مطالعه برهمکنش سالیسیلیک اسید و سیلیسیم بر پارامترهای رشد و نمو و تجمع کادمیم در غده سیب زمینی تحت تنش کادمیم

محمد جواد آروین[۱*]، خدیجه مسلمی[۱]، مهدی سرچشمه پور[۲]، بتول کرامت[۳]،
حکیمه علومی[۴] و فاطمه دانشمند[۵]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۲۷)

چکیده

آلودگی خاک با فلزات سنگین و انتقال آن به محصولات کشاورزی به عنوان یک مشکل جهانی در حال گسترش می باشد. کادمیم به عنوان یک فلز سمی اخیرا" به دلیل مصرف بی رویه کودهای شیمیایی خصوصا" فسفره وارد خاک گردیده و از این طریق جذب گیاه و سپس وارد زنجیره غذایی انسان می گردد. این تحقیق با هدف بررسی اثر تیمارهای شیمیایی شامل سالیسیلیک اسید (SA) با غلظت ۰/۱ میلی مولار، سیلیسیم (Si) با غلظت ۵ میلی مولار، ترکیب این دو ماده (Si+SA) به همراه تیمار شاهد بصورت محلول پاشی گیاهان قبل از شروع غده دهی و تیمارهای کادمیم با غلظت های ۰ و ۱۲ میلی گرم در هر کیلو گرم خاک در یک آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه کرمان در سال ۱۳۸۹ اجرا گردید. در مقایسه با شاهد، کادمیم باعث کاهش محتوای آب نسبی، پارامترهای فتوسنتزی و رشد ونمو و افزایش مالون دآلدئید و تجمع کادمیم درغده های سیب زمینی گردید. کلیه تیمارهای شیمیایی باعث بهبود پارامترهای اندازه گیری شده تحت هر دو شرایط شرایط غیر تنش و تنش کادمیم گردیدند و ترکیب تیماری Si+SA برای بیشتر صفات اندازه گیری شده نسبت به بقیه تیمارها موثرتر بود. تحت شریط تنش کادمیم، این ترکیب تیماری در مقایسه با شاهد، باعث افزایش تعدادغده(۸۱ درصد)، وزن ترغده(۱۱۲ درصد)، کلروفیل ها (حدود۵۰ درصد) و کاهش مالون دآلدئید(۵۰ درصد) و تجمع کادمیم در غده های سیب زمینی(۸۹ درصد) گردید و بنابراین می توان از این ترکیب (Si+SA) جهت بهبود رشد و نمو و کاهش تجمع کادمیم در غده های سیب زمینی در مزارع آلوده به این عنصر به صورت تجاری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: سالیسیلیک اسید، سیلیسیم، سیب زمینی، کادمیم

۱. گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۳. گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۴. مرکز بین الملل علوم و فنون پیشرفته محیطی کرمان
۵. گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور تفت
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: smjarvin @gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

سیب زمینی با تولید ۳۳۰ میلیون تن در دنیا و حدود ۵/۵ میلیون تن در ایران یکی از محصولات بسیار مهم در دنیا وایران محسوب می شود(۱). آلودگی خاک با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که علاوه براثرات زیان آور برفون و فلور خاک و آلودگی آب های زیر زمینی از طریق آبشویی، موجب کاهش عملکرد و کیفیت محصول و در نهایت به خطر افتادن سلامتی به خطر انداختن سلامتی افراد جامعه ودیگر موجودات زنده می شود(۶ و ۱۶). از فلزات سنگین، کادمیم به دلیل تحرک و پویایی در خاک و جذب توسط گیاه، سمیت قابل توجه و نیمه عمر بیولوژیکی حدود ۳۰ سال از فلزات سمی و خطرناک محسوب می شود (۹). این عنصر عامل عوارضی از جمله نارسایی کبد وکلیه، بیماری‌های قلبی، عروقی، استخوانی، ریوی و انواع سرطان‌ها در انسان می باشد (۱۵ و ۱۶). کادمیم به راحتی توسط ریشه‌های گیاهان جذب شده و به اندام های مختلف گیاهی منتقل می‌شود (۴۴). تجمع زیاد کادمیم در گیاه باعث کاهش جذب آب (۴ و۱۰)، کاهش پارامترهای رشد و نمو (۴ و۲۴) و هم‌چنین اختلال در فعالیت های آنزیمی، فتوسنتز، تنفس، تعرق و کاهش در جذب مواد غذایی می شود(۱۰و۱۷). تأثیر تنش کادمیم در کاهش رشد ریشه معمولاً بیشتر از اندام هوایی است (۱۱و۱۲). یکی دیگر از اثرات سمیت کادمیم، تولید رادیکالهای آزاد واکنش پذیر است که باعث پراکسیداسیون اسیدهای چرب شده و تولید مالون دآلدئید می کند که شاخص تخریب دیواره های سلولی می باشد (۲،۱۱و۱۲). به‌طور کلی کودهای فسفره حاوی مقادیر زیادی کادمیم (۷ تا ۱۷۰ میلی گرم در کیلو گرم) به صورت ناخالصی می باشند و مصرف بی رویه آنها طی چند سال گذشته در ایران باعث آلودگی برخی از مزارع و باغ ها گردیده است(۳۰). از طرف دیگر، میزان فلزات سنگین خاک به دلیل ورود انواع پس مانده‌های صنعتی و ضایعات کارخانجات رو به افزایش است(۳۰). سالیانه حدودا" ۲۲۰۰۰ تن کادمیم به خاک‌های جهان اضافه می‌شود و اتحادیه اروپا حداکثر مجاز کادمیم در خاک های زراعی را ۱ تا ۳ میلی گرم در کیلوگرم خاک تعیین نموده است(۹). در ایران گزارش‌هایی دال بر تجمع کادمیم در برخی محصولات زراعی به ویژه برنج و سیب زمینی وجود دارد (۳و۳۰). گزارش شده است که کادمیم پس از ورود به ریشه از طریق آپولاست یا سیمپلاست وارد آوند چوبی می گردد و با چندین لیگاند مثل اسید های آلی، آمینو اسیدها و فیتوکلاتین ها ترکیب می شود. یون های فلزی و یا کمپلکس کلات – فلز بعد از رسیدن به برگ از طریق پلاسمودسماتا و از سلولی به سلول دیگر منتقل می شوند و پس از جذب در سلول های برگی توزیع داخل سلولی اتفاق می افتد (۱۱ و۱۲). انتقال کادمیم در غده‌های سیب زمینی از طریق آوند آبکش و چوب صورت می گیرد و در سیب زمینی، غلظت کادمیم در غده کمتر از ریشه و اندام هوایی است (۸). کادمیم اغلب در واکوئل سلول‌های گیاهان عالی تجمع می یابد و هم‌چنین تجمع آن در دیواره سلول و تیغه میانی بین آندروم و دایره محیطیه نیز گزارش شده است(۸ و۲۸).

سالیسیک اسید(SA) یکی از هورمون‌های گیاهی است که با مکانیزم های متعدد از جمله اثر روی آنزیم‌های آنتی اکسیدان مانند کاتالاز، سوپر اکسیدازها ، اثرات ناشی از تنش‌های خشکی ، گرما ، فلزات سنگین وشوری را کاهش می دهد(۱۳،۲۰و۲۶). سالیسیک اسید به دلیل داشتن گروه o – هیدروکسیل آزاد روی حلقه بنزوئیک اسید قادر به کلاته کردن فلزات سنگین می باشد (۲۰ و ۲۶). سیلیسیم (Si) به عنوان یک عنصر ضروری در تغذیه گیاهان مورد توجه قرار نگرفته است اما به عنوان عنصری که باعث کاهش اثرات منفی تنش های ناشی از فلزات سمی می شود شناخته شده است (۱۵، ۲۳، ۳۴، ۳۸ و۴۱). به نظر می رسد که بسیاری از اثرات مفید آن در گیاهان به دلیل رسوب در دیواره سلولی است که موجب افزایش استحکام و تقویت دیواره می‌گردد(۳۸). هم‌چنین، دیواره‌های سلول های اپیدرم به وسیله لایه های محکم سیلیسیم آغشته می شوند و گیاه را در برابر از دست رفتن آب به وسیله تعرق کوتیکولی محافظت می‌کنند (۳۸،۲۵و۴۰). این

Archive of SID

www.SID.ir

عنصر با تحریک سیستم آنتی اکسید اتیو در گیاه، تشکیل کمپلکس با فلزات سنگین و انتقال آنها به اندام هایی نظیر واکوئل سلول‌های گیاهی، باعث کاهش اثرات تنش و سمیت فلزات سنگین در گیاهان می شود(۳۷ و۴۰). گرچه هر دو ماده SA و Si قادر به کاهش تجمع کادمیم در اندام‌های گیاهی می‌باشند ولی گزارشی از ترکیب این دو ماده بر رشد و نمو و تجمع کادمیم در غده‌های سیب زمینی وجود ندارد. بنابراین هدف از انجام این آزمایش مطالعه اثرات بر همکنش این دو ماده بر رشد ونمو و تجمع کادمیم در غده‌های سیب زمینی رقم سانتانا می باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در یک آزمایش گلدانی در گلخانه در دانشکده کشاورزی دانشگاه کرمان در سال ۱۳۸۹روی سیب زمینی رقم سانتانا انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار (۱۰گلدان در هر تکرار) انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل تیمارهای شیمیایی (۰/۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید، ۵ میلی مولار سیلیسیم و ترکیب این دو ماده به همراه یک تیمار شاهد) و کادمیم (۰ و۱۲ میلی گرم در کیلوگرم خاک) از منبع نیترات کادمیم بودند. غلظت های انتخاب شده برای آزمایش بر اساس نتایج آزمایش های مقدماتی و پس از اطمینان از موثر بودن آن ها انجام گرفت. خاک بعد از الک ۴ میلی متری درون کیسه های پلاستیکی ریخته شد و به ازای هرگلدان، یک گرم از کود های شیمیایی سوپر فسفات تریپل، سولوپتاس و اوره که معادل ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار از هر کدام می‌باشد اضافه گردید. کودهای سوپر فسفات تریپل و سولوپتاس قبل از کاشت و کود اوره در در سه مرحله به گلدان ها اضافه گردید. نیترات کادمیم به صورت محلول آبی تهیه و به خاک درون پلاستیک اضافه گردید، پس از متعادل شدن رطوبت خاک به خوبی مخلوط شد و در نهایت خاک تیمار به همراه کیسه های پلاستیکی به درون گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۳۰ سانتی متر و طول ۶۰ سانتی متر انتقال یافت. محلول پاشی با سالیسیلیک اسید و عنصر سیلیسیم بعد از سبز شدن گیاه و در مرحله ۶ برگی (قبل از غده‌دهی) انجام شد. در مراحل پایانی آزمایش و قبل از برداشت نهایی پارامترهای رسد و نمو و بیوشیمیایی اندازه گیری شد.

برای سنجش محتوای آب نسبی (RWC) از روش یاما ساکی (۴۱)، مقدار مالون دآلدئید (MDA) از روش هیس و پکر(۱۵) و برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی (€) معادل $155cm^{-1}\ mM^{-1}$ استفاده و نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر ارائه شد. برای سنجش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید برگ از روش لیچتن تالر (۱۹) استفاده شد. ۰/۱ گرم از برگ‌های تازه گیاه در هاون چینی حاوی ۱۵میلی لیتر استن۸۰درصد سائیده شد و پس از صاف کردن ،جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر SPUV-26 ساخت کشور آلمان درطول موج‌های ۶۴۶/۸و۶۶۳/۲و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. جهت تنظیم دستگاه از استن ۸۰درصد به عنوان شاهد استفاده گردید. غلظت رنگیزه‌های گیاهی با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه و نتایج بر حسب گرم بر گرم وزن تر ارایه شد.

$$Chla=(12/25A_{663/2}-2/79A_{646/8})$$
$$Chlb=(21/50A_{646/8}-5/10A_{663/2})$$
$$Car=[(1000A470-1/82chla-85/02chlb)/198]$$

هم‌چنین تعداد برگ ، تعداد غده، ارتفاع (سانتی متر)، وزن تر و خشک ریشه ، وزن تر وخشک غده ، وزن تر وخشک اندام هوایی (بر حسب گرم) اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از فرمول تجربی $Y=0.73A+0.44$ بدست آمده برای این آزمایش اندازه‌گیری و نتایج برحسب سانتی متر مربع ارایه گردید. لازم به توضیح است که A حاصل‌ضرب بیشترین طول در بیشترین عرض و بر حسب سانتی متر می‌باشد.

برای اندازه‌گیری یون کادمیم در غده از روش جذب اتمی استفاده شد. نمونه‌های خشک شده پس از پودر شدن با اسید نیتریک ۴ مولار در حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد هضم و پس

Archive of SID

www.SID.ir

از صاف کردن عصاره، غلظت کادمیم بوسیله دستگاه جذب اتمی مدل GBC قرائت گردید(۳۶).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده در جدول‌های ۱ و ۲ و نتایج حاصل از اثرات کادمیم و تیمارهای شیمیایی بر پارامترهای اندازه گیری شده در جدول‌های ۳ الی ۵ ارائه شده است . در مقایسه با شاهد، کادمیم باعث کاهش معنی دار محتوای آب نسبی(۳۳/۵۶درصد)، کلروفیل a (۴۰/۶۶درصد)، کلروفیل b (۳۸/۵۰درصد) و کاروتنوئید (۶۴/۳۵درصد) گردید (جدول ۳). کاهش پارامترهای ذکر شده در بسیاری از گونه‌های گیاهی شامل کلم برگ (۲۴)، برنج (۴)، لوبیا (۳۴) و جو (۳۹) تحت تأثیر تنش کادمیم نیز گزارش شده است. کاهش محتوای آب نسبی و پارامترهای فتوسنتزی باعث ایجاد صدمات اکسیداتیو به غشاهای سلولی، پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش تولید ترکیباتی مثل مالون د آلدئید (MDA) می گردد و در گیاهانی مثل برنج (۴و۳۲)، لوبیا (۳۴ و ۴۴)، سیب زمینی (۱۱و۱۲)، چغندرقند (۰۱)، گندم (۳۱) و سویا (۱۷) نیز گزارش شده است. در آزمایش حاضر نیز تنش کادمیم به شدت باعث افزایش MDA در برگ (۱۳۸/۰۰درصد) گردید (جدول۳) که نشان‌دهنده شدت صدمات وارده به گیاه می باشد. هم‌چنین در این آزمایش، رشد ریشه به شدت تحت تأثیر تنش کادمیم قرار گرفت و در مقایسه با شاهد، وزن تر و خشک ریشه را به ترتیب ۵۲/۶۷ و ۶۷/۶۷ در صد کاهش داد (جدول۴). گزارش شده است که اثر کادمیم با کاهش رشد و بیوماس آشکار می شود و از آنجایی که ریشه اولین قسمتی از گیاه می باشد که در معرض سمیت فلزات سنگین قرار می‌گیرد، بنابراین بیوماس ریشه شدیدا" تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۰ ،۱۷و۲۲). کاهش شدید رشد ریشه در گیاه برنج (۵) و هویج و تربچه (۴۳) تحت تأثیر تنش کادمیم نیز مشاهده شده است. اختلال در جذب آب توسط گیاهان تحت تأثیر تنش کادمیم باعث کاهش فشار تورگر، قابلیت ارتجاعی دیواره سلول و وچک شدن سلول می گردد که کاهش پارامترهای رشد را به دنبال دارد (۴ ،۳و۱۷). در آزمایش حاضر نیز کاهش محتوای آب نسبی باعث کاهش کلیه پارامترهای رشد شامل تعداد برگ(۵۷/۵۰درصد)، ارتفاع(۵۱/۹۰درصد)، وزن تر برگ(۴۶/۹۰درصد)، وزن خشک برگ(۵۶/۸۷درصد)، طول ریشه(۵۴/۰۷درصد)، سطح برگ(۵۶/۰۹درصد)(جدول۴)، تعداد غده(۶۷/۱۷درصد)، وزن تر غده(۶۳/۱۷درصد)، وزن خشک غده(۶۳درصد)، وزن تر اندام هوایی (۵۲/۴۳ در صد)و وزن خشک اندام هوایی (۶۲/۷۲ در صد) گردید (جدول۵). تیمارهای شیمیایی سالیسیلیک اسید (SA) و سیلیسیم(Si) باعث بهبود بسیاری از صفات اندازه‌گیری شده گردیدند ولی ترکیب دو تیمار(Si+SA) تأثیر بیشتری داشت و در مقایسه با شاهد، باعث افزایش معنی‌دار کلیه صفات رشد و نمو و کاهش مالون دآلدئید در برگ گردید. با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش دو فاکتور (تیمارهای شیمیایی و کادمیم) بر صفات اندازه‌گیری شده (جدول‌های ۱ و ۲)، تأکید بر تفسیر نتایج اثر تیمارها در دو شرایط بدون تنش و با تنش کادمیم خواهد شد.

در شرایط غیر تنش کادمیم، تیمارهای شیمیایی باعث افزایش اکثر پارامترهای رشد و نمو شدند ولی ترکیب SA+Si موثرتراز بقیه تیمارها بود و در مقایسه با شاهد (بدون کادمیم) باعث افزایش معنی‌دار محتوای آب نسبی(۷/۱۸درصد)، کلروفیل a (۲۷/۱۸درصد)، کلروفیل b (۱۴/۸۰درصد)، کاروتنوئید (۲۹/۳۹درصد)، کاهش معنی‌دار مالون دآلدئید در برگ (۲۵/۲۴درصد) (جدول۳)، افزایش تعداد برگ (۱۳/۵۰درصد)، ارتفاع (۴۰/۱۹درصد)، وزن تر برگ (۱۶/۱۶درصد)، وزن خشک برگ (۴۹/۱۹درصد)، وزن تر ریشه (۳۷/۷۹درصد)، وزن خشک ریشه (۵۰/۱۱درصد)، طول ریشه (۱۷/۴۵درصد)، سطح برگ (۲۱/۸۳درصد) (جدول۴)، تعداد غده (۴۲/۱۵درصد)، وزن تر غده (۲۴/۱۷درصد)، وزن خشک غده (۳۶/۹۳درصد)، وزن تر اندام هوایی (۶۲/۶۱ درصد) و وزن خشک اندام هوایی (۳۳/۳۳ درصد) (جدول۵) گردید. در شرایط تنش کادمیم، اثر تیمارهای شیمیایی موثرتر از شرایط غیر تنش بود و گرچه کلیه

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. جدول تجزیه واریانس اثرسالیسیلیک، سیلیسیم و کادمیم بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در گیاهان تحت تنش کادمیم میانگین مربعات (MS)

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	مالون دآلدئید	سایر آلدئیدها	محتوای آب نسبی	نشت یونی	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	کلروفیل کل
تکرار	۲	۱/۱۸	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۷۱	۰/۰۷۷	۰/۰۰۰۸۷	۰/۰۰۱۰۵	۱/۲۸۴	۵۴/۹۸۴	۲/۵۳۹	۰/۰۰۹۵۳	۰/۰۰۳۷۶	۲/۷۷۰
کادمیم	۱	۱۹۹/۷۷**	۵۸/۵۹۸۸**	۲۱/۶۸**	۴۲/۹۰**	۰/۱۸۷**	۰/۱۷۴**	۶۰۵/۹۱۴*	۱۴۵۶/۱۰**	۱۰۸/۶۳**	۸/۷۴۸**	۲۳/۰۴۶**	۱۷۹/۱۹**
نیمارهای شیمیایی	۳	۶/۹۳**	۲/۶۱**	۰/۴۶۸**	۱/۵۳**	۰/۰۳۶**	۰/۰۲۹۱**	۸۰/۸۲۱**	۳/۷۵۰**	۹/۸۸۷**	۱/۹۸۹**	۰/۸۲۳**	۲۰/۶۲**
کادمیم×نیمارهای شیمیایی	۳	۱/۵۳**	۰/۵۳۲۱**	۰/۱۸۴**	۰/۱۱*	۰/۰۱۹**	۰/۰۱۱۱**	۳۷/۷۷۱**	۱۰۴/۳۰۴**	۰/۰۱۰۳۱*	۰/۴۸۵**	۰/۰۱۴۱*	۰/۵۰۰۴*
خطا	۱۴	۰/۲۲۷	۰/۰۵۶	۰/۰۱۳	۰/۰۹۳	۰/۰۰۰۱۸۷۵	۰/۰۰۰۴۶۰	۱/۵۶۷۱	۶/۰۴۹۹	۶/۳۰۳۷	۰/۰۰۳۴۷	۰/۰۱۱۵	۰/۳۱۰۱
CV		۳/۷۷۸	۵/۹۴۱	۷/۱۰۹۲	۷/۹۴۲۲	۴/۳۶۹۴۵۰	۷/۴۷۳۰	۲/۵۷۰۹	۴/۹۱۱۶	۵/۴۱۵۲	۱/۱۴۳۹	۴/۰۷۴۰	۳/۶۳۲

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۲. جدول تجزیه واریانس تیمارهای شیمیایی و کادمیم بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در گیاهان تحت تنش کادمیم میانگین مربعات (MS)

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد غده ( )	وزن تر غده ( )	وزن خشک غده ( )	وزن خشک اندام هوایی ( )	وزن تر اندام هوایی(g)	طول ریشه ( )	تعداد برگ( )	تعداد شاخه فرعی g	ارتفاع( )	سطح برگ
تکرار	۲	۲/۹۵	۶/۶۴	۵/۸۴	۰/۵۹	۱/۴۵	۰/۹۵	۱/۸۸	۱/۸۸	۰/۳۷۷	۰/۷۰۳۷
کادمیم	۱	۵۲۸/۵۹**	۹۵۶۸/۲۶**	۴۴۷/۰۱۱**	۲۹۷/۸۱**	۲۹۰۵/۱۷**	۱۴۸/۴۰**	۶۳۳۹/۱**	۴۹۳/۷۱**	۱۹۵۴/۷۴**	۸۱/۶۲**
تیمارهای شیمیایی	۳	۳۱/۹۹**	۳۲۹/۳۵**	۸/۱۹**	۴/۴۰۱**	۶۸۷۷**	۲/۳۷**	۱۹۹/۰۵**	۲۶/۰۴۷**	۵۹/۶۸**	۳/۲۲**
کادمیم×تیمارهای شیمیایی	۳	۲/۷۰**	۲۱/۲۴**	۰/۲۶۰*	۰/۴۱*	۱۰/۵۷**	۰/۳۱۱*	۵۸/۱۵**	۱/۴۷**	۱/۶۶**	۰/۴۳۷**
خطا	۱۴	۰/۴۳۹۵	۸/۱۹	۰/۲۲۹	۰/۳۹۶۶	۲/۶۸۷	۰/۲۰۱	۴/۸۸	۰/۳۴۲	۰/۶۰۱	۰/۱۵۹
CCV		۵/۲۰۴۸	۳/۹۳۵۶	۵/۸۹۷۵	۸/۱۸۵	۷/۴۲۸۶	۶/۲۴۱۵۳	۳/۷۲۳۵	۵/۲۷۴۵	۳/۷۰۶	۶/۰۶۹

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳. اثر تیمارهای شیمیایی برمحتوای آب نسبی و پارامترهای بیوشیمیایی برگ گیاهان تحت تنش کادمیم (یک ماه قبل از برداشت نهایی)

تیمارهای شیمیایی	کادمیم (میلی گرم برکیلوگرم خاک)	محتوای آب نسبی (درصد)	کلروفیل a (میلی گرم برگرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم برگرم وزن تر)	کاروتنوئید (میلی گرم برگرم وزن تر)	مالون دآلدئید (میکروگرم برگرم وزن تر)
شاهد	۰	۵۲/۳۵^{b}	۱۰/۴۵^{b}	۵/۳۵^{c}	۳/۱۷^{c}	۰/۲۵۰^{d}
	۱۲	۳۴/۷۸^{e}	۶/۲۰^{d}	۳/۲۹^{f}	۱/۱۳^{f}	۰/۵۹۶^{a}
سالیسیلیک اسید	۰	۵۳/۱۷^{b}	۱۲/۷۳^{a}	۵/۷۵^{b}	۳/۶۳^{b}	۰/۲۳۱^{d}
(۰/۱میلی‌مولار)	۱۲	۴۵/۱۸^{d}	۸/۴۵^{c}	۴/۹۱^{e}	۱/۷۷^{e}	۰/۳۵۲^{b}
سیلیسیم	۰	۵۳/۲۵^{b}	۱۲/۶۴^{a}	۵/۷۹^{b}	۳/۵۸^{b}	۰/۲۳۱^{d}
(۵میلی‌مولار)	۱۲	۴۶/۰۶^{cd}	۸/۳۰^{c}	۴/۸۰^{e}	۱/۶۹^{e}	۰/۳۶۴^{b}
سالیسیلیک	۰	۵۶/۰۱^{a}	۱۳/۳۱^{a}	۶/۱۳^{a}	۴/۰۷^{a}	۰/۱۸۶^{e}
اسید+سیلیسیم	۱۲	۴۸/۵۵^{c}	۹/۲۳^{c}	۵/۱۸^{d}	۲/۰۲^{d}	۰/۲۹۴^{c}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند ($P\leq 0.05$).

جدول۴. مقایسه میانگین تیمارهای شیمیایی و کادمیم بر پارامترهای رشد گیاهان تحت تنش کادمیم(در زمان برداشت)

تیمارهای شیمیایی	کادمیم (میلی‌گرم برکیلوگرم خاک)	تعداد برگ در گیاه	تعدادشاخه فرعی درگیاه	ارتفاع (سانتی‌متر)	وزن تر برگ (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	طول ریشه (سانتی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)
شاهد	۰	۶۶/۶۶^{b}	۱۱/۳۳^{c}	۲۵/۷^{c}	۱۳/۹۴^{b}	۴/۲۸^{cd}	۴/۱۳^{c}	۲^{c}	۸/۴^{c}	۷/۰۶^{bc}
	۱۲	۲۸/۳۳^{e}	۴/۶۶^{f}	۱۲/۳۶^{f}	۷/۴۰^{e}	۱/۸۸^{f}	۱/۹۳^{f}	۰/۶۶^{e}	۳/۸^{e}	۳/۱^{f}
سالیسیلیک اسید	۰	۷۱/۶۶^{ab}	۱۴^{b}	۳۱/۳^{b}	۱۴/۷۱^{b}	۴/۹۳^{bc}	۴/۸۰ ^{b}	۲/۲۶^{b}	۹/۵۳^{ab}	۸/۲۵^{a}
(۰/۱میلی‌مولار)	۱۲	۴۸/۳۳^{d}	۷/۳۳^{e}	۱۸/۸۳^{e}	۱۰/۶۶^{d}	۲/۹۲^{de}	۳/۰۸^{e}	۰/۹۹^{d}	۵/۴^{d}	۵/۳۳^{d}
سیلیسیم (۵میلی‌مولار)	۰	۷۱/۳۳^{ab}	۱۴/۳۳^{b}	۳۲/۴۶^{b}	۱۴/۶۹^{b}	۵/۰۸^{b}	۴/۸۳^{b}	۲/۱۶^{bc}	۸/۸^{bc}	۷/۸۵^{ab}
	۱۲	۴۸/۳۳^{d}	۷/۳۳^{e}	۱۸/۰۶^{e}	۱۰/۴۸^{d}	۲/۸۱^{e}	۲/۹^{e}	۰/۸۸^{d}	۵/۴۳^{d}	۵/۳۶^{d}
سالیسیلیک	۰	۷۵/۶۶^{a}	۱۸/۳۳^{a}	۳۶/۰۳^{a}	۱۶/۱۲^{a}	۶/۳۸^{a}	۵/۶۲^{a}	۳/۰۱^{a}	۹/۸^{a}	۸/۵۱^{a}
اسید+سیلیسیم	۱۲	۵۵/۶۶^{c}	۹/۶۶^{d}	۲۱/۵^{d}	۱۱/۸۸^{c}	۳/۴۲^{d}	۳/۳۹^{d}	۱/۰۲^{d}	۶/۰۷^{d}	۶/۱۶^{c}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می باشند ($P\leq 0.05$).

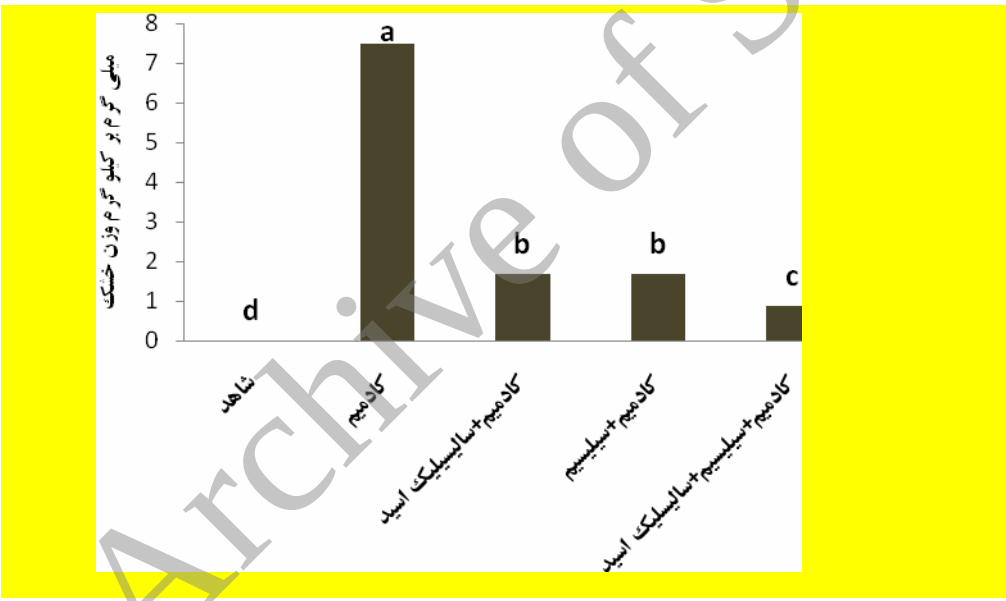
Archive of SID

www.SID.ir

جدول۵. مقایسه میانگین تیمارهای شیمیایی کادمیم بر پارامترهای رشد گیاهان تحت تنش کادمیم (در زمان برداشت)

تیمارهای شیمیایی	کادمیم (میلی‌گرم برکیلوگرم خاک)	تعدادغده درگیاه	وزن تر غده (گرم)	وزن خشک غده (گرم)	وزن خشک اندام هوایی(گرم)	وزن تراندام هوایی (گرم)
شاهد	۰	۱۴^{c}	۶۳/۸۲^{c}	۱۲/۶۳^{c}	۸/۴^{b}	۲۱/۴^{c}
	۱۲	۴/۶^{f}	۲۵/۲۵^{f}	۵/۳^{f}	۳/۱۳^{e}	۱۰/۱۸^{f}
سالیسیلیک اسید (۰/۱میلی مول)	۰	۱۵/۶^{b}	۷۸/۲۸^{b}	۱۵/۷۴^{b}	۱۰/۴^{a}	۳۱/۸^{b}
	۱۲	۹^{e}	۴۴/۳۳^{e}	۸/۷۰^{e}	۴/۷۶^{d}	۱۲/۹^{e}
سیلیسیم (۵میلی مول)	۰	۱۶/۳^{b}	۷۳/۴۲^{b}	۱۵/۴۳^{b}	۱۰/۳^{a}	۳۰/۹^{b}
	۱۲	۹/۶^{e}	۴۲/۵۹^{e}	۸/۴۷^{e}	۵/۳۸^{cd}	۱۳/۷^{e}
سالیسیلیک اسید+سیلیسیم	۰	۲۰^{a}	۸۰/۱۷^{a}	۱۷/۲۰^{a}	۱۱/۲^{a}	۳۴/۸^{a}
	۱۲	۱۲/۳^{d}	۴۹/۶۳^{d}	۹/۱۵^{d}	۶/۴۹^{c}	۱۷/۳^{d}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی دار با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن می باشند ($P\leq 0.05$).



نمودار۱. مقایسه میانگین تیمارهای شیمیایی برمیزان کادمیم جذب شده توسط غده‌های سیب‌زمینی درگیاهان تحت تنش کادمیم.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن می باشند ($P\leq 0.05$)

تیمارهای شیمیایی باعث بهبود پارامترهای اندازه‌گیری شدند ولی ترکیب SA+Si در بسیاری از موارد موثرتر از بقیه تیمارها بود و در مقایسه با شاهد (تنش کادمیم) باعث افزایش معنی‌دار محتوای آب نسبی (۴۰/۳۲ درصد)، کلروفیل a (۴۸/۳۵درصد)، کلروفیل b (۵۷/۴۲درصد)، کاروتنوئید (۷۸ /۷۱درصد) وکاهش معنی‌دار مالون دآلدئید در برگ (۵۰/۳۲ درصد) (جدول۳)، افزایش تعداد برگ (۹۵/۵۰ درصد)، ارتفاع (۷۳/۱۹ درصد)، وزن تر برگ (۶۰/۴۵ درصد)، وزن خشک برگ (۸۲/۱۲ درصد)، وزن تر ریشه (۷۶/۵۴ درصد)، وزن خشک ریشه (۵۵/۳۲درصد)، طول ریشه (۶۰/۳۲ درصد)، سطح برگ

Archive of SID

www.SID.ir

(۹۹/۳۲درصد) (جدول۴)، تعداد غده (۱۶۷/۱۵درصد)، وزن تر غده (۹۶/۳۲ درصد)، وزن خشک غده (۷۲/۳۲ درصد) (جدول۵) و هم‌چنین کاهش و تجمع غلظت کادمیم در غده‌های سیب زمینی(۸۸/۶۰ درصد) گردید (نمودار ۱). SA از طریق کاهش تولید MDA تولید شده طی تنش کادمیم در برگ و ریشه گیاه برنج (۲۹)، ذرت (۲۷) و سویا (۷) باعث کاهش خسارت گردیده است. احتمالاً SA از طریق افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی باعث کاهش پراکسیداسیون لیپید شده است (۲۹). غلظت ۰/۵ میلی مولار SA، باعث افزایش مقاومت گیاه جو در مقابل کادمیم (۲۰) و کاهش جذب فلز کادمیم در ریشه و اندام هوایی گیاهچه نخود (۲۶)، ذرت (۲۷ و ۳۸) و سویا (۷) گردید. هم‌چنین گزارش‌های متعددی در خصوص اثر مثبت Si در شرایط تنش کادمیم در نشاء برنج (۳۳)، توت فرنگی (۳۷) ،ذرت (۱۸و۲۵) و کلم (۳۵) وجود دارد. این ماده از طریق کاهش تجمع O_2^- و پراکسید هیدروژن و بنابراین کاهش پراکسیداسیون لیپیدها در برگ‌های تحت تنش باعث بهبود پارامترهای رشد می‌شود (۴، ۳۲و ۳۳). شی و همکاران (۳۳) نشان دادند که با مصرف Si سمیت کادمیم در نشاهای برنج به طور معنی داری کاهش یافت و چنین نتیجه گیری کردند که رسوب زیاد سیلیسیم در ناحیه آندودرم ریشه مسیر آپوپلاست را مسدود نموده و انتقال کادمیم از طریق مسیر آپوپلاست را کاهش می دهد. در مطالعه حاضر گرچه Si باعث افزایش کلیه پارامترهای رشد اندازه گیری در شرایط تنش و غیر تنش کادمیم شد ولی ترکیب آن با SA بسیار موثرتر از مصرف هر کدام به تنهایی بود که نشان دهنده دو مکانیزم متفاوت این دو ماده (کاهش جذب و کاهش انتقال) بر کاهش تنش کادمیم می‌باشد که به صورت افزایشی عمل کرده است. استفاده از ترکیب این دو ماده در آزمایش حاضر نشان‌دهنده برهمکنش مثبت این دو ماده در کاهش جذب وتجمع کادمیم در غده‌های سیب زمینی است که به عنوان روشی موثر برای حل مشکل جذب کادمیم در زمین های آلوده توصیه می شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کادمیم موجود در خاک به شدت باعث کاهش رشد و نمو و عملکرد غده سیب زمینی و تجمع بسیار زیاد آن در غده می‌شود که از نظر بهداشت و سلامتی انسان بسیار مضر وخطرناک است. استفاده از ترکیب سالیسیلیک اسید و سیلیسیم نه تنها باعث بهبود رشد و نمو و عملکرد ، بلکه باعث کاهش بسیار معنی دار تجمع کادمیم در غده‌ها می‌گردد و غلظت آن را به کمتر از ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک غده که حد استاندارد و قابل قبول می‌باشد می‌رساند و بنابراین با این توصیه ساده و کم هزینه می‌توان مشکل را در مزاعه آلوده به این عنصر کاهش داد.

سپاسگزاری

از مرکز بین المللی علوم تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی به دلیل پرداخت هزینه های طرح سپاسگزاری می‌گردد.

منابع مورد استفاده

1. Anonymous. 2005. Annual Agricultural Statistics. Ministry of Jihad-e- Agricuture of Iran.
2. Catinot, J. and J. P. Metraux. 2008. Salicylic acid production in response to biotic and abiotic stress depends on isochorismate in *Nicotiana benthamiana* L. *FEBS Letters* 582: 473-478.
3. Charaty, A. and M. Malekuty. 2004. Reducing cadmium and nitrates in paddy fields of North of the country (Interactive effects of zinc and cadmium on rice). Ministry of Agriculture, Department of Agronomy. (In Farsi).
4. Chien, H. F., J. W. Wang, C.C. Lin and C. H. Kao. 2001. Cadmium toxicity of rice leaves is mediated through lipid peroxidation. *Journal of Plant Growth Regulation* 33: 205 – 213.
5. Choundhury, S. and S. K. Panda. 2004. Role of salicylic acid in regulating cadmium induced oxidative stress in *oryza sativa* L. root. *Journal of Plant Physiology* 30: 95 – 110.
6. Dorba, M., V. Viman and G. Vact. 2006. Contribution to study of heavy metals concentration variation in sedimentable dusts according to the distance from the pollution source. *American Journal of Environmental Science* 2(3): 92-94

Archive of SID

www.SID.ir

7. Drazic, G. and N. Mihdilovic. 2005. Modification of cadmium toxicity in soybean seedling by salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45: 215-225.
8. Dunbar, K. P., M. J. Melaughlin and R. J. Reid. 2003. The uptake and partitioning of cadmium in two cultivar of potato (*Solanum tubersum* L.). *Journal of Experimental Botany* 349 -354.
9. Fuleky, G. and S. Barna. 2008. Biotesting of heavy metal pollution in the soil. *Journal of Earth and Environmental Sciences* 3 (2): 93 – 102.
10. Geegr, M. and E. Ogren. 1991. Direct and indirect effects of Cd on photosynthesis in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Physiologiae Plantarum* 83: 129 – 135.
11. Goncalves, J. F and J. Maldaner. 2009. Cadmium and mineral nutrient accumulation in potato plantlets grown under cadmium stress in two different experimental culture conditions. *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 814 – 821.
12. Goncalves, J. F. and L. A. Tabaldi. 2009. Cadmium induced oxidative stress in two potato cultivars. *Biometal* 22: 779 – 792.
13. Hayat, S. and A. Ahmad. 2007. Salicylic Acid a Plant Hormone. Speringer 15- 23.
14. Heath, R.L. and L. Paker. 1968. Photoperoxidation in isolate chloroplast, kinetin and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Physiology and Biochemistry* 125:189-198.
15. Jarup, L. and A. Akesson. 2009. Current status of cadmium as an environment health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology* 238(3): 201-208.
16. Jarup, L., M. Berglund and G. Elinda. 1998. Health effects of cadmium exposure- A review. *Scandinavian Journal of Environmental Health* 24: 1-52.
17. Keramat, B., K. H. Manouchehri Kalantare and M. J. Arvin. 2009. Effect of methyl jasmonate in regulation cadmium induced oxidative stress in soybean plant. *Journal of Plant Nutrition* 5: 240-244
18. Liang, Y. C., J. W. C. Wong and W. Long. 2005. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. *Chemosphere* 58: 475-483.
19. Lichenthaler, H. K. 1987. Chlorophyll and carotenoids pigments of photosynthetic biomembrance. *Methods in Enzymology* 149: 350-382
20. Metwally, A., E. Iris and G. Manfored. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barely seedling. *Plant Physiology* 132: 272 – 281.
21. Mishra, A. and M. A. Choudhuri. 1999. Effect of salicylic acid on heavy metal induced membrane deteriorartion mediated by lipoxgenase in rice. *Biologia Plantarum* 42(3): 409-415.
22. Moussa, H and S. Mohamed. 2010. Role of salicylic acid in regulation of cadmium toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Nutrition* 33: 1460-1471.
23. Neumann, D. and U. Z. Nieden. 2001. Silicon and heavy metals tolerance of higher plants. *Phytochemistry* 56: 685-692.
24. Pandey, N. and C. P . Sharma. 2002. Effect of heavy metals Co^{+2} , Ni^{+2} and Cd^{+2} on growth and metabolism of cabbage. *Plant Science* 163: 753 – 758.
25. Patriciak, L. and S. C. William. 2009. Silicon effect on metal tolerance and structural changes on maize (*Zea mays* L.) grown on a cadmium and zinc enriched soil. *Water Air and Soil Pollution* 197: 323 – 330.
26. Popova, L. P., L. T. Maslenkova, R. Y. Yordanova, A. P. Ivanovo, A. P. Kärnten, G. Szalai and T. Janda. 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 224 – 231.
27. Popova, L., A. Krante, R. Janda and G. Szalai. 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plant. *Journal of plant Physiology* 165 : 920 -931
28. Reid, R. J. and K. R. Dundar. 2003. Cadmium loading into potato tuber, the role of the periderm , xylem and phloem. *Plant Cell and Environment* 26: 201 -206.
29. Sanjib, K. and H. Kumar. 2007. Effect of Salicylic acid on cadmium- induced oxidative damage- in *oryza sativa* L. leaves. *Acta Physiologiae Plantarum* 29: 567-575
30. Savabegy, A. 1991. A review of imported phosphorus fertilizer application on the soil and plant cadmium. Research Institute of Soil and Water – Issue 822. Tehran, Iran (In Farsi).
31. Shafi, M. and G. Zhang. 2010. Effect of cadmium and salinity stress on root morphology of wheat. *Journal of Botany* 42(4): 2747 – 2754.
32. Shah, K., G. K. Ritambhara, S. Verma and R. S. Dubey. 2001. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Science* 161: 1135 – 1144
33. Shi, X., C. Zhang, H. Wang and F. Zhang. 2005. Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. *Plant and Soil* 272: 53-60.

Archive of SID

www.SID.ir

34. Smeets, K., A. Cuypers, A. Laberchts, B. Samane, P. Hoet, A. Van Laere and J. Vangronsveld. 2005. Induction of oxidative stress and antioxidative mechanism in *Phaseolus vulgaris* after Cd application. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 43:437-444.
35. Song, A. and J. Z. Zhojunli. 2009. Silicon enhanced resistance to cadmium toxicity in *Brassica chinensis* attributed to Si –suppressed cadmium uptake and transport. *Journal of Hazardous Material* 172: 74 – 83.
36. Soon, Y. K. and S. Abboud. 1993. Cadmium, Chromium, Lead and Nikle. PP. 103-107. *In*: M.R. Carter (Ed), Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Pub., Chelsea MI.
37. Trender,W. and G. Cieslinski. 2005. Effect of silicon application on cadmium uptake and distribution in strawberry plants grown on contaminated soils. *Journal of Plant Nutrition* 28: 917-929
38. Vaculik, M., A. Lux and M. Luxova. 2009. Silicon mitigates cadmium inhibitory effect in young maize plant. *Environmental and Experimental Botany* 67: 52-58.
39. Vassilev, A., F. C. Lidon, J. C. Ramallho, M. C. Matos and M. G. Barerio. 2004. Shoot cadmium accumulation and photosynthetic performance of barley plants exposed to high cadmium treatments. *Journal of Plant Nutrition* 27(5): 775 – 795.
40. Wang, L. G., Y. H. Wang, Q. Chen and F. C. Zhang. 2000. Silicon induced cadmium tolerance of rice seedling. *Journal of Plant Nutrition* 23:1397-1406.
41. Yamasaki, S and L. R. Dillenburg. 1999. Measurements of leaf relative water content in *Arucaria angustifolia*. *Revista Brasileria de Fisioterapia* 11(2): 69-75.
42. Zengin F. K. and O. Munzurogiu. 2005. Effect of some heavy metal on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean seedling. *Acta Biologica Cracoviensia* 47(2): 157-16
43. Zhang, C., L.Wang, Q. Nie and W. Zhang. 2008. Long - term effects of exogenous silicon on cadmium translocation and toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental and Experimental Botany* 62: 300 – 307.
44. Zheng, R.L., H.F. Li and Z.F. Shang. 2008. Cadmium accumulation in the edible parts of different cultivars of radish (*Raphanus sativus* L.) and carrot grown in a Cd- contaminated. *Bulletin of Environment Contamination and Toxicology* 81: 75 -79.

Archive of SID

www.SID.ir