برهم‌کنش نیترات کادمیوم و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، پروتئین محلول و مالون‌دی‌آلدهید برگ گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) رقم صفه

خدیجه بادپا، محسن موحدی دهنوی* و علیرضا یدوی

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۲۱)

چکیده:

کادمیوم یکی از فلزات سنگین می‌باشد که در گیاهان تنش اکسیداتیو ایجاد می‌کند. در این راستا استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی از جمله سالیسیلیک اسید جهت تخفیف اثرات سمی کادمیوم به عنوان گزینه‌ای مناسب مطرح می‌باشد. بدین منظور این مطالعه با هدف بررسی برهم‌کنش نیترات کادمیوم و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، پروتئین محلول برگ و مالون‌دی‌آلدهید گلرنگ (رقم صفه) اجرا گردید. این آزمایش گلدانی در سال ۱۳۹۱ با آرایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و چهار تکرار در دانشگاه یاسوج اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل چهار سطح نیترات کادمیوم (۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و عامل دوم محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید در سه سطح (۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بود. نتایج نشان داد که با بالا رفتن سطح تنش میزان پروتئین محلول برگ کاهش ولی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنول‌اکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و همچنین میزان مالون‌دی‌آلدهید به طور معنی‌دار افزایش یافتند. همچنین با محلول‌پاشی روند افزایش فعالیت آنزیم‌ها معکوس گردید. بنابراین می‌توان گفت که محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید به عنوان یک مولکول پیام‌رسان اثرهای مضر حاصل از تنش را کاهش داد و سبب بهبود خصوصیات اندازه‌گیری شده در گلرنگ در شرایط تنش کادمیوم شد.

واژه‌های کلیدی: گلرنگ، نیترات کادمیوم، سالیسیلیک اسید، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مالون‌دی‌آلدهید

مقدمه:

در جهان سالانه مقادیر زیادی لجن فاضلاب تولید می‌شود که میزان قابل توجهی از آن به عنوان کود در زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود. حضور عناصر غذایی کم‌مصرف و نیز عناصر سمی مانند سرب، کادمیوم، جیوه و نیکل، استفاده زیاد از لجن در زمین‌های کشاورزی را محدود می‌کند (Adamu *et al.*, 1989). کادمیوم از طریق فعالیت‌های انسانی، مثل استخراج معدن، ذوب فلزات، ترکیبات سوختی، فاضلاب‌های صنعتی و استعمال کودهای فسفاته در محیط آزاد می‌شود. با وجود آن که کادمیوم ماده‌ای غیرضروری است، سریعاً به وسیله گیاهان جذب می‌شود و می‌تواند در محصولات آن‌ها تجمع یابد (پور اکبر و اشرفی، ۱۳۹۰). کادمیوم برای گیاه ضروری نیست، اما این فلز به راحتی از طریق پوست ریشه جذب و سپس از راه سیمپلاستی یا آپوپلاستی وارد آوند چوبی می‌شود و در گیاه تنش اکسیداتیو ایجاد می‌کند و سمیت آن ۲ تا ۲۰ برابر بیشتر از سایر فلزات سنگین است (Sanita- di Toppi and Gabbrilli, 1999). غلظت

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Movahhedi1354@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]

بحرانی کادمیوم در خاک ۳ تا ۸ ppm گزارش شده است (پوراکبر و اشرفی، ۱۳۹۰). بررسی آلودگی اراضی زراعی کشور نشان می‌دهد که مقدار کادمیوم در بخشی از اراضی آلوده استان‌های گیلان، زنجان، اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب معادل ۱/۹، ۱۸۰/۵، ۸۹/۴ و ۲۶۱۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (ترابیان و بغوری ۱۳۷۳؛ شریعت و فرشی، ۱۳۸۱؛ جعفرزاده حقیقی، ۱۳۷۵).

مواد آنتی اکسیدان موجود در گیاهان سبب خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد می‌گردند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان آسکوربیک اسید، توکوفرول و گلوتاتیون را نام برد. سالیسیلیک اسید یا ارتو هیدروکسی بنزوئیک اسید و ترکیبات مربوط، به گروه ترکیبات فنلی تعلق دارد (El-Tayeb, 2006). سالیسیلیک اسید به وسیله‌ی سلول‌های ریشه تولید می‌شود و در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد و نمو گیاه، جذب یون، فتوسنتز و جوانه‌زنی نقش ایفا می‌کند (Raskin, 1992). سالیسیلیک اسید نقش کلیدی در تنظیم رشد گیاهان، نمو و برهمکنش با دیگر ارگانیسم‌ها و در پاسخ به تنش‌های محیطی را ایفا می‌کند. علاوه براین نقش آن در جوانه‌زنی بذر، عملکرد میوه، گلیکولیز، گلدهی، جذب یون و انتقال آن، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق، آشکار است (Arfan *et al*., 2007). سالیسیلیک اسید نقش مهمی در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد دارد (Raskin, 1992). سالیسیلیک اسید با عمل کلات کردن فلزات مقدار مالون‌دی‌آلدهید را در گیاهان تحت تنش فلز سنگین کاهش می‌دهد (Horvath *et al.*, 2007). سالیسیلیک اسید باعث بالا رفتن توان سیستم آنتی‌اکسیدانت بافت‌های گیاهی از طریق فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز می‌شود و در نهایت میزان مالون‌دی‌آلدهید را در گیاهان تحت تنش کادمیوم کاهش می‌دهد (Popova *et al*., 2007). در بررسی بر روی گیاه برنج فعالیت لیپوکسیژناز و مقدار مالون‌دی‌آلدهید تحت تنش کادمیوم کاهش یافت (Mishra *et al.*, 2009). گزارشات متعددی مبنی بر اثر سالیسیلیک اسید بر کاهش اثرهای سمیت ناشی از تنش‌های فلزات سنگین وجود دارد، از جمله سالیسیلیک اسید با اثر گذاشتن روی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز (Slaymarker *et al.*, 2002)، سوپراکسیددیسموتاز (Dat *et al*., 1998؛ Scandalias, 1993)، پلی‌فنل اکسیداز (Dat *et al.*, 1998) و پراکسیدازها (El-Tayeb, 2005) اثرات سمی ناشی از فلزات سنگین را کاهش می‌دهد (Popova *et al.*, 2007).

گیاهان روغنی بعد از غلات، به عنوان دومین منبع تأمین کننده کالری برای جوامع بشری محسوب می‌شوند. گلرنگ یکی از گیاهان زراعی با اهمیت در تأمین روغن خوراکی با کیفیت عالی است (Kaffka and Kearney, 1998). با توجه به توان خوب گیاه گلرنگ در توسعه سیستم ریشه‌ای مستقیم خود در اعماق خاک، به شرایط خشکی و شوری تا حد زیادی مقاوم‌تر از گیاهان دیگر مانند گندم، چغندرقند و پنبه می‌باشد (Bassil and Kaffka, 2002). در حال حاضر در شرایط آب و هوایی خشک بعضی از مناطق کشور، به خصوص در خاک‌های شور و کم‌آب و آلوده، کشت این گیاه به وسیله کشاورزان مورد استقبال قرار گرفته است. با توجه به افزایش سطح زیر کشت این گیاه و استفاده بیش از اندازه از فاضلاب جهت حاصلخیز نمودن و به دنبال آن آلودگی خاک، بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک ناشی از تنش فلزات سنگین در این خصوص حائز اهمیت است. با توجه به موارد ذکر شده هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات فیزیولوژیک سمیت کادمیوم در گیاه گلرنگ (رقم صفه) و یافتن پاسخ به این سوال است که آیا محلول پاشی با سالیسیلیک اسید می‌تواند اثرات مثبتی در رفع آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از سمیت نیترات کادمیوم برای گیاه داشته باشد؟

مواد و روش‌ها:

به منظور بررسی برهم‌کنش نیترات کادمیوم و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مالون‌دی‌آلدهید در گلرنگ (رقم صفه) آزمایشی در تابستان ۱۳۹۱ در گلخانه زراعت دانشکده کشاورزی یاسوج انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. عامل اول شامل چهار سطح نیترات کادمیوم (۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰) میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و عامل دوم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در ۳ سطح (۰، ۰/۵ و ۱) میلی‌مولار بود. واحدهای آزمایش شامل گلدان‌هایی به نسبت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]

چهار به یک از خاک مزرعه و ماسه الک شده به اضافه نیم گرم کود سوپر فسفات تریپل به ازای هر گلدان بود (Shuhe *et al.*, 2010). تیمارهای نیترات کادمیوم به صورت اسپری به خاک اضافه و سپس خاک درون هر گلدان تا دهانه که ۵ سانتی‌متر فاصله داشته پر شد، و به مدت یک ماه رطوبت گلدان‌ها در حد ظرفیت مزرعه برای رسیدن به حالت تعادل حفظ شد (Shuhe *et al.*, 2010). درون هر گلدان تعداد ۶ عدد بذر گلرنگ در عمق ۳ سانتی‌متر قرار گرفت. قبل از کاشت بذرها با قارچ‌کش بنومیل مخلوط و ضد عفونی شدند. بعد از سبز شدن به چهار بوته در هر گلدان تنک شدند. گلدان‌ها از مرحله کاشت تا مرحله جوانه‌زنی با آب، به مقدار یکسان برای همه‌ی گلدان‌ها، آبیاری شدند و پس از ثبت تاریخ دقیق جوانه‌زنی (زمانی که ۵۰ درصد جوانه‌زنی انجام شد)، گلدان‌ها با نیم گرم کود اوره به ازای هر گلدان تغذیه شدند. در مرحله ۴ برگی اعمال سالسیلیک اسید به صورت محلول‌پاشی شروع و سپس ۲ هفته بعد تکرار شد. در مرحله شروع گلدهی (Tanaka *et al.*, 1997) از یکی از واحدها نمونه‌گیری انجام شد. نمونه‌ها در طی انتقال به آزمایشگاه، پس از قرارگرفتن در ظرف حامل یخ برای اندازه‌گیری‌های مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شد و تا زمان استفاده در دمای ۴۰- درجه‌سانتی‌گراد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدهید: نمونه‌های منجمد به میزان ۰/۲ گرم در ۳ میلی‌لیتر TCA (تری‌کلرواستیک‌اسید) ۱۰٪ عصاره‌گیری شدند. سپس به یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون صاف شده ۱ میلی‌لیتر TBA (تیوباربی‌توریک اسید) ۰/۵٪ اضافه شد و در حمام آب‌گرم ۱۰۰ درجه‌سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. بعد از گذشت ۳۰ دقیقه، لوله‌ها از حمام آب گرم خارج شده و پس از سرد شدن میزان مالون‌دی‌آلدهید با اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی (۱۵۵ $\mu M^{-1}\ cm^{-1}$) محاسبه شد (Heath and Pacher, 1968). واحد اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدهید میکرومول بر گرم وزن تر برگ می‌باشد.

MDA= ((A ۵۳۲nm/۱۵۵)/۰/۲)-((A۶۰۰nm/۱۵۵)/۰/۲)

A ۵۳۲: جذب در ۵۳۲ نانومتر، A ۶۰۰: جذب در ۶۰۰ نانومتر، ۰/۲: وزن تر نمونه بر حسب گرم

اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی اکسیدان و پروئین محلول برگ: به منظور سنجش فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل‌اکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CTA)، پراکسیداز (POD) و پروئین محلول برگ از نمونه‌های منجمد عصاره آنزیمی تهیه گردید و جذب کلیه واکنش‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری اندازه‌گیری شد. برای تهیه عصاره آنزیمی مقدار ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی سرد و در ظرف یخ با ۲ میلی‌لیتر از بافر فسفات ۰/۱ مولار با اسیدیته ۶/۸ (Dean, 1985) هموژن شد و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. فاز بالایی عصاره (سوپرناتانت) بدست آمده برای اندازه‌گیری فعالیت ۳ آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز و همچنین مقدار پروتئین محلول مورد استفاده قرار گرفت.

فعالیت کاتالاز از روش Horest و Cakmak (۱۹۹۱) اندازه‌گیری شد. طبق تعریف یک واحد کاتالاز مقدار آنزیمی است که موجب تجزیه یک میکرومول H_2O_2 در مدت یک دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد شود. بنابراین محلول واکنش حاوی ۰/۵ میلی‌لیتر H_2O_2 ۱۰ میلی‌مولار، ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی–مولار با pH= ۶/۸ و ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی می‌باشد. با شروع تجزیه H_2O_2 در محیط، واکنش آغاز شد و میزان کاهش جذب در طول زمان در طول موج ۲۴۰ نانومتر و توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد.

فعالیت سوپراکسید دیسموتاز برطبق روش Giannopolitis و Ries (۱۹۹۷) اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش شامل، ۲ میلی‌لیتر بافر HEPES-KOH ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷/۸ حاوی EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، کربنات سدیم ۵۰ میلی‌مولار با pH=۱۰/۲، L-methionine ۱۲ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم ۷۵ میکرومولار، ریبوفلاوین ۱ میکرومولار و ۲۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی می‌باشد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در شدت نور تقریباً ۸۰۰۰ لوکس قرار گرفت و پس از این مدت جذب آنها در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز از روش Hegar و همکاران (۱۹۹۶) انجام شد. معرف مورد نیاز گایاکول (Guaiacol) است. به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۶۰ میلی‌مولار با pH=۶/۱، ۰/۵ میلی‌لیتر گایاکول ۲۸ میلی‌مولار و ۰/۵ میلی‌لیتر H_2O_2 ۵ میلی‌مولار اضافه کرده و جذب محلول در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید. واکنش در کووت آغاز و جذب بلافاصله در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت یک دقیقه (با فواصل ۲۰ ثانیه) انجام شد.

سنجش فعالیت پلی‌فنل‌اکسیداز از روش Hegar و همکاران (۱۹۹۶) اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش شامل ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی، ۵۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه‌ی ۵ میلی‌مولار و ۵۰۰ میکرولیتر متیل‌کاتکول ۰/۰۲ میلی‌مولار در ۱۹۰۰ میکرولیتر بافر پتاسیم فسفات ۶۰ میلی‌مولار با pH=۶/۱ می‌باشد. افزایش فعالیت آنزیم بر اساس شدت رنگ نارنجی متیل کاتکول تولید شده و در طول موج ۴۱۰ نانومتر و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و فعالیت آنزیمی به ازای تغییرات جذب به میکروگرم پروتئین در دقیقه بیان شد.

اندازه‌گیری پروتئین محلول برگ از روش Kar و Mishra (۱۹۷۶) و Liu و Huang (2004) استفاده شد. جهت اندازه‌گیری کمی پروتئین از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. قرائت جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر و رسم منحنی رگرسیون انجام شد.

محاسبات آماری: تجزیه آماری با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی با آزمون حداقل میانگین مربعات (LSD) در سطح۵ ٪ و برای صفاتی که اثر متقابل معنی‌دار داشتند از روش برش دهی و مقایسه میانگین به روش LSMeans استفاده کردید.

نتایج و بحث:

آنزیم کاتالاز: نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی‌دار بودن برهمکنش نیترات کادمیوم و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح یک درصد بود (جدول ۱). همچنین برش‌دهی(جدول ۲) نیز نشان داد که اثر محلول‌پاشی بر فعالیت آنزیم کاتالاز در همه سطوح نیترات کادمیوم در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. شکل ۱ نشان داد که بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به سطح دوم محلول‌پاشی و کمترین میزان فعالیت آنزیم مربوط به سطح اول محلول‌پاشی بود. در سطح ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان فعالیت آنزیم مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود. در سطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان فعالیت آنزیم مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود. در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان آن مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود.

طبق نتایج بدست آمده از این آزمایش تنش کادمیوم فعالیت این آنزیم را افزایش داد و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید سبب کاهش آن گردید (شکل ۱). سالیسیلیک اسید، فعالیت آنزیم کاتالاز که یک آنزیم پاکسازی کننده پراکسیدهیدروژن بوده را کم کرده و در نتیجه با کاهش فعالیت این آنزیم سبب افزایش پراکسیدهیدروژن در گیاه می‌شود (Horvaht *et al*, 2007). اگرچه پراکسیدهیدروژن در غلظت‌های بالا سمی است و به وسیله آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز از بین می‌رود، اما در غلظت‌های پایین می‌تواند نقش پیام رسان را در فرایندهای انتقال بازی کند و ژن‌های وابسته به مقاومت را در گیاه فعال کند (Foyer *et al*, 1997). همچنین گزارش‌هایی مبنی بر تغییر در الگوی فعالیتی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش عناصر سنگین و دیگر تنش‌های غیرزنده، تحت تیمارهای سالیسیلیک اسید و بدون آن داده شده است (Metwally *et al*., 2003) که نشان می‌دهد که سالیسیلیک اسید با باندشدن به آنزیم کاتالاز، سبب کاهش فعالیت آن در توتون (Chen *et al.*, 1993) و چندین گونه‌ی دیگر گیاهی می‌شود (Sanchez-Casas and Klessing, 1994). در مطالعه حاضر تنش کادمیوم سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد. اسید سالیسیلیک با دارا بودن خواص آنتی‌اکسیدانی احتمالاً موجب پاکسازی یون سوپراکسید شده و از ایجاد

آنزیم پراکسیداز: با توجه به شکل ۲ بیشترین فعالیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پروتئین محلول برگ و مالوندی‌آلدهید اندازه‌گیری شده در گلرنگ (رقم صفه)

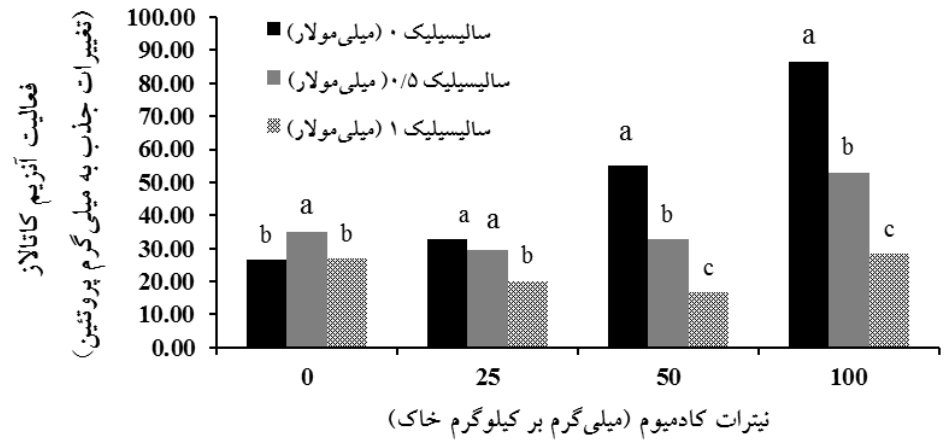
منابع تغییر	درجه آزادی	کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنول اکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	مالوندی آلدهید	پروتئین محلول برگ
کادمیوم	۳	۲۰۴۵/۷۲**	۱۷۹۹/۳۶**	۱۷۰۵/۷۸**	۳۶۴/۸۷**	۳۸۵/۹۷ **	۲۷۲۵/۴۰ **
محلول‌پاشی	۲	۲۱۹/۲۰**	۷۱/۶۹**	۱۶۳/۲۲**	۳۴۸۱/۵۱**	۱۵۰/۷۴ **	۱۲۸/۱۹ **
کادمیوم×محلول پاشی	۶	۱۷۲۷/۳۰**	۲۰۰۰/۵۷**	۸۸۷/۷۱**	۱۱۴۲/۷۸**	۵۳/۷۰ **	۸۱۲/۶۹ **
خطا	۳۶	۸/۰۲۳	۱۰/۱۲۷	۲۲/۰۱۰	۲۵/۶۱۳	۸/۴۷۱	۷/۴۸۸
ضریب تغییرات		۷/۶۷	۹/۸۵۴	۶/۶۶	۶/۴۶۳	۱۳/۵۱	۴/۰۶

ns، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهد.

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس برش‌دهی اثر سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف تنش کادمیوم در گلرنگ رقم صفه بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مالوندی‌آلدهید

کادمیوم	درجه آزادی	کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنول اکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	مالوندی آلدهید	پروتئین محلول برگ
۰	۲	۹۲/۸۶**	۱۳۸/۳۲**	۲۳۳۰/۱۷**	۱۴۹۲/۹۶**	۱۷۸/۵۵ **	۳۵۱/۰۰ **
۲۵	۲	۱۷۶/۰۸**	۱۳۳/۳۶**	۳۵۸/۰۷**	۴۷۰۲/۲۶**	۳۳/۳۷ **	۱۴۲۶/۰۸ **
۵۰	۲	۱۴۹۴/۳۲**	۹۴۳/۵۲**	۱۰۵/۴۴*	۶۷۷/۵۲**	۹۳/۹۵ **	۱۲۷/۸۵ **
۱۰۰	۲	۳۴۳۷/۸۵**	۴۸۵۸/۱۷**	۳۲۰/۶۶**	۳۷۰/۱۰**	۳۵/۹۵ **	۶۶۱/۳۴ **

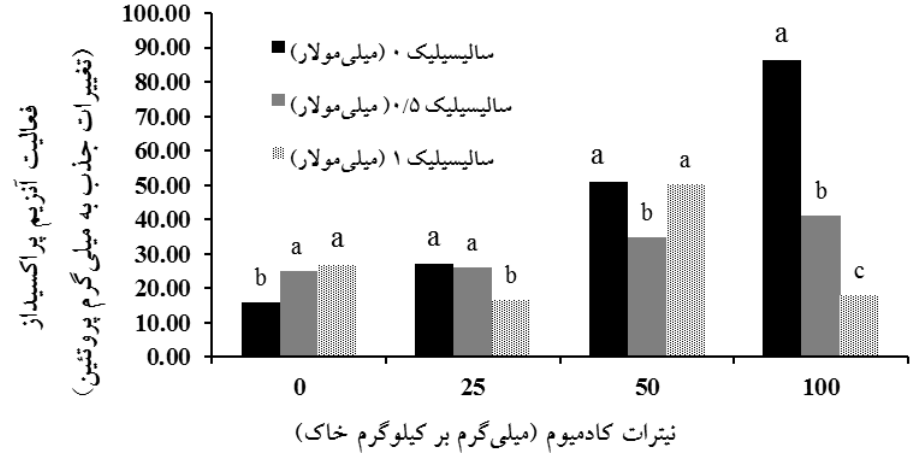
ns، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهد.



شکل ۱- برهم‌کنش نیترات کادمیوم و سالیسیلیک اسید برای فعالیت آنزیم کاتالاز (در هر سطح نیترات کادمیوم حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین‌های سطوح سالیسیلیک اسید می‌باشد).

آنزیم پراکسیداز مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی و کمترین میزان آن مربوط به سطح اول محلول‌پاشی بود. در سطح ۲۵میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین آن مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود. در سطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان آن مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود. در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم نیز بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان آن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]



شکل ۲- برهم‌کنش نیترات کادمیوم و سالیسیلیک اسید برای فعالیت آنزیم پراکسیداز (در هر سطح نیترات کادمیوم حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین‌های سطوح سالیسیلیک اسید می‌باشد).

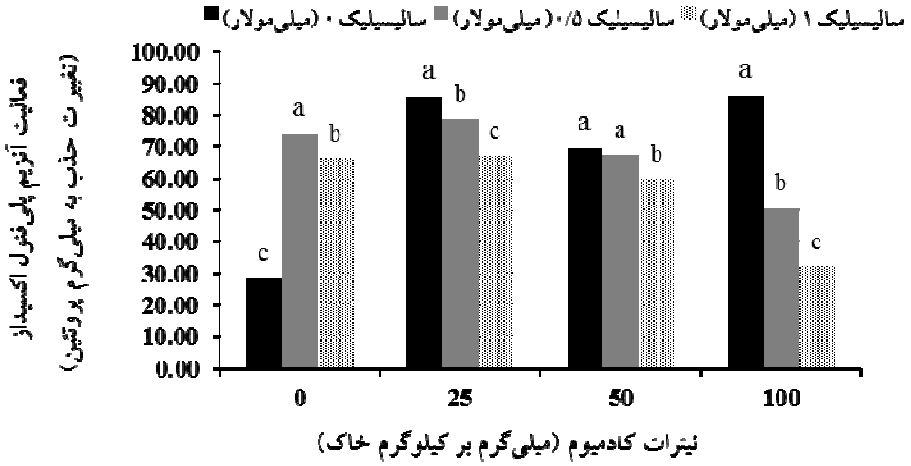
مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود.

در این مطالعه میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز با افزایش غلظت کادمیوم افزایش یافت که تیمار با سالیسیلیک اسید سبب کاهش فعالیت این آنزیم شد (شکل ۲). پراکسیداز نقش مهمی را در پاکسازی پراکسیدهیدروژن با استفاده از اسید سالیسیلیک بازی می‌کند، چرا که سالیسیلات دهنده‌ی الکترون بوده و سبب احیاء پراکسیدهیدروژن به آب می‌شود (Singh *et al*., 1999). تیمارهای بدون تنش کمترین میزان فعالیت این آنزیم را نشان دادند. چنین به نظر می‌رسد که کاهش یون سوپراکسید توسط اسید سالیسیلیک تولید این ماده را کاهش داده و در نتیجه فعالیت آنزیم پراکسیداز برای تجزیه پراکسیدهیدروژن کاهش می‌یابد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، ناشی از مصرف اسید سالیسیلیک، به اثر غیر مستقیم اسید سالیسیلیک بر آنزیم‌ها بر می‌گردد.

تنش کادمیوم فعالیت آنزیم پراکسیداز را افزایش می‌دهد و پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک سبب کاهش میزان آن گردید که با نتایج Shalini و Duey (2003) بر روی برنج مطابقت دارد. پراکسیدازها از جمله آنزیم‌هایی به شمار می‌روند که نقش بسیار مهمی را در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی دارند، پراکسیدازها مسئول حذف مقادیر اضافی پراکسیدهیدروژن می باشند که اسید سالیسیلیک می‌تواند به عنوان یک سوبسترای دهنده‌ی الکترون برای پراکسیداز عمل نماید (جباری و همکاران، ۱۳۸۴). از جمله بیشترین مطالعاتی که روی این آنزیم‌ها صورت گرفته است مربوط به آنزیم استخراجی از ریشه‌های *Armoracia rusticanal* است. در شرایط تنش افزایش میزان گونه‌های فعال اکسیژن موجب خسارت به اساسی‌ترین ماکرومولکول‌های سلول نظیر پروتئین، چربی، اسید نوکلئیک و رنگدانه‌ها می‌گردد (جباری و همکاران، ۱۳۸۴). پراکسیدازها آیزوزایم‌های مختلفی دارند که هر کدام از آن‌ها وظایف مختلفی، مانند مقاومت به خشکی، گرما، شوری و عوامل بیماری‌زا (Upadhyaha, 2004) دارند. بنابر این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد اسید سالیسیلیک تا حدی موجب برطرف شدن برخی اثرهای سمی و مخرب تنش ناشی از کادمیوم در گیاه می‌گردد.

پلی‌فنول اکسیداز: جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد برهم‌کنش نیترات کادمیوم و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز در سطح یک درصد معنی‌دار بود. جدول برش دهی (جدول ۲) نشان داد که اثر محلول‌پاشی در همه‌ی سطوح نیترات کادمیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود به جزء در سطح سوم نیترات کادمیوم که در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین نیترات کادمیوم و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (شکل ۳) نشان داد که در سطح اول نیترات کادمیوم (شاهد) بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز مربوط به سطح دوم محلول‌پاشی و کمترین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]



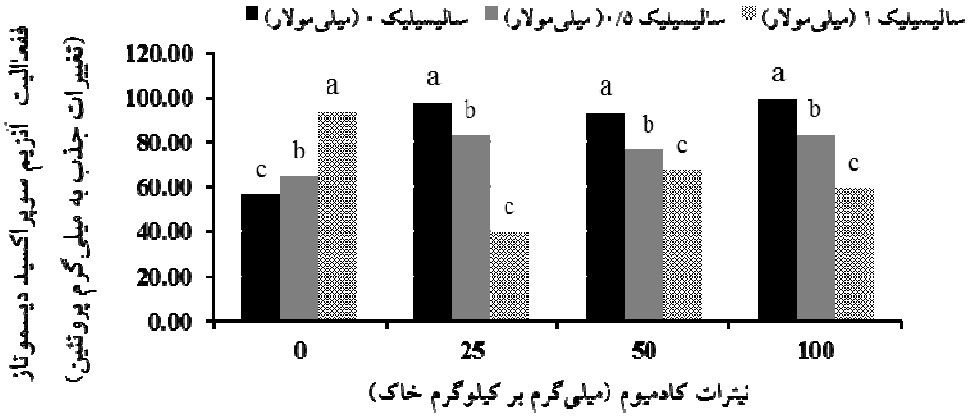
شکل۳- برهم‌کنش نیترات کادمیوم و محلول پاشی سالیسیلیک اسید برای فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز (در هر سطح نیترات کادمیوم حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین‌های سطوح سالیسیلیک اسید می‌باشد).

میزان آن مربوط به سطح اول محلول‌پاشی بود. در سطح ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان آن مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود. در سطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان آن مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود. در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان آنزیم پلی‌فنول اکسیداز مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین آن مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود.

در این مطالعه با افزایش غلظت کادمیوم میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز افزایش یافت که تیمار با سالیسیلیک اسید با غلظت بالا اثرات مخرب ناشی از کادمیوم را کاهش داد (شکل ۳)، که با آزمایش Metwally و همکاران (2003) بر روی جو همخوانی دارد، آن‌ها بیان کردند که فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در بافت‌های برگ و ریشه با افزایش غلظت کادمیوم افزایش می‌یابد و همچنین بیان داشتند که تحمل به تنش کادمیوم توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان حفظ شده، بنابراین چنین استدلال کردند که افزایش سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تنش یک تأثیر استراتژیک برای تحمل به تنش در گیاهان حساس می‌باشد. گزارش شده که افزایش در فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در تنش کادمیوم در رابطه با رها کردن پراکسیداز از دیواره‌های سلولی می‌باشد که تیمار با سالیسیلیک اسید اثرات مخرب ناشی از کادمیوم را کاهش داد (Zhang, 2007). و همچنین بیان شده که فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز تحت تأثیر افزایش غلظت کادمیوم افزایش یافت و بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در تیماری مشاهده شد که بیشترین غلظت کادمیوم را داشت و تحت تأثیر پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک قرار گرفته (Popova *et al.*, 2008). Metwally و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند پیش‌تیمار بذر جو با اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار سبب کاهش در میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز در تنش کادمیوم شد.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) بیانگر معنی‌دار بودن برهم‌کنش نیترات کادمیوم و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید برای فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد بود. جدول برش دهی (جدول ۲) نیز نشان داد که اثر محلول‌پاشی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در همه‌ی سطوح کادمیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین نیترات کادمیوم و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (شکل ۴) نشان داد در کمترین آن مربوط به سطح اول محلول‌پاشی بود. در سطح ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان فعالیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]



شکل ۴- برهم‌کنش نیترات کادمیوم و سالیسیلیک اسید برای فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (در هر سطح نیترات کادمیوم حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین‌های سطوح سالیسیلیک اسید می‌باشد).

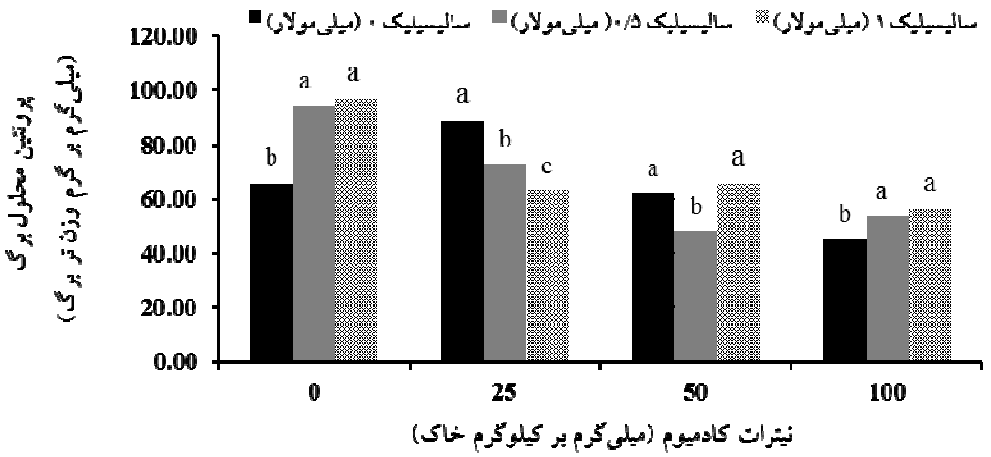
آنزیم سوپراکسیددیسموتاز مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود. درسطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان آن مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود.در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم نیز بیشترین میزان فعالیت آنزیم مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان آن مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود.

در این مطالعه با افزایش غلظت کادمیوم میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز افزایش یافت که تیمار با سالیسیلیک اسید اثرات ناشی از تنش اکسیداتیو نیترات کادمیوم را کاهش داد (شکل ۴) که این با نتایج Guo و همکاران (۲۰۰۷) بر روی برنج همخوانی دارد. سالیسیلیک اسید به عنوان یک مولکول سیگنال با تغییر فعالیت آنزیم‌های متابولیز کننده پراکسیدهیدروژن (H_2O_2) در تنظیم پراکسیدهیدروژن (H_2O_2) شرکت می‌کند (Chen *et al.*, 1993). چنین به نظر می‌رسد که در تیمار صفر میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم افزایش غلظت سالیسیلیک اسید خود به عنوان یک تنش در گیاه عمل نموده و با بالا رفتن فعالیت آنزیمی مشاهده شده را سبب می‌شود که این با نتایج (Metwally *et al.*, 2003) بر روی جو همخوانی دارد.

پروتئین محلول برگ: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که برهمکنش نیترات کادمیوم و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید برای پروتئین محلول برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین جدول برش دهی (جدول ۲) نشان داد که اثر محلول‌پاشی بر مقدار پروتئین محلول برگ در همه‌ی سطوح کادمیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. شکل ۵ نشان داد که در سطح بدون تنش نیترات کادمیوم بیشترین میزان پروتئین محلول مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی و کمترین میزان پروتئین محلول مربوط به سطح اول محلول‌پاشی بود. در سطح ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان پروتئین محلول مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان پروتئین محلول مربوط سطح سوم محلول‌پاشی بود. در سطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات بیشترین میزان پروتئین محلول مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی و کمترین میزان پروتئین مربوط به سطح دوم محلول‌پاشی بود. در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم که بیشترین میزان پروتئین مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی و کمترین میزان پروتئین مربوط به سطح دوم محلول‌پاشی بود.

در این مطالعه با افزایش تنش کادمیوم، پروتئین محلول سطح بدون تنش نیترات کادمیوم بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی و برگ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]



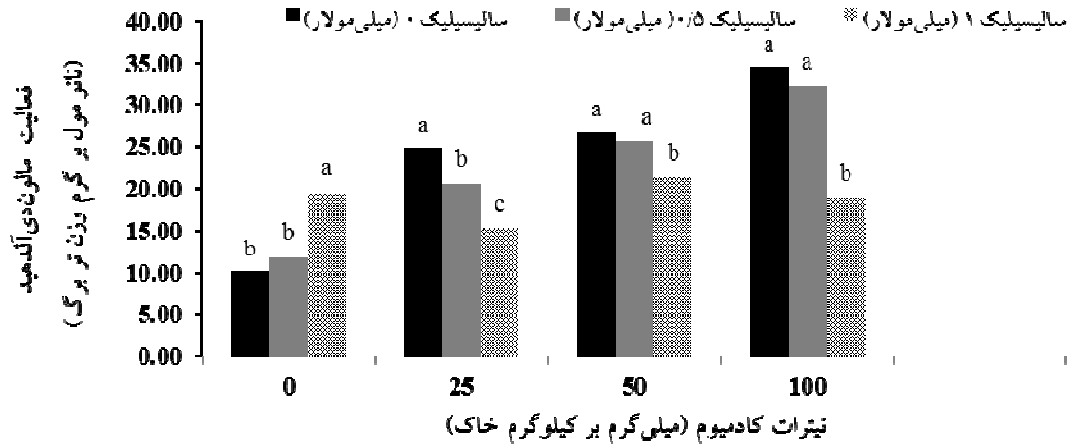
شکل ۵- برهم‌کنش نیترات کادمیوم و سالیسیلیک اسید برای پروتئین محلول برگ (در هر سطح نیترات کادمیوم حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین‌های سطوح سالیسیلیک اسید می‌باشد).

بطور محسوس کاهش یافت که با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید این میزان افزایش یافت (شکل ۵). (Khudsar *et al.*, 2001) نیز کاهش میزان پروتئین کل را در گیاه لپه هندی با افزایش غلظت کادمیوم گزارش کردند. تنش فلزات سنگین با تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن سبب تخریب ساختار پروتئین‌ها و اسید آمینه‌ها می‌شوند، همچنین رادیکال-های آزاد اکسیژن میل ترکیبی بالایی با پروتئین داشته و سبب اکسید شدن آن‌ها می‌شوند (Khudsar *et al.*, 2001). اسید سالیسیلیک از اکسید شدن و تخریب ساختار پروتئین‌ها جلوگیری به عمل می‌آورد (El-Tayeb *et al.*, 2006). محتوای پروتئین به میزان اختلاف بین سنتز و تجزیه آن بستگی دارد. پژوهشگران متعددی کاهش مقدار پروتئین و افزایش نیترات، آمونیوم و اسیدهای آمینه آزاد را تحت شرایط تنش کادمیوم گزارش کردند (Rane *et al.*, 1995). رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده طی تنش به علت میل ترکیبی زیادی که با پروتئین ها و لیپیدها دارند باعث تخریب غشای سلولی، اسید نوکلئیک و پروتئین‌های سلول می‌شوند. استفاده از اسید سالیسیلیک، سبب افزایش محتوای پروتئین اندام هوایی در جو شد (El-Tayeb *et al.*, 2006).

مالون‌دی‌آلدهید برگ: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) بیانگر معنی‌دار بودن برهم‌کنش نیترات کادمیوم و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد بود. جدول برش دهی (جدول ۲) نیز نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر محلول‌پاشی بر مالون‌دی‌آلدهید در همه‌ی سطوح نیترات کادمیوم در سطح احتمال یک درصد ، به جزء در سطح ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین نیترات کادمیوم و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (شکل ۶) نشان داد در سطح بدون تنش نیترات کادمیوم بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدهید در سطح سوم محلول‌پاشی و کمترین آن مربوط به سطح اول محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بود. در سطح ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدهید در سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان مالون‌دی‌آلدهید در سطح سوم محلول‌پاشی بود. در سطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدهید مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان آن مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود. در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات کادمیوم بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدهید مربوط به سطح اول محلول‌پاشی و کمترین میزان آن مربوط به سطح سوم محلول‌پاشی بود.

در این مطالعه با افزایش علظت نیترات کادمیوم میزان مالون‌دی‌آلدهید افزایش یافت که تیمار با اسید سالیسیلیک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]



شکل ۶- برهم‌کنش نیترات کادمیوم و سالیسیلیک اسید برای مالون‌دی‌آلدهید (در هر سطح نیترات کادمیوم حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین‌های سطوح سالیسیلیک اسید می‌باشد).

سبب کاهش در اکسیداسیون چربی‌های غشاء سلولی و کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید در برگ‌ها گردید (شکل ۶). مصرف اسید سالیسیلیک باعث کاهش غلظت مالون‌دی-آلدهید گردید و در بین غلظت آن‌ها نیز از این نظر اختلاف وجود داشت به طوری که غلظت یک میلی‌مولار از اسید سالیسیلیک باعث کاهش بیشتری در محتوای مالون‌دی-آلدهید شد. اسیدهای چرب و لیپیدها حساسیت زیادی به اکسیژن دارند و به سرعت اکسید می‌شوند از آن‌جایی که غشای سلولی یک غشاء فسفولیپیدی می‌باشد واکنش اکسیژن با آن سبب تخریب غشاء سلولی و ترشح الکترولیت‌ها به بیرون سلول می‌شود. اسید سالیسیلیک با پاکسازی اکسیژن فعال سبب کاهش در اکسیداسیون چربی های غشاء سلولی و کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید می گردد. افزایش مالون‌دی‌آلدهید در برگ‌هایی که تحت پیش تیماری قرار نگرفته‌اند بیشتر و با افزایش غلظت کادمیوم غلظت مالون‌دی‌آلدهید زیاد شد. کاهش آسیب غشاء سلولی در پاسخ به تیمار اسید سالیسیلیک می‌تواند نمایانگر مسئله القاء سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی به وسیله‌ی اسید سالیسیلیک، با از بین بردن رادیکال‌های آزاد به طور مستقیم و یا توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باشد. که خسارت ناشی از این گونه‌های فعال را کاهش می‌دهد و در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدی غشاء کاهش یافته است. این گونه به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک با پاکسازی رادیکال‌های آزاد، از اکسیداسیون چربی‌ها جلوگیری نموده و مانع افزایش مالون‌دی‌آلدهید شود. همچنین رادیکال‌های آزاد می‌توانند به ساختار پروتئین‌ها آسیب بزنند و از بین رفتن پروتئین‌ها را در پی داشته باشند (Noctor and Foyer, 1998). میزان پراکسیداسیون لیپید همانند تجمع مالون‌دی‌آلدهید در بافت گیاهچه‌های برنج در تنش کادمیوم افزایش یافت در حالی که در شرایط حضور اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار میزان مالون‌دی‌آلدهید به طور معنی‌داری کاهش یافت(Mishra and Chouhouri, 1999).

نتیجه‌گیری:

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش نیترات کادمیوم اثرهای فیزیولوژیک خود را از طریق افزایش مالون‌دی‌آلدهید، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنول‌اکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز بروز می‌دهد، که همگی نتیجه بروز تنش اکسیداتیو در سلول است. محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید یک میلی‌مولار اثر کاهنده بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، و مالون‌دی‌آلدهید برگ داشته و نشان می‌دهد که توانسته تا حدودی از اثرات سمیت کادمیوم در برگ گیاه گلرنگ ممانعت نماید.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]

منابع:

پوراکبر، ل.، و اشرفی، ر. (۱۳۹۰). اثر کادمیوم بر میزان تولید هیدروژن پراکسید و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در گیاه ذرت، نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم ۹: ۴۷۳-۴۸۴.

ترابیان، ع. و بغوری، ا. (۱۳۷۳). بررسی آلودگی‌های ناشی از کاربرد پساب‌های شهری و صنعتی در اراضی کشاورزی جنوب تهران، مجله محیط شناسی۳۲: ۴۵-۲۳.

جباری، ف.، ع. احمدی، ک. پوستینی و علیزاده، ح. (۱۳۸۴). ارتباط بین بعضی از انواع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و غشاء سلولی و مقاومت کلروفیل به تحمل خشکی در ارقام گندم حساس، مجله علوم کشاورزی ایران ۳۱۶-۳۰۷ : (۲)۳۷.

جعفرزاده حقیقی، ن. (۱۳۷۵). تأثیر فاضلاب شیراز در آبیاری محصولات کشاورزی بر افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک و برخی محصولات کشاورزی، دومین کنگره ملی مسائل آب و خاک کشور ۳۱۰-۳۰۳.

شریعت، م.، و فرشی، ص. (۱۳۸۱). مقدار عناصر سنگین محصولات در جنوب تهران، مجموعه مقالات آب و خاک، ۵: ۲۵-۱۳.

Adamu, C. A., Bell, P. F., Mulchi, C. and Chaney, R. (1989) Residual metal concentration in tobacco decade following farm and application of municipal sludge. Journal of Environmental Pollution 56: 113 –126.

Arfan, M., Athar, H. R. and Ashraf, M. (2007) Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? Journal Plant Physiology 6: 685-694.

Bassil, E. S. and KaffKa, R. (2002) Response of safflower to saline soils and irrigation, Consumptive water use. Agriculture Water Management 54: 67 – 80.

Bradford, M. (1976) Arapid and sensitive method for the quantization of protein utilizing the principle of protein- day binding. Annual Review of Biochemistry 72: 248- 254.

Chen, Z., Ricigliano, J. R. and Klessig, D. F. (1993) Purification and characterization of a soluble salicylic acid binding protein from tobacco. Soil Science 90: 9533-9537.

Dat, J., Lopez Delgado, F., Foyer, H. and Scott, C. H. (1998) Parallel Changes in during Thermo tolerance Induced by Salicylic acid or Heat Acclimation in Mustard seedlings. Plant Physiology 116: 1351-1357.

Dean, J. A. (1985) Legends handbook of chemistry CRC Press, pp: 5: 96-101.

El-Tayeb, M. A. El-Enany and. Ahmed.N. L. (2006) Salicylic acid-induced adaptive response to copper stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Plant Growth Regulation 50: 191-199.

Foyer, C. H., Lopez-Delgado, H., Dat, J. F. and Scott, I. M. (1997) Hydrogen peroxide- and glutathione associated mechanisms of acclamatory stress tolerance and signaling. Plant Physiology 100: 241-254.

Ghanati, F., Morita, A. and Yokota, H. (2002) Induction of sobering and increase of lignin content by execs Boron in Tobacco cell. Soil Science 48: 357-364.

Giannopolitis, C. and Ries, S. (1997) Super oxide dismutase occurrence in higher plant. Plant Physiology 59: 304-314.

Guo, B., Liang, Y., Zhu, C., and Zhao, Y. G. (2007) Role of salicylic acid in alleviating oxidative damage in rice roots (*Oryza sativa* L.) subjected to cadmium stress. Environmental Pollution 147:743-749.

Heath, R. L. and Pacher, L. (1969) Photo per oxidation in isolated chloroplast I Kinetics and stanchion me try of fatty acid per oxidation. Arch Biochemical Biophysics 125: 189-198.

Hegar, H., Ueda, N. and Shal, S. V. (1996) Role of reactive oxygen metabolites in DNA damage and cell death in chemical hypoxic injury LLC-PK1 cells. American Journal of Plant Physiology 271: 209-215.

Horvath, E., Janda, T. S. and Paldi, G. (2007) In vitro salicylic acid inhibition of catalae activity in maize: differences between the isozymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. Plant Science 163: 1129-1135.

Kaffka, R. S. and Kearney, T. E. (1998) Safflower production in California. Agricultural and Natural Resources 50: 9-15.

Kar, M. and Mishra, D. (1976) Cataloes, Peroxides and poly phenol oxides activities during rice leaf senescence. Plant Physiology 57: 315-319.

Khudsar, T., Mahmooduzzafar, M. and Iqbal, M. (2001) Cadmium induced changes in leaf epidermis, photosynthetic rate and pigment concentrations in *Cajanus cajan*. Journal Biology 44: 59-64.

Liu, X. and Huang, B. (2004) Heat stress injury in relation to membrane lipid per oxidation in creeping. Crop Science 40: 503-510.

Mishra, A. and Choudhuri, .M. A. (1999) Effect of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxy genies in rice. Biological Planetarium 42: 409-415.

Mishra, R., Tripahti, D., Srivas, S. and Kumar, S. T. (2009) Thiele metabolism play sign cant role during cadmium detoxify, action by Cerate phylum

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]

newly discovered hyper accumulator *Selenium unigram* L. Journal of Hazardous Materials 176: 269-273.

Singh, N., Singh, R., Kulwinder, K. and Singh, H. (1999) Studies of the physic-chemical properties and poly phenol oxides activity in seeds from hybrid sundowner (*Helianthus annuus*) varieties grown in India. Food Chemistry Plant Physiology 66: 241-247.

Slaymarker, D. H., Navarre, D. A., Clark, O. D., Martin, G. B. and. Klessig, D. F. (2002) The tobacco salicylic acid- banding protein 3 (SABP3) is the chloroplast carbonic anhydrate, which exhibition antioxidant activity and plays a role in the hypersensitive defense response. Plant Physiology 99: 11640- 11645.

Tanaka, D. L., Riveland, N. R., Bergman, J. W. and Schneiter, A. A. (1997) Safflower plant development stages. IVthInternational Safflower Conference, Bari 2-7 June.

Upadhyaya, H. and Panda, S. K. (2004) Response of camellia sinuses to drought and dehydrations. Biological Planetarium 48: 597-600.

Zawoznik, M. S., Gropp, M., Tomar, D. and Benavides, M. P. (2007) Endogenous salicylic acid potentiates cadmium induced oxidative stress in *Arabidopsis thaliana*. Plant Science 173: 190-19.

Zhang, J. and Kirkham, M. B. (2007) Lipid per oxidation in sorghum and sunflower seedlings as affected by ascorbic acid, benzoic acid and propel gal late. Journal of Plant Physiology 149: 489- 493.

dimerism L. Bore source Technology 100: 2155-2161.

Noctor, G. and Foyer, C. H. (1998) Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. Annual Review of Plant Physiology and Biology 49: 249-279.

Popova, L., Maslenkova, L., Yordanova, R., Krantev, A., Szalai, G. and Janda, T. (2008) Salicylic acid protects photosynthesis against cadmium toxicity in pea plants. Plant Physiology 34: 133-148.

Qinghua, S. H. and Zhujun, Z. (2008) Effect of exogenous salicylic acid on manganese's toxicity, element contents and ant oxidative system in cucumber. Environmental and Experimental Botany 63: 317-326.

Raskin, I. (1992) Role of salicylic acid in plants. Annual Review Plant Physiology 43: 439- 463.

Sanchez-Casas, P. and Klessig, D. F. (1994) A salicylic acid-binding activity and a salicylic acid inhabitable cataloes activity is present in a variety of plant species. Plant Physiology 106: 1675-1679.

Sanita-di Toppi, L. and Gabbrielli, R. (1999) Response to cadmium in higher plants- review. Environmental and Experimental Botany 41:105-130.

Shalini, V. R. and Duey. S. (2003) Lead toxicity induced lipid per oxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plant, Plant Science 164: 1645-1655.

Shuhe, W., Yunmeng, L., Qixing, Z. and Siuwai, C. (2010) Effect of fertilizer amendments on phytoremediation of Cd-contaminated soil by a

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.4.1]