

## گزارش کوتاه علمی

### تأثیر سیلیسیم بر پالایش زیستی کادمیم و سرب در اندام‌های گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea*)

حمیدرضا مبصر<sup>۱</sup>، حوا پورمند<sup>۲</sup>، داود اکبری‌نوده‌ی<sup>۱</sup> و \*معظم قاسمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه زراعت، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، ایران. <sup>۲</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، ایران. <sup>۳</sup>دانشجوی دکتری گروه زراعت، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۸

#### چکیده

**سابقه و هدف:** امروزه استفاده از انواع کودها و آفت‌کش‌ها، استخراج معادن، دفع انواع زباله‌های صنعتی و غیرصنعتی منجر به نابودی کلیدی‌ترین زیستگاه زمین، یعنی خاک می‌شود. در این راستا، حضور انواع آلاینده‌های آلی و معدنی در خاک، یکی از چالش‌هایی است که انسان با آن روبرو می‌باشد. سرب از اهمیت زیادی در فلزات سنگین برخوردار بوده و در بین فلزات خطرناک دومین رتبه را داشته و دارای اثرات بسیار سمی بر زندگی موجودات زنده است. کادمیم یکی دیگر از عناصر سنگین است که به‌علت سمیتی که برای انسان و حیوان دارد دارای اهمیت زیادی از دیدگاه محیط زیست است. مطالعات زیادی درباره ارتباط بین سیلیسیم و تحمل گیاهان به فلزات سنگین انجام گرفته، شواهد زیادی بر نقش سیلیسیم در اصلاح استرس‌های زیستی و غیرزیستی وجود دارد. این طرح پژوهشی به‌منظور کاهش سمیت کادمیم و سرب توسط سیلیسیم در گیاه اسفناج انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** به‌منظور بررسی مصرف سیلیسیم بر پالایش زیستی کادمیم و سرب در اسفناج، آزمایشی گلخانه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر در سال ۱۳۹۱ به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار انجام گردید. تیمارها شامل سیلیسیم، سرب، کادمیم، سرب + سیلیسیم، کادمیم + سیلیسیم و شاهد بودند. میزان مصرف سیلیسیم ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سیلیکات پتاسیم، سرب و کادمیم هر کدام به‌میزان ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، از منابع کلرید بود که به‌صورت خاکی مورد مصرف قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد حداکثر تجمع سرب در اندام هوایی و ریشه (به‌ترتیب ۴۲/۴۵ و ۱۷۸/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) با مصرف سرب به‌دست آمد. و تجمع آن در تیمار سرب + سیلیسیم (به‌ترتیب ۲۷/۸۲ و ۶۱/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) کم‌تر گردید. کم‌ترین طول اندام هوایی مربوط به مصرف کادمیم (۱۴/۰۶ سانتی‌متر) و حداقل طول ریشه مربوط به مصرف سرب (۱۰/۳۷ سانتی‌متر) به‌دست آمد که در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۴۲/۴ و ۲۸/۸ درصد کاهش یافتند. میانگین‌ها نشان داد کم‌ترین وزن تر بوته مربوط به مصرف جداگانه سرب و کادمیم و مصرف توأم کادمیم با سیلیسیم بود که در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۶۹/۱، ۶۹/۲ و ۶۵ درصد کاهش یافت.

\* مسئول مکاتبه: [moazam.ghasemi@gmail.com](mailto:moazam.ghasemi@gmail.com)

**نتیجه‌گیری:** نتایج این بررسی نشان داد مصرف سیلیسیم تأثیری بر طول اندام هوایی و ریشه در مقایسه با شاهد نداشت. همچنین مصرف این کود موجب کاهش تجمع سرب و همچنین کادمیوم در اندام هوایی و ریشه نیز گردید.

**واژه‌های کلیدی:** پالایش زیستی، سیلیسیم، کادمیم و سرب

### مقدمه

برخوردار بوده و در بین فلزات خطرناک دومین رتبه را داشته و دارای اثرات بسیار سمی بر زندگی موجودات زنده است (۲۲). منابع ورود سرب به خاک‌های کشاورزی شامل استفاده از کودهای حیوانی و شیمیایی، کاربرد کمپوست و آبیاری مزارع با فاضلاب تیمار شده از منابع شهری و یا کاربرد لجن فاضلاب به‌عنوان کود می‌باشند (۱). برخی عوامل خاکی مانند pH کم، غلظت کم فسفر خاک و فراوانی لیگاندهای آلی به‌عنوان عوامل افزایش‌دهنده جذب سرب توسط گیاه و انتقال سرب به اندام‌های هوایی گیاه شناخته شده‌اند (۱۷). کادمیم یکی دیگر از عناصر سنگین است که به‌علت سمیتی که برای انسان و حیوان دارد دارای اهمیت زیادی از دیدگاه محیط زیست است. سمیت و تجمع کادمیم در اندام‌ها از طریق خوردن غذای آلوده نقش مهمی در به مخاطره انداختن سلامتی انسان دارد. این عنصر طیف وسیعی از مسمومیت که شامل تخریب اعصاب، مسمومیت کبدی، مسمومیت کلیه، جنین ناقص‌الخلقه و آثار جهش‌زایی دارد. راه‌های پیدایش و ورود کادمیم به محیط از طریق ضایعات صنعتی ناشی از فرایندهای آبرکاری، تولید پلاستیک، معدنکاری، تولید مواد رنگی، تولید آلیاژها و باتری‌هاست (۱۰). قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه و انتقال آن به شاخساره گیاه زیاد است. این عنصر همچنین توانایی بالایی برای عبور از غشا سلولی ریشه دارد. همه این عوامل باعث شده که

اسفناج *Spinacia oleracea* L. از خانواده *Chenopodiaceae* مهم‌ترین سبزی‌های برگی است که به‌دلیل داشتن انواع مواد معدنی و ویتامین‌ها جایگاه ویژه‌ای در تغذیه انسان دارد. کشت و پرورش این گیاه در ایران سابقه چند هزار ساله دارد و بر این اساس ایران را جایگاه و منشأ اصلی اسفناج در دنیا می‌دانند. امروزه استفاده از انواع کودها و آفت‌کش‌ها، استخراج معادن، دفع انواع زباله‌های صنعتی و غیرصنعتی، به‌صورت آگاهانه و یا ناآگاهانه، منجر به نابودی کلیدی‌ترین زیستگاه زمین، یعنی خاک می‌شود. در این راستا، حضور انواع آلاینده‌های آلی و معدنی در خاک، یکی از چالش‌هایی است که انسان با آن روبرو می‌باشد (۴). در میان این آلاینده‌ها می‌توان به فلزات سنگین اشاره نمود که علاوه بر از بین بردن موجودات زنده خاک، آلوده نمودن آب‌های سطحی و زیرزمینی، وارد شدن به زنجیره غذایی و نفوذ به بدن موجودات زنده و به‌خصوص انسان را نیز به دنبال دارند (۳). گرچه خاک‌ها با مکانیسم‌های مختلف مانند رسوب، جذب سطحی و واکنش‌های احیا دارای ظرفیتی طبیعی برای کاهش قابلیت دسترسی و حرکت فلزات هستند، ولی زمانی که غلظت فلزات سنگین زیاد می‌شود، این آلاینده‌ها می‌توانند متحرک شده و در نتیجه آلودگی‌هایی برای محصولات کشاورزی و آب زیرزمینی ایجاد نمایند (۷). سرب از اهمیت زیادی در فلزات سنگین

قائم‌شهر به صورت طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار انجام شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل سیلیسیم، سرب، کادمیم، کادمیم + سیلیسیم، سرب + سیلیسیم و شاهد بودند. میزان مصرف سیلیسیم ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک از منبع سیلیکات پتاسیم، سرب به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک، از منبع کلرید سرب و کادمیم به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک از منبع کلرید کادمیم بوده است. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از اجرای آزمایش، اقدام به نمونه برداری از خاک کرده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد نمونه‌ها برای آنالیز به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل و ویژگی‌های شیمیایی مانند pH، هدایت الکتریکی، فسفر قابل جذب به روش السن (۱۹)، کربن آلی به روش الکی بلاک (۱۸)، کربنات کلسیم معادل به روش لوپرت (۱۶)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم یک مولار، عنصر کم مصرف روی، مس، آهن و منگنز به روش DTPA<sup>۱</sup> و بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سیلیسیم در خاک از روش پاگ (۲۰) و قرائت با دستگاه جذب اتمی استفاده گردید (جدول ۱).

خطر حضور کادمیوم در زنجیره غذایی بیش‌تر شود (۲۴). مطالعات زیادی درباره ارتباط بین سیلیسیم و تحمل گیاهان به فلزات سنگین انجام گرفته، شواهد زیادی بر نقش سیلیسیم در اصلاح استرس‌های زیستی و غیرزیستی وجود دارد (۱۳). اگر چه مکانیسم مورد بحث هنوز برای فهمیدن ضعیف هستند واضح است که سمیت فلزات در چندین گونه‌ها می‌تواند به وسیله سیلیسیم اصلاح شود (۲۵). مکانیسم اصلی اصلاح استرس‌های فلزات توسط سیلیسیم در گیاهان شامل: (۱) به هم پیچیدن یا ترکیب شدن فلزات با سیلیسیم (کمپلکس فلزات با سیلیسیم)، (۲) جلوگیری از انتقال فلزات از ریشه به سمت جوانه‌ها، (۳) تقسیم‌بندی کردن یون‌های فلزات در داخل گیاهان و (۴) برانگیختن سیستم آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاهان (۸). با توجه به اهمیت سیلیسیم در کاهش جذب فلزات سنگین، این طرح تحقیقاتی نیز به منظور کاهش سمیت کادمیم و سرب توسط سیلیسیم در گیاه اسفناج انجام شد.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرات سیلیسیم بر کاهش جذب عناصر کادمیم و سرب در گیاه اسفناج، آزمایشی به صورت گلدانی در دانشکده کشاورزی دانشگاه

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. The physical and chemical properties of soil.

عمق خاک (cm) Depth	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی ( $\text{dsm}^{-1}$ ) E.C.	ماده آلی (%) (O.M.)	سیلیسیم Si ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	اندازه ذرات خاک (%)			بافت خاک Texture of soil
					شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	
0-30	7.60	0.40	0.58	38	14	57	28	لوم رس سیلتی Silty clay Loam

1- Diethylene triamine pent ascetic acid

۳) و تجمع آن در تیمار سرب + سیلیسیم (به ترتیب ۲۷/۸۲ و ۶۱/۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) کم تر گردید، به عبارت دیگر مصرف سیلیسیم موجب کاهش تجمع سرب در اندام هوایی و ریشه (به ترتیب ۳۴/۴ و ۶۵/۲۷ درصد) شد. همچنین از جدول ۳ می توان دریافت که سرب در ریشه بیش تر از اندام هوایی تجمع یافت و کم ترین تجمع سرب در اندام هوایی و ریشه مربوط به مصرف سیلیسیم حاصل شد که در مقایسه با شاهد (به ترتیب ۹۵/۳ و ۸۷/۴ درصد) کاهش تجمع داشتیم. نتایج مقایسات میانگین نشان می دهد که بیش ترین تجمع کادمیم در اندام هوایی و ریشه (به ترتیب ۱۱/۱۸ و ۷/۱۲۹ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) با مصرف کادمیم حاصل گردید و میزان آن ها در تیمار کادمیم با سیلیسیم (به ترتیب ۸/۳۰ و ۴/۴۹ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) کاهش داشتند، به عبارت دیگر مصرف سیلیسیم موجب کاهش تجمع کادمیم در اندام هوایی و ریشه (به ترتیب ۲۵/۷ و ۳۷/۰ درصد) شد. همچنین میزان کادمیم در اندام هوایی بیش تر از ریشه تجمع داشت (جدول ۳). حداکثر میزان سیلیسیم در اندام هوایی و ریشه برای تیمارهای با مصرف سیلیسیم، سرب + سیلیسیم و کادمیم + سیلیسیم به دست آمد، به عبارت دیگر سرب و کادمیم مانع جذب سیلیسیم نشده است (جدول ۳).

در این آزمایش از ۲۴ عدد گلدان استفاده گردید که در هر یک هفت کیلوگرم خاک ریخته شد. سپس میزان مورد نیاز عناصر کم مصرف و پر مصرف (بر اساس آزمون خاک) محاسبه شد و با کل خاک مخلوط گردید. مقادیر مورد نیاز کود سیلیکاته و فلزات سنگین کادمیم و سرب بر مبنای تیمارهای آزمایش محاسبه و به هر گلدان اضافه شد. سپس ۸ بوته دوبرگی اسفناج در هر گلدان کاشته شدند و آبیاری نیز انجام گردید. صفاتی از قبیل طول اندام هوایی و ریشه، وزن تر بوته، غلظت یون کادمیم، سرب و سیلیسیم در اندام هوایی و ریشه اندازه گیری شدند (۶). تجزیه و تحلیل داده ها از طریق نرم افزار آماری MSTAT-C و میانگین ها از طریق آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردیده و نمودارها نیز با نرم افزار EXCEL ترسیم شدند.

### نتایج

جدول ۲ نشان می دهد تجمع سرب- کادمیم، میزان سیلیسیم در ریشه و اندام هوایی، طول اندام هوایی و ریشه و وزن تر بوته اسفناج از نظر آماری تحت تأثیر تیمارها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند.

میزان سرب، کادمیم و سیلیسیم اندام هوایی و ریشه: حداکثر تجمع سرب در اندام هوایی و ریشه (به ترتیب ۴۲/۴۵ و ۱۷۸/۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) با مصرف سرب به دست آمد (جدول

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و مقدار برخی از عناصر سنگین در اسفناج.

سیلیسیم		کادمیم ریشه		کادمیم اندام هوایی		سرب ریشه		سرب اندام هوایی		وزن تر بوته (gr)		طول ریشه (cm)		طول اندام هوایی (cm)		درجه آزادی		منابع تغییر	
(%)	ریشه (%)	(mg·kg <sup>-1</sup> )	Cadmium in root	(mg·kg <sup>-1</sup> )	Cadmium in shoot	(mg·kg <sup>-1</sup> )	Lead in root	(mg·kg <sup>-1</sup> )	Lead in shoot	Plant fresh weight	Length root	Length the shoot	Degree of freedom	Sources of variations					
Si in root	Si in shoot	Cadmium in root	Cadmium in shoot	Lead in root	Lead in shoot	Plant fresh weight	Length root	Length the shoot	Degree of freedom	Sources of variations									
6.72**	57.80**	30.55**	90.38**	19566.26**	1335.24**	132.44**	8.57**	62.02**	5	تیمار									
0.586	2.427	0.003	0.005	2.044	0.870	0.545	0.953	2.837	18	خطا									
44.24	332.69	8418.67	55974.17	97868.09	6691.87	672.02	59.99	361.20	23	کل									
8.78	8.17	2.21	1.95	3.20	7.57	6.84	8.07	8.67		Total									
										Cv									
										(Experiment error)									

\*\* و \* به ترتیب تفاوت معنی دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد.

\*\* and \* respectively significant at 1% and 5%.

جدول ۳- مقایسه میانگین تجمع کادمیم، سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) و سیلیسیم (درصد) در اندام هوایی و ریشه.

**Table 3. Mean comparison cadmium, lead (milligrams per kilogram) and silicon (%) aggregation in shoot and root.**

سیلیسیم ریشه Si in root	سیلیسیم اندام هوایی Si in shoot	کادمیم ریشه Cadmium in root	کادمیم اندام هوایی Cadmium in shoot	سرب ریشه Lead in root	سرب اندام هوایی Lead in shoot	تیمارها Treatments
7.02 <sup>b</sup>	12.70 <sup>c</sup>	0.707 <sup>c</sup>	0.707 <sup>c</sup>	6.87 <sup>c</sup>	1.28 <sup>c</sup>	شاهد Control
7.69 <sup>b</sup>	18.32 <sup>b</sup>	0.707 <sup>c</sup>	0.707 <sup>c</sup>	178.20 <sup>a</sup>	42.45 <sup>a</sup>	سرب Lead
8.02 <sup>b</sup>	17.27 <sup>b</sup>	7.129 <sup>a</sup>	11.18 <sup>a</sup>	4.57 <sup>d</sup>	1.02 <sup>c</sup>	کادمیم Cadmium
9.72 <sup>a</sup>	22.25 <sup>a</sup>	0.707 <sup>c</sup>	0.707 <sup>c</sup>	61.90 <sup>b</sup>	27.82 <sup>b</sup>	سرب + سیلیسیم Lead+Si
9.95 <sup>a</sup>	20.82 <sup>a</sup>	4.490 <sup>b</sup>	8.30 <sup>b</sup>	7.42 <sup>c</sup>	1.32 <sup>c</sup>	کادمیم + سیلیسیم Cadmium+Si
9.25 <sup>a</sup>	22.95 <sup>a</sup>	0.601 <sup>c</sup>	0.601 <sup>c</sup>	0.69 <sup>e</sup>	0.06 <sup>c</sup>	سیلیسیم Si

طبق آزمون دانکن حروف مشابه نشانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

According to Duncan same letters showed no significant difference in the level of 5%.

به دست آمد که در مقایسه با شاهد به ترتیب ۴/۴ و ۸/۲۸ درصد کاهش یافتند. مصرف سیلیسیم تأثیری بر طول اندام هوایی و ریشه در مقایسه با شاهد نداشت (جدول ۴).

طول اندام هوایی و ریشه: مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که کمترین طول اندام هوایی مربوط به مصرف کادمیم (۱۴/۰۶ سانتی متر) و حداقل طول ریشه مربوط به مصرف سرب (۱۰/۳۷ سانتی متر)

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک اسفناج.

**Table 4. Mean comparison of morphological traits spinach.**

وزن تر بوته (gr) Plant fresh weight	طول ریشه (cm) Length root	طول اندام هوایی (cm) Length the shoot	تیمار Treatments
17.40 <sup>a</sup>	14.38 <sup>a</sup>	24.44 <sup>a</sup>	شاهد Control
5.37 <sup>c</sup>	10.37 <sup>d</sup>	17.78 <sup>bc</sup>	سرب Lead
5.35 <sup>c</sup>	11.19 <sup>cd</sup>	14.06 <sup>d</sup>	کادمیم Cadmium
15.57 <sup>b</sup>	13.06 <sup>ab</sup>	23.37 <sup>a</sup>	سیلیسیم Si
15.02 <sup>b</sup>	12.37 <sup>bc</sup>	19.69 <sup>b</sup>	سیلیسیم + سرب Lead + Si
6.09 <sup>c</sup>	11.25 <sup>cd</sup>	17.06 <sup>c</sup>	سیلیسیم + کادمیم Cadmium + Si

طبق آزمون دانکن حروف مشابه نشانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

According to Duncan same letters showed no significant difference in the level of 5%.

وزن تر هر بوته: میانگین‌ها نشان داد کم‌ترین وزن تر بوته مربوط به مصرف جداگانه سرب و کادمیم و مصرف توأم کادمیم با سیلیسیم بود که در مقایسه با شاهد به ترتیب ۶۹/۱، ۶۹/۲ و ۶۵ درصد کاهش یافت (جدول ۳).

### بحث

لیانگ و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده کردند که با اضافه کردن ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سیلیسیم در خاک باعث افزایش محصول ماده خشک ذرت و کاهش انباشتگی کادمیم شد (۱۴). در گزارشی نشان داده شد که سمیت روی و کادمیم در گیاه ذرت به علت افزودن سیلیسیم در خاک کاهش یافته که موجب افزایش معنی‌دار حجم ریشه‌ها و عملکرد ماده خشک جوانه‌ها گردید (۱۱). کاهش اندازه و تعداد آوند چوبی بر اثر سمیت فلزات سنگین نقصان شدیدی در بازدهی و انتقال آب به وسیله گیاهان ایجاد می‌کند (۸). اما در پژوهشی کارینا و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که ضخامت آوند چوبی با کاربرد سیلیسیم در خاک آلوده به Zn و Cd در گیاه ذرت افزایش خطی داشت. هم‌زمان با افزایش قطر آوند چوبی بر اثر مصرف سیلیسیم در خاک آلوده به فلزات سنگین، طول ریشه‌های بلندتر و افزایش بیوماس جوانه‌ها در رشد ذرت نیز دیده شد (۱۱). به گفته اپستین (۱۹۹۹) سیلیسیم حالت هیدرولیکی سلول‌ها را به وسیله کم شدن میزان تعرق افزایش داد (۵). کارینا و همکاران (۲۰۰۸) دریافتند با افزودن سیلیسیم به خاک آلوده به فلزات، پهنک عرضی که توسط رگبرگ میانی و ضخامت مزوفیل در برگ‌های ذرت اشغال شده است افزایش یافت (۱۱). گونگ و همکاران (۲۰۰۵) نتایج مشابهی را در رابطه با ضخامت برگ‌های گندم تحت تأثیر با سیلیسیم نشان دادند. افزایش قطر آوند چوبی و ضخامت مزوفیل می‌تواند تحت تأثیر تغییرات

ساختمان میانی برگ توسط سیلیسیم قرار گیرد که سمیت فلزات سنگین را کم می‌کند (۸). کارینا و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند که بیش‌ترین بیوماس ذرت در خاک آلوده اصلاح‌شده با سیلیسیم بود (۱۱). مقدار جذب و تجمع فلزات سنگین در ساقه، ریشه و برگ با یکدیگر متفاوت بودند، به طوری که مقدار کادمیم جذب‌شده در ریشه اکالیپتوس در تیمار ۱۵ میلی‌مولار تقریباً ۵ برابر همین غلظت در برگ می‌باشد. به طوری که با افزایش غلظت کادمیم بر مقدار جذب‌شده در ساقه، برگ و ریشه به ترتیب افزایش یافت. غلظت کادمیم در ریشه اکالیپتوس نسبت به برگ به طور قابل توجهی بیش‌تر بود (۲۳). آزدو و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که کاربرد کادمیم سبب کاهش رشد آفتابگردان و کاهش تعداد و اندازه برگ‌ها و همچنین ایجاد کلروز (سبزی زردی) و نکروز (بافت مردگی) در برگ‌ها شده است (۲). افزودن سیلیسیم به خاک آلوده به کادمیم باعث افزایش خطی ضخامت اپیدرم عرضی و کاهش خطی ضخامت اپیدرم شعاعی می‌شود (۱۱). حسین و همکاران (۲۰۰۲) نیز افزایش ضخامت و سایز در سلول‌های اپیدرم برنج با تیمار سیلیسیم را نشان دادند (۹). بر طبق گزارش گونگ و همکاران (۲۰۰۵) نتیجه این چنین دگرگونی ساختمان اپیدرم سطحی دیواره سلول مربوط به سیلیسیم می‌باشد (۸). لی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند که با محلول‌پاشی سیلیسیم بر روی گیاه کاهو، باعث کاهش حجم آلودگی کادمیم و سرب در جوانه‌ها و ریشه این گیاه شدند و همچنین باعث افزایش بیوماس کاهو در شرایط استرس فلزات سنگین شد. همچنین در مزارع سبزی تحت آلودگی ملایم سرب و کادمیم، محلول‌پاشی سیلیسیم می‌تواند رشد گیاه را افزایش داده و باعث بالا رفتن حجم قند قابل حل و کاهش حجم نیتريت و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را برای رفع رادیکال‌های آزاد تحت استرس‌های سرب و

کاهش داد (۲۱). پژوهش‌ها نشان داد که گیاهان به مقدار زیادی به ذخیره سیلیسیم در آپوپلاست برای بالا بردن استحکام گیاه در برابر بیماری‌ها و ورس نیاز دارند، کاربرد سیلیسیم روی گیاهان باعث افزایش پهنک‌برگ، افزایش حجم کلروفیل و در نتیجه باعث بالا رفتن بازدهی فتوسنتزی گیاه و بالا رفتن استحکام اندام هوایی گیاه می‌شود (21).

کادمیم بالا می‌برد (۱۲). بعد از محلول‌پاشی سیلیسیم در برگ‌های برنج، سیلیسیم به سمت ریشه انتقال می‌یابد توانایی جذب سطحی دیواره سلولی برای فلزات سنگین افزایش می‌یابد. بدین گونه از انتقال کادمیم و سرب از ریشه به اندام هوایی جلوگیری به عمل می‌آید (۱۵). در گزارشی شی و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند که کاربرد ریشه‌ای سیلیسیم سمیت فلزات سنگین را در جوانه‌زنی برنج در خزانه

### منابع

1. Amini, M., Afioni, M., and Khademi, H. 2006. Odelling cadmium and lead balances in agricultural lands of Isfahan ragon, J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 10: 4. 90-77.
2. Azevedo, H., Gomes, C., Pinto, L., Fernandes, J., Loureiro, S., and Santos, C. 2005. Cadmium effects on sunflower growth and photosynthesis. J. Plant Nutr. 28: 2211-2220.
3. Bergkvist, P., Berggren, D., and Nicholas, J. 2005. Cadmium Solubility and Sorption in a Long-Term Sludge-Amended Arable Soil, Environmental Quality, 34: 1530-1538.
4. Clemente, R., De La Fuente, C., Moral, R., and Bernal, M.P. 2007. Changes in Microbial Biomass Parameters of a Heavy Metal-Contaminated Calcareous Soil during a Field Remediation Experiment, Published online June 27, Environmental Quality, 36: 1137-1144.
5. Epstein, E. 1999. Silicon. Annual Review of Plant Physiology, 50: 641-664.
6. Fallah, A. 2000. Effects of silicon and nitrogen on growth lodging and spike let filling in rice. Ph.D. Thesis, University of the Philippines Losbanos. 108p.
7. Fuentes, A., Llorens, M., Saez, J., Soler, A., Aguilar, M.I., Ortuno, J.F., and Meseguer, V.F. 2004. Simple and sequential extractions of heavy metals from different sewage sludges. Chemospher, 54: 1039-1047.
8. Gong, H.J., Zhu, X.Y., and Chen, K.M. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science, 169: 313-321.
9. Hossain, M.T., Mori, R., Wakabayashi, K.S.K., et al. 2002. Growth promotion and an increase in cell wall extensibility by silicon in rice and some other Poaceae seedlings. J. Plant Res. 115: 23-27.
10. John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., and Sharma, S. 2008. Effect of cadmium and lead on growth, biochemical parameters and uptake in *Lemna polyrrhiza* L. Plant Soil Environ. 54: 6. 262-270.
11. Karina Patrícia Vieira da Cunha & Clístenes Williams Araújo do Nascimento. 2008. Silicon Effects on Metal Tolerance and Structural Changes in Maize (*Zea mays* L.) Grown on a Cadmium and Zinc Enriched Soil. Water Air Soil Pollut (2009). 197: 323-330. DOI 10.1007/s11270-008-9814-9.
12. Li, Zhang, Sh., Xiaodong, D., Xinrong, L., and Rongping, W. 2013. Spraying silicon and/or cerium sols favorably mediated enhancement of Cd/Pb tolerance in Lettuce grown in combined Cd/Pb contaminated soil. International Symposium on Environmental Science and Technology. 18: 68-77.
13. Liang, Y., Sun, W., and Zhu, Y.G. 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. Environmental Pollution, 147: 422-428.
14. Liang, Y., Wong, J.W.C., and Wei, L. 2005. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. Chemosphere, 58: 475-483.



15. Liu, C.P., Li, F.B., Luo, C.L., Liu, X.M., Wang, S.H., Liu, T.X., and Li, X.D. 2009. Foliar application of two silica sols reduced cadmium accumulation in rice grains. *J. Hazard. Mater.* 161: 1466-1472.
16. Loeppert, R.H., and Donald, L.S. 1996. Carbonate and gypsum, P 437-575. In: Page AL (ed.) *Methods of Soil Analysis*. 3<sup>rd</sup>. American Society of Agronomy, Madison, WI.
17. Nazari, M.A., Shariatmadari, H., Afyuni, M., Mobli, M., and Rahili, Sh. 2006. Effect of Industrial Sewage-Sludge and Effluents Application on Concentration of Some Elements and Dry Matter Yield of Wheat, Barley and Corn. *J. Sci. Tech. Agric. Natur. Res.* 10: 3. 97-111. (In Persian)
18. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, P 539-579. In: Page, A.L. (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
19. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1953. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circ.* No 939.
20. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of soil analysis*. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. ASA and SSSSA. Madison, WI.
21. Rao, L.H., Qin, L.X., Zhu, Y.X. 1986. The effect of silicon on the morphological structure and physiology of hybrid rice (In Chinese). *Plant Physiology Communications*, 3: 20-24.
22. Savonina, E.Y., Chernova, R.K., Kozlova, L.M., and Fedotov, P.S. 2005. Fractionation and determination of different lead species in contaminated soils. *J. Anal. Chem.* 60: 9. 874-879.
23. Shariat, A., Asareh, M.H., and Ghanbarizare, A. 2010. The effect of cadmium on some physiological parameter in *Eucalyptus occidentalis*. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. soil and water sciences / Fourteenth yeae/ Number fifty-Three/Fall 1389*.
24. Sharifi, M., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2010. Effects of Animal Manure, Sewage Sludge, and Cadmium Chloride on Cadmium Uptake of Corn Shoots. *J. Water Wastewater.* 4: 98-103. (In Persian)
25. Shi, X.H., Zhang, C.C., and Wang, H. 2005. Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. *Plant Soil*, 272: 53-60 Shuyi.



## Short Technical Report

### Bio-refining effect of silicon on cadmium and lead in plant tissues of Spinach (*Spinacia oleracea* L.)

H.R. Mobasser<sup>1</sup>, H. Pourmand<sup>2</sup>, D. Akbari Nodehi<sup>1</sup> and \*M. Ghasemi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran,

<sup>2</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran,

<sup>3</sup>Ph.D. Student, Dept. of Agronomy, Science and Research Tehran Branch, Islamic Azad University,  
Tehran, Iran

Received: 01/21/2014; Accepted: 04/28/2015

#### Abstract

**Background and Objectives:** Nowadays the use of fertilizers and pesticides, mining, industrial and non-industrial waste disposal, results in the destruction of most important habitats i.e., the soils. In this regard, the presence of organic and mineral pollutants in the soil, is one of the challenges that human beings face. Lead has been of great importance in heavy metals and hazardous metals in the second rank and highly toxic effects on living organisms. Cadmium, another example of heavy metals due to its toxicity to humans and animals is of great importance from the viewpoint of the environment. Many studies about the relationship between the silicon and the tolerance of plants to heavy metals and the role of silicon in the modified biotic and abiotic stress have been done. This research project was performed to reduce the toxicity of cadmium and lead in spinach by silicon.

**Materials and Methods:** In order to investigate the use of bio-refining of silicon on cadmium and lead in spinach, a pot experiment was done in Qaemshahr Agriculture University in 2012 as a completely randomized design with four replications. Treatment include silicon (150 mg/kg of Potassium silicon), Pb (100 mg/kg of chloride), Cd (100 mg/kg of chloride), silicon+Pb, silicon+Cd and control as used soil.

**Results:** The results showed that the maximum concentration of lead in the shoots and roots (respectively 42.45 and 178.20 mg per kg dry matter) was obtained by taking the lead. The accumulations in the treatment of lead + Si (27.82 and 61.90 mg kg DM, respectively) were lower. The length of the shoots on the use of cadmium (14.06 inches) and a minimum length of root involving the use of lead (10.37 inches), decreased as 42.4 and 28.8 percent respectively. The lowest plant fresh weight of individual consumption of lead and cadmium and cadmium together with silicon consumption in comparison with control were 69.1, 69.2 and 65 percent.

**Conclusion:** The results showed the impact on silicon consumption during the shoot and root compared to the control. It also reduces the accumulation of lead and cadmium zinc application in shoot and root, respectively.

**Keywords:** Bio-refining, Silicon, Cadmium, Lead

\* Corresponding Authors; Email: moazam.ghasemi@gmail.com