مقاله تحقیقی

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

شیدا برومندجزی [۱،*]، حسین لاری‌یزدی [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
***مسؤول مکاتبات:** شیدا برومند جزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فلاورجان، پست الکترونیکی: Sheida_bg@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۱

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، 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 به‌وسیله 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 سالیسیلک، سرب، پرولین، قندهای محلول، نشاسته

مقدمه

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).

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

مسمومیت سرب در کلزا نیز موجب کاهش رشد، زردی برگ‌های جوان، کاهش فتوسنتز و کاهش محتوای کربوهیدرات‌ها می‌گردد. شاید اصلی‌ترین دلیل این پدیدها کاهش بیوسنتز کلروفیل (به‌دلیل ممانعت 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 جاروب‌کردن رادیکال‌های هیدروکسیل، تنظیم اسمزی، جلوگیری از دناتوره-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 می-کند 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 تقریبا بر اکثر واکنش‌های متابولیسمی 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 ضدعفونی‌شدن به‌مدت ۱۵ دقیقه در محلول هیپوکلریت‌سدیم ۲۰ درصد قرار گرفتند و چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس روی سبدهایی با منافذ تقریبی $2\times4mm$ 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 ،۰/۲۵، ۰/۵ ، ۰/۷۵، ۱/۵،۱ و ۲ میلی‌مولار) 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).

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 به‌مدت 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 کاملا 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 اسپکتروفتومتر 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 برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت گیاهی به‌دست 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 به‌مدت یک هفته در یخچال قرارگرفت 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 به‌دست می‌آید که به مرور تغییر رنگ می‌دهد و به قهوه‌ای روشن تمایل پیدا می‌کند. سپس این محلول به‌مدت نیم ساعت در دمای آزمایشگاه قرار داده شد تا هم خنک شود و هم رنگ نهایی به‌دست آید، زیرا واکنش، به‌شدت گرمازا

است. سپس شدت رنگ حاصله، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد. برای اندازه‌گیری قندها ابتدا یک منحنی استاندارد تهیه گردید و سپس با قرار دادن مقدار OD خوانده‌شده در معادله، میزان تغییرات قندها مشخص گردید که مقدار قند نمونه با استفاده از منحنی استاندارد بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن خشک ارزیابی گردید.

$$C = (OD + 3.985)/36.62$$

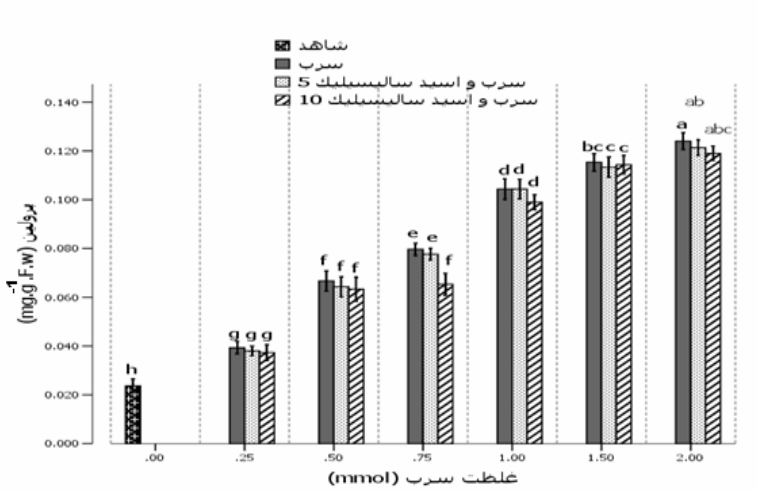
آزمایش‌های مختلف به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

نتایج

تغییرات مقدار پرولین اندام هوایی

با افزایش غلظت نیترات سرب، میانگین پرولین اندام هوایی در گیاهان ۱۰ روزه اپرا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P<0.01$). میزان پرولین در گیاهان ۱۰ روزه اپرا از مقدار ۰/۰۳۹ $mg.g^{-1}.D.W$ در غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب به مقدار ۰/۱۲۴ $mg.g^{-1}.D.W$ در غلظت ۲ میلی‌مولار سرب افزایش یافت.

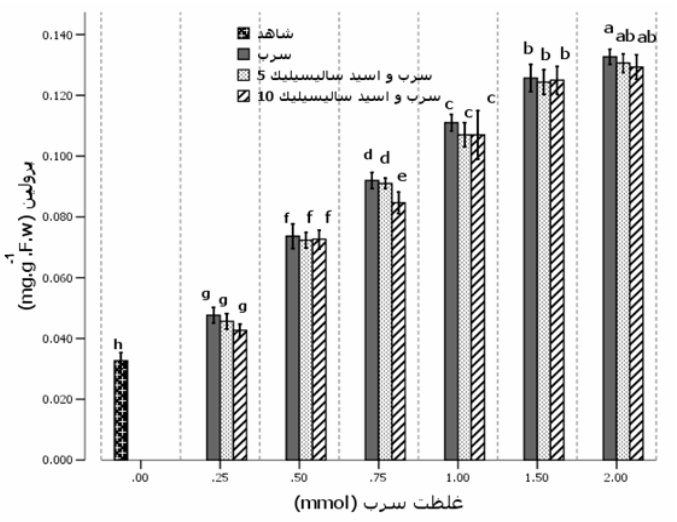
طبق آزمون دانکن، بین کلیه غلظت‌های نیترات سرب با شاهد، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P<0.01$). تحت تیمار توام سرب و اسید سالیسیلیک، میانگین پرولین اندام هوایی به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای سرب کاهش یافت ($P<0.05$) (نمودار ۱).



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

تغییرات مقدار پرولین ریشه

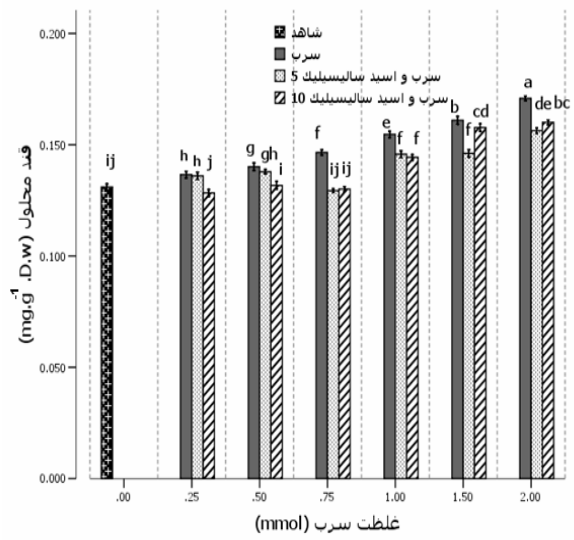
در گیاهان ۱۰ روزه اپرا، با افزایش غلظت سرب، افزایش معنی‌داری در میزان پرولین ریشه مشاهده شد ($P<0.01$). مطابق با آزمون دانکن در ریشه گیاهان ۱۰ روزه، بین کلیه غلظت‌های نیترات سرب با شاهد، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P<0.01$). مقدار پرولین ریشه در غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب از ۰/۰۴۷ $mg.g^{-1}.DW$ به ۰/۱۳۲ $mg.g^{-1}.D.W$ در غلظت ۲ میلی‌مولار سرب 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، معنی‌دار نبوده است ($P<0.05$) (نمودار ۲).



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

تغییرات مقدار قندهای محلول در اندام هوایی

میانگین قندهای محلول در اندام هوایی گیاهان ۱۰ روزه اپرا با افزایش غلظت سرب در محلول غذایی هوگلند 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 ۰/۱۷۰ $mg.g^{-1}.D.W$ و کمترین افزایش، مربوط به غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب با مقدار ۰/۱۳۶ $mg.g^{-1}.D.W$ است. طبق آزمون دانکن، بین کلیه غلظت‌های نیترات سرب با شاهد، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P<0.01$). با کاربرد اسید 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).

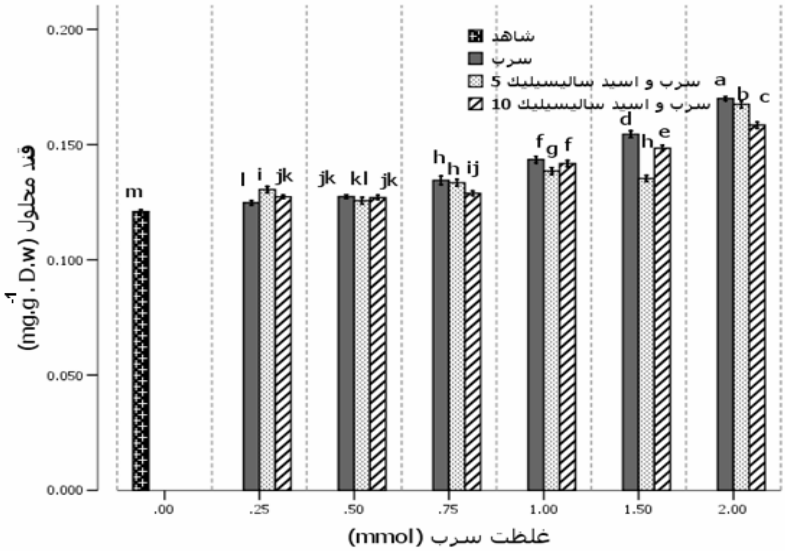


نمودار ۳ - برهم‌کنش سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین قندهای محلول در اندام هوایی کلزا ۱۰ روزه رقم اپرا.

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 ۰/۱۷۰$mg.g^{-1}.D.W$ و کمترین افزایش مربوط به غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب با مقدار ۱۲۴ /۰ $mg.g^{-1}.D.W$ بوده است.

آزمون دانکن نشان داد که بین غلظت‌های نیترات سرب با شاهد، اختلاف معنی‌داری ($P<0.01$) 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).

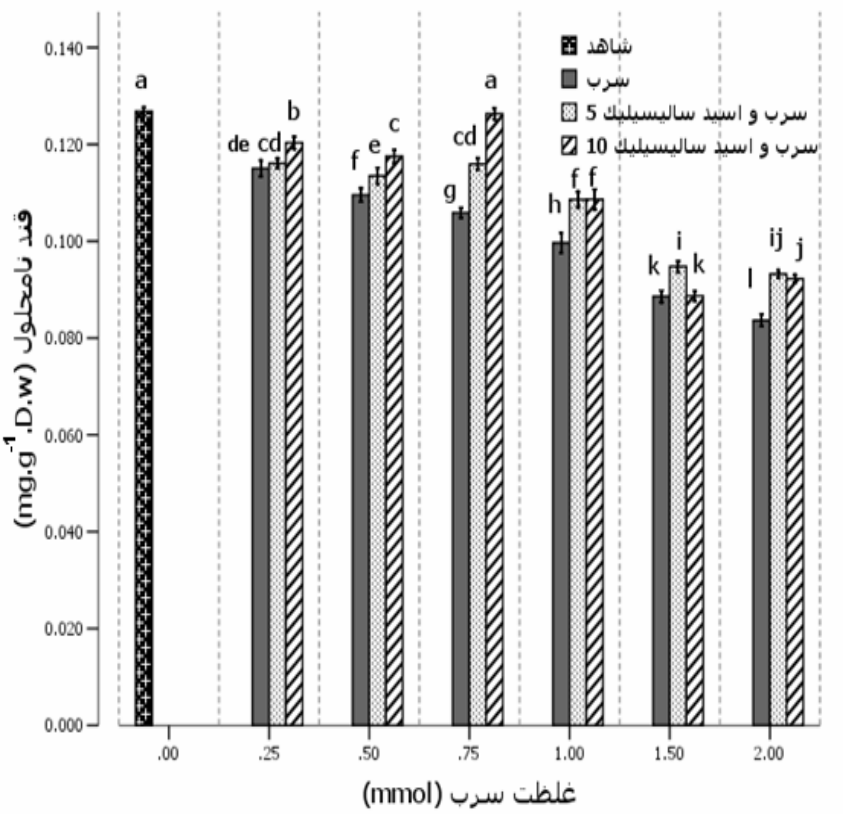


نمودار ۴ - بررسی برهم‌کنش سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین قندهای محلول در ریشه کلزا ۱۰روزه رقم اپرا.

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 میلی‌مولار سرب با مقدار ۰/۰۸۳ $mg.g^{-1}.D.W$ و کمترین کاهش مربوط به غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب با مقدار۰/۱۱۵ $mg.g^{-1}.D .W$ بوده است.

براساس آزمون دانکن، بین کلیه غلظت‌های نیترات سرب با شاهد، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P<0.01$). با به‌کارگیری اسید سالیسیلیک توام با سرب، میانگین قندهای نامحلول نسبت به تیمارهای سرب، افزایش معنی‌داری یافت ($P<0.01$). 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 میلی‌مولار سرب، اسید سالیسیلیک ۱۰ میکرومولار موثرتر و در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سرب، اسید سالیسیلیک ۵ میکرومولار موثرتر بوده و بیشتر توانسته میانگین قندهای محلول برگ را نسبت به تیمارهای سرب افزایش دهد، در صورتی‌که در غلظت ۱ و ۲ میلی‌مولار سرب، بین دو غلظت اسید سالیسیلیک، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P<0.01$) (نمودار ۵).

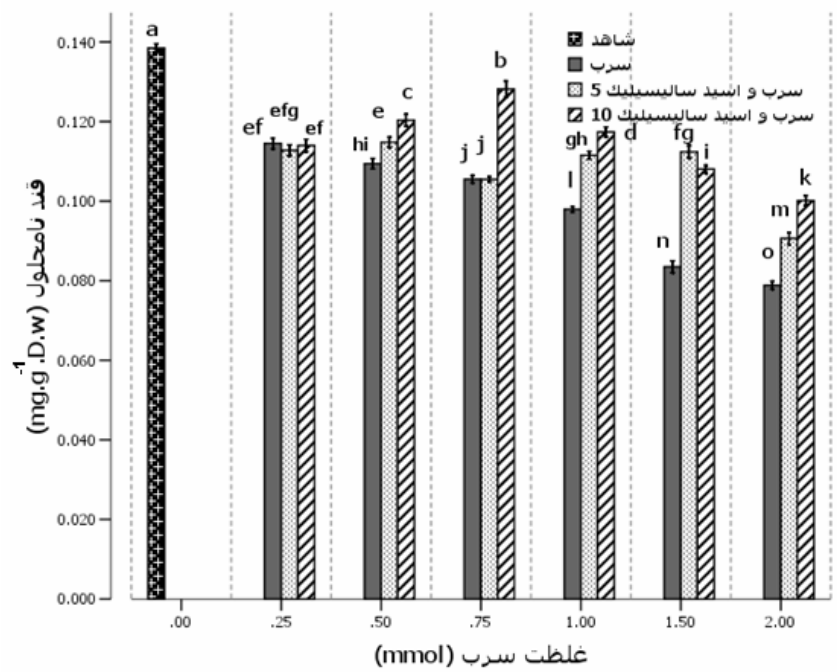


نمودار ۵ - بررسی برهم‌کنش سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین قندهای نامحلول در اندام هوایی کلزا ۱۰ روزه رقم اپرا.

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 ۰/۰۷۸ $mg.g^{-1}.D.W$ و کمترین کاهش مربوط به غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب با مقدار ۰/۱۱۴ $mg.g^{-1}.D.W$ بوده است.

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).



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

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 برگی 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).

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 تجمع‌یافته 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.

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 Alaui 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 معنی-داری کاهش یافت ($P<0.01$). این نتایج نشان‌دهنده اثرات تعدیلی اسید سالیسیلیک در تنش‌های غیرزیستی است.

به‌نظر می‌رسد کاربرد اسید سالیسیلیک، مصرف متابولیک قندهای محلول را فعال نموده تا به‌وسیله آن ساختارهای جدید سلولی را به‌منظور 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.

منابع مورد استفاده

۱. مظاهری تیرانی، م. منوچهری کلانتری، خ. ۱۳۸۶. بررسی اثرات اسید سالیسیلیک بر برخی پارامترهای رشد و بیوشیمیایی گیاه کلزا .L *Brassica napus* تحت تنش خشکی. مجله‌ی پژوهش دانشگاه اصفهان، جلد بیست و هشتم، شماره‌ی دوم، ص ۶۶ـ۵۵.

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. Alaui, 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.