

مقاله تحقیقی

بررسی برهمکنش سرب و اسید سالیسیلیک بر میزان قندهای محلول، نشاسته و پرولین در گیاه کلزا

شیدا برومندجزی^{۱*}، حسین لاری یزدی^۲، منیره رنجبر^۳

۱. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فلاورجان، عضو باشگاه پژوهشگران جوان، فلاورجان، ایران
۲. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد، دانشکده علوم پایه، بروجرد، ایران
۳. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فلاورجان، دانشکده علوم زیستی، فلاورجان، ایران

محل انجام تحقیق: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فلاورجان

*مسئول مکاتبات: شیدا برومند جزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فلاورجان، پست الکترونیکی: Sheida_bg@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۱

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱۸

چکیده

در این تحقیق، اثر سمیت سرب و همچنین نقش تعدیل‌کنندگی اسید سالیسیلیک بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی گیاهچه‌های کلزا رقم اپرا مورد بررسی قرار گرفت. دانه‌رست‌های کلزا در محیط هیدروپونیک کشت داده شدند و تحت تیمارهای مختلف نیترات سرب با غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار و سرب با غلظت‌های فوق به همراه اسید سالیسیلیک ۵ و ۱۰ میکرومولار با سه تکرار قرار گرفتند. دوره تیمار، ۱۰ روز در نظر گرفته شد و پس از پایان این دوره، میزان پرولین و تغییرات قندهای محلول و نامحلول در ریشه و اندام هوایی گیاهان اندازه‌گیری شد. تجزیه‌های آماری به وسیله نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت سرب، میزان پرولین و قندهای محلول در ریشه و اندام هوایی نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافتند ($P < 0.01$). همچنین، کاهش معنی‌داری در میزان قندهای نامحلول (نشاسته) مشاهده شد ($P < 0.01$). تحت تیمارهای سرب و اسید سالیسیلیک، میانگین پرولین و قندهای محلول نسبت به تیمارهای سرب کاهش یافت. همچنین، افزایش معنی‌دار ($P < 0.01$) مقدار نشاسته در ریشه و اندام هوایی گیاهچه‌های ۱۰ روزه کلزا نسبت به تیمارهای سرب نشان‌دهنده کاهش خسارت اکسیداتیو در این گیاه است. افزایش میزان پرولین تحت تنش فلزات سنگین در گیاهان ممکن است ناشی از کاهش فعالیت سیستم انتقال الکترون باشد. افزایش میانگین پرولین و قندهای محلول و کاهش میانگین نشاسته تحت تنش سرب، تغییراتی هستند که تحمل و سازگاری گیاهان را در مقابل تنش‌های محیطی افزایش می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: اسید سالیسیلیک، سرب، پرولین، قندهای محلول، نشاسته

مقدمه

آلودگی سرب در خاک، موجب کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی گشته و اثرات مضر بر رشد و متابولیسم گیاه بر جای می‌گذارد (۲). سرب بعد از جذب توسط گیاه، موجب مسمومیت آن می‌شود.

کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. گیاهی از تیره شب‌بو (Brassicaceae) و از جنس کلم Brassica است که در زبان انگلیسی به نام Rapeseed و فرانسوی به Colza شهرت دارد (۱).

گیاه تاثیر گذاشته و موجب تغییراتی در آن‌ها می‌شود، این تغییرات اغلب به صورت سازش‌هایی است که تحمل و سازگاری گیاهان را در مقابل عوامل محیطی افزایش می‌دهد (۱۱).

در تحقیق حاضر، اثر سمیت سرب روی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاهچه‌های کلزا مورد بررسی قرار گرفت. از طرفی نقش شبه‌هورمونی اسید سالیسیلیک به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی که آیا می‌تواند نقش تعدیلی بر اثرات مضر سرب داشته باشد بر اهمیت این تحقیق می‌افزاید.

مواد و روش‌ها

بذرهای مورد استفاده در این پژوهش که از گیاه کلزا رقم اپرا است از موسسه جهاد کشاورزی استان لرستان تهیه شدند. سپس بذرهای سالم و تقریباً یکنواخت انتخاب شدند و به‌منظور ضدعفونی شدن به مدت ۱۵ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۲۰ درصد قرار گرفتند و چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس روی سبدهایی با منافذ تقریبی $2 \times 4 \text{ mm}$ تا رسیدن به مرحله دوبرگی رشد کردند. آنگاه به ظروف تیره حاوی ۶۵۰ میلی-لیتر محلول هوگلند نیم‌قدرت انتقال یافتند و بعد از گذشت ۲۴ ساعت با غلظت‌های مختلف نیترات سرب (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۵، ۱ و ۲ میلی-مولار) و اسید سالیسیلیک با غلظت‌های (۱۰ و ۵ میکرومولار) در سه تکرار تیمار شدند. این گیاهان در ژرمیناتوری تحت دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، شدت نور ۱۲ لامپ ۲۲۰ ولتی و رطوبت کافی به مدت ۱۰ روز قرار گرفتند. بعد از گذشت ۱۰ روز، گیاهان به منظور اندازه‌گیری میزان پرولین و تغییرات قندهای محلول و نشاسته، نمونه‌برداری شدند و سنجش پرولین به روش Bates (۱۲) و قندهای محلول و نشاسته به روش Kochert (۱۳) مورد بررسی قرار گرفتند (تصویر ۱).

مسمومیت سرب در کلزا نیز موجب کاهش رشد، زردی برگ‌های جوان، کاهش فتوسنتز و کاهش محتوای کربوهیدرات‌ها می‌گردد. شاید اصلی‌ترین دلیل این پدیده‌ها کاهش بیوسنتز کلروفیل (به‌دلیل مانعت در جذب منیزیم و آهن) و جلوگیری از فعالیت آنزیم روبیسکو باشد (۳). سمیت سرب به این دلیل است که بسیاری از جنبه‌های رفتار متابولیسمی Ca^{2+} را تقلید و از فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها جلوگیری می‌کند (۴). یکی از مکانیسم‌های سمیت-زدایی فلزات سنگین سمی در اکثر گیاهان و جلبک‌ها، تولید پرولین است (۵،۶). پرولین، یکی از تنظیم‌کننده‌های اسمزی است که موجب سازش سلول گیاهی برای زنده‌ماندن در شرایط تنش‌زا، حفاظت آنزیم‌ها و پروتئین‌های غشایی در برابر تغییرات ساختاری می‌شود، و یک اسمولیت مهم است که در بسیاری از میکروارگانیسم‌ها و گیاهان تحت تنش سنتز می‌شود (۷). پرولین با چندین مکانیسم مانند جاروب کردن رادیکال‌های هیدروکسیل، تنظیم اسمزی، جلوگیری از دناتور-شدن آنزیم‌ها و حفظ سنتز پروتئین، بردباری و مقاومت گیاه را در برابر تنش‌ها بالا می‌برد (۸).

یکی دیگر از مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش، بیوسنتز و تجمع مواد آلی با وزن مولکولی کم است که کربوهیدرات‌های احیاءکننده داخل سلول‌ها از این دسته‌اند. در بین قندهای محلول، سوکروز و فروکتان‌ها نقش مهمی در سازش با تنش‌های محیطی ایفاء می‌کنند. سوکروز در حفظ سیالیت غشاء و ساختمان فسفولیپیدها نقش مهمی ایفاء می‌کند و مانع تغییر ساختمان پروتئین‌های محلول در آب می‌شود. Davis در سال ۲۰۰۵ (۹) و Zhu در سال ۲۰۰۲ (۱۰) بیان کردند که قند تری‌هالوز باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی می‌شود.

اسید سالیسیلیک متعلق به گروهی از ترکیبات فنلی است که تقریباً بر اکثر واکنش‌های متابولیسمی



تصویر ۱ - نمایی از گیاهان شاهد و تیمارهای مختلف سرب و اسید سالیسیلیک در محیط کشت هیدروپونیک رقم اپرا پس از ۱۰ روز.

سنجش پرولین

۰/۵ گرم بافت تر گیاهی، وزن و در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک، سائیده شد. مخلوط همگن حاصل با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۲ صاف شد و از هر کدام از محلول‌های حاصل ۲ میلی‌لیتر برداشته شد و در لوله آزمایش ریخته شد. سپس به هر یک از لوله‌های محتوی عصاره گیاهی ۲ میلی‌لیتر معرف اسید نینهیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص افزوده گردید و در مرحله بعد کلیه لوله‌ها در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شد. جهت قطع واکنش محلول‌ها در حمام یخ قرار گرفت و به هر کدام ۴ میلی‌لیتر تولوئن افزوده شد و لوله‌ها با استفاده از شیکر به شدت تکان داده شد و سپس با ثابت نگاه‌داشتن لوله‌ها به مدت ۲۰ ثانیه دو لایه کاملاً مجزا تشکیل گردید. از لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود، جهت اندازه‌گیری غلظت پرولین استفاده شد. مقدار معینی از این بخش جدا شده، به منظور تعیین میزان جذب در دستگاه اسپکتروفوتومتر قرار گرفت و در طول موج ۵۲۰ نانومتر مقدار جذب قرائت گردید و مقدار پرولین موجود با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد. این منحنی بر اساس خواندن جذب محلول‌هایی از پرولین با غلظت معلوم، تهیه و بر اساس محاسبه آن

معادله، غلظت پرولین مجهول بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت گیاهی به دست آمد:

$$C = (O.D + 0.672) / (20.78)$$

سنجش قندهای محلول

روش فنل-اسیدسولفوریک، بر اساس هیدرولیز اسیدی قندهای محلول و ایجاد ترکیب فورفورال قرار دارد که با فنل، یک ترکیب کمپکس رنگی ایجاد می‌کند.

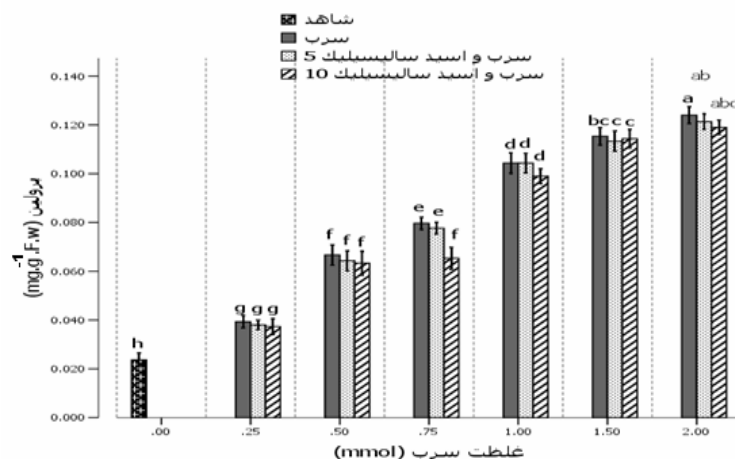
۰/۱ گرم از ماده خشک گیاهی (ریشه و اندام هوایی) وزن و در لوله آزمایش ریخته شد و روی آن ۱۰ میلی‌لیتر اتانل ۷۰ درصد اضافه گردید و به مدت یک هفته در یخچال قرار گرفت تا قندهای محلول آن حل شوند. پس از گذشت یک هفته، برای اندام هوایی ۰/۵ میلی‌لیتر و برای ریشه ۱ میلی‌لیتر برداشته و حجم آن با آب مقطر به ۲ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس روی آن ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد، اضافه و خوب هم زده شد. سپس به روی آن، ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ با فشار اضافه شد. بدین ترتیب، محلول زردرنگی به دست می‌آید که به مرور تغییر رنگ می‌دهد و به قهوه‌ای روشن تمایل پیدا می‌کند. سپس این محلول به مدت نیم ساعت در دمای آزمایشگاه قرار داده شد تا هم خنک شود و هم رنگ نهایی به دست آید، زیرا واکنش، به شدت گرم‌ازا

نتایج

تغییرات مقدار پرولین اندام هوایی

با افزایش غلظت نیترات سرب، میانگین پرولین اندام هوایی در گیاهان ۱۰ روزه اپرا به طور معنی داری افزایش یافت ($P < 0.01$). میزان پرولین در گیاهان ۱۰ روزه اپرا از مقدار $0.039 \text{ mg.g}^{-1} \cdot \text{D.W}$ در غلظت 0.25 میلی مولار سرب به مقدار $0.124 \text{ mg.g}^{-1} \cdot \text{D.W}$ در غلظت 2 میلی مولار سرب افزایش یافت.

طبق آزمون دانکن، بین کلیه غلظت‌های نیترات سرب با شاهد، اختلاف معنی داری مشاهده شد ($P < 0.01$). تحت تیمار توام سرب و اسید سالیسیلیک، میانگین پرولین اندام هوایی به طور معنی داری نسبت به تیمارهای سرب کاهش یافت ($P < 0.05$) (نمودار ۱).

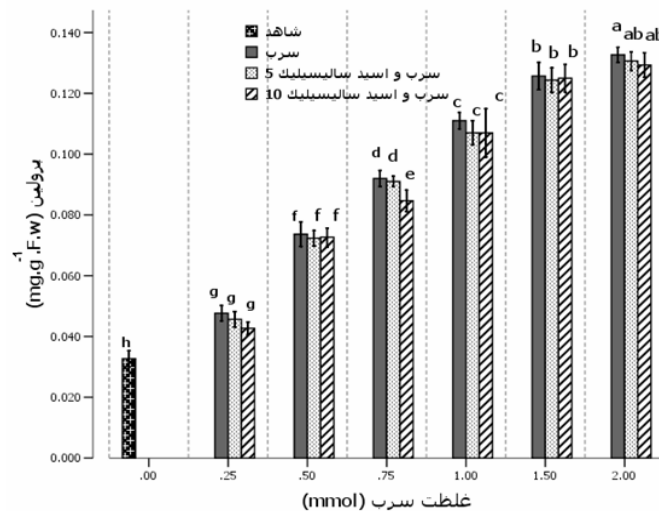


نمودار ۱ - بررسی برهم کنش سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین پرولین در اندام هوایی کلزا ۱۰ روزه رقم اپرا.

افزایش یافت. افزایش در میزان پرولین ریشه گیاهان ۱۰ روزه بیشتر از اندام هوایی آن‌ها بوده است. با افزودن دو غلظت اسید سالیسیلیک ۵ و ۱۰ میکرومولار به تیمارهای سرب، میزان پرولین ریشه گیاهان نسبت به تیمارهای سرب کاهش یافت، اما تغییرات حاصله از نظر آماری، معنی دار نبوده است ($P < 0.05$) (نمودار ۲).

تغییرات مقدار پرولین ریشه

در گیاهان ۱۰ روزه اپرا، با افزایش غلظت سرب، افزایش معنی داری در میزان پرولین ریشه مشاهده شد ($P < 0.01$). مطابق با آزمون دانکن در ریشه گیاهان ۱۰ روزه، بین کلیه غلظت‌های نیترات سرب با شاهد، اختلاف معنی داری مشاهده شد ($P < 0.01$). مقدار پرولین ریشه در غلظت 0.25 میلی مولار سرب از $0.047 \text{ mg.g}^{-1} \cdot \text{D.W}$ به $0.132 \text{ mg.g}^{-1} \cdot \text{D.W}$ در غلظت 2 میلی مولار سرب

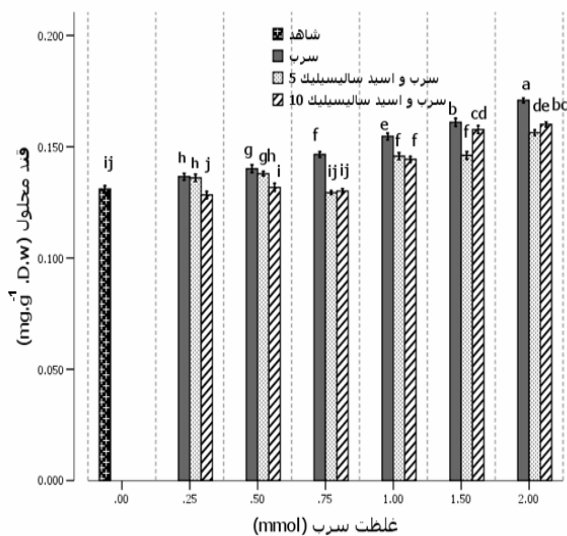


نمودار ۲ - بررسی برهمکنش سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین پرولین در ریشه کلزا ۱۰ روزه رقم اپرا.

سالیسیلیک با دو غلظت ۵ و ۱۰ میکرومولار توام با غلظت‌های مختلف سرب، میزان قندهای محلول نسبت به تیمارهای سرب، کاهش معنی‌داری یافت ($P < 0.01$). نتایج نشان می‌دهد که اسید سالیسیلیک با تعدیل اثرات سرب، میزان قندهای محلول در اندام هوایی را کاهش داده است، ولی جدول آنالیز واریانس نشان داد که بین دو غلظت اسید سالیسیلیک ۵ و ۱۰ میکرومولار، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است ($P < 0.05$) (نمودار ۳).

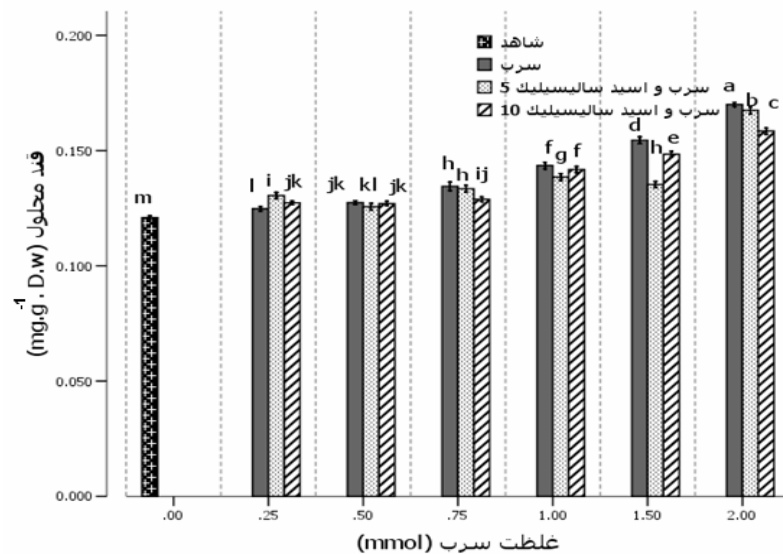
تغییرات مقدار قندهای محلول در اندام هوایی

میانگین قندهای محلول در اندام هوایی گیاهان ۱۰ روزه اپرا با افزایش غلظت سرب در محلول غذایی هوگلدن افزایش معنی‌داری نشان دادند ($P < 0.01$). در گیاهان ۱۰ روزه اپرا، بیشترین افزایش میزان قند محلول مربوط به غلظت ۲ میلی‌مولار سرب با مقدار $0.170 \text{ mg.g}^{-1} \text{ D.W}$ و کمترین افزایش، مربوط به غلظت $0.136 \text{ mg.g}^{-1} \text{ D.W}$ است. طبق آزمون دانکن، بین کلیه غلظت‌های نیترا سرب با شاهد، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0.01$). با کاربرد اسید



نمودار ۳ - برهمکنش سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین قندهای محلول در اندام هوایی کلزا ۱۰ روزه رقم اپرا.

($P < 0.01$) وجود دارد. تحت تیمارهای نیترات سرب به همراه اسید سالیسیلیک، میانگین قندهای محلول ریشه نسبت به تیمارهای سرب، کاهش معنی‌داری ($P < 0.01$) یافت. با مقایسه میانگین قندهای محلول در ریشه و اندام هوایی می‌توان نتیجه گرفت که میانگین قندهای محلول تحت تیمار سرب، در اندام هوایی، افزایش بیشتری نسبت به ریشه داشته است (نمودار ۴).



نمودار ۴ - بررسی برهم‌کنش سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین قندهای محلول در ریشه کلزا ۱۰ روزه رقم اپرا.

($P < 0.01$). در غلظت ۰/۷۵ میلی مولار سرب، اسید سالیسیلیک ۱۰ میکرومولار باعث افزایش نشاسته گردید که افزایش حاصله نسبت به سایر تیمارها مشهودتر بوده است. بین دو غلظت مورد استفاده اسید سالیسیلیک، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0.01$). در غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی مولار سرب، اسید سالیسیلیک ۱۰ میکرومولار موثرتر و در غلظت ۱/۵ میلی مولار سرب، اسید سالیسیلیک ۵ میکرومولار موثرتر بوده و بیشتر توانسته میانگین قندهای محلول برگ را نسبت به تیمارهای سرب افزایش دهد، در صورتی که در غلظت ۱ و ۲ میلی مولار سرب، بین دو غلظت اسید سالیسیلیک، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P < 0.01$) (نمودار ۵).

تغییرات مقدار قندهای محلول در ریشه

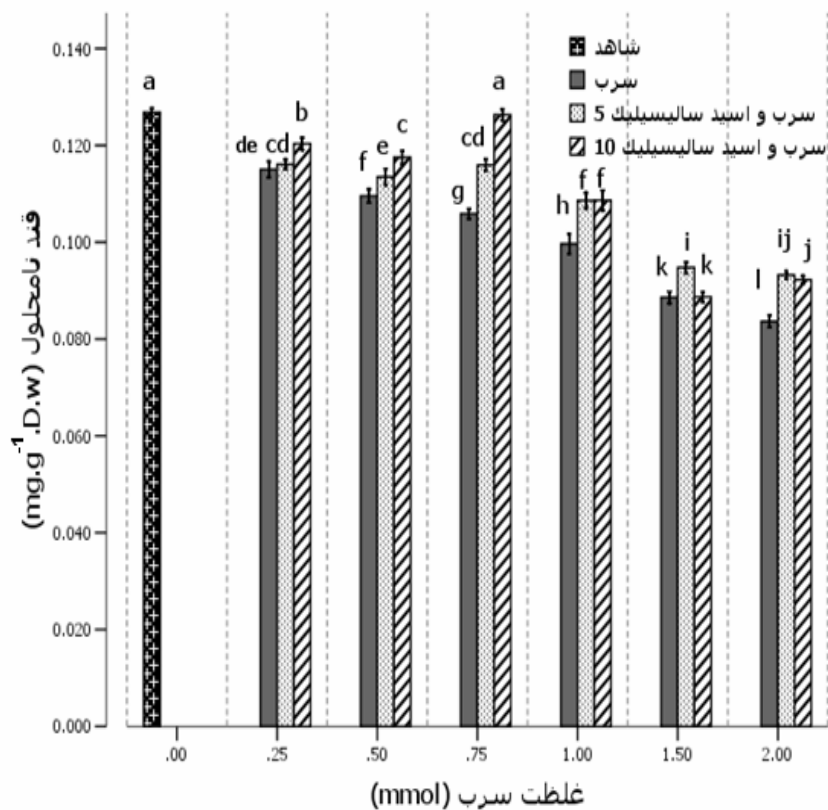
آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که با افزایش غلظت نیترات سرب، میزان قندهای محلول در ریشه، افزایش معنی‌داری ($P < 0.01$) یافت. در گیاهان ۱۰ روزه اپرا بیشترین افزایش مربوط به غلظت ۲ میلی-مولار سرب با مقدار $0.170 \text{ mg.g}^{-1} \text{ D.W}$ و کمترین افزایش مربوط به غلظت ۰/۲۵ میلی مولار سرب با مقدار $0.124 \text{ mg.g}^{-1} \text{ D.W}$ بوده است. آزمون دانکن نشان داد که بین غلظت‌های نیترات سرب با شاهد، اختلاف معنی‌داری

تغییرات مقدار قندهای نامحلول (نشاسته) در

اندام هوایی

در گیاهان ۱۰ روزه اپرا هم‌زمان با افزایش غلظت نیترات سرب، میانگین قند نامحلول (نشاسته) در اندام هوایی به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.01$). بیشترین کاهش مربوط به غلظت ۲ میلی مولار سرب با مقدار $0.083 \text{ mg.g}^{-1} \text{ D.W}$ و کمترین کاهش مربوط به غلظت ۰/۲۵ میلی مولار سرب با مقدار $0.115 \text{ mg.g}^{-1} \text{ D.W}$ بوده است.

براساس آزمون دانکن، بین کلیه غلظت‌های نیترات سرب با شاهد، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0.01$). با به‌کارگیری اسید سالیسیلیک توأم با سرب، میانگین قندهای نامحلول نسبت به تیمارهای سرب، افزایش معنی‌داری یافت



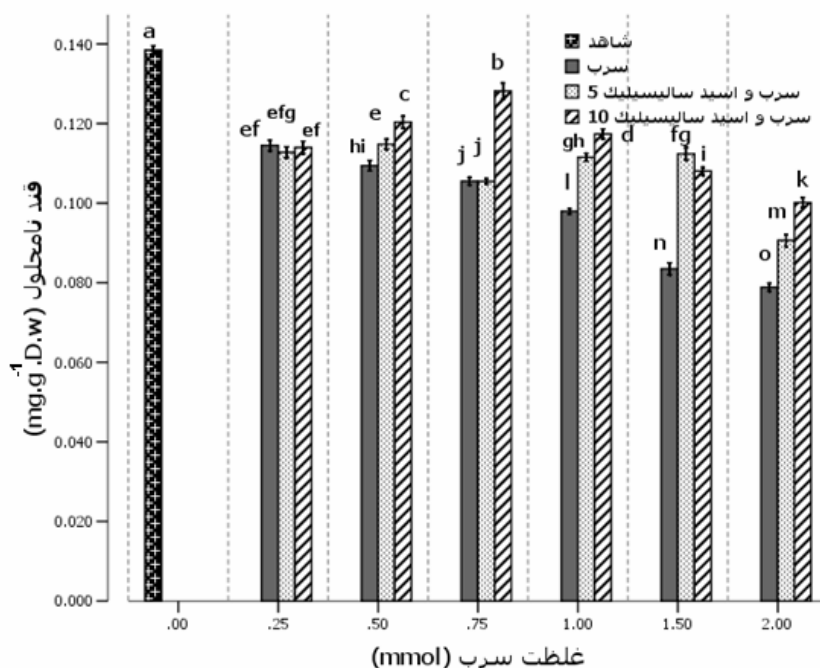
نمودار ۵ - بررسی برهمکنش سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین قندهای نامحلول در اندام هوایی کلزا ۱۰ روزه رقم اپرا.

بر اساس آزمون دانکن، بین کلیه غلظت‌های نیترات سرب با شاهد، اختلاف معنی‌داری دیده شد ($P < 0.01$). با استفاده از اسید سالیسیلیک با دو غلظت ۵ و ۱۰ میکرو مولار، میانگین نشاسته نسبت به تیمارهای سرب افزایش معنی‌داری یافت ($P < 0.01$). همچنین دو غلظت اسید سالیسیلیک مورد استفاده، اختلاف معنی‌داری در سطح ($P < 0.01$) را بر میانگین نشاسته ریشه نشان دادند. با مقایسه میزان نشاسته در ریشه و اندام هوایی مشاهده شد که تحت تیمار سرب، روند کاهش در ریشه بیشتر از اندام هوایی بوده است (نمودار ۶).

تغییرات مقدار قندهای نامحلول (نشاسته) در

ریشه

میانگین نشاسته در ریشه گیاهان ۱۰ روزه اپرا با افزایش غلظت نیترات سرب در محلول غذایی هوگلند کاهش معنی‌داری ($P < 0.01$) یافت. بیشترین میزان کاهش مربوط به غلظت ۲ میلی‌مولار سرب با مقدار $0.078 \text{ mg.g}^{-1} \text{ D.W}$ و کمترین کاهش مربوط به غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب با مقدار $0.114 \text{ mg.g}^{-1} \text{ D.W}$ بوده است.



نمودار ۶ - بررسی برهم‌کنش سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین قندهای نامحلول در ریشه کلزا ۱۰ روزه رقم اپرا.

تغییرات قندهای محلول و نامحلول

همان‌گونه که مشاهده شد در پژوهش حاضر میزان قند محلول در اندام هوایی و ریشه رقم اپرا با افزایش غلظت سرب، به طور معنی‌داری ($P < 0.01$) افزایش یافت که با یافته‌های Kameli در سال ۱۹۹۳ (۱۷) مطابقت دارد. وی بیان می‌کند که افزایش قندهای محلول در اغلب شرایط تنش زا به-عنوان یک مکانیسم تحمل در برابر تنش است و در واقع باعث تنظیم پتانسیل آب سلول در بخش سیتوزول برای مقابله با غلظت بالای یون‌های جذب-شده و تجمع یافته در واکوئل می‌گردد.

Hendry در سال ۱۹۹۲ (۱۸) نشان داد که تنش کادمیوم، سبب افزایش قندهای محلول در گیاه *Holcus lanatus* L. گردید که می‌توان علت افزایش قندهای محلول در گیاه را در ارتباط با مهار چرخه کربس توسط کادمیوم دانست که تحت تنش حاصل از فعالیت آنزیم‌های ایزوسیترات دهیدروژناز و گلوتامات دهیدروژناز مهار گردیده و در طی آن، مصرف قندهای محلول در سلول کاهش می‌یابد که این پدیده، خود موجب انباشتگی قندها در سلول می‌شود.

بحث

تغییرات میزان پرولین

با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، با افزایش غلظت سرب، مقدار پرولین در ریشه و اندام هوایی گیاهان ۱۰ روزه اپرا افزایش معنی‌داری یافت ($P < 0.01$). میزان این افزایش در ریشه گیاهان ۱۰ روزه اپرا، بیشتر از اندام هوایی این گیاهان بوده است که با یافته‌های Redy در سال ۲۰۰۳ (۱۴) مطابقت دارد که گزارش کرد، مقدار پرولین در زمان تنش خشکی در ریشه، بیشتر از اندام هوایی بوده است. طبق مطالعه Gibon در سال ۲۰۰۰ (۱۵) مقدار پرولین انباشته‌شده در دیسک‌های برگ‌گی کلزا پس از ۲۴ ساعت تیمار شوری، افزایش نشان داد. Siripornadulsil و همکاران در سال ۲۰۰۲ (۱۶) بیان کردند که پرولین، در تعدیل تنش‌های فلزات محیطی، از جمله تنش‌های فلزات سنگین مختلف در گیاهان و میکروارگانیسم‌ها نقش مهمی دارد. احتمالاً پرولین در سلول‌های تحت تنش، نقش آنتی-اکسیدانی دارد. کاربرد اسید سالیسیلیک هنگام تنش خشکی، باعث افزایش سازگاری گیاه کلزا شده، زیرا سبب تولید ترکیبات اسمزی در گیاه می‌گردد (۱).

آن ساختارهای جدید سلولی را به منظور تحریک و تنظیم رشد و نمو شکل دهد. همچنین تصور می‌شود که تیمار اسید سالیسیلیک، سیستم آنزیمی هیدرولیزکننده پلی‌ساکاریدها را مهار و مختل می‌کند. به عبارت دیگر، روند تبدیل قندهای محلول به نامحلول (نشاسته) را تسریع می‌نماید (۲۱).

بنابراین، افزایش میانگین پرولین و قندهای محلول و کاهش میانگین نشاسته تحت تنش سرب، سازش‌ها و تغییراتی است که این تغییرات مقدار تحمل و سازگاری گیاهان را در مقابل عوامل محیطی افزایش می‌دهد.

تقدیر و تشکر

از زحمات و راهنمایی‌های بی‌شائبه جناب آقای دکتر حسین لاری‌یزدی و سرکار خانم دکتر منیره رنجبر تشکر و قدردانی می‌نمایم.

کاهش مقدار نشاسته بر اثر افزایش غلظت نیترات سرب که به صورت معنی‌داری ($P < 0.01$) در ریشه و بخش هوایی اپرا دیده شد، با یافته‌های Alau و همکاران در سال ۲۰۰۳ مطابقت دارد، دلیل آنان بر این است که نشاسته، تجزیه شده و قندهای محلول تشکیل می‌دهد (۱۹). از طرفی فلزات سنگین اثر منفی و بازدارنده روی فعالیت آنزیم‌های درگیر در سنتز نشاسته داشته و با بازدارندگی عمل آنزیم‌ها مانع از سنتز نشاسته در گیاهان می‌شوند (۲۰).

تحت تیمار توام سرب و اسید سالیسیلیک، میانگین قندهای محلول در اندام هوایی و ریشه گیاهان اپرا نسبت به تیمارهای سرب، به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.01$). این نتایج نشان‌دهنده اثرات تعدیلی اسید سالیسیلیک در تنش‌های غیرزیستی است.

به نظر می‌رسد کاربرد اسید سالیسیلیک، مصرف متابولیک قندهای محلول را فعال نموده تا به‌وسیله

منابع مورد استفاده

1. مظاهری تیرانی، م. منوچهری کلانتری، خ. ۱۳۸۶. بررسی اثرات اسید سالیسیلیک بر برخی پارامترهای رشد و بیوشیمیایی گیاه کلزا *Brassica napus* L. تحت
2. Belen, G. R., 1998. Chapter word importance of crops and their products of crops of the world. *J Plant Physiol* 12: 67-81.
3. Kopyra, M., Gwzdz, E. A., 2003. Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus*. *Plant Physiol and Biochem* 41: 1011-1017.
4. Gaspar, G. M., Anton, A., 2002. Heavy metal uptake by two radish varieties. *Hungarian Congress on Plant Physiology* 46: 113-114.
5. Ruley, A. T., Nilesh, C. S., Shivendra, V. S., 2004. Antioxidant defense in a lead accumulating plants, *Sesbania dormancies*. *Plant Physiol and Biochem* 41: 899-906.
6. Mehta, S. K., Gaur, J. P., 1999. Heavy metal induced proline accumulation and its role in ameliorating metal toxicity in *Chlorella vulgaris*, *New Phytobiol*, 143: 253-259.
7. Acosta, M., Bolarin, M., 1997. Changes in free polyamine levels induced by salt stress in leaves of cultivated and wild tomato species. *Physiol Planta* 12: 45-51.
8. Kuznetsov, V. V., Shevyakova, N. I., 1997. Stress responses of tobacco cells to high temperature and salinity, proline accumulation and phosphorylation of polypeptides. *Physiol Planta* 100: 320-326.
9. Davis, P. J., 2005. Plant hormones biosynthesis, signal transduction, Action, Springer, Chapter F 2.
10. Zhu, J. K., 2002. Salt and water stress signal transduction in plant. *Anal Rev Plant Biol* 53: 247-273.
11. Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M., Dietz, K. J., 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in Barley seedling. *Plant Physiol* 132: 272-281.
12. Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207.
13. Kochert, G., 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method, In Hellebust, JA, Craig, JS (editor) *Handbook physiological methods*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 96-97.
14. Redy, T. Y., Reddy, V. R., Anbumozhi, V., 2003. Physiological responses of groundnut

- (*Arachis hypogea* L.) to drought stress its amelioration: a critical review, *Plant Growth Regul*, Kluwer Academic Publishers, 41: 75-88.
15. Gibon, Y., Sulpice, R., Larher, F., 2000. Osmotic stress is related to the loss of chlorophylls and to the decrease of mitochondria activity. *Plant Physiol* 110: 469-476.
 16. Siripornadulsil, S., Traina, S., Verma, D. S., Sayre, R. T., 2002. Molecular mechanisms of proline mediated tolerance to toxic heavy metals in transgenic microalgae. *The Plant Cell* 14: 2837-2847.
 17. Kameli, A., Losel, D. M., 1993. Carbohydrates and water stress in wheat plants under water stress. *New Phytobiol* 125: 609-614.
 18. Hendry, G. A. F., Baker, A. J. M., Ewart, C. F., 1992. Heavy metal tolerance and toxicity, oxygen radical processes and molecular damage in Cadmium tolerant clones of *Holcus lanatus* L. *Acta Bot Neerl* 41: 271-281.
 19. Aloui, B., Genet, P., Dunand, F. V., Toussaint, M. L., Epron, D., Badot, P. M., 2003. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) and its relationship with carbohydrate accumulation and change in ion contents. *Plant Sci* 166: 1213-1218.
 20. Van Huylenbroeck, J. M., Debergh, P. C., 1996. Impact of sugar concentration in vitro on photosynthesis and carbon metabolism during ex vitro acclimatization of spathiphyllum plants. *Plant Physiol* 96: 289-304.
 21. Khodary, S. E. A., 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed Maize plant. *Int J Biol* 6: 5-8.