدون سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد (شکل ۲).

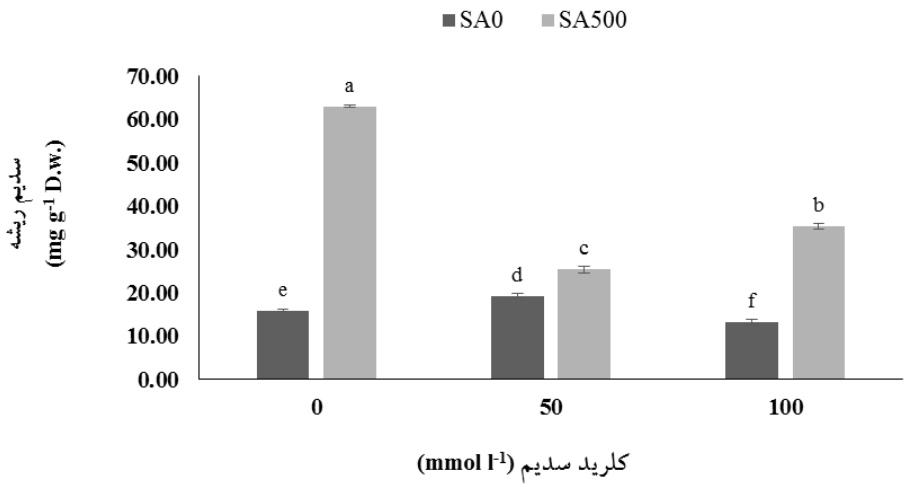
تأثیر NaCl و SA بر پتاسیم برگ: پتاسیم برگ، در ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شوری به همراه سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد و در تیمارهای بدون SA نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشت. در کل، حضور SA، پتاسیم برگ را کاهش داد (شکل ۳).

تأثیر NaCl و SA بر پتاسیم ریشه: پتاسیم ریشه در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک بدون حضور سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد، کاهش معنی‌داری داشت و در تیمار ۵۰ میلی‌مولار نمک با حضور SA افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان داد. در کل حضور SA مقدار پتاسیم ریشه را افزایش داد (شکل ۴).

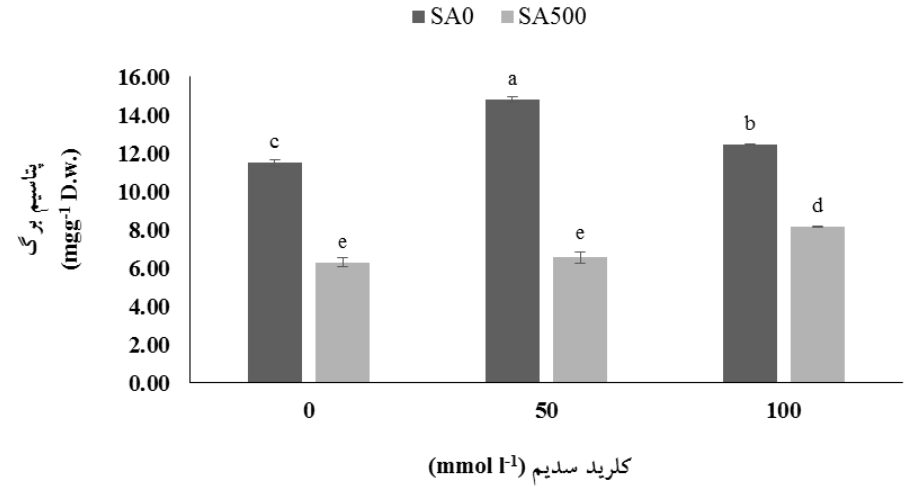
تأثیر NaCl و SA بر کاتالاز: براساس نتایج ارائه‌شده فعالیت کاتالاز با افزایش شوری در تیمارهای بدون سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد افزایش و در تیمارهای دارای سالیسیلیک اسید کاهش فعالیت این آنزیم نسبت به شاهد دیده شد.

در همه تیمارها حضور سالیسیلیک اسید باعث کاهش

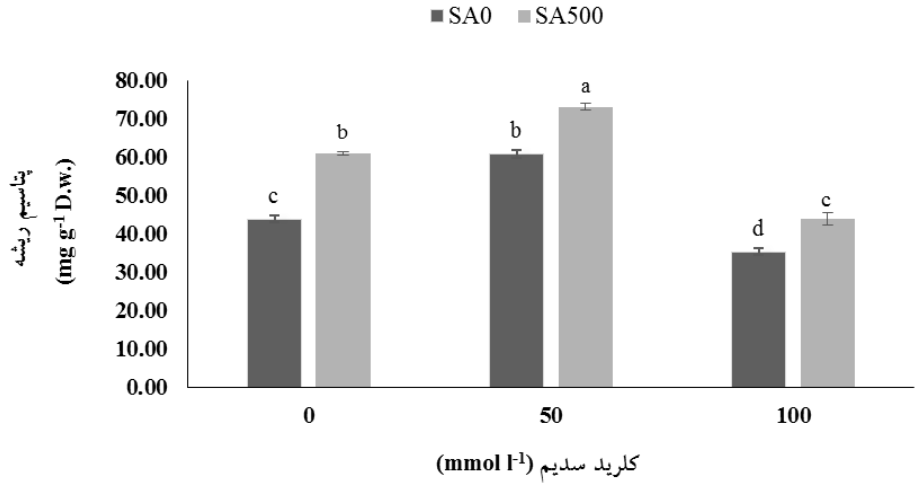
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر مقدار سدیم ریشه گیاه کلزا

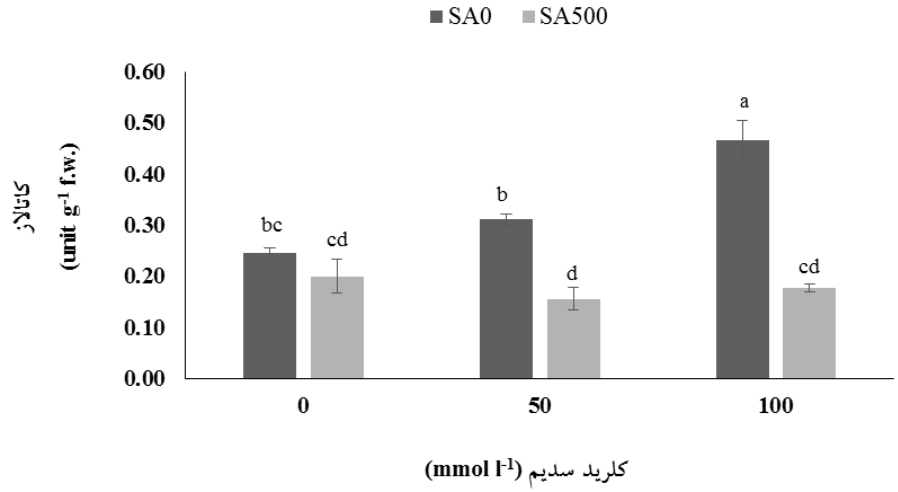


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر مقدار پتاسیم برگ گیاه کلزا

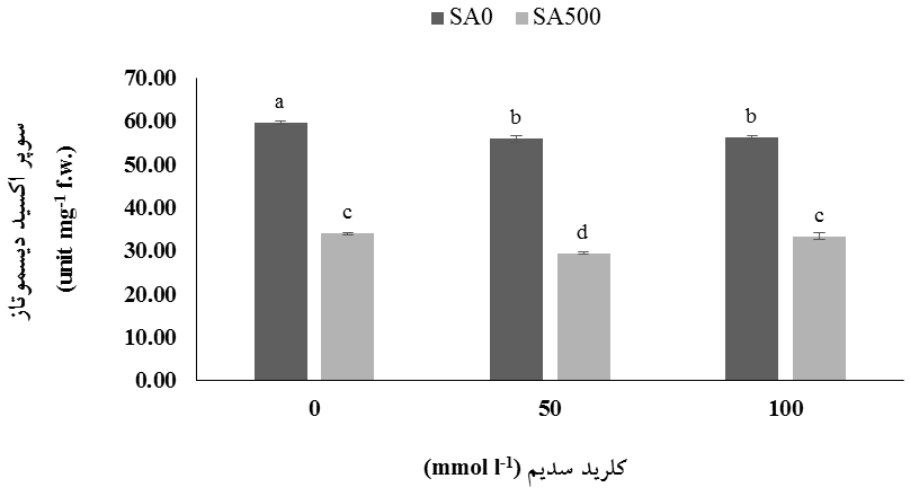


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر مقدار پتاسیم ریشه گیاه کلزا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر فعالیت کاتالاز گیاه کلزا



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر آنزیم SOD گیاه کلزا

فعالیت این آنزیم شد (شکل ۵).

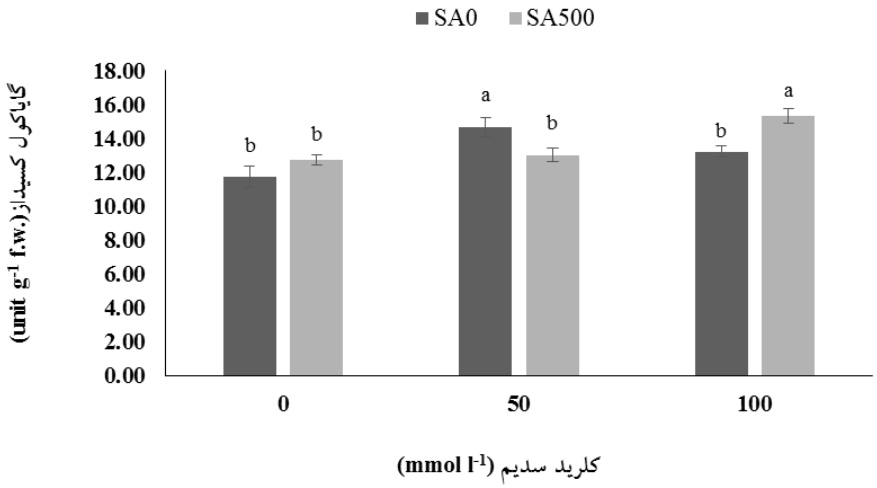
تأثیر NaCl و SA بر سوپراکسید دیسموتاز: در تیمارهای شوری که با SA توأم بوده است کاهش معنی‌داری در فعالیت این آنزیم نسبت به شاهد دیده شد. در تمامی تیمارهای شوری بدون حضور سالیسیلیک اسید، هم کاهش فعالیت آنزیم مذکور نسبت به شاهد مشاهده شد. اما در کل، حضور SA باعث کاهش فعالیت این آنزیم شد (شکل ۶).

تأثیر NaCl و SA بر گایاکول پراکسیداز: در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl با سالیسیلیک اسید افزایش معنی‌داری در فعالیت این آنزیم نسبت به شاهد دیده شد. در سایر تیمارها تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت (شکل ۷).

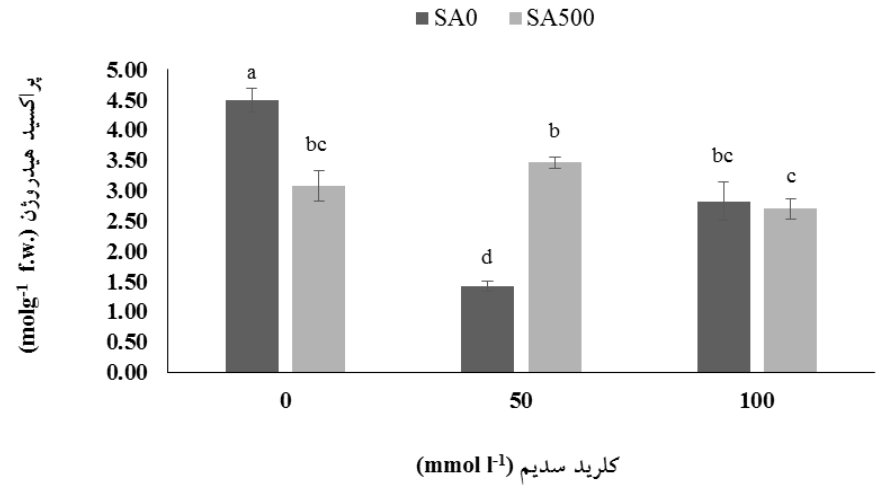
تأثیر NaCl و SA بر مقدار پراکسید هیدروژن: در تیمارهای شوری (با و بدون SA) کاهش معنی‌داری در مقدار H_2O_2 نسبت به شاهد دیده شد. و در کل حضور SA، باعث کاهش مقادیر پراکسید هیدروژن شد (شکل ۸).

تأثیر NaCl و SA بر پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء (مالون دی‌آلدئید): مالون دی‌آلدئید به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا است. از این‌رو این عامل آنالیز شد و نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار نمک، هم در حضور سالیسیلیک اسید و

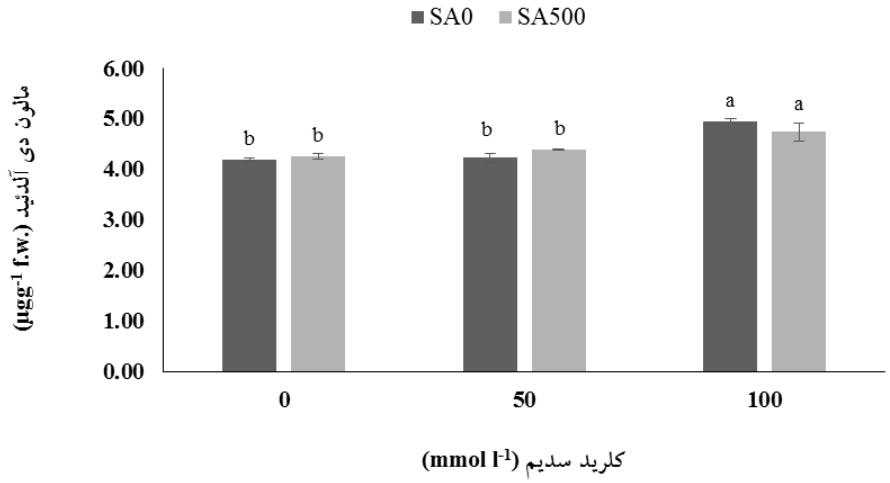
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر آنزیم گایاکول پراکسیداز گیاه کلزا



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر مقدار H_2O_2 گیاه کلزا



شکل ۹- مقایسه میانگین سطوح مختلف کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر مقدار مالون دی‌آلدئید گیاه کلزا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

هم بدون آن، نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت. و در سایر تیمارها تغییراتش نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (شکل ۹).

بحث

با افزایش شوری، بدون حضور سالیسیلیک اسید، مقدار سدیم برگ افزایش و سدیم ریشه کاهش یافت و با حضور سالیسیلیک اسید، بر عکس مقدار سدیم برگ کاهش و سدیم ریشه افزایش نشان داد که نشان می‌دهد حضور سالیسیلیک اسید با مهار انتقال سدیم از ریشه به برگ‌ها و تجمع آن در ریشه با تنش مقابله می‌کند زیرا افزایش تجمع یون سدیم در برگ‌های گیاه موجب تخریب و پراکسیداسیون غشای سلولی شده و موجب تجمع مالون دی‌آلدئید در گیاه می‌شود که به عنوان شاخصی برای میزان خسارت تنش‌های اکسیداتیو به کار می‌رود (Heidari *et al*., 2021). از طرفی سدیم ریشه در تیمارهای شوری بدون SA تقریباً دو برابر سدیم برگ بود و از آنجایی که گیاهان مقاوم به شوری انتقال سدیم به برگ را مهار می‌کنند و بیشتر در ریشه جمع می‌کنند می‌توان گفت که رقم مورد مطالعه ما نسبت به شوری مقاوم بوده است و به کارگیری سالیسلیک اسید نیز توانسته این مقاومت را افزایش دهد.

همچنین حضور سالیسیلیک اسید باعث کاهش پتاسیم برگ و افزایش پتاسیم ریشه گردید. کاهش پتاسیم می‌تواند ناشی از رقابت بین کلسیم و پتاسیم در مکان‌های جذب غشا باشد و یا ناشی از جانشینی سدیم به جای کلسیم و در نتیجه نشت پتاسیم از غشاء سلول‌های ریشه و نهایتاً کاهش پتاسیم ریشه باشد. دیگر محققین نیز افزایش جذب سدیم در ریشه و محدودیت جذب پتاسیم تحت تنش شوری را گزارش کردندکه با نتایج ما تطابق دارد (Ashraf and McNeiliy, 2004; Ashraf, 2004).

فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمارهای شوری با حضور سالیسیلیک اسید، کمتر از تیمارهای بدون سالیسیلیک اسید بود. چرا که سالیسیلات، دهنده الکترون بوده و سبب احیاء پراکسید هیدروژن به آب می‌شود. چنین به نظر می‌رسد که کاهش یون سوپراکسید توسط سالیسیلیک اسید تولید این ماده (پراکسید هیدروژن) را کاهش داده و در نتیجه فعالیت آنزیم کاتالاز برای تجزیه پراکسید هیدروژن کاهش می‌یابد. نتایج ما با یافته‌های Lee و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. از آنجایی که افزایش پراکسید هیدروژن، باعث تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل و پراکسیداسیون لیپید وآسیب به غشاء می‌شود، کاهش فعالیت کاتالاز می‌تواند به علت کاهش مقدار هیدروژن پراکسید و در نتیجه کاهش اثرات تنشی باشد. تأیر سالیسیلیک اسید در تعدیل پاسخ گیاه و کاهش فعالیت آنزیم‌ها در محدوده وسیعی از تنش‌های اکسایشی گزارش شده است. به‌طورکلی تنش اکسایشی حاصل افزایش سطح رادیکال‌های آزاد اکسیژن درون سلولی است. افزایش آنزیم‌های پاد اکساینده (ماده باز دارنده برای جلوگیری از اکسایش) ممکن است راهی برای تحمل گیاه به تنش‌های محیطی باشد و از آنجایی که مصرف ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب کاهش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز نسبت به عدم مصرف آن می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که ممکن است این ماده به‌طور مستقیم در از بین بردن رادیکال‌های آزاد نقش داشته و با پاکسازی این گونه‌های فعال، می‌تواند از افزایش فعالیت آنزیم جلوگیری کند (اصل زعیم و همکاران، ۱۳۹۷).

در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان، سوپراکسید دیسموتاز، رادیکال سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند و پراکسید هیدروژن هم توسط کاتالاز و پراکسیداز حذف و به اکسیژن مولکولی تبدیل می‌شود (Kiarostemi *et al*., 2015). در مطالعه حاضر، با افزایش شوری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز کاهش یافت و در تمامی تیمارهای شوری با حضور سالیسیلیک اسید، فعالیت آنزیم مذکور نسبت به شرایط بدون حضور سالیسیلیک اسید کمتر بود. اثر سالیسیلیک اسید در تعدیل پاسخ گیاه به تنش و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، در محدوده وسیعی از تنش‌های اکسایشی گزارش شده است (Horvath *et al*., 2002). و علاوه بر کلزا در سایر دانه‌های روغنی از جمله گلرنگ (چاوشی و همکاران، ۱۳۹۸) و نیز در جمعیت‌های مختلف زعفران، حضور سالیسیلیک اسید باعث کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

دیسموتاز شد. سالیسیلیک اسید می‌تواند به طور مستقیم در از بین‌بردن رادیکال‌های آزاد نقش داشته باشد و با پاکسازی گونه‌های اکسیژن فعال از افزایش فعالیت این آنزیم جلوگیری کند (اصل‌زعیم و همکاران، ۱۳۹۷).

محرم‌نژاد (۱۳۹۹) دریافتند که در گیاهچه‌های لاین ذرت، سالیسیلیک اسید، توانست از طریق افزایش فعالیت ایزوفرم‌های آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و افزایش بیان و پروتئین‌های درگیر در فتوسنتز با تنظیم سدیم و پتاسیم، اثرات ناشی از تنش شوری را کنترل کند.

در این مطالعه، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز تنها در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار شوری و با حضور سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت و در سایر تیمارهای شوری با حضور سالیسیلیک اسید کاهش در فعالیت آنزیم مذکور دیده شد.

کاهش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تیمار سالیسیلیک اسید، در گیاه شنبلیله تحت تنش خشکی هم مشاهده شد که در توافق با نتایج ما است (نیاکان و زنگانه، ۱۳۹۳). همچنین در گیاه بادر نجبویه، تیمار با سالیسیلیک اسید، باعث کاهش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شد که با نتایج ما مطابقت دارد (Heidari *et al*., 2021).

پراکسید هیدروژن با افزایش شوری (با و بدون سالیسیلیک اسید) کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت و سالیسیلیک اسید هم باعث کاهش غلظت پراکسید هیدروژن در همه تیمارها شد. مالون دی‌آلدهید یک محصول پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع است و از سطح پراکسیداسیون لیپید به عنوان یک نشانه رادیکال آزاد مضر برای غشا سلولی تحت شرایط تنش استفاده می‌شود. بنابراین مالون دی‌آلدئید معرف میزان صدمات غشا در شرایط تنش است. در مطالعه حاضر، مالون دی‌آلدئید در تیمارهای شوری افزایش یافت و حضور سالیسیلیک اسید باعث کاهش آن در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار نمک شد که می‌تواند نشان‌دهنده نقش سالیسیلیک اسید در کاهش آسیب اکسیداتیو است. در کل حضور سالیسیلیک اسید باعث کاهش پراکسیداسیون لیپید و تولید کمتر پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید گردید و در کل، تیمار با سالیسیلیک اسید سبب کاهش در اکسیداسیون اسیدهای چرب غشا و کاهش میزان MDA گردید. در توافق با مطالعه حاضر، میزان تجمع MDA در گیاهچه‌های برنج در تنش کادمیوم افزایش یافت درحالی‌که در شرایط حضور سالیسیلیک اسید میزان MDA کاهش یافت (Heidari *et al*., 2021). همچنین در تأیید نتایج ما، وجودی مهربانی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که غلظت مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش شوری در گل جعفری افریقایی در ارقام حساس افزایش یافت که نشان‌دهنده تولید مقادیر بالایی از گونه‌های اکسیژن فعال است که موجب تخریب غشای سلول می‌شود. همچنین در توافق با نتایج حاضر، در گیاه رازیانه با کاربرد سالیسیلیک اسید در مقدار مالون دی‌آلدئید تحت تنش خشکی کاهش مشاهده شد (Salarpour and Farahbakhsh, 2015).

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و با مشاهده کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و نیز کاهش غلظت پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در حضور سالیسیلیک اسید نسبت به تیمارهای شوری بدون حضور سالیسیلیک اسید و نیز با توجه به افزایش غلظت سدیم در ریشه گیاه بخصوص در حضور سالیسیلیک اسید، می‌توان اظهار کرد که گیاه مورد بررسی نسبت به غلظت‌های نمک به کار رفته در این آزمایش مقاوم بوده و حضور توأم سالیسیلیک اسید هم باعث کاهش مؤثر اثرات منفی ناشی از تنش شوری در گیاه مورد بررسی ما شده است.

منابع

اصل‌زعیم، نیکنام، ابراهیم‌زاده، حسن، و شریفی، گل‌اندام (۱۳۹۷). مقایسه تأثیر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر روی جمعیت‌های مختلف زعفران مزروعی (*Crocus Sativus* L.). *مجله پژوهش‌های گیاهی (علمی)*، ۳۱(۳)، ۴۸۳-۴۹۸. DOR: 20.1001.1.23832592.1397.31.3.1.1

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

ایران، طه، نصیری، یوسف، شکاری، فریبرز، و پورمحمد، علیرضا (۱۳۹۲) اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی بادرشبوتحت تنش کم آبی. دومین همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیطزیست. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، ارومیه.

چاوشی، مریم، نجفی، فرزانه، سلیمی، اعظم، و انگجی، سید عبدالحمید (۱۳۹۸). اثر سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی. *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸(۳۳)، ۲۶۳-۲۷۴.

محرم‌نژاد، سجاد (۱۳۹۹). بررسی تحمل به تنش کم آبی ۱۱ هیبرید ذرت (*Zea mays* L.) در مرحله گیاهچه‌ای با اندازه‌گیری سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و صفات فیزیولوژیکی. *مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۲(۴۵)، ۷۷-۸۹. DOR: 20,1001,1,2008403,1399,45,6,6

نیاکان، مریم، و زنگانه، اکرم (۱۳۹۳). اثر تنش خشکی و سالیسیلات بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه دارویی شنبلیله. *نشریه پژوهش‌های اکوفیزیولوژی ایران*،۳۳(۹)، ۳۸-۴۵.

وجودی مهربانی، لمیا، حسن‌پور اقدم، محمدباقر، و ولی‌زاده کامران، رعنا (۱۳۹۷). تأثیر تنش شوری کلرید سدیم و محلول‌پاشی با سولفات روی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک گل جعفری افریقایی (*Tagetes erecta* L.). *مجله دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)*، ۲۸(۳)، ۱۰۵-۱۱۵.

Aeb, H. (1984). Catalase invitro methods. *Enzymol*, *105*, 121-126. http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Akhkha, A., Boutraa, T., & Alhejely, A. (2011). The rates of photosynthesis, chlorophyll content, dark respiration, proline and abscicic acid (ABA) in wheat (*Triticum durum*) under water deficit conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, *13*(2), 1560-853013. https://www.researchgate.net/publication/228476090

Ashraf, M, & McNeilly, T. (2004). Salinity tolerance in some Brassica oilseeds. *Critical Reviews in Plant Science*, *23*, 154-174. http://dx.doi.org/10.1080/07352680490433286

Ashraf, M. (2004). Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora* 199, 361-376. DOI: 10.1078/0367-2530-00165

Berry, P, & Spink, J. (2006). A physiological analysis of oilseed rape yields: Past and future. *The Journal of Agricultural Science*, *144*(5), 381-92. DOI:10.1017/S0021859606006423

Blokhina, O., Virolainen, E., & Fagerstedt, K. V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: A review. *Annals of Botany*, *91*(2), 179-94. DOI: 10.1093/aob/mcf118

Bohnert, H. J, & Jensen, R. G. (1996). Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends in Biotechnology*, *14*(3), 89-97.

Bouazizi, H., Jouili, H., Geitmann, A.,& Ferjani, E. (2010). Copper toxicity in expanding leaves of *Phaseolus vulgaris* L.: Antioxidant enzyme response and nutrient elment uptake. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *73*, 1304-1308. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2010.05.014

Carvalho, I. Sd., Miranda, I., & Pereira, H. (2006). Evaluation of oil composition of some crops suitable for human nutrition. *Industrial Crops and Products*, *24*(1), 75-8. DOI:10.1016/j.indcrop.2006.03.005

Farhangi-Abriz, S, & Ghassemi-Golezani, K. (2016). Improving amino acid composition of soybean under salt stress by salicylic acid and jasmonic acid. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, *89*, 243-248. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2016.089.031

Hara, M., Furukawa, J., Sato, A., Mizoguchi, T., & Miura, K. (2012). Abiotic stress and role of salicylic acid in plants. *Abiotic Stress Responses in Plants*, 235-251. DOI:10.1007/978-1-4614-0634-1_13

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, *68*(1),14-25. DOI:10.1016/j.envexpbot.2009.08.005

Heidari, M., Esmaeilzadeh Bahabadi, S., & Sangtarash, M. (2021). Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characteristics of *Melissa officinalis* L. under cadmium stress. *Journal of Plant Research* (*Iranian Journal of Biology*), *34*(3), 646-657. DOR: 20.1001.1.23832592.1400.34.3.10.1

Horvath, E., Janda, T., Szalai, G., & Paldi, E. (2002). In vitro salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: Differences between the isoenzymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. *Plant Science*, *163*, 1129-1135. DOI:10.1016/S0168-9452(02)00324-2

Khademian, R., Ghorbani Nohooji, M., & Asghari, B. (2019). Effect of jasmonic acid on physiological and phytochemical attributes and antioxidant enzymes activity in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficient. *Journal of Medicinal Plants*, *18*(72), 122-34. DOR: 20.1001.1.2717204.2019.18.72.36.3

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

Khan, W., Prithiviraj, B., & Smith, D. L. (2003). Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology*, *160*(5), 485-92. DOI: 10.1078/0176-1617-00865

Kiarostemi, K., Sadri, S., Abdamaleki, N., & Saboura, O. (2015). Influence of of salycilic acid on antioxidant enzyme system in *Brassica napus* under salt stress. *Applied Biology*, *27*(2), 85-106.

Lee, B. R., Islam, M. T., Park, S. H., Jung, H. I., Bae, D. W., & Kim, T. H. (2019). Characterization of salicylic acid-mediated modulation of the drought stress responses reactive oxygen spicies, prolin, and redox state in *Brassica napus. Environmental and Experimental Botany*, *15*(7), 1-15. DOI:10.1016/J.ENVEXPBOT.2018.09.013

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, *25*(2), 239-50. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x

Omidi, H., Tahmasebi, Z., Torabi, H., & Miransari, M. (2010). Fatty acid composition of canola (*Brassica napus* L.), as affected by agronomical, genotypic and environmental parameters. *Comptes Rendus Biologies*, *333*(3), 248-54. DOI: 10.1016/j.crvi.2009.10.001

Parida, A. K, & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *60*(3), 324-49. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2004.06.010

Salarpour, F, & Farahbakhsh, H. (2015). Effect of water deficit and salicylic acid on essential oil and antioxidant enzymes of Fennel (*Foeniculum vulgare*. Mill.). *Journal of Crop Improvement(Journal of Agriculture*), *17*(3), 713-727.

Salekdeh, G. H, & Komatsu, S. (2007). Crop proteomics: Aim at sustainable agriculture of tomorrow. *Proteomics*, *7*(16), 2976-96. DOI: 10.1002/pmic.200700181

Shannon, M, & Grieve, C. (1998). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, *78*(1-4), 5-38.

Singh, A. P., Dixit, G., Kumar, A., Mishra, S., Kumar, N., & Dixit, S. (2017). A protective role for nitric oxide and salicylic acid for arsenite phytotoxicity in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, *115*, 163-73. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.02.019

Singh, B, & Usha, K. (2003). Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation*, *39*(2), 137-41. DOI:10.1023/A:1022556103536

Shakirova, F. (2007). Role of Hormonal System in the Manifestation of Growth Promoting and Antistress Action of Salicylic Acid. Salicylic Acid*:* a Plant Hormone. Springer. DOI:10.1007/1-4020-5184-0_4

Tang, W, & Newton, R. J. (2005). Peroxidase and catalase activities are involved in direct adventitious shoot formation induced by thidiazuron in eastern white pine (*Pinus strobos*) zygotic embryos. *Plant Physiology*, *43*(8), 760-769. DOI: 10.1016/j.plaphy.2005.05.008

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

The effects of the interaction of salicylic acid and salinity on the antioxidant defense system and the distribution of some elements in rapeseed (*Brassica napus* L.) plants

Saideh Khademi*, Mozhgan Seifi

Department of Biology, Shahr-e- Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(Received: 2024/04/15, Accepted: 2024/08/28)

Abstract

Rapeseed is a valuable oil plant belonging to the Brassicaceae plant family, and considering that today soil salinity is one of the most important limiting issues in agriculture. Therefore, investigating the effect of salicylic acid (as a biological stimulant and agent to improve the antioxidant defense system) on plants under salinity stress conditions in order to reduce the negative effects of salinity stress seems necessary. In this research, the mutual effects of NaCl and salicylic acid on the antioxidant defense system and the distribution of some elements in rapeseed plants of Hyola variety were investigated. For this purpose, 21-day-old seedlings were subjected to concentrations of 0, 50, and 100 mM NaCl and SA with concentrations of 0 and 500 µM SA for 2 weeks. The obtained results showed that the activity of the antioxidant enzymes superoxide dismutase and catalase, as well as the amount of H2O2 in saline treatments in the presence of SA were lower than their values in saline treatments without the presence of SA, which shows a reduction in the level of tension in the presence of SA. Because the decrease in the activity of antioxidant enzymes indicates the decrease in the level of stress and the decrease in the amount of hydrogen peroxide is an indicator of the reduction of membrane damage in stress conditions. Also, an increase in root sodium concentration in salinity treatments was seen in the presence of SA, which could be due to the accumulation of sodium Na in the root and its lack of transfer to the aerial parts, which is a way to deal with stress, and an increase in potassium concentration in roots in saline treatments. , was observed in the presence of SA and since potassium plays an important role in regulating the osmotic potential of cells, this increase can indicate the positive effect of SA in reducing the destructive effects of salt stress. In general, the data show that the presence of SA has increased the resistance of this canola cultivar to salinity, also, the results prove that the application of SA at a concentration of 500 µM can limit the negative effects of salinity on the rapeseed Hyola plant.

Keywords: Salinity stress, Salicylic acid, Rapeseed

Corresponding author, Email: skhademi1977@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]