فصلنامه علمی - پژوهشی گیاه و زیست بوم
سال ۹، ویژه نامه شماره ۱-۳۴، بهار ۱۳۹۲

اثرات سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه نخود (*Cicer arientinum* L.) تحت تنش کلرور کادمیوم

رمضانعلی خاوری‌نژاد[۱]، فرزانه نجفی[۲]، فرشته شاه‌محمدی[۱]*

چکیده

در این پژوهش اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید (SA) در ۳ سطح (۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و کلرید کادمیوم ($CdCl_2$) در ۴ سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰میکرومولار) به‌طور جداگانه و همراه هم بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه نخود مورد بررسی قرار گرفت. فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و کاتالاز، میزان پروتئین کل و آنتوسیانین در حضور کلرور کادمیوم افزایش یافت. در حضور سالیسیلیک اسید فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و کاتالاز کاهش یافت، اما میزان پروتئین کل و آنتوسیانین افزایش یافت. در برهم‌کنش سالیسیلیک اسید و کلرور کادمیوم، فعالیت آنزیم کاتالاز در غلظت‌های پایین کاهش یافت ولی میزان پروتئین کل افزایش یافت و همچنین میزان آنتوسیانین و فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در بیشتر تیمارهای برهم‌کنش افزایش یافت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که گیاه نخود مقاومت کمی به تنش کلرور کادمیوم دارد.

واژه‌های کلیدی: کلرور کادمیوم، سالیسیلیک اسید، نخود، پراکسیداز، کاتالاز

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه زیست‌شناسی، تهران، ایران
۲- دانشگاه خوارزمی، گروه زیست شناسی، تهران، ایران
* مکاتبه‌کننده: (fereshtehm95@yahoo.com)

تاریخ دریافت: پاییز ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: زمستان ۱۳۹۱

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت جهان و همین‌طور افزایش شهرنشینی نیاز ما به منابع غذایی هم افزایش می‌یابد. بنابراین کشت نخود به‌عنوان منبع غذایی مناسبی در رژیم غذایی انسان‌ها محسوب می‌شود. دانه‌های نخود یک منبع اصلی پروتئین غذایی انسان است (Clemente *et al.*, 1999). با توجه به اینکه گیاه نخود نسبت به دیگر حبوبات، سازگاری بیشتری با شرایط اقلیمی کشور داشته و با توجه به محدودیت‌های موجود در تأمین پروتئین‌های حیوانی، نخود می‌تواند بخشی از پروتئین مورد نیاز را تأمین نماید، اما برطبق آمار میانگین عملکرد آن در کشور حدود ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار است که نسبت به عملکرد جهانی (۸۰۰ کیلوگرم در هکتار) بسیار پایین است (Parsa & Bagheri, 2008). برخی از دلایل کاهش عملکرد در ارقام کنونی نخود مربوط به آلودگی محیط زیست توسط فلزات سنگین در اثر فعالیت‌های صنعتی است که موجب سمیت در گیاهان و ممانعت از رشد گیاهان می‌شود. کادمیوم یک عنصر غیرضروری است که اثر بازدارنده بر روی رشد و نمو گیاهان دارد. آلودگی کادمیوم به دلیل سمیت بالا و حلالیت بالای آن در آب است. منبع اصلی کادمیوم فاضلاب‌های خانگی و صنعتی است (Benavides *et al.*, 2005). در گیاهان، کادمیوم ابتدا در ریشه‌ها و سپس به مقدار کمتری در برگ‌ها تجمع می‌یابد (Drazic *et al.*, 2004). کادمیوم مجموعه‌ای از تغییرات را در گیاهان در سطوح ژنتیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی تحریک می‌کند که منجربه سمیت می‌شود که نشانه‌های آشکار آن کاهش رشد بافت و اندام، کلروز برگ و نکروزه‌شدن ریشه و برگ، کاهش وزن خشک گیاه (Shute & Macfie, 2006) و تغییر در متابولیسم کلروفیل می‌باشد. در بافت‌های تیمارشده گیاه نخود با کادمیوم، ریشه‌های کوتاه‌تر، نرم، سبک و قهوه‌ای مشاهده می‌شود. اثر غلظت‌های بالای کادمیوم به‌کاررفته در کاهش کلروفیل منعکس می‌شود که سمیت را نشان می‌دهد (Drazic *et al.*, 2004). کادمیوم در گیاه نخود بیوسنتز کلروفیل‌ها را به تاخیرمی‌اندازد (Singh & Tewari, 2003). در این پژوهش از هورمون سالیسیلیک اسید استفاده شد. سالیسیلیک اسید و یا سایر سالیسیلات‌ها نقش مهمی در بیشتر پاسخ‌های بیولوژیکی در گیاهان ایفا می‌کنند. نقش این ماده در فیزیولوژی گیاهی متغیر است در بعضی مواقع باعث به‌راه انداختن و یا مهار واکنش‌ها نیز می‌گردد (Popova *et al.*, 1997). سالیسیلیک اسید در تنفس، بسته‌شدن روزنه‌ها و جوانه‌زنی دانه، باردهی میوه، گلیکولیز، گلدهی و تولید گرما در گیاهان نقش دارد (Taiz & Zeiger, 1998). سالیسیلیک اسید در اندام‌های آلوده، بیشتر است و با فاصله گرفتن از اندام‌های آلوده کاهش می‌یابد. SA برای القای پروتئین‌های دفاعی (کیتیناز، پراکسیداز و سوپراکسیدیسموتاز) که در حضور پاتوژن‌ها تولید شده‌اند، نقش مهمی دارد (Vestena *et al.*, 2001). مشخص شده که میزان کشت نخود در سال‌های مختلف همواره روبه‌افزایش بوده است، ولی متوسط عملکرد آن از افزایش چندانی برخوردار نبوده است. این امر به علت کمبود تحقیقات مناسب و مقتضی در زمینه‌های فیزیولوژیکی و تکوینی بوده است. با توجه به مطالب فوق انجام مطالعه و تحقیق پیرامون مسائل و مشکلات مربوط به حبوبات از جمله نخود بیش از پیش احساس می‌شود. در این بررسی اثرات هر یک

Archive of SID

www.SID.ir

از تیمارها SA و $CdCl_2$ به تنهایی و اثرات متقابل آنها بر خصوصیات فیزیولوژیکی دانه‌رست‌های نخود مطالعه شد. بدیهی است نتایجی که حاصل شده می‌تواند راهگشای جنبه‌های کاربردی باشد تا به این وسیله کار حاصل هرچند ناچیز تلاشی در بهبود کیفیت و کمیت کشت این گیاه باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر متقابل کلرور کادمیوم و سالیسیلیک اسید در گیاه نخود بذرهای گیاهی از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر و نهال کرج تهیه گردید. کشت گیاهان و آزمایشات مربوطه در آزمایشگاه زیست گیاهی واقع در مجتمع آزمایشگاهی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی انجام گردید. کلیه بذور قبل از کاشت با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۱ درصد، به مدت ۵ دقیقه سترون شدند. بذرهای یکنواخت و همگن انتخاب شد و در داخل هر گلدان ۵ عدد بذر یکنواخت قرار داده شد، پس از جوانه‌زنی بذرها با محلول هوگلند آبیاری شدند و از روز بیستم پس از کاشت، تیماردهی شروع شد. تیمار سالیسیلیک اسید به‌صورت اسپری و تیمار کلرور کادمیوم همراه با محلول غذایی به گلدان‌ها اضافه شد. در پژوهش حاضر ۱۲ تیمار و برای هر یک ۴ تکرار درنظر گرفته شد. در طول تیماردهی گلدان‌ها به‌طور متناوب دو روز در میان با محلول غذایی محتوی غلظت‌های مختلف کلرور کادمیوم آبیاری شدند. بعد از ۳۵ روز گیاهان جهت سنجش تغییرات میزان پروتئین کل، سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و سنجش میزان آنتوسیانین برداشت شدند. پس از جمع‌آوری، بررسی داده‌ها از طریق نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS نسخه ۱۶ مورد بررسی و تحلیل آماری قرار گرفت.

سنجش پروتئین کل

۰/۰۵ گرم اندام هوایی (برگ) گیاه پس از توزین، توسط دو میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH ۶/۸) به صورت هموژن درآمد. پس از همگن‌سازی، هر یک از نمونه‌ها به ویال‌های دو میلی‌لیتری منتقل شدند. سپس سانتریفوژ نمونه‌ها با سرعت ۱۶۰۰۰g به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انجام شد. سپس محلول رویی جدا شد که این عصاره‌ها جهت سنجش‌های آنزیمی نیز مورد استفاده قرار گرفتند. از بخش رویی عصاره جهت سنجش غلظت پروتئین کل عصاره‌های گیاهی به کمک اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر بر اساس روش (Bradford, 1976) استفاده شد.

سنجش فعالیت کاتالاز

بررسی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با بررسی کاهش مقدار پر اکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر انجام شد. مخلوط واکنش شامل بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH ۶.۸) و پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار بود. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر آغاز گردید. تغییرات جذب در ۲۴۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه ثبت شد. سپس فعالیت آنزیم به‌صورت تغییرات جذب به ازای وزن تر در دقیقه بیان گردید (Dazy *et al.*, 2008).

سنجش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز، به‌عنوان نمونه‌ای از انواع پراکسیداز مورد ارزیابی قرار گرفت. محیط

Archive of SID

www.SID.ir

واکنش شامل بافر پتاسیم فسفات ۲۵ میلی‌مولار (pH ۶.۸) و پراکسید هیدروژن ۴۰ میلی‌مولار و گایاکول ۲۰ میلی‌مولار بود. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر آغاز گردید. افزایش جذب به وسیله تشکیل تتراگایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه ثبت شد. سپس فعالیت آنزیم به‌صورت تغییرات جذب به ازای هر گرم وزن تر در دقیقه بیان گردید (Dazy *et al*., 2008).

سنجش میزان آنتوسیانین‌ها

به‌منظور سنجش مقدار آنتوسیانین‌ها ۰/۱ گرم از بافت تر به دقت توزین و در هاونی حاوی ۰/۵ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول ۹۹/۵٪ و HCl ۱٪ به نسبت ۱ به ۹۹) به خوبی ساییده شده، عصاره حاصل به لوله آزمایش منتقل شد و درب آن محکم بسته شد و با ورق آلومینیومی پوشیده شد. عصاره به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دور g ۴۰۰۰ سانتریفوژ گردید. محلول رویی را جدا کرده و به آن دو میلی‌لیتر اتر اضافه شد. سپس محلول زیری را در کووت ریخته و جذب آن در طول موج ۵۳۰ نانومتر برای آنتوسیانین تعیین و جذب ناویژه در ۶۰۰ نانومتر از آن کسر می‌شود. جهت تعیین میزان آنتوسیانین نمونه‌ها از نمودار استاندارد آنتوسیانین (سیانیدین ۳ گلوکزید با نام تجاری (Kuromanin Chloide) استفاده شد (Dai *et al*., 2006).

نتایج

براساس جدول تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اثر متقابل کلرور کادمیوم و سالیسیلیک اسید مقدار پروتئین کل و آنتوسیانین در سطح ۱ درصد و فعالیت آنزیم پر اکسیداز در سطح۰/۱ درصد معنی‌دار و فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار نیست (جدول ۱).

نتایج مربوط به سنجش پروتئین کل

با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید و کلرور کادمیوم به‌تنهایی میزان پروتئین افزایش یافت (جدول ۲ و ۳) و همچنین در تیمارهای برهم‌کنش سالیسیلیک اسید و کلرور کادمیوم میزان پروتئین افزایش می‌یابد که این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار است (نمودار ۱).

نتایج مربوط به فعالیت آنزیم کاتالاز

با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش می‌یابد که این کاهش نسبت به شاهد معنی‌دار است (جدول ۲). با افزایش غلظت کلرور کادمیوم فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش می‌یابد که این افزایش در حداکثر غلظت کلرور کادمیوم نسبت به شاهد معنی‌دار است (جدول ۳). در برهم‌کنش سالیسیلیک اسید و کلرور کادمیوم، فعالیت آنزیم کاتالاز در برخی از تیمارها افزایش و در برخی کاهش می‌یابد (نمودار ۲).

نتایج مربوط به فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز

با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز کاهش می‌یابد که این کاهش نسبت به شاهد معنی‌دار است (جدول ۲). با افزایش غلظت کلرور کادمیوم فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز افزایش می‌یابد که این افزایش در حداکثر غلظت کلرور کادمیوم نسبت به شاهد معنی‌دار است

Archive of SID

www.SID.ir

(جدول ۳). در برهم‌کنش سالیسیلیک اسید و کلرور کادمیوم، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در برخی از تیمارها افزایش و در برخی کاهش یافته است (نمودار ۳).

نتایج مربوط به سنجش آنتوسیانین

با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید و کلرور کادمیوم به‌تنهایی میزان آنتوسیانین افزایش یافت (جدول ۲ و ۳) و همچنین در بیشتر تیمارهای برهم‌کنش میزان آنتوسیانین افزایش می‌یابد که این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار است (نمودار ۴).

بحث و نتیجه‌گیری

پروتئین کل: نتایج تحقیق نشان می‌دهد سالیسیلیک اسید و کلرور کادمیوم هر یک به‌تنهایی و تیمار برهم‌کنش آنها باعث افزایش میزان پروتئین کل در برگ‌های نخود شده است. سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنشی باعث افزایش بیوسنتز پرولین می‌شود که پرولین به‌عنوان یک ملکول پایدارکننده پروتئین‌ها عمل می‌کند و سبب کاهش سمیت حاصل از فلزات سنگین می‌گردد (Shah & Dubey, 1997). از دلایل دیگر افزایش پروتئین‌ها می‌توان به افزایش میزان آنزیم‌های آنتی اکسیدان اشاره کرد که سالیسیلیک اسید از طریق افزایش فعالیت این آنزیم‌ها سبب کاهش سمیت فلزات سنگین می‌شود (Siddiqui & Al-Whaibi, 2010). در اندام گیاهی تحت تنش عناصر سنگین به‌ویژه کادمیوم افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در ساخت پروتئین موجب افزایش محتوای پروتئین اندام می‌گردد که نتایج ما با گزارش Kneer & Zenk (1992) همخوانی دارد.

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تیمار سالیسیلیک اسید باعث کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شده است درحالی‌که تیمار کلرور کادمیوم و برخی تیمارهای برهم‌کنش باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های نخود شده است. نتیجه به‌دست‌آمده با گزارش Hasan *et al* (2008) که تأثیر کادمیوم را بر روی گیاه نخود *Cicer arietinum* بررسی کرد، مطابقت دارد. یک پاسخ مهم به تنش توسط سلول‌های هوازی تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) است که یک نمونه از آن (H_2O_2) می‌باشد (Faquin *et al*., 1990). کاتالاز همراه با پراکسیداز در مراحل بعدی (پس از فعالیت SOD) سم‌زدایی رادیکال‌های آزاد سمی اکسیژن شرکت دارد. کاتالاز سبب تجزیه آب اکسیژنه (H_2O_2) در گیاهان می‌شود. در این آزمایش با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش یافت یعنی توانایی کمتری برای تجزیه H_2O_2در آن مشاهده گردید. کاهش در فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تنش‌های مختلف محیطی می‌تواند به دلیل ممانعت از سنتز این آنزیم و یا تغییر در تجمع زیر واحدهای آن باشد (Mishra & Srivastava, 2006). افزایش فعالیت کاتالاز بیانگر افزایش تخریب اکسیداتیو است (Smirnoff, 1995).

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تیمار سالیسیلیک اسید باعث کاهش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شده است درحالی‌که تیمار کلرور کادمیوم و بیشتر تیمارهای برهم‌کنش سالیسیلیک اسید و کلرور کادمیوم باعث افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در برگ‌های نخود شده

Archive of SID

www.SID.ir

است. نتیجه به‌دست‌آمده با گزارش *et al* Hasan (2008) و *et al* (2009) Dinakarمطابقت دارد. در میان اثرات زیادی که فلزات سمی بر گیاهان دارند تولید ROS ایجاد شده توسط فلز شناخته شده که تعدادی از فرآیندهای سلولی را مختل می‌کند. برای دفاع علیه تنش اکسیداتیو در سلول‌های گیاه فعالیت آنزیم‌هایی از قبیل پراکسیداز و کاتالاز افزایش می‌یابد. بنابراین تعدیل و تنظیم اجزاء سطوح آنتی اکسیدان یک پاسخ سازشی مهم برای مقاوم‌کردن به شرایط تنش‌زا می‌باشد (Foyer *et al*., 1997). گایاکول به‌عنوان دهنده الکترون عمل می‌کند و از پراکسید هیدروژن برای اکسیداسیون انواع مختلف سوبستراهای آلی و غیرآلی استفاده می‌کند (Dinakar *et al*., 2009).

میزان آنتوسیانین: نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تیمار سالیسیلیک اسید، تیمار کلرور کادمیوم و تیمار برهم‌کنش باعث افزایش میزان آنتوسیانین در برگ‌های نخود شده است. ترکیبات فنولی شامل لیگنین‌ها، فنولیک اسیدها، کومارین‌ها، آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها می‌توانند به‌عنوان آنتی اکسیدان، خاموش‌کننده و یا جاروب‌کننده رادیکال‌های آزاد در گیاهان عمل کنند (Solecka, 1997) و سبب کاهش اثرات سمی گونه‌های اکسیژن فعال در سلول‌های گیاهی شوند (Gould *et al*., 2002; Neill *et al*., 2002). القاء انباشت آنتوسیانین سبب حفاظت دستگاه فتوسنتزی از اثرات سمی کادمیوم به‌وسیله کاهش اثرات سمی رادیکال‌های سوپراکسید حاصل از تنش می‌شود (Mobin & Khan, 2007).

جدول ۱- واریانس داده های حاصل از اثر متقابل کلرور کادمیوم و سالیسیلیک اسید

منابع تغییرات	F	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (S.S)	میانگین مربعات (M.S)
پروتئین کل	۴.۹۳**	۶	۰.۰۶	۰.۰۶
فعالیت آنزیم کاتالاز	۰.۰۹ns	۶	۱۰.۱۰	۱.۶۸
فعالیت آنزیم پراکسیداز	۱۲.۶۸***	۶	۱۷۱۸۰.۶۹	۲۸۶۳.۴۵
آنتوسیانین	۴.۵۳**	۶	۳۰۱۴۷.۱۷	۵۰۲۴.۵۲

ns معنی‌دار نیست. ** در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار است. *** در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار است.

جدول ۲- نتایج مربوط به اثرات سالیسیلیک اسید بر تغییرات پروتئین کل (mg g^{-1} F.W)، تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز (Δ OD min^{-1} g^{-1} F.W)، تغییرات فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (Δ OD min^{-1} g^{-1} F.W) و تغییرات میزان آنتوسیانین (mg g^{-1} F.W) در گیاه نخود

Treatment (mM)	پروتئین کل	فعالیت آنزیم کاتالاز	فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز	آنتوسیانین
SA 0	۰.۵۹±۰.۰۱	۸.۹۰±۱.۱۲	۲۶۸±۲.۳۵	۵۱.۶۵±۱.۵۰
SA 0.5	۰.۹۵±۰.۰۳	۷.۸۵±۰.۹۱	۱۸۷±۶.۱۲	۶۷.۴۱±۹.۴۲
SA 1	۰.۹۸±۰.۱۵	۵.۹۰±۱.۴۲	۱۲۳±۶.۱۹	۸۹.۵۶±۱۶.۰۷

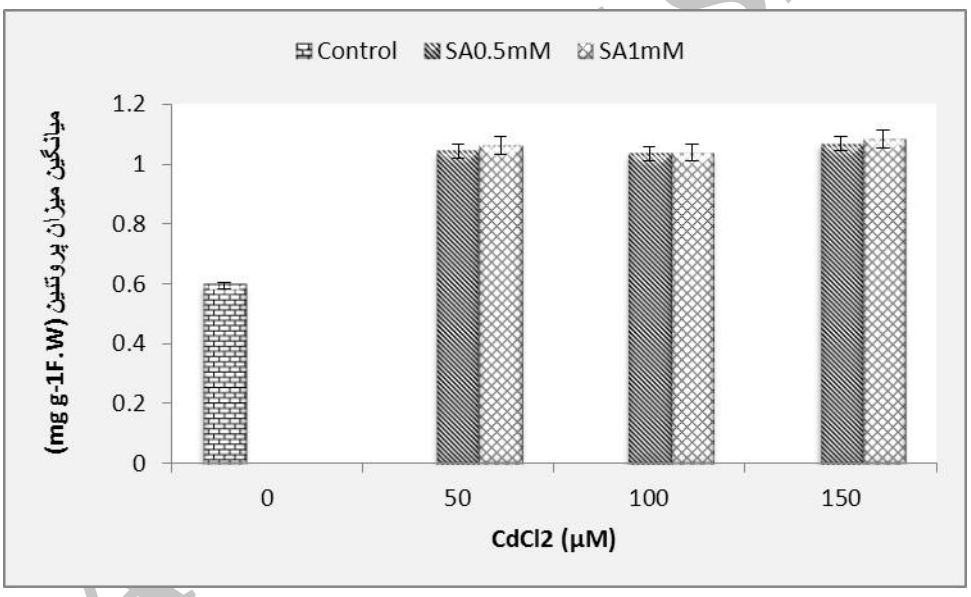
داده‌ها naeM±SE را نشان می‌دهد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳- نتایج مربوط به اثرات کلرور کادمیوم بر تغییرات پروتئین کل (mg g^{-1} F.W)، تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز (Δ OD min^{-1} g^{-1} F.W)، تغییرات فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (Δ OD min^{-1} g^{-1} F.W) و تغییرات میزان آنتوسیانین (mg g^{-1} F.W) در گیاه نخود

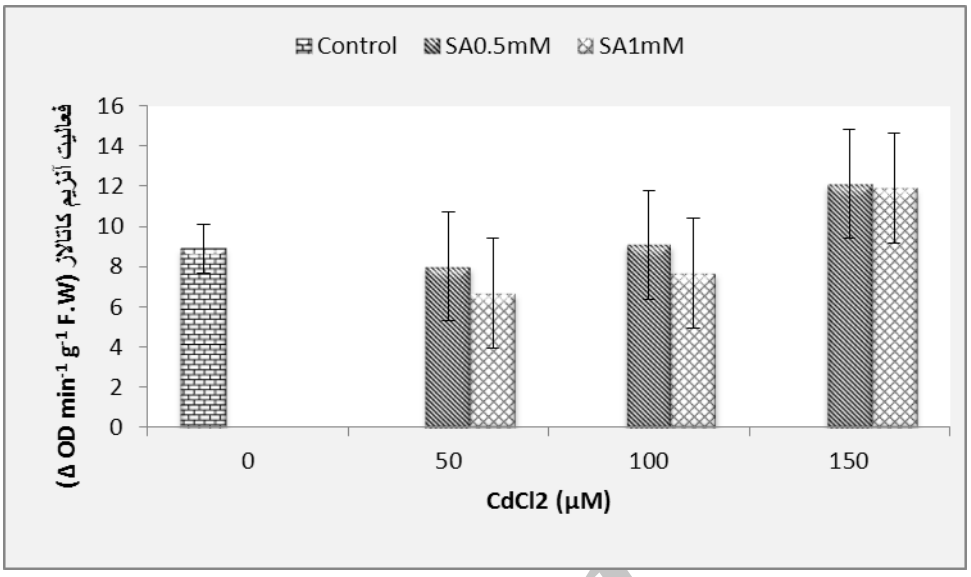
Treatment (µM)	پروتئین کل	فعالیت آنزیم کاتالاز	فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز	آنتوسیانین
$CdCl_2$ 0	۰.۵۹±۰.۰۱	۸.۹۰±۱.۱۲	۲۶۸±۲.۳۵	۵۱.۶۵±۱.۵۰
$CdCl_2$ 50	۰.۶۷±۰.۰۳	۹.۷۰±۰.۰۹	۳۶۱±۷.۶۹	۹۳.۶۹±۱۹.۱۶
$CdCl_2$ 100	۰.۷۴±۰.۰۲	۹.۸۰±۰.۶۷	۳۷۵±۵.۳۶	۹۲.۹۴±۴.۸۰
$CdCl_2$ 150	۰.۸۷±۰.۰۱	۱۵.۶±۵.۲۷	۳۸۲±۹.۵۰	۱۶۹.۵±۳۶.۶۹

داده‌ها naeM±SE را نشان می‌دهد.

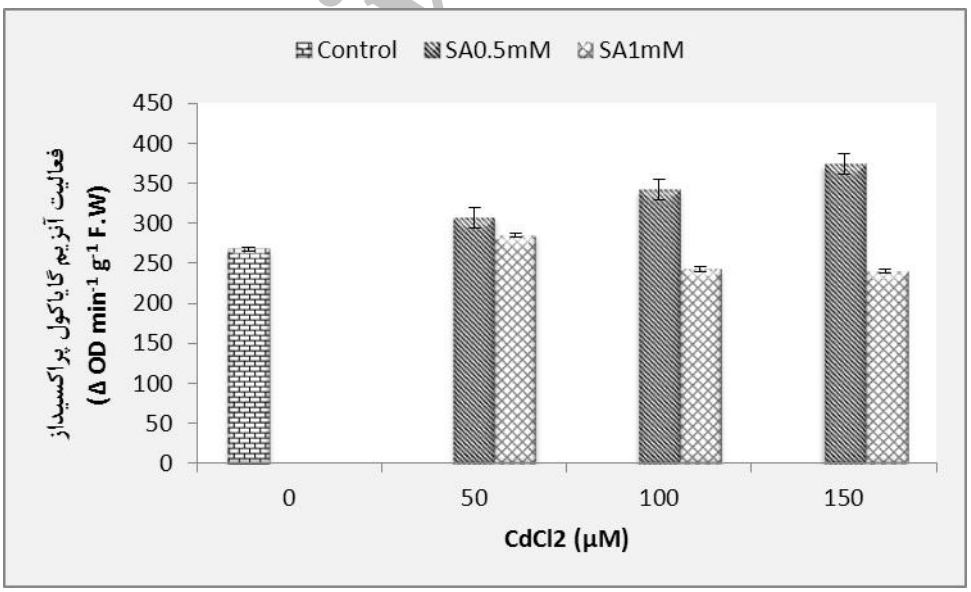


نمودار ۱- اثرات متقابل کلرور کادمیوم و سالیسیلیک اسید بر روی تغییرات میزان پروتئین کل (mg g^{-1} F.W) در گیاه نخود

www.SID.ir

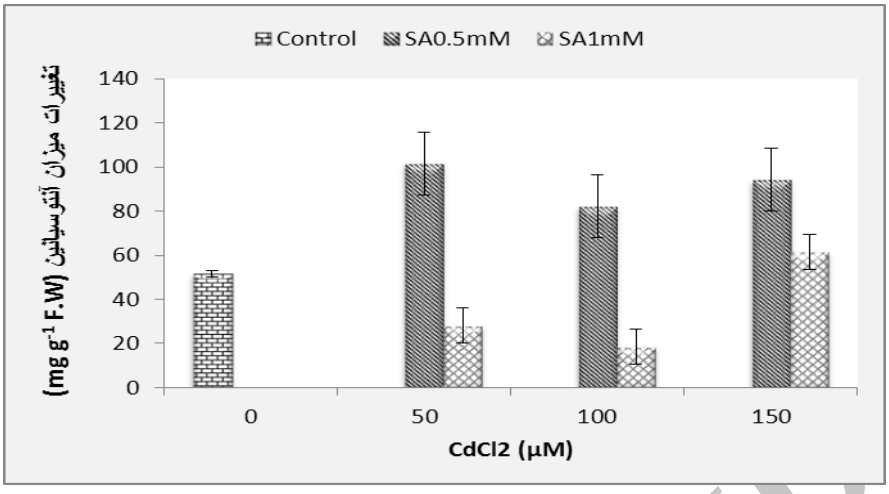


نمودار ۲- اثرات متقابل کلرور کادمیوم و سالیسیلیک اسید بر روی تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز (Δ OD min^{-1} g^{-1} F.W) در گیاه نخود



نمودار ۳- اثرات متقابل کلرور کادمیوم و سالیسیلیک اسید بر روی تغییرات فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (Δ OD min^{-1} g^{-1} F.W) در گیاه نخود

www.SID.ir



نمودار ٤- اثرات متقابل کلرور کادمیوم و سالیسیلیک اسید بر روی تغییرات میزان آنتوسیانین ($mg\ g^{-1}$ F.W) در گیاه نخود

منابع

Benavides,M.P., S.M.Gallego, and M.L.Tomaro. 2005. Cadmium toxicity in plants. Brz Journal Plant Physiol 17: 21-34.

Bradford,M.A. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal Biochem. 72: 246-254.

Clemente,A., J.Vioque, R.Sgnchez-Vioque, J.Pedroche, and F.Millgn. 1999. Production of extensive chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein hydrolysates with reduced antigenic activity. Journal of Agricultural and Food Chem. 3776–3781.

Dai,L.P., Z.T.Xiong, and Y.Huang. 2006. Cadmium induced changes in pigments, total phenolics, and phenylalanine ammonia-lyast activity in fronds of Azolla imbricate. Environ Toxicol. 505-513.

Dazy,M., V.Jung, JF.Ferarcl, and JF.Masfaraud-Chemosfere. 2008. Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. Cemosphere. 74: 57-63.

Drazic,G., N.Mihailovic, and Z.Stojanovi. 2004. Cadmium toxicity; the effect on macro-and micro-nutrient contents in soybean seedlings. Biol Plant. 48: 605-607.

Dinakar,N., P.C.Nagajyothi, and S.Suresh. 2009. Cadmium induced changes on proline, antioxidant enzymes, nitrate and nitrite reductases in (*Arachis hypogeae* L.). Environmental Biol 30: 289-294.

Faquin,V., E.Malavolta, and T.Murakua. 1990. Cinetica da absorcao defosfato em soja sob influencia de micorriza vesiculo-arbuscular. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 14: 41-48.

Foyer,C.H., L.Lopez-Oelgado, J.F.Dat, and I.M.Scott. 1997. Hydrogen peroxide and glutation associated mechanism of asslimatory stress tolerance and signaling. Physiol. Plant.100: 241-254.

Archive of SID
www.SID.ir

Gould,K.S., J.McKelvie, and K.R.Markham. 2002. Do anthocyanins function as antioxidanta in leaves, Imaging of H_2O_2 in red and green leaves after mechanical injury. Plant Cell Environmental 25: 1261-1269.

Hasan.S.A, S.Hayat, B.Ali, and A.Ahmad. 2008. 28-Homobrassinolide protects chickpea (*Cicer arietinum*) from cadmium toxicity by stimulating antioxidants. Environmental Pollution. 151: 60-66.

Kneer,R., and M.H.Zenk. 1992. Phytochelatins protect plant enzymes from heavy metal poi soning. Phytochem 31: 2663-2667.

Mishra,S., and S.Srivastava. 2006. Phytochelatin synthesis and response of antioxidant during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. Plant Physiol Biochem. 44:25-37.

Mobin,M., and N.A.Khan. 2007. Photosynthetic activity, pigment composition and antioxidative response of two mustard (*Brassica juncea*) cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. Journal Plant Physiol. 164: 601-610.

Neill,S.O., K.S.Gould, P.A.Kilmartin, and K.R.Mutchell. 2002. Antioxidant activities of red versus green leaves in *Elatostema rugosum*. Plant Cell Environmental 25: 539-547.

Parsa,M., and A.Bagheri. 2008. Legumes. Mashhad University Jahad Press. (In Persian).

Popova,L., T.Pancheva, and A.Uzunova. 1997. Salicylic acid: properties, biosynthesis and physiological role. Plant Physiol 85-93.

Shah,K., and R.S.Dubey. 1997. Effect of cadmium on proline accumulation and ribonuclease activity in rice seeding: role of proline as a possible enzyme protectant. Biol. Plant. 40: 121-130.

Shute,T., and S.M.Macfie. 2006. Cadmium and zinc accumulation in soybean threat to food safety? Science of the Total Environmental. 371: 63-73.

Siddiqui,M.H., and M.H.Al-Whaibi. 2010. Interactive effect of calcium and gibberellins on nickel tolerance in relation to antioxidant syatems in (*Triticum aestivum* L.). Protoplasma.

Singh,P.K., and R.K.Tewari. 2003. Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of Brassica juncea L. plants. Journal of Environmental Biol 107-112.

Smirnoff,N. 1995. Environment and plant metabolism: Flexibility and acclimation. Oxford: Bios Science Press.

Solecka,D. 1997. Role of phenyl propanoid compounds in plant responses to different stress factor. Acta Physiology Plant. 19(3):257-268.

Taiz,L., and E.Zeiger. 1998. Plant Physiology, 2d edition, Sinauer Associates, Sunder land, Massachusetts. (In Persian).

Vestena,S., A.G.Fett-Neto, R.C.Duarte, and A.G.Ferreira. 2001. Regulation of mimosin accumulation in *Leucaena leucocephala* seedlings. Plant Science 161: 597-604.

Archive of SID

www.SID.ir