یافته های نوین کشاورزی
سال ششم- شماره٤- تابستان ۱۳۹۱

اثر اسید سالیسیلیک بر واکنش کلزا به سرب در شرایط کشت هیدروپونیک

شیدا برومند جزی *، کارشناس ارشد علوم گیاهی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فلاورجان، اصفهان، ایران.
منیره رنجبر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فلاورجان. اصفهان، ایران.
حسین لاری یزدی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد، بروجرد، ایران.
خسرو استکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد، بروجرد، ایران.

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی اثرات ناشی از مسمومیت سرب بر گیاه کلزا در شرایط کشت هیدروپونیک به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی عبارت از غلظت‌های مختلف ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار نیترات سرب به همراه اسیدسالیسیلیک در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میکرومولار بودند و کلزا مورد آزمایش رقم اپرا بود. گیاهان در محیط کشت هوگلند به مدت ۱۰ روز رشد کرده و در پایان دوره‌ی تیمار، ریشه و اندام هوایی گیاهان به طور جداگانه برداشت و جدا شده و پارامترهایی مثل طول ریشه و ساقه، سطح پهنک برگ، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، سطح مخصوص برگ، وزن مخصوص برگ، محتوای آب در واحد سطح برگ، نسبت سطح برگ به وزن خشک کل گیاه، تغییرات کلروفیل a، b و a+bاندازه‌گیری شدند. محاسبات آماری به وسیله‌ی نرم افزارSPSS و جدول آنالیز واریانس و آزمون دانکن انجام گرفت. نتایج نشان داد که طول ریشه، ساقه، سطح برگ، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، سطح مخصوص برگ، نسبت سطح برگ به وزن خشک کل گیاه، مقدر کلروفیل a، b وa+b با افزایش غلظت نیترات سرب نسبت به شاهد کاهش و وزن مخصوص برگ و محتوای آب در واحد سطح برگ افزایش معنی‌داری (P<0.01) یافتند. همچنین با به کارگیری اسید سالیسیلیک با دو غلظت ۵ و ۱۰ میکرومولارکلیه آسیب‌های ناشی از تنش سرب تعدیل یافت.

واژه های کلیدی: اسید سالیسیلیک، سرب، کلزا، پارامترهای رشد، کلروفیل

---

* نویسنده مسئول: E-mail: Sheida_bg@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۷/۱۷

مقدمه

کلزا گیاهی است یک ساله و علفی از تیره شب بو که در حال حاضر به عنوان مهم‌ترین گیاه روغنی یک ساله در مناطق معتدله سرد و سرد مرطوب در شرایطی که گیاهان روغنی دیگر قادر به رشد مطلوب نیستند محسوب می‌شود (۱). سرب یکی از فلزات سنگین بوده و جزء فلزات غیر ضروری برای گیاهان است که هیچ عملکرد زیستی شناخته شده‌ای ندارد (۱۳). آلودگی سرب یکی از مخاطرات مهم زیست محیطی در مناطق آلوده است، زیرا در بین فلزات سنگین، سرب به عنوان مهمترین فلز آلوده کننده‌ی محیط معرفی شده است (۲۸). سمیت سرب به این دلیل است که بسیاری از جنبه‌های رفتار متابولیسمی کلسیم را تقلید می‌کند و از فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها جلوگیری می‌نماید (۲۳). وجود آلایندهای سربی در خاک بر میزان تولید محصولات کشاورزی اثرات فاحشی دارد. بیشترین میزان سرب از طریق سیستم‌های ریشه‌ای جذب گیاهان می‌شود و مقدار ناچیزی هم از طریق برگ، به خصوص برگ‌های دارای کرک جذب گیاهان می‌گردد (۲۱). در گیاهان آثار سمیت با سرب اغلب در غلظت‌های بالاتر از ۳۰ میکروگرم بر گرم در برگ ظاهر شده و منجر به کاهش سنتز کلروفیل و کاهش رشد رویشی می‌شود (۲۳). رولی و همکاران (۲۰۰٦) نشان دادند که افزایش سرب به خاک در یک دوره‌ی ۲ و٤ هفته‌ای سبب کاهش رشد طولی ریشه و ساقه در گیاه *Sesbania drummondi* می‌شود. مسمومیت سرب در درجه‌ی اول بازدارنده رشد ریشه است که به دلیل تجمع زیاد سرب در ریشه و اثر سمی آن می‌باشد (۲۸). نتایج مشابهی توسط میشرا و همکاران (۱۹۹۸) بر روی دو رقم مختلف برنج به دست آمد و در بیشتر حالت‌ها گزارش گردید که ریشه‌ها مقادیر بیشتری از سرب را در مقایسه با بخش هوایی انباشته می‌کنند، به همین خاطر سرب بیشترین آسیب را به سیستم ریشه‌ای وارد می‌کند. کاهش فعالیت ریشه‌ها، تخریب ریشه‌های ظریف و کاهش فعالیت میکوریزها و میکروب‌های خاک از جمله اثرات زیست محیطی فلزات سنگین در ریشه هستند (٤). گاسپر(۲۰۰۲) بیان کرد مسمومیت سرب در گیاهان موجب زردی برگ‌های جوان، کاهش فتوسنتز وکاهش فعالیت‌های سلولی می‌گردد که شاید اصلی‌ترین این پدیده‌ها کاهش بیوسنتز کلروفیل(به دلیل ممانعت در جذب منیزیم و آهن) و تغییر فرا ساختار کلروپلاست و جلوگیری از فعالیت آنزیم رابیسکو باشد. اسید سالیسیلیک متعلق به گروهی از ترکیبات فنلی است که به طور وسیعی در گیاهان وجود دارد و امروزه به عنوان ماده‌ی شبه هورمونی محسوب می‌گردد. این اسید نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان دارد (۲). اسید سالیسیلیک تقریباً بر اکثر واکنش‌های متابولیسمی گیاه تأثیر گذاشته و موجب تغییراتی در آنها می شود، این تغییرات اغلب به صورت سازش‌هایی است که تحمل و سازگاری گیاهان را در مقابل عوامل محیطی افزایش می‌دهد (١٦). همچنین نقش بسیار مهمی در مقاومت به تنش‌های غیرزیستی(فلزات سنگین، خشکی، شوری) ایفا می‌کند و استفاده از این توانایی در ایجاد مقاومت گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی بسیار با اهمیت می‌باشد. تحقیقات

زیادی افزایش و تحریک سیستم دفاعی در گیاهان را توسط اسید سالیسیلیک تائید می‌کنند که مقاومت در برابر فلزات سنگین در برنج از این دسته می‌باشند (۲۰). لذا بکارگیری چنین ترکیباتی با هزینه اندک جهت تعدیل اثرات سوء فلزات سنگین ضروری می‌باشد.این آزمایش با هدف ارزیابی اثرات تعدیلی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش سرب بر کلزا انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

پس از تهیه بذرهای گیاه کلزا رقم اپرا از موسسه‌ی جهاد کشاورزی استان لرستان به کشت آن‌ها اقدام شد. ابتدا بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم ۲۰٪ ضد عفونی سطحی شدند و سپس بر روی توری‌هایی به ابعاد ٤×۲ میلی‌متری تا رسیدن به مرحله‌ی دو برگی رشد کردند، سپس به ظروف تیره ٦٥۰ میلی لیتری حاوی محلول هوگلند نیم قدرت انتقال یافتند و بعد از گذشت ۲٤ ساعت تحت تیمارهای مختلف نیترات سرب با غلظت‌های۰ ،۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۵و ۲ میلی‌مولار به همراه اسید سالیسیلیک ۵ و۱۰میکرومولار در سه تکرار درون ژرمیناتوری با شرایط نوری ٦۰۰۰ لوکس نوری و دمای ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۱۰ روز قرار گرفتند. طول دوره‌ی روشنایی و تاریکی به ترتیب ۱٦و ۸ ساعت بود. بعد ازگذشت ۱۰ روز گیاهان از محیط هوگلند خارج شدند و پس از شستشوی ریشه‌ها با آب مقطر برای شستن سرب سطحی، ریشه‌ها را از ساقه‌ها جدا کرده، سپس با کاغذ صافی خشک و سنجش طول ریشه و ساقه بر حسب میلی‌متر با استفاده از کاغذ شطرنجی و سطح پهنک برگ بر حسب میلی‌متر مربع انجام شد. عمل خشک کردن نمونه‌های گیاهی در آون ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت صورت گرفت و وزن خشک نمونه‌ها برحسب گرم با ترازوی حساس به دست آمد. سایر صفات مورد ارزیابی عبارت بودند از:

- سطح مخصوص برگ: میزان سطح برگ یک گیاه را بر اساس وزن خشک برگ‌ها نشان می‌دهد و برحسب سانتی‌متر مربع بر گرم محاسبه می‌شود.
- وزن مخصوص برگ که بر حسب گرم بر سانتی‌متر مربع محاسبه می‌شود.
- محتوای آب در واحد سطح برگ که بر حسب گرم مولکول آب بر سانتیمتر مربع برگ محاسبه می‌شود.
- نسبت سطح برگ که نشان دهنده‌ی سطح فتوسنتز کننده به وزن خشک کل گیاه که بر حسب سانتی‌متر مربع بر گرم محاسبه می‌شود.

رنگیزه های فتوسنتزی نیز به روش آرنون (۱۹۵۷) مورد بررسی قرار گرفتند.

به این منظور۰/۲ گرم از برگ گیاه را جدا نموده و در هاون چینی همراه با ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰٪ سائیده و محلول به درون لوله سانتریفوژ با دور ٤۸۰۰g به مدت ۲۰ دقیقه منتقل شد تا سانتریفوژ شده و

عمل جدا سازی انجام گیرد. سپس حجم نهایی عصاره را با ۱۰ میلی لیتر از استون ۸۰٪ به ۲۰ میلی لیتر رسانده، در این مرحله جهت محاسبه کلروفیل‌های a و b جذب محلول در طول موج‌های ٦٤٥و٦٣٣ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری با توجه به وزن تر هر نمونه بر حسب میلی گرم وزن تر ارزیابی شد.

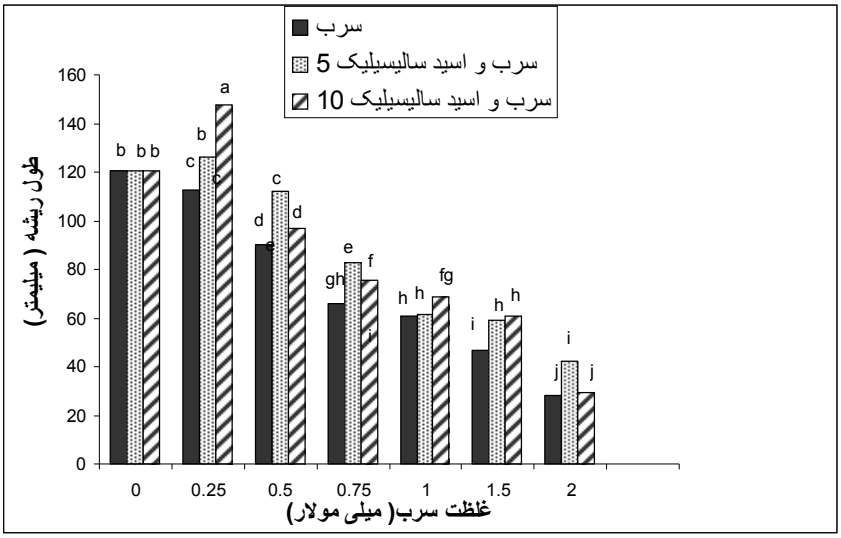
این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار و هر تکرار شامل ۲۰ عدد گیاهچه به اجرا در آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با آنالیز واریانس توسط نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن انجام شد. نمودارها نیز در محیط اکسل ترسیم و نتایج به صورت نمودارهای مقایسه‌ای ارائه گردید.

نتایج و بحث

اثر سرب و اسید سالیسیلیک بر رشد ریشه

آنالیز داده‌های مربوط به رشد ریشه نشان داد که مسمومیت سرب باعث کاهش معنی‌داری در طول ریشه شده است به طوری که با افزایش غلظت سرب از میزان طول ریشه کاسته شد. بر اساس آزمون دانکن طول ریشه در کلیه‌ی غلظت‌های نیترات سرب با شاهد اختلاف معنی‌داری ($P<0.01$) را نشان داد. تحت تیمار توام سرب و اسید سالیسیلیک طول ریشه نسبت به تیمارهای سرب به طور معنی‌داری ($P<0.01$) افزایش یافت. همچنین در غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب، استفاده از اسید سالیسیلیک با غلظت۱۰ میکرومولار حتی باعث افزایش طول ریشه بیشتر از شاهد نیزگردید. افزایش تجمع سرب در اندام‌های گیاهی به خصوص ریشه‌ها با افزایش غلظت آن در تیمارها در مطالعات مشابه دیده شده است (١٤).

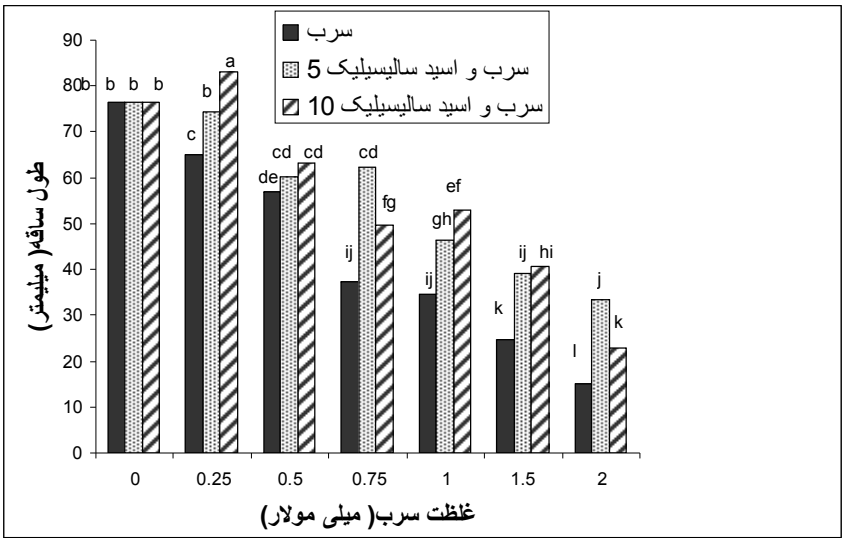
نتایج مشابهی از اثرات بازدارنده سرب بر رشد ریشه گیاه *Sedum alfredii* توسط دن (۲۰۰۸) گزارش شده است. همچنین میشرا (۱۹۹۸) در آزمایش‌های صورت گرفته بر روی برنج مشاهده کرد که سرب قابلیت ارتجاعی دیواره‌ی سلولی ریشه را کاهش داده و موجب کاهش رشد طولی ریشه می‌شود. فلزات سنگین به وسیله‌ی مهار تقسیم سلولی و یا کاهش گسترش سلولی در ناحیه‌ی طویل شدن و یا هر دو آن‌ها سبب کاهش طول ریشه می‌شوند(۱۹).ازطرف دیگر گزارش شده است که اسید سالیسیلیک،گسترش تقسیم و مرگ یاخته‌ای را تنظیم می‌کند و در واقع بین رشد و پیری تعادل ایجاد می‌کند (٢٦). همچنین تیمار با ۰/۵ میلی‌مول اسید سالیسیلیک، تقسیم یاخته‌ای را درون مریستم رأسی گیاهچه‌ی گندم افزایش داده و رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (۲۷) (شکل ۱).



شکل ۱- اثر متقابل سرب و اسید سالیسیلیک بر طول ریشه کلزا

اثر سرب و اسید سالیسیلیک بر رشد ساقه

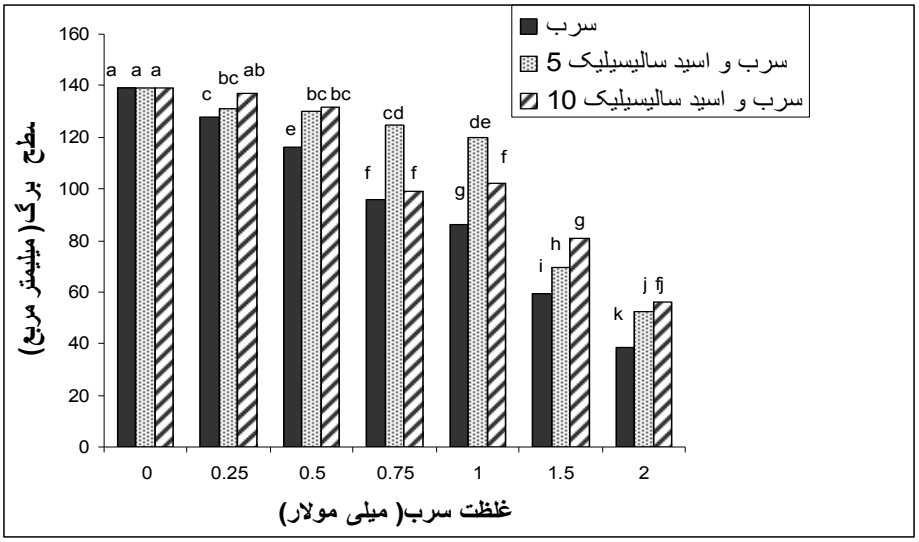
نتایج آزمایش نشان داد که افزایش غلظت سرب در محیط کشت هوگلند موجب کاهش طول ساقه به طور معنی داری نسبت به شاهد شد. در حالی که مصرف اسید سالیسیلیک موجب کاهش اثر منفی سرب بر طول ساقه گردید($P<0.01$). در آزمایش، مشاهده شد کلیه غلظت‌ها به جزء غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار نیترات سرب و ۵ میکرومولار اسید سالیسیلیک، سایر غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان دادند ($P<0.01$). با افزایش غلظت نیترات سرب، میانگین طول ساقه به طور معنی داری کاهش یافت نظیر چنین پدیده‌هایی در ساقه‌ها به خصوص در ناحیه‌ی مریستمی می‌توان مشاهده کرد که علاوه بر کاهش قدرت تقسیم، خاصیت الاستیکی سلول‌ها و غشاء آن‌ها نیز کاهش می‌یابد (۱۸). در مورد نقش اسید سالیسیلیک بر پارامترهای رشد گزارش متعددی وجود دارد، از جمله گزارش شده است که اسید سالیسیلیک کاهش رشد ناشی از فلزات سنگین مس را بهبود می‌بخشد (۲۰) که با یافته‌های ما هم‌خوانی دارد (شکل۲).



شکل ۲- اثر متقابل سرب و اسید سالیسیلیک بر طول ساقه کلزا

اثر سرب و اسید سالیسیلیک بر سطح برگ

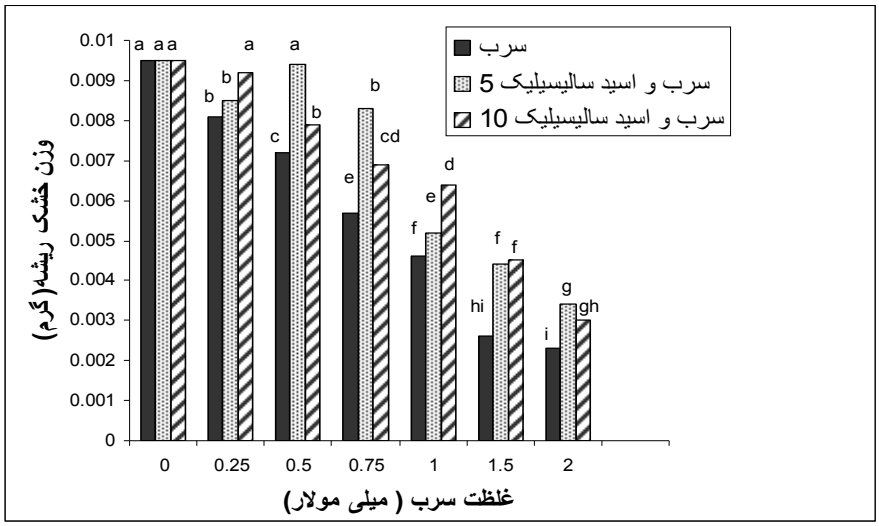
با افزایش غلظت نیترات سرب، سطح برگ‌ها کاهش معنی‌داری ($P<0.01$) یافت که این کاهش در کلیه‌ی تیمارها نسبت به شاهد معنی‌دار بود. استفاده از اسید سالیسیلیک توام با سرب، موجب افزایش سطح برگ گردید. همچنین بر اساس آزمون دانکن به جزء غلظت توام ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب به همراه اسید سالیسیلیک۱۰ میکرومولار، کلیه‌ی غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری ($P<0.01$) با شاهد داشته‌اند. بین دو غلظت به کار رفته‌ی اسید سالیسیلک نیز اختلاف معنی‌داری ($P<0.05$) مشاهده شد. از طرفی پالاوی در سال ۲۰۰۵ بیان کرد که تیمار سرب موجب کندی و تأخیر رشد و کاهش سطح برگ‌ها شده که این پدیده موجب کاهش سطح تعرق می‌گردد، بنابراین جریان ترکیباتی که باید به سمت ساقه‌ها و اندام‌های هوایی انتقال یابند با کاهش مواجه می‌شوند و همین امر نیز موجب کندی رشد در بخش‌های هوایی می‌شود که با بافته‌های ما همسو است. اسید سالیسیلیک موجب افزایش پارامترهای رشدی نسبت به تیمارهای سرب گردیده است که با نتایج خداری در سال ۲۰۰٤ در گیاه ذرت مطابقت دارد (شکل۳).



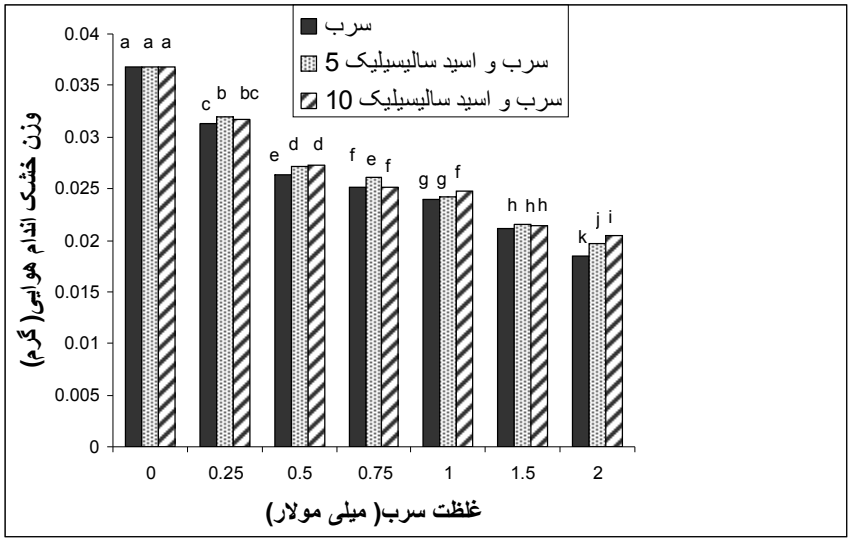
شکل۳- اثر متقابل سرب و اسید سالیسیلیک برسطح برگ کلزا

اثر سرب و اسید سالیسیلیک بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی

با افزایش غلظت نیترات سرب، وزن خشک ریشه و اندام هوایی به طور معنی‌داری ($P<0.01$) کاهش یافت. تحت تیمار توام سرب و اسید سالیسیلیک، وزن خشک ریشه و اندام هوایی افزایش معنی‌داری ($P<0.01$) یافت. بین دو غلظت اسید سالیسیلیک در هر دو پارامتر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P<0.05$) به عبارتی دو غلظت اسید سالیسیلیک اثرات یکسانی بر پارامترهای مذکور داشته‌اند. خداری (۲۰۰٤) بیان کرد که وزن خشک ریشه و اندام هوایی نیز به دلیل مسمومیت با سرب و توقف رشد کاهش می‌یابد. گونز (۲۰۰۷) نشان داد که تیمار با اسید سالیسیلیک اثرات منفی شوری بر وزن خشک و تر گیاه ذرت را تعدیل می‌دهد که با پژوهش ما همخوانی دارد (شکل‌های ٤و ٥).



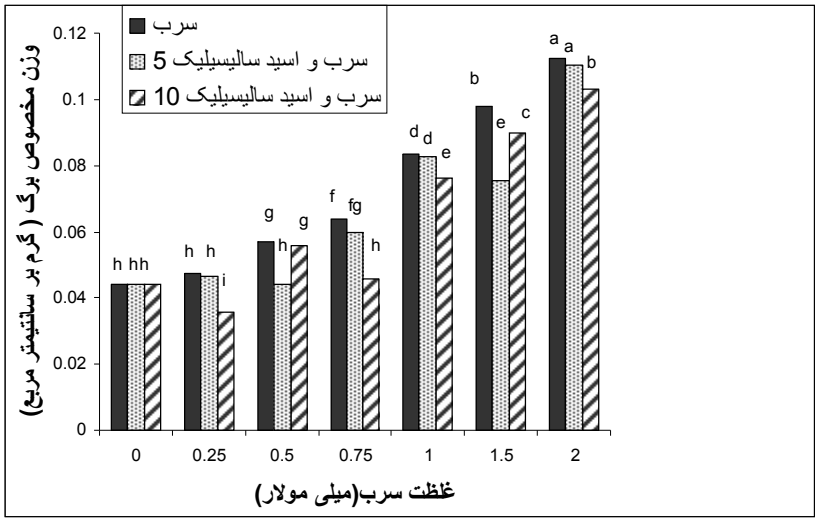
شکل٤- اثر متقابل سرب و اسید سالیسیلیک بر وزن خشک ریشه کلزا



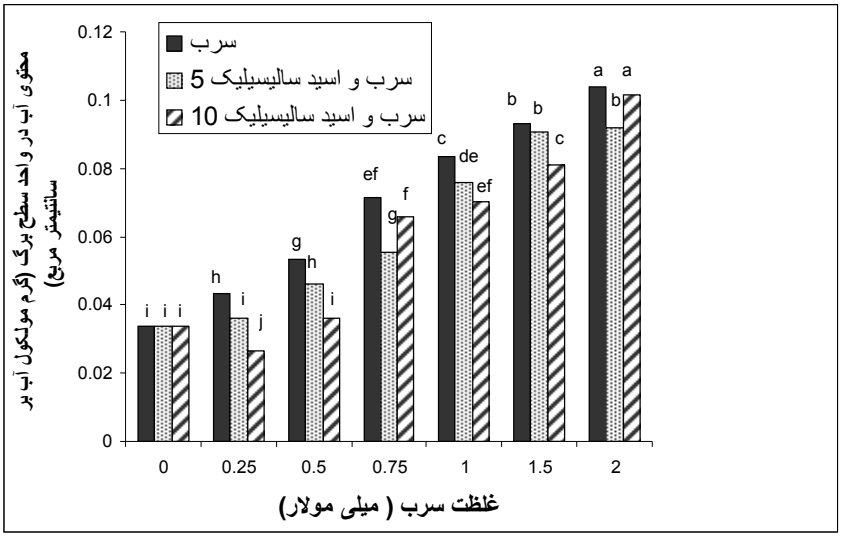
شکل٥- اثر متقابل سرب و اسید سالیسیلیک بر وزن خشک اندام هوایی کلزا

اثر سرب و اسید سالیسیلیک بر وزن مخصوص برگ و محتوای آب در واحد سطح برگ

همزمان با افزایش سطح نیترات سرب، وزن مخصوص برگ و محتوای آب در واحد سطح برگ افزایش معنی‌داری یافت ($P<0.01$). تحت تیمارهای نیترات سرب به همراه اسید سالیسیلیک، میانگین وزن مخصوص برگ و محتوای آب در واحد سطح برگ به طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای سرب کاهش یافت ($P<0.01$). نتایج این تحقیق برخلاف نتایج ارائه شده توسط پاریدا و همکاران (۲۰۰۵) می‌باشد که بیان کردند تنش شوری سبب کاهش محتوای آب در واحد سطح برگ می‌گردد. کارلیدیج و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند اسید سالیسیلیک سبب افزایش محتوای آب در واحد سطح برگ تحت تنش شوری می‌گردد (شکل‌های ٦ و ٧).



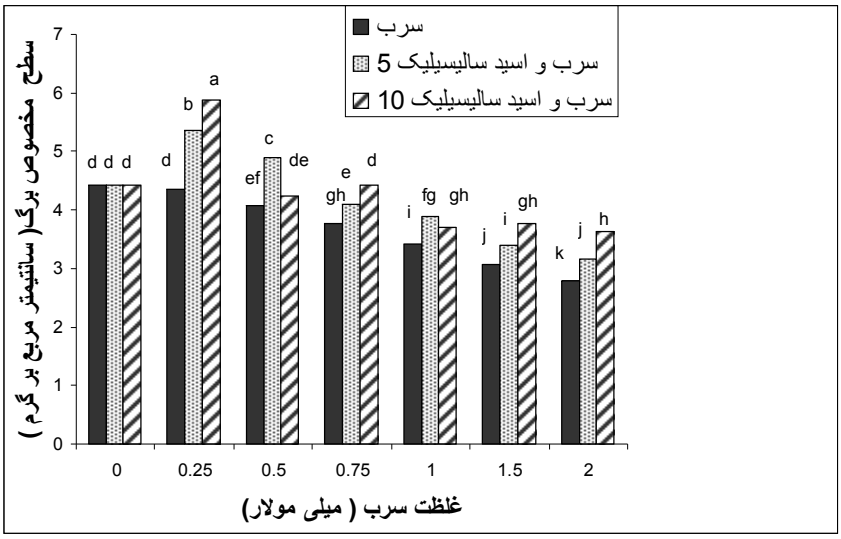
شکل٦- اثر متقابل سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین وزن مخصوص برگ کلزا



شکل۷- اثر متقابل سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین محتوای آب در واحد سطح برگ کلزا

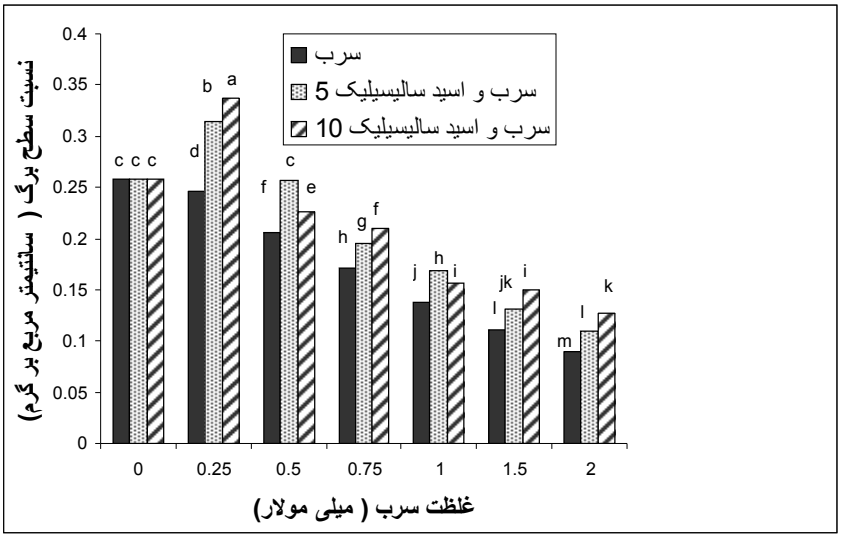
اثر سرب و اسید سالیسیلیک بر سطح مخصوص برگ و نسبت سطح برگ به وزن خشک گیاه

میانگین سطح مخصوص برگی در گیاهان ۱۰ روزه‌ی کلزا، همزمان با افزایش غلظت سرب کاهش معنی‌داری یافت ($P<0.01$). براساس آزمون دانکن به جز غلظت ۰/۲۵ میلی مولار سرب، سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری با شاهد داشته‌اند ($P<0.01$). بیشترین کاهش سطح مخصوص برگ مربوط به غلظت ۲ میلی‌مولار سرب با مقدار ۲/۸ گرم بر سانتیمتر مربع بوده است. اسید سالیسیلیک با دو غلظت ۱۰ و ۵ میکرومولار باعث افزایش معنی‌دار ($P<0.01$) میانگین سطح مخصوص برگ گردید و در غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب، اسید سالیسیلیک ۱۰و۵ میکرومولار سبب افزایشی حتی بیشتر از شاهد نیز شدند و در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سرب، اسید سالیسیلیک ۵ میکرومولار باعث چنین نتیجه‌ای شده است. آزمون دانکن نشان داده است که غلظت‌های توام ۰/۵ میلی‌مولار سرب و ۱۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و همچنین ۰/۷۵ میلی‌مولار سرب و ۱۰میکرومولار اسید سالیسیلیک با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشته در حالی که سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان دادند ($P<0.01$). نتایج این پژوهش با نتایج نظربیگی و همکاران (۱۳۸٦) مطابقت دارد، وی بیان کرد تحت تنش شوری سطح مخصوص برگ کاهش می‌یابد در حالی که اسید سایسیلیک سبب افزایش پارامتر مذکور می‌گردد (شکل ۸).



شکل۸- اثر متقابل سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین سطح مخصوص برگ کلزا

در گیاهان ۱۰ روزه کلزا با افزایش غلظت سرب، نسبت سطح برگ به وزن خشک کل گیاه کاهش معنی‌داری یافت ($P<0.01$). براساس آزمون دانکن بین کلیه‌ی غلظت‌های سرب با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P<0.01$). تحت تیمار توام سرب و اسید سالیسیلیک میانگین سطح برگ به وزن خشک کل گیاه نسبت به تیمارهای سرب افزایش معنی‌داری یافت ($P<0.01$). طبق آزمون دانکن به جزء غلظت توام ۰/۵ میلی‌مولار سرب و ۵ میکرومولار اسید سالیسیلیک، سایر غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان دادند ($P<0.01$). بین دو غلظت اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P<0.05$) و همچنین در غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب، دو غلظت اسید سالیسیلیک باعث افزایشی بیش از شاهد نیز شدند که اسید سالیسیلیک ۱۰ میکرومولار موثرتر بوده است. نتایج مشابهی درباره‌ی اثرات بازدارندگی فلزات سنگین از جمله مس در گیاه *Brassica pekinesis* Rupr گزارش شده است (۷) (شکل۹).



شکل۹- اثر متقابل سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین نسبت سطح برگ به وزن خشک کل گیاه کلزا

اثر سرب و اسید سالیسیلیک بر میزان کلروفیل برگ

تغییرات کلروفیل a:

در گیاهان ۱۰ روزه کلزا با افزایش غلظت نیترات سرب، میانگین کلروفیل a به طور معنی‌داری کاهش یافت($P<0.01$). کمترین کاهش مربوط به غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب با مقدار ۰/۰۰۸ $mg.g^{-1}.F.W$ و بیشترین کاهش مربوط به غلظت ۲ میلی‌مولار سرب با مقدار ۰/۰۰۹$mg.g^{-1}.F.W$ بوده است. اسید سالیسیلیک با دو غلظت ۵و۱۰ میکرومولار تاثیر معنی‌داری بر میانگین کلروفیل a نداشت ($P<0.05$) (شکل۱۰).

تغییرات کلروفیل b:

میانگین مقدار کلروفیل b با افزایش غلظت نیترات سرب در محلول غذایی هوگلند به صورت معنی‌داری کاهش یافت($P<0.01$). کاهش مشاهده شده در کلروفیل a بیشتر از کلروفیل b بوده است. کمترین کاهش کلروفیلb مربوط به غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سرب با مقدار ۰/۰۰٤ $mg.g^{-1}.F.W$ و بیشترین کاهش مربوط به غلظت ۲ میلی‌مولار سرب با مقدار ۰/۰۰۰۷ $mg.g^{-1}.F.W$ بوده است. تحت تیمار توام سرب و اسید سالیسیلیک، میانگین کلروفیل b نسبت به تیمارهای سرب افزایش معنی‌داری یافت ($P<0.05$). بین دو غلظت اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری مشاهده شد($P<0.01$)، همچنین در کلیه‌ی تیمارها اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۰ میکرومولار موثرتر بوده و سبب افزایش میانگین کلروفیلb نسبت به تیمارهای سرب گشته است (شکل۱۰).

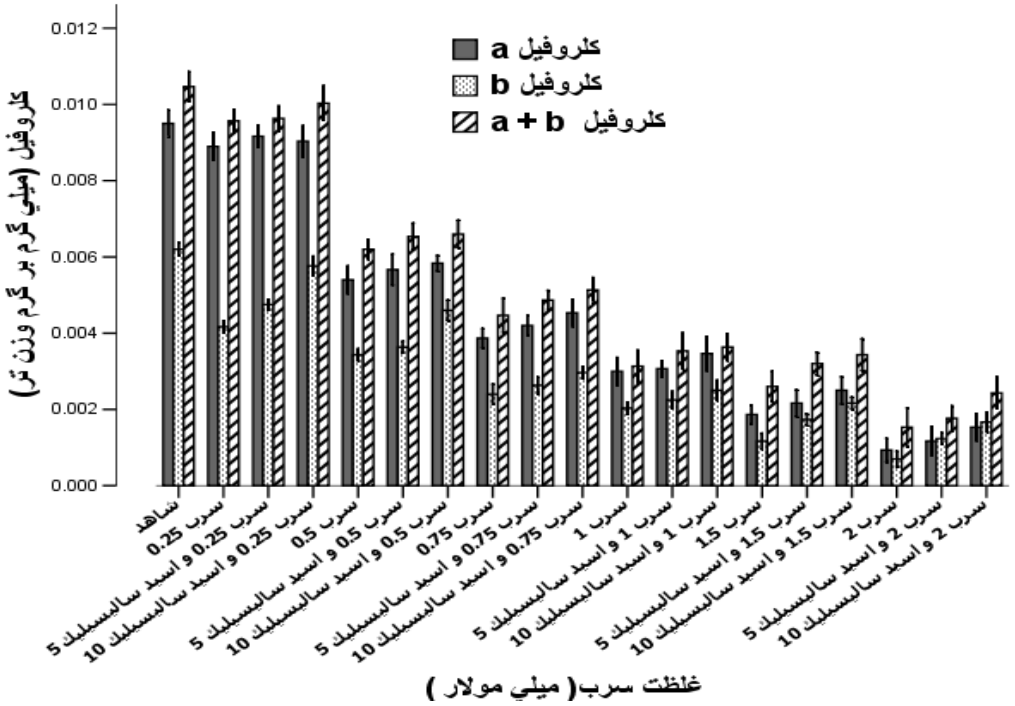
تغییرات کلروفیل a+b:

در گیاهان ۱۰ روزه‌ی کلزا رقم اپرا همزمان با افزایش غلظت نیترات سرب، میانگین کلروفیل a+b به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P<0.01$). تحت تیمار توام سرب و اسید سالیسیلیک، میانگین کلروفیل a+b نسبت به تیمارهای سرب افزایش یافت اما افزایش حاصله معنی‌دار نبوده است ($P<0.05$)(شکل ۱۰).

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، میزان کلروفیل‌های a، b و a+b تحت تأثیر تیمارهای مختلف نیترات سرب در دوره‌ی رشد ۱۰ روزه نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری یافتند ($P<0.01$). ازمت (۲۰۰٦) بیان کرد که در گیاهان عالی، سرب به علت ممانعت از فعالیت فتوسیستم II و یا با ممانعت بیشتردرسطح پلاستوکینون سبب کاهش فتوسنتز و رشد گیاه می‌گردد. سرب همچنین با غیر فعال کردن آنزیم‌های غشایی از جمله ATPase، سبب آسیب و گسستگی غشاء پلاسمایی می‌گردد. پالاوی(۲۰۰۵) و سامرداکییو(۲۰۰۰) بیان کردند که آلودگی سرب فرایندهای فتوسنتزی را به شدت تحت تأثیر قرارمی‌دهند و موجب کاهش فتوسنتز می‌گردند. این کاهش فتوسنتز به دلایل زیر می‌تواند باشد:

۱- تخریب فرا ساختار کلروپلاست،۲- جلوگیری از بیوسنتز کلروفیل، ۳- مسدود کردن مسیر انتقال الکترون، ٤- بازدارندگی آنزیم‌های چرخه کالوین.

کاربرد اسید سالیسیلیک، تحت تأثیر غلظت‌های۰ ،۰/۲۵، ۰/۵ ،۰/۷۵، ۱، ۱/۵و ۲ میلی‌مولار سرب باعث افزایش معنی‌دار($P<0.05$) کلروفیل b گردید ولی بر میانگین کلروفیل‌هایa و a+b اثر معنی‌داری نشان نداد ($P<0.05$). کارنت و همکاران (۲۰۰۸) عنوان کردند که تیمار با اسید سالیسیلیک، اثرات سمی کادمیوم بر فعالیت فتوسنتزی در گیاه ذرت را کاهش می‌دهد چرا که سرعت تثبیت دی اکسید کربن تحت تیمار کادمیوم کاهش یافته و تیمار اسید سالیسیلیک باعث بهبود و افزایش آن گشته و سبب افزایش سرعت فتوسنتز می‌شود. زاوزنیک و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیان کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک، تحت تنش کادمیوم باعث افزایش محتوای کلروفیل و بیوسنتز آن در گیاه *Arabidopsis thaliana* می‌گردد که با یافته‌های ما مطابقت دارد.



شکل ۱۰- اثر متقابل سرب و اسید سالیسیلیک بر میانگین تغییرات کلروفیل a، b وa+b کلزا

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که هر چند مسمومیت سرب اثراتی را بر پارامترهای مذکور در گیاهچه‌های کلزا داشته است اما این گیاهچه‌ها اثرات مسمومیت را تحمل کرده و توانستند غلظت ۲ میلی‌مولار سرب را تحمل کنند. همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک، سبب افزایش سازگاری گیاه به شرایط تنش گردید.

منابع

۱- شهیدی، ا. و سپهر، ک. ۱۳۸۱. شته‌های کلزا. انتشارات فنی معاونت ترویج وزارت جهاد کشاورزی.۱۵۰ صفحه

۲- مظاهری تیرانی، م. و منوچهری کلانتری، خ. ۱۳۸٦. بررسی اثرات اسید سالیسیلیک بر برخی پارامترهای رشد و بیوشیمیایی گیاه کلزا .*Brassica napus* L تحت تنش خشکی. مجله‌ی پژوهش دانشگاه اصفهان، جلد ۲۸، شماره‌ی ۲: صفحه ٦٦ـ۵۵.

۳- نظربیگی، ا.، لاری یزدی، ح.، چهرگانی، ع. و قربانلی، م. ۱۳۸٦. بررسی برهمکنش نمک(Nacl) سالیسیلیک و جیبرلیک اسید در رشد و فعالیتهای فیزیولوژیک دو رقم کلزا (هایولا ٤۰۱و RGS). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی بروجرد،دانشکده علوم پایه،۲۱۷ صفحه.

4- Ahmad, I., Hayat, S., Ahmad, A. and Samiullah, A. I. 2005. Effect of heavy metal on survival of certain group of indigenous soil microbial population. J. Application Environ. 9(1):115-121.

5- Arnon, D. I. 1957. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol oxidaes in *Beta vulgaris***.** Plant Physiol. 24:115-117.

6- Azmat, R., Haider, S. and Askari, S. 2006. Phyotoxicity of Pb: Effect of Pb on germination, growth, morphology and histomorphology of *Phaseolus mungo* and *Lens culinaris*. Pak. J. Biol. Sci. 9(5):979-984.
7-Chao, L., Xiong, Z. T. and Geng, B. 2006. Phytotoxic effects of copper on nitrogen metabolism and plant growth in *Brassica pekinensis* Rupr. Ecotoxicol. Environ. Safety. 64: 273-280.
8-Dan, L., TingQiang, L., Xiao, E. Y., Ejazul, I. and Qaisar, M. 2008. Lead induced changes in the growth and antioxidant metabolism of the lead accumulating and non accumulating ecotypes of *sedum alfredii*. Plant Biol. 50(2):129-140.
9-Gaspar, G. M. and Anton, A. 2002. Heavy metal uptake by two radish varieties. Hungarian congress on Plant Physiol. 46(3-4):113-114.
10-Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagcl, E.G. and Cicek, N. 2007. Salicylic cid induced changes on some physiological parameterssympotomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. J. Plant Physiol. 164:728-736.
11-Karlidag, H., Yildirim, E., Turan, M. 2009. Salicylic acid ameliorates adverse effect of salt stress on Strawberry. Agri. Sci. 66(2)180-187.
12-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.
13-Kim, Y. Y., Yang, Y. Y. and Lee, Y. 2002. Pb and Cd up take in rice roots. Physiol. Plantarum. 116(3):368-372.
14-Kosobrukhov, A. and knyazeva, I. 2004. Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: growth and photosynthesis. Plant Grow Regul. 42:145-151.
15-Krante, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G. and Popova, L. 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. Plant Physiol. 165: 920-931.
16-Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K. J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in Barley seedling. Plant Physiol. 132: 272-281.
17-Mishra, A. and Choudhari, M. A. 1998. Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants. Plant Biol. 41(3):469-473.
18-Mohanty, N., Vass, I. and Demeter, S. 1989. Copper toxicity affects photosystem Π electron transport at QB. Plant Physiol. 90:175-179.
19-Nalilni, P. and Chandra, P. S. 2002. Effect of heavy metals Co^{+2}, Ni^{+2} on growths and metabolism of cabbage. Plant Sci. 163:753-758.
20-Pal, M., Szalai, Z., Horvath, E., Paldi, E. and Janda, T. 2002. Effect of Salicylic acid during heavy metal stress, Acta Biol. Szegediensis. 46(3-4):119-120.
21-Pallavi, Sh. and Rama, Sh. D. 2005. Lead toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol., 17 (1) 46-52.
22-Parida, A. K. and Das, A. B, 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicol. Environ. Safety. 60:324-349.
23-Ruley, A. T., Nilesh, C. S. and Shivendra, V. S. 2004. Antioxidant defense in a lead accumulating plants, Sesbania dormancies, Plant Physiol. Biochem. 41:899-906.
24-Ruley, A. T., Nilesh, C. S., Shivendra, V. S., Shree, R. S. and Kenneth, S. S. 2006. Effect of lead and chelators on growth, photosynthetic activity and pb uptake in Sesbania dormancies grown in soil, Environ. Pollution. 144:11-18.
25-Samardakiew, S. and Wozny, A. 2000. The distribution of lead in dunckweed root tip, Plant Soil.226:107-111.
26-Senaranta, T., Touchell, D., Bumm, E. and Dixon, K, 2002. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and Salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regul. 30:157-161.
27-Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R, Bezrukova, M. V. and Fatkhutdinova, D. R. 2003. Changes In the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. Plant Sci. 164: 317-322.
28-Yell Yang, Y. 2000. Identification of rice varieties with high tolerance or sensity to lead and characterization of the mechanism of to tolerance. Plant Physiol. 124: 1019-1026.
29-Zawoznik, M. S. M., Gropp, M. D., Tomaro, M. L. and Benavides, M. P. 2007. Endogenous salicylic acid potentiates cadmium induced oxidative stress in *Arabidopsis thaliana*. Plant Sci. 173:190-197.