Archive of SID

دوماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2017.114488.2068
جلد ۳۳، شماره ۵، صفحه ۸۷۰-۸۵۳ (۱۳۹۶)

تأثیر محلول‌پاشی نانو ذرات سیلیسیم بر برخی شاخص‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) در شرایط تنش فلز سنگین سرب

حمیده فاطمی[۱]، بهروز اسماعیل‌پور[۲*]، علی اشرف سلطانی طولارود[۳] و علی نعمت‌الله‌زاده[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، پست الکترونیک: behsmaiel@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۶ تاریخ اصلاح نهایی: شهریور ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۶

چکیده

سیلیسیم دومین عنصر فراوان در کره زمین می‌باشد که می‌تواند اثرات مضر فلزات سنگین را تخفیف دهد. به‌منظور بررسی اثر تغذیه با سطوح نانوذرات سیلیسیم بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژی گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) در شرایط تنش سرب، یک آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشگاه محقق اردبیلی با رطوبت نسبی ۴۰ تا ۵۰٪ و میانگین شدت نور ۴۳۴ لوکس در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل آلودگی خاک توسط محلول کلرید سرب در غلظت‌های شاهد، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و محلول‌پاشی با نانو ذرات سیلیسم (۰، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) بود. شاخص‌های مورفولوژیک مانند ارتفاع گیاه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، قطر ریشه و ساقه و شاخص‌های فیزیولوژیک شامل رنگریزه‌های فتوسنتزی، نشت غشاء، محتوی آب نسبی و شاخص‌های بیوشیمیایی شامل پرولین، کربوهیدرات محلول، فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدان اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تنش سرب بسیاری از صفات مورفولوژیک گیاه گشنیز مانند ارتفاع، وزن تر و خشک گیاه، قطر ریشه و ساقه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد، به‌طوری که با افزایش سطح سرب به‌ترتیب سبب کاهش ۵۷، ۵۰، ۲۰، ۴۱، ۱۵، ۴۲ و ۲۵ درصدی در صفات وزن تک بوته، وزن ریشه، قطر طوقه، قطر ریشه، طول ریشه، ارتفاع گیاه، سطح برگ و درصد ماده خشک برگ شد، اما تیمار محلول‌پاشی با ۳ میلی‌مولار نانوذرات سیلیسیم در بیشتر صفات مرفولوژیک موجب بهبود شرایط رشدی گیاه گشنیز در شرایط تنش گردید. به‌طوری که با افزایش غلظت سرب میزان کلروفیل a و b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و کربوهیدرات کل کاهش یافتند اما تیمار سیلیسیم سبب افزایش میزان آنها در گیاهان تحت تنش شد، درحالی که میزان پرولین، فنل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش غلظت تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای گیاه گشنیز استفاده از نانو ذرات سیلیسیم می‌تواند اثرات منفی تنش سرب را تا حد قابل قبولی کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: کلروفیل، تنش فلزات سنگین، فنل، فلاونوئید، نانوذرات.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

بررسی‌های سازمان بهداشت جهانی نشان داده است، در سال‌های اخیر استفاده از داروهای گیاهی به‌طور چشمگیری در سراسر جهان افزایش یافته است. با گسترش محبوبیت و تجارت گیاهان دارویی، سلامت، امنیت و کیفیت مواد خام گیاهان دارویی و محصولات فرآوری شده آنها به یک نگرانی عمده سازمان‌های جهانی تبدیل شده است. آلودگی‌های زیست محیطی، ازجمله فلزات سنگین یکی از معیارهای کنترل کیفیت گیاهان دارویی و محصولات فرآوری شده آنها می‌باشد (Asgari *et al*., 2015).

فلزات سنگین از مهمترین آلاینده‌های زیست محیطی می‌باشند، که شامل عناصری با عدد اتمی بالاتر از ۲۰ و چگالی بالاتر از ۵ گرم بر سانتی‌متر می‌شوند (Alloway, 2010). عناصری مانند سرب، کادمیوم و جیوه از عناصر سنگین بسیار مهم هستند که حتی در مقادیر کم نیز برای گیاه سمّی هستند. امروزه تجمع فلزات سنگین در بخش‌های مختلف گیاهان روغنی، سبزی‌ها و گیاهان دارویی به اثبات رسیده است (El-Rjoob *et al*., 2008). براساس تحقیقات انجام شده گاهی میزان این تجمع در ماده خشک برگ‌ها به ۱۰٪ می‌رسد. قرار گرفتن گیاهان در معرض غلظت‌های بالای فلزات مذکور نه تنها سبب کاهش در جوانه‌زنی بذر، کوتاه شدن ریشه و طول شاخساره، تولید زیست‌توده و سطح برگ می‌شود (Street *et al*., 2007)، بلکه ممکن است رشد و توسعه این گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (Rai *et al*., 2007؛ Rai & Mehrotra, 2008). این فلزات به‌دلیل متحرک بودن درون گیاه ممکن است با غیرفعال کردن گروه خاصی از آنزیم‌ها یا آسیب به فرایندهای بیوسنتزی خاص مانند آنزیم‌های درگیر در تولید متابولیت‌های ثانویه میزان آنها را کاهش دهند. علاوه‌بر اثرات زیانبار فلزات سنگین بر رشد و فیزیولوژی گیاه، آنها می‌توانند اثرات مضری همانند جهش‌زایی و سرطان‌زایی بر انسان و سایر جانداران نیز داشته باشند (Pais & Jones, 2000).

سرب اثرات سوئی نیز بر جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه و فرایند فتوسنتز دارد، همچنین سرب باعث کاهش طول ریشه (Lin *et al*., 2009)، کاهش تولید زیست‌توده، جلوگیری از سنتز کلروفیل و نیز تخریب سلول و آسیب به کروموزوم، کاهش جذب مواد معدنی و عدم تعادل در جذب آب و تغییر ساختمان و نفوذپذیری غشاءهای سلولی می‌شود (Estrella-Gomez *et al*., 2009).

پژوهش‌ها نشان داده است که سیلیسیم باعث افزایش رشد گیاهان می‌گردد، همچنین در بسیاری از موارد با تحریک رشد، افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاهش اکسیژن فعال در سلول‌های گیاهی موجب حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (Khoshgoftar Manesh, 2007). سیلیسیم برای برخی تیره‌های گیاهی ضروری به نظر می‌رسد. این عنصر می‌تواند باعث افزایش تولید و کیفیت محصول، کاهش تبخیر و تعرق، افزایش تحریک تولید برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش حساسیت به بعضی بیماری‌های قارچی شود (Khoshgoftar Manesh, 2007). اثرات مفید سیلیسیم در گیاهانی که تجمع سطوح بالایی از آن را در شاخه‌های خود دارند به خوبی آشکار است. ویژگی دیگر این است که وقتی گیاهان در معرض تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرند، سیلیسیم احتمالاً تنها عنصری است که قادر به افزایش مقاومت در برابر تنش‌های متعدد می‌باشد (Ma *et al*., 2002). علاوه‌بر آن محققان اثبات کردند که سیلیسیم می‌تواند اثرات منفی تنش‌های غیرزیستی (خشکی، دمای بالا، یخبندان و اشعه ماوراءبنفش) و شیمیایی (نمک، سمّیت فلزات، عدم تعادل عناصر غذایی) را بر رشد گیاهان کاهش دهد (Chen *et al*., 2011؛ Ahmed *et al*., 2011؛ Ma & Yamaji, 2008؛ Shahnaz *et al*., 2011). سیلیسیم با تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاه، تشکیل کمپلکس با فلزات سنگین و انتقال فلزات سنگین به اندام‌هایی مانند واکوئل سلول‌های گیاهی باعث کاهش اثرات تنش و سمّیت فلزات سنگین در گیاهان می‌شود (Liang *et al*., 2005). در

www.SID.ir

Archive of SID

آزمایشی روی لوبیا تحت تنش سرب، طول ریشه و شاخساره به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Zhiqiang *et al*., 2009). گیاه خردل هندی نیز کاهش رشد در غلظت ۶۴۵ میکروگرم بر کیلوگرم سرب در خاک را از خود نشان داد (Michalska & Asp, 2001). در بررسی تأثیر فلز سنگین سرب بر رشد کلم گزارش شد که وزن خشک گیاهان بعد از رشد در محیط آلوده به سرب، در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش یافته، به‌طوری که در غلظت‌های بالای سرب، وزن خشک بیشتر کاهش یافته بود (Sinha *et al*., 2006). البته افزایش غلظت سرب خاک سبب کاهش رشد طولی ریشه و ساقه در گیاه *Sesbania drummondi* L. می‌شود (Ruly *et al*., 2006).

گشنیز (Coriander) با نام علمی *Coriandrum sativum* L. گیاهی یک‌ساله از خانواده چتریان به‌عنوان سبزی و گیاه دارویی از جایگاه ویژه‌ای در زندگی انسان برخوردار است. مصرف گشنیز در درمان بیماری‌های عفونی مختلف مانند تب تیفوئید و به‌طور کلی بیماری‌های مختلف با منشأ کلی باسیل‌ها و تب‌های دانه‌ای توصیه شده است. (Prakash, 1990). گشنیز در صنایع غذایی و چاشنی در آشپزخانه، اسانس میوه در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی و روغن میوه در صنایع غذایی و دارویی کاربرد دارد (Sefidkon, 1999). با توجه به اینکه گشنیز یکی از سبزی‌ها و گیاهان دارویی پرمصرف می‌باشد و کشت وسیع آن در شرایط زمین‌های نامساعد و استفاده از آب‌های نامتعارف برای آبیاری این گیاهان غیرقابل اجتناب می‌باشد. این امر گیاه مذکور را در معرض خطرات ناشی از عناصر سنگین به‌ویژه سرب قرار می‌دهد. بیشتر تحقیقات انجام شده در رابطه با تأثیر عناصر سنگین روی گشنیز و سایر گیاهان دارویی مشابه بیشتر جنبه‌های اثرات زیانبار تجمع عناصر سنگین در این سبزی‌ها روی سلامت انسان را مورد توجه قرار داده‌اند (Shivhare & Sharma, 2012؛ Maleki *et al*., 2014؛ Girisha & Ragavendra, 2009). تأثیر عناصر سنگین روی جنبه‌های فیزیولوژیک گیاه و راه‌های احتمالی کاهش خطرات عناصر سنگین روی گیاه مورد بحث قرار گرفته است. از این‌رو این پژوهش به بررسی تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های نانو ذرات سیلیسیم بر تخفیف اثرات تنش سرب بر رشد گیاه گشنیز پایه‌ریزی و انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سرب (کلرید سرب) در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ppm به‌عنوان فاکتور اول، محلول‌پاشی با نانو ذرات سیلیسیم (۰، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) به‌عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد. بذر گشنیز با وزن هزاردانه ۹ گرم از رقم بومی شهرستان نهاوند تهیه گردید. نانو ذرات مورد مطالعه از شرکت نانوسانی تهیه شد که خصوصیات آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات ساختاری نانو ذرات سیلیسیم

خصوصیات ساختاری	مقدار
Thermogravimetric analysis (TGA)	۵±۰/۰۲
Inductively coupled plasma (ICP)	۴/۹±۰/۰۹
اندازه	۳۵-۲۰
درصد خلوص	۹۸
سطح فعال (g/m^2)	۴۶۱

www.SID.ir

Archive of SID

آماده‌سازی خاک

در ابتدا خاک مناسب سبزی‌کاری تهیه شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از قبیل بافت خاک، میزان ماده آلی، اسیدیته، هدایت الکتریکی و میزان آهک موجود مورد آزمایش قرار گرفت، که نتایج آنالیز آن در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Pb(ppm)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	بافت خاک	ماده آلی (٪)	آهک (٪)	اسیدیته	EC
۰	٪۵۰	٪۳۶	٪۱۴	لومی شنی	۱۴/۵	۱۹/۱	۷/۳	۲

به‌منظور اعمال تیمار آلودگی خاک (۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰۰ppm) از نمک کلرید سرب ($PbCl_2$) به‌صورت محلول تهیه و با ۱۰ کیلوگرم خاک در سطح ۷۵٪ ظرفیت زراعی مخلوط شد و به‌مدت ۶ ماه در شرایط خشک و تر قرار گرفت و در فواصل زمانی مشخص آنالیز خاک برای اطمینان از آلودگی انجام شد و پس از اطمینان از آلودگی خاک‌ها به غلظت‌های مشخص، تعداد ۱۵ عدد بذر با در نظر گرفتن تراکم مورد نظر برای گیاه در واحد مترمربع در گلدان‌های با قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر عمق ۳ سانتی‌متر خاک کشت شدند و در گلخانه با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۴۰ تا ۵۰٪ و میانگین شدت نور ۴۳۴ لوکس قرار گرفتند. آبیاری به‌صورت غرقابی انجام می‌شد، گلدان‌ها به‌صورت روزانه بازدید می‌شدند و در صورت ظهور علف‌های هرز و یا آفات و بیماری به‌سرعت در مراحل اولیه حذف می‌شدند.

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه

گیاهان تا مرحله گلدهی نگهداری (۴ ماه) و بعد داده‌برداری از خصوصیات مرفولوژی (تعداد برگ، تعداد ساقه، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، سطح برگ (۳ بوته از هر گلدان با دستگاه ACD انگلستان) و وزن خشک ساقه) انجام شد.

رنگریزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری رنگریزه‌های فتوسنتزی، شامل کلروفیل a و b و کارتنوئیدها، از برگ‌های تازه استفاده شد. بدین منظور ۰/۱ گرم از برگ تازه در داخل هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ ساییده و محلول حاصل به‌طور کامل به لوله‌های سانتریفیوژ منتقل گردید. سپس محلول به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و مقدار کلروفیل در محلول رویی براساس روش Arnon (۱۹۴۹) انجام شد. طبق این روش با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل جنوی انگلیس) مقدار جذب نوری محلول‌ها در طول موج ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت و مقدار کلروفیل a و b، کل و کارتنوئید براساس روابط زیر محاسبه گردید.

رابطه ۱ $Chla = (۱۲/۲۵)\,(A۶۶۳/۲) - (۲/۷۹۸)\,(A۶۴۶/۸)$

رابطه ۲ $Chb = (۲۱/۲۱)\,(A۶۴۶/۸) - (۵/۱)\,(A۶۶۳/۲)$

رابطه ۳ $ChlT = Chla + Chlb$

رابطه ۴ $Cartenoide = (۱۰۰۰A۱/۸-۴۷۰Chla\ ۸۵/۰۲-Chlb)\ ۱۹۸$

www.SID.ir

Archive of SID

در این فرمول‌ها Chla، Chlb، ChlT و Car به‌ترتیب غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها (شامل کاروتن‌ها و گزانتوفیل‌ها) است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار رنگریزه‌های فتوسنتزی برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و ارائه شد.

نشت یونی

به این منظور از برگ کاملاً توسعه یافته دیسک‌هایی تهیه و سه بار با آب دیونیزه شستشو شد. نمونه‌ها در ظرف سربسته حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه قرار گرفت، به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد روی شیکر تکان داده شد. پس از پایان زمان مورد نظر نمونه‌ها در طول موج ۲۸۰ نانومتر قرائت شد (Lt). سپس نمونه و محلول به مدت ۲۰ دقیقه در فشار ۱۲۱ پاسکال در اتوکلاو قرار داده شد و دوباره در طول موج ۲۸۰ نانومتر قرائت انجام شد (L0). برای محاسبه از فرمول زیر استفاده شد (Redmann *et al*., 1986).

$$\text{نشت مواد محلول (٪)} = \frac{Lt}{L0} * 100$$

محتوی نسبی آب

برای اندازه‌گیری این صفت ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ توسعه یافته هر گیاه (FW) را جدا کرده و بعد نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر شناور گردید. پس از گذشت این مدت وزن اشباع برگ اندازه‌گیری شد (TW). سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و بعد از گذشت این مدت وزن خشک (DW) آنها اندازه گرفته شد (Ritchie & Nguyen, 1990).

$$\%RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW}$$

پرولین

برای اندازه‌گیری محتوی پرولین مقدار ۰/۵ گرم بافت برگ تازه را به قطعات کوچکتر از ۵ میلی‌لیتر بریده و همراه با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ در یک هاون چینی به مدت ۳ دقیقه ساییده و محلول هموژنیزه شده توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف شده و با ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف شده با ۲ میلی‌لیتر نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص در یک لوله آزمایش ریخته شده و لوله‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بن‌ماری قرار گرفت. سپس به محلول واکنش در لوله آزمایش پس از سرد شدن ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید. به هر یک از لوله‌ها، به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردید. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز رنگی بالایی با دقت جدا و مقدار جذب در دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد آن براساس میکرومول پرولین بر گرم وزن تازه گیاه بدست آمد (Bates *et al*., 1973).

سنجش میزان کربوهیدرات

برای اندازه گیری میزان کربوهیدرات، ابتدا عصاره الکی از برگ‌ها تهیه شد. بدین‌منظور ۰/۱ گرم نمونه برگی با ۵ میلی لیتر اتانول ۸۰ درصد در هاون چینی کاملاً ساییده شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از جداشدن عصاره الکلی حاوی قندهای محلول و قسمت پایینی همراه با ۵ میلی لیتر اتانول ۸۰٪ دوباره برای تکرار عصاره‌گیری به بن‌ماری منتقل شد. عصاره بدست‌آمده به مدت ۱۰ دقیقه در سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. قسمت شفاف بالایی جدا شده و برای اندازه‌گیری مقدار قندهای محلول مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بعد، ۳ میلی لیتر از محلول انترون به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره اضافه شد و

www.SID.ir

Archive of SID

به‌مدت ۲۰ دقیقه در بن‌ماری ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت و مقدار قند محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر براساس استاندارد گلوکز و واحد میلی‌گرم بر گرم وزن تازه اندازه‌گیری شد (Irrigoyen *et al*., 1992).

تهیه عصاره برای سنجش ترکیب های فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

برای سنجش محتوی فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ابتدا عصاره‌گیری انجام شد. آنگاه اندام هوایی گیاهان بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه در سایه خشک شدند و عصاره آماده شد، بدین‌ترتیب به ۰/۱ گرم پودر خشک، ۱۰ میلی‌لیتر حلال متانول اضافه شد و پس از سانتریفیوژ در مراحل بعدی از این عصاره استفاده شد.

سنجش محتوی ترکیب‌های فنلی کل

محتوی فنلی با روش Marinova و همکاران (۲۰۰۵) و با استفاده از معرف فولین–سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. به ۰/۲ میلی لیتر عصاره، ۱/۸ میلی لیتر آب دو بار تقطیر و ۰/۲ معرف فولین–سیوکالتیو رقیق شده و پس از ۵ دقیقه ۰/۲ میلی لیتر محلول بی‌کربنات سدیم و ۰/۸میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و پس از ۹۰ دقیقه جذب نمونه ها در طول موج ۷۵۰ نانومتر قرائت شد. محتوی ترکیب های فنلی کل عصاره‌ها بر حسب میلی گرم اسید گالیک بر وزن خشک نمونه بیان گردید.

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی

۲و ۲ دی فنیل–۱– پیکریل هیدرازیل (DPPH) یک ترکیب رادیکالی پایدار با رنگ بنفش می‌باشد که با احیاء شدن توسط عناصر دهنده الکترون یا هیدروژن به دی فنیل پیکریل هیدرازین زرد رنگ تبدیل می‌شود. فعالیت پاکسازی رادیکال های آزاد DPPH براساس AKowuah و همکاران (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره به همراه ۳/۹ میلی لیتر عصاره DPPH اضافه شد و پس از ۳۰ دقیقه در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد و از رابطه زیر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محاسبه شد.

$$\text{درصد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی} = (A0\text{-}A)/A0 \times 100$$

تجزیه‌وتحلیل آماری

داده‌های حاصل از این آزمایش با نرم‌افزار آماری SAS 9.2 تجزیه‌وتحلیل شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام گردید.

نتایج

شاخص‌های مورفولوژیک

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثرات سرب، سیلیسیم و اثرات متقابل آنها بر بیشتر صفات مورفولوژیک در گیاه گشنیز در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود، به‌طوری که در بیشتر صفات مورفولوژیک مانند وزن تک بوته، وزن ریشه، قطر طوقه، تعداد برگ، قطر و طول ریشه تیمار ۳ میلی مولار سیلیسیم به همراه خاک بدون آلودگی بالاترین مقدار را برای این شاخص ها داشت و با بالارفتن میزان آلودگی سرب میزان این صفات به طور محسوسی کاهش پیدا کرد. هر چند تیمار با نانوذره سیلیسیم توانست سبب بهبود شرایط رشدی گیاه گشنیز در شرایط تنش شود (جدول ۵).

محتوی نسبی آب (RWC) و نشت غشاء

با توجه به تجزیه واریانس داده ها (جدول ۴) اثرات سیلیسیم و سرب و اثرات متقابل آنها بر صفات محتوی نسبی آب و نشت غشاء در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد و تنها اثر ساده سیلیسیم بر نشت غشاء تفاوت معنی داری را نشان نداد. سرب سبب کاهش ۲۹ و ۱۲ درصدی به ترتیب در صفات محتوی آب نسبی

www.SID.ir

Archive of SID

و نشت غشاء شد، اما ترکیب آن با محلول پاشی سیلیسیم در طی رشد سبب کاهش نشت غشاء گردید. بیشترین نشت غشاء در بالاترین غلظت سرب در شرایط بدون محلول پاشی (۸۵/۵٪) و کمترین (۴۴٪) آن در تیمار بدون سرب در ترکیب با بالاترین میزان سیلیسیم بدست آمد. به‌طوری که بیشترین محتوی نسبی آب در تیمار شاهد (۷۴٪) و کمترین مقدار آن نیز در بالاترین غلظت سرب در ترکیب با محلول‌پاشی سیلیسیم بدست آمد، البته در هر دو مورد بین غلظت‌های مختلف سیلیسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶).

رنگریزه‌های فتوسنتزی

اثرات سرب، سیلیسیم و اثرات متقابل آنها در سطح احتمال ۱٪ بر صفات رنگریزه‌های گیاهی معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج نشان داد با افزایش غلظت سرب میزان رنگریزه‌های فتوسنتزی کاهش یافت و تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سیلیسیم میزان کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید تغییر یافت. به‌طوری که بیشترین میزان کلروفیل، کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید در تیمار غلظت بالای سیلیسیم و خاک بدون سرب شد و کمترین میزان رنگریزه‌ها نیز در تیمار سرب ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بدون محلول‌پاشی با سیلیسیم مشاهده شد (جدول‌های ۵ و ۶).

محتوی پرولین

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) تأثیر نانو ذرات سیلیسیم و سرب و اثرات متقابل آنها بر محتوی پرولین گیاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. البته با بالارفتن سطوح تنش محتوی پرولین گیاه نیز افزایش یافت و بیشترین میزان آن در بالاترین سطح آلودگی با سرب مشاهده گردید، اما محلول‌پاشی با سیلیسیم توانست اثرات این تنش را تخفیف داده و محتوی پرولین گیاه را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. به‌طوری که بیشترین میزان پرولین (۵۷۰/۰ میکرومول پرولین بر گرم وزن تر) در غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب بدون کاربرد با سیلیسیم بدست آمد و کمترین آن (۱۶۰/۰ میکرومول پرولین بر گرم وزن تر) در تیمار خاک بدون آلودگی با سرب و ۳ میلی‌مولار سیلیسیم بدست آمد (جدول ۶).

کربوهیدرات

محتوی کربوهیدرات برگ گشنیز تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سرب، سیلیسیم و ترکیب تیماری این دو قرار گرفت (جدول ۴). به‌طوری که بیشترین میزان کربوهیدرات (۱/۸۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) در تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی نانو ذرات سلسیم بدست آمد و با افزایش غلظت تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم میزان کربوهیدرات به پایین‌ترین سطح خود (۰/۴۷ میلی‌گرم بر وزن تازه) کاهش یافت (جدول ۶)، اما محلول‌پاشی با نانو ذرات سیلیسیم توانست تا حدی این کاهش کربوهیدرات را در حضور سرب به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهد.

محتوی فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

محتوی فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر فاکتورهای سرب و نانو ذرات و اثرات متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۴). تیمار شاهد بالاترین میزان ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی را به خود اختصاص داد، هرچند حضور نانو ذرات سیلیسیم میزان این ظرفیت را تا حدی بالاتر برد، اما اختلاف معنی‌داری را در این تیمارها موجب نشد. کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۴۸٪) در تیمار سرب ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بدون محلول‌پاشی بدست آمد و در تمامی تیمارها نانو ذره سیلیسیم توانست میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی را بالا ببرد که این مسئله می‌تواند مبین این موضوع باشد که سرب به‌ویژه در غلظت بالا سبب تخریب سیستم و چره‌های داخل گیاه شده و سیستم‌های دفاعی را در گیاه از کار بیندازد، اما نانوذرات سیلیسیم سبب کاهش اثرات مخرب تنش شده و سبب بهبود این سیستم‌های دفاعی و مقابله گیاه با این اثرات شوند (جدول ۶).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر سرب و سیلیسیم بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه گشنیز

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		وزن بوته	وزن ریشه	قطر طوقه	تعداد برگ	قطر ریشه	طول ریشه	ارتفاع گیاه	سطح برگ	ماده خشک برگ	ماده خشک ریشه
تنش سرب	۳	۰/۳۴ **	۰/۰۰ **	۰/۰۹ **	۱/۸۲	۰/۳۷ **	۷/۴۶ **	۴۴/۲۳ **	۶۰۱۲۶/۱۸ **	۱۱/۱۲ **	۱۸۴/۵۱ **
سیلیسیم	۲	۰/۱۲ **	۰/۰۰ **	۱/۰۴ **	۰/۹۰	۰/۱۲ **	۱۷/۷۴ **	۴۰/۱۳ **	۸۶۳۳۳۸/۱۴ **	۶۷/۳۴ **	۸۲/۰۸ **
سرب× سیلیسیم	۶	۰/۰۲ **	۰/۰۰ **	۰/۲۱ **	۳/۸۱	۰/۰۰ **	۶/۹۲ **	۲۳/۹۷ **	۱۰۵۳۷/۸۸ **	۴۴/۸۸ **	۱۱۳/۹۲ **
اشتباه آزمایش	۳۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱۸	۰/۹۰۹	۰/۰۰۱	۰/۵۸۲	۴/۹۵۲	۸۷۷/۲۷	۳/۶۵	۴۲/۲۶ **
ضریب تغییرات (٪)		۳/۳۵	۲/۹۴	۷/۶۵	۱۶/۴۹	۵/۲۰	۶/۶۵	۸/۹۱	۱۰/۲۵	۱۱/۰۷	۲۰/۵۶

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و عدم تفاوت معنی‌داری است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر سرب و سیلیسیم بر ترکیبات بیوشیمیایی گیاه گشنیز

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		نشت غشا	محتوی آب نسبی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	پرولین	قند	فنل	فلاونویید	آنتی‌اکسیدان
تنش سرب	۳	۵۸۰/۷۶ **	۵۸۱/۳۱ **	۴۷۷/۵ **	۲۶/۴۶ **	۷۵۲/۳۵ **	۴۴/۱۳ **	۰/۱۱ **	۰/۵۳ **	۱۱۰۴/۲۸ **	۲۲۷۷/۲۸ **	۱۰۹۷/۵۸ **
سیلیسیم	۲	۱۲/۶۷ ns	۱۳۳/۱۳ **	۵۳/۶۲	۲۹/۲۲ **	۱۰۴/۵۹ **	۲۹/۷۸ **	۰/۹ **	۰/۰۰ ns	۱۴۲/۲۷ **	۲۳۰۷۷/۵۷ **	۲۴۷/۱۶ **
سرب× سیلیسیم	۶	۱۴۱/۵۰ **	۲۸/۱ **	۹۳/۷۳ **	۸/۹۵ **	۸۲/۶۶ **	۱۲/۱۴ **	۰/۰۲۲ **	۰/۶۵ **	۶۰۵/۸۷ **	۱۱۱۰/۱۸ **	۲۸/۸۴ **
اشتباه آزمایش	۳۶	۴۳/۳۸	۱/۵۲	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۳۰	۰/۰۰۵	۰/۰	۰/۹۰	۴۷/۷۷	۰/۶۲
ضریب تغییرات		۵/۶۶	۱/۳۰	۱۱/۸۴	۴/۹۳	۰/۹۹	۴/۹۱	۲۴/۵۴	۸/۹۹	۱/۱۴	۶/۹۶	۱/۳۰

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و عدم تفاوت معنی‌داری است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر سرب و سیلیسیم بر خصوصیات رشدی گیاه گشنیز

سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	سیلیسیم (میلی‌مولار)	وزن تک‌بوته (گرم)	وزن ریشه (گرم)	قطر طوقه (سانتی‌متر)	تعداد برگ	قطر ریشه (سانتی‌متر)	طول ریشه (سانتی‌متر)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	سطح برگ (میلی‌متر مربع)	ماده خشک برگ (٪)	ماده خشک ریشه (٪)	کلروفیل a (میلی‌گرم وزن تازه)
	۰	۰/۴۱ c	۰/۰۵۲ e	۱/۱۹ f	۶ ab	۰/۹۱ c	۱۰/۹ ed	۲۳/۹ cd	۲۳۶/۲۵ ghf	۵/۳ bcd	۰/۰۱۳ b	۳۲/۸۴ cde
۰	۱/۵	۰/۷۰ b	۰/۰۶ c	۲/۰۲ b	۶/۶۵ a	۱/۰۴ b	۱۴/۸۲ a	۳۰/۱۳ a	۳۹۱/۲۵ b	۷/۷ a	۰/۰۱۸ ab	۴۳/۵ a
	۳	۰/۷۴ a	۰/۰۸۷ a	۲/۲۹ a	۵/۴ abc	۱/۱۴ a	۱۱/۶۲ bcd	۲۶/۶۶ bc	۵۳۱/۵ a	۶/۱ abcd	۰/۰۲۶ ab	۴۰/۶۵ ab
	۰	۰/۲۹ g	۰/۰۴۳ g	۱/۵۳ d	۵ bc	۰/۷۷ d	۹/۸۷ ef	۲۳/۱۶ d	۲۲۵ ghi	۵/۷ abcd	۰/۰۰۹ b	۳۱ def
۵۰۰	۱/۵	۰/۲۹ g	۰/۰۶۰ d	۱/۸۵ c	۵/۵۶ bc	۰/۸۳ d	۱۰/۰۳ ef	۲۲/۴۳ ed	۳۰۴/۵ dc	۶/۱ abcd	۰/۰۱۱ b	۳۶/۸۵ bc
	۳	۰/۳۱ f	۰/۰۷۹ b	۱/۹۲ bc	۵/۴ abc	۰/۹۱ c	۱۲/۲۵ bc	۲۴ cd	۳۴۲/۲۵ c	۷/۳ ab	۰/۰۱۹ b	۳۹ ab
	۰	۰/۲۰ i	۰/۰۴ h	۱/۴۱ ed	۵/۵ abc	۰/۷۰ e	۹ f	۱۹/۷ e	۱۹۵/۲۵ hi	۴/۹ dc	۰/۰۰۶ b	۲۸/۳۲ ef
۱۰۰۰	۱/۵	۰/۳۱ f	۰/۰۴۳ g	۱/۵۱ d	۶ ab	۰/۷۷ d	۱۱/۸۳ bcd	۲۲/۴۳ ed	۲۲۲/۵ ghi	۵/۷ abcd	۰/۰۴۴ a	۳۰/۲۱ ef
	۳	۰/۳۶ d	۰/۰۵ f	۱/۸۷ c	۷ a	۰/۸۲ d	۱۲/۰۳ bcd	۲۷/۵۳ ab	۲۹۴/۷۵ ed	۶/۷ abc	۰/۰۱۹ ab	۳۸/۲۳ abc
	۰	۰/۱۸ j	۰/۰۲۶ j	۱/۳۳ e	۶/۶۵ a	۰/۴۷ f	۱۱/۲۵ cd	۲۲/۰۶ ed	۱۸۶/۵ i	۴ d	۰/۰۰۶ b	۲۰/۷۵ g
۱۵۰۰	۱/۵	۰/۲۶ h	۰/۰۳۵ i	۱/۴۴ ed	۴ c	۰/۶۵ e	۱۱/۳۵ cd	۲۴/۲۶ bcd	۲۲۲/۵ ghi	۵ dc	۰/۰۰۹ b	۲۵ f
	۳	۰/۳۴ e	۰/۰۵۰ f	۱/۵۳ d	۶/۲۵ ab	۰/۶۹ e	۱۲/۶۵ b	۲۲ ed	۲۵۸ efg	۵/۲ bcd	۰/۰۱۰ b	۲۹/۵۳ ef

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون LSD نشان نمی‌دهند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر سرب و سیلیسیم بر خصوصیات رشدی گیاه گشنیز

سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	سیلیسیم (میلی‌مولار)	کلروفیل ب (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)	کارتنویید (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)	پرولین (میکرومول پرولین بر گرم وزن تر)	کربوهیدرات (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)	محتوی فنل (میلی‌گرم اسیدگالیک/گرم وزن خشک)	آنتی‌اکسیدان (٪)	محتوی آب نسبی	نشت غشاء (٪)
	۰	۶/۴۰ efd	۴۳/۲۶ d	۹/۲۶ e	۰/۱۶ e	۱/۸۴ a	۶۷/۴۳ h	۷۳/۴۸ a	۷۳/۸۹ a	۵۳/۶۶ g
۰	۱/۵	۹/۴۱ c	۴۶/۲۶ c	۱۲/۲۶ c	۰/۱۶ e	۰/۹۸ edf	۹۰/۶۴ c	۷۳/۹۵ a	۷۴/۷۷ a	۴۸/۸۸ i
	۳	۱۲/۱۳ a	۵۲/۷۹ a	۱۵/۶۲ a	۰/۱۶ e	۰/۷۴ cde	۶۱/۲۱ i	۷۴/۴۱ a	۷۴/۱۰ a	۴۴/۴۱ jh
	۰	۶/۲۶ ef	۴۰ e	۷/۲۵ f	۰/۳۶ bc	۱/۰۲ cd	۸۰/۲۵ f	۵۴/۴۱ g	۷۰/۰۲ ab	۷۱/۷۵ d
۵۰۰	۱/۵	۹/۸ c	۴۶/۶۶ c	۱۳/۰۷ c	۰/۳۲ cd	۱/۰۸ c	۱۰۰/۲۵ a	۶۲/۶۷ c	۶۴/۱۳ cd	۶۲ e
	۳	۱۱ b	۴۸ b	۱۴ b	۰/۲۹ cd	۱/۱۵ ef	۹۹/۴۲ a	۶۶/۰۴ b	۷۱/۷۰ ab	۵۱/۶۳ h
	۰	۶/۸۴ ed	۳۵/۱۷ g	۹/۵ e	۰/۴۴ b	۰/۸۸ b	۸۵/۵۱ d	۵۱/۱۵ h	۵۹/۹۲ de	۸۲/۲۵ b
۱۰۰۰	۱/۵	۷/۰۶ d	۳۷/۲۷ f	۱۱/۰۷ d	۰/۳۴ bcd	۱/۳۷ b	۸۳/۸۴ e	۵۸/۱۵ e	۷۰/۸۷ ab	۷۱/۱۹ d
	۳	۹/۸۳ c	۴۸/۰۷ b	۱۲/۹۴ c	۰/۲۲ ed	۱/۳۹ g	۹۵/۶۴ b	۶۱/۳۹ a	۶۷/۷۳ bc	۶۰/۵۹ f
	۰	۵/۸۹ f	۲۶/۶۴ j	۷/۷۶ f	۰/۵۷ a	۰/۴۷ f	۸۵/۱۲ ed	۴۸ j	۵۵/۶۶ e	۸۵/۵۰ a
۱۵۰۰	۱/۵	۶ f	۳۰ i	۸ f	۰/۳۸ bc	۰/۸۱ ed	۶۷/۱۷ h	۵۰ i	۶۳/۱۵ cd	۸۲/۲۵ b
	۳	۷/۰۸ d	۶۷/۳۳ h	۹/۶۷ e	۰/۲۳ ed	۰/۹۸ edf	۶۷/۹۲ g	۵۶/۵۵ f	۵۵/۲۸ e	۸۰/۷۵ c

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون LSD نشان نمی‌دهند.

www.SID.ir

Archive of SID

بحث

سرب به‌دلیل انباشت زیاد در بخش‌های سطحی خاک به راحتی در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و با جذب از طریق ریشه‌ها موجب تغییر در برخی فرایندهای متابولیکی گیاه و اختلال در رشد و نمو آنها می‌شود (Parsadoost *et al*., 2007). مسمومیت با سرب در درجه اول بازدارنده رشد ریشه است و کاهش توسعه سیستم ریشه‌ای به محدود شدن رشد بخش هوایی هم منتهی می‌شود. کاهش رشد ریشه و بخش هوایی تحت تنش سرب می‌تواند به‌دلیل تجمع زیاد سرب در ریشه و لیگنینی شدن دیواره تحت تأثیر فلز سنگین باشد (Almeida *et al*., 2007). کاهش فتوسنتز در نتیجه اختلال در ساختار کلروپلاست، ممانعت از ساخت کلروفیل، پلاستوکوئینون و کاروتنوئیدها، جلوگیری از انتقال الکترون، جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های چرخه کلوین و کمبود دی‌اکسیدکربن به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها ایجاد می‌شود که همه این موارد به کاهش رشد و توسعه گیاه می‌انجامد (Akinci *et al*., 2010). با افزایش غلظت سرب در خاک، مقدار سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافته است. ریشه‌های گیاه به سرعت از طریق کاهش رشد و تغییر در الگوی انشعابات، به سرب جذب شده واکنش نشان می‌دهند. همچنین براساس برخی تحقیقات، کاهش رشد ریشه ممکن است به‌دلیل لیگنینه شدن دیواره سلولی تحت تنش فلز سنگین (Almeida *et al*., 2007) یا در اثر مستقیم تنش فلز بر هسته سلولی باشد. اثرات سودمند سیلیسیم در رشد، توسعه و تحمل گیاهان در برابر تنش فلزات سنگین در برخی از گونه‌های گیاهی گزارش شده‌است (Ye *et al*., 2012؛ Prabagar *et al*., 2011). محققان زیادی گزارش کردند که سیلیسیم در رشد و ارتفاع و عملکرد گیاهان و همچنین در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان مختلف، اثرات مثبت بیشماری را دارد (Gong *et al*., 2003؛ Amiri *et al*., 2014). افزایش عملکرد و تعداد میوه در هر بوته گیاه کدو در شرایط تنش با کاربرد ۱ میلی‌مولار سیلیسیم در محلول غذایی مشاهده شده‌است (Savves *et al*., 2002). گزارش شده‌است که سیلیسیم استحکام برگ‌ها را افزایش و پیری برگ را به تأخیر انداخته و میزان کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو و سرعت فتوسنتز را افزایش می‌دهد (Liang *et al*., 2007؛ Liu *et al*., 2013). تأثیر مثبت سیلیسیم بر افزایش حجم و وزن ریشه‌ها در شرایط تنش گزارش شده‌است (Al-aghabary *et al*., 2004).

در حالت کلی با افزایش غلظت سرب، محتوی نسبی آب برگ گیاهان کاهش می‌یابد. بسیاری از فلزات سنگین فعالیت پروتئین‌های کانالی آب را در گیاهان تغییر می‌دهند، روزنه‌های برگ را می‌بندند، درنتیجه جریان آب را در گیاه متوقف می‌سازند (Sharma & Dubey, 2005). سرب در ریشه‌ها بر اساس اتصال به محل‌های تغییرپذیر یون، روی دیواره سلول‌ها و رسوب فوق سلولی و اساساً به شکل کربنات سرب ذخیره شده در دیواره سلول‌ها می‌باشد (Soltani *et al*., 2006). کاهش تعرق و محتوی آب در گیاهان تیمار شده با سرب را می‌توان به اختلال در رشد گیاه که به کاهش سطح برگ و اندام‌های دخیل در عمل تعرق، کوچک ماندن سلول‌های محافظ روزنه، کاهش مقدار ترکیب‌های نگهدارنده تورژسانس سلولی و نیز خاصیت انعطاف‌پذیری دیواره سلولی، افزایش مقدار ABA و اختلال در تنفس و فسفولارسیون اکسیداتیو نسبت داد (Seregin & Ivanov, 2001). سرب در گیاه می‌تواند با کاهش اندازه و تعداد سلول‌های نگهبان روزنه، کاهش انتقال آب به برگ‌ها و کاهش سطح برگ، آسیب دیواره سلولی و در نتیجه اختلال در سرعت تعرق برگ و بروز تغییرات فراساختاری در اندامک‌های سلول، محتوی نسبی آب برگ را کاهش دهد (Cenkci *et al*., 2010).

www.SID.ir

Archive of SID

سیلیسیم به شکل سیلیکا ($SiO_2.nH_2O$) در آپوپلاست دیواره سلولی رسوب کرده و باعث استحکام بافت می‌گردد، زمانی که دیواره سلولی سخت‌تر می‌شود، در اثر پسابیدگی برگ، کاهش بیشتری در قابلیت آب اتفاق می‌افتد، پس در محتوی نسبی آب مورد نظر شیب قابلیت آبی از برگ تا خاک در تیمار سیلیسیم در مقایسه با تیمار شاهد منفی‌تر است (Sang *et al*., 2002). کاربرد سیلیسیم در محیط رشد گیاه باعث کاهش نفوذپذیری غشاء پلاسمایی سلول‌های برگ شده و ساختار کلروپلاست‌ها را که آسیب‌پذیری زیادی در اثر سمّیت ناشی از تنش دارند، بهبود می‌بخشد. در واقع سیلیسیم روی ساختار و کارکرد غشاء پلاسمایی مؤثر است. نتایج بدست‌آمده از اندازه‌گیری پایداری غشاء سلولی تحت شرایط تنش نشان می‌دهد که سیلیسیم ممکن است به‌وسیله کاهش در نفوذپذیری غشاء سلولی و همچنین ممانعت از پراکسید شدن غشاء پلاسمایی و پایداری آن در شرایط تنش باعث کاهش اثر سمّیت شده و رشد گیاه را بهبود می‌دهد (Zhu *et al*., 2004).

یکی از علل کاهش مقدار کلروفیل، مهار بیوسنتز آن به‌وسیله فلزات سنگین به‌ویژه سرب است. فلزات سنگین به‌وسیله جلوگیری از سنتز آنزیم‌های گاما-آمینولوالونیک اسید دهیدوژناز و ممانعت از تشکیل کمپلکس پروتوکلروفیلد ردوکتاز سبب مهار بیوسنتز کلروفیل می‌شوند. برهم‌کنش متقابل فلز سنگین با گروه سولفیدریل آنزیم‌ها مهمترین سازوکار این مهارها عنوان شده‌است (Khatibi *et al*., 2008). بنابراین به نظر می‌رسد که تأثیر مثبت سیلیسیم به‌دلیل رسوب آن در پهنک برگ، تأثیر بر ساختار کلروپلاست و نیز افزایش غلظت برگ در واحد سطح شود که سبب بالا بردن توانایی گیاه در استفاده از نور می‌شود. برخی محققان نیز این افزایش را به علت تأثیر سیلیسیم در افزایش کارایی فتوسیستم II دانستند (Torabi *et al*., 2013).

سرب با جلوگیری از سنتز کلروفیل تأثیر منفی بر فرایند فتوسنتز دارد، بدین‌ترتیب که با جلوگیری از جذب عناصر ضروری مثل Mg و Fe از سنتز کلروفیل جلوگیری می‌کند. دستگاه فتوسنتز نیز به‌دلیل محدودیت لیگاندهای پروتئینی N–S– تخریب می‌شود و افزایش فعالیت کلروفیلاز نیز سبب افزایش تخریب کلروفیل در شرایط فراوانی سرب می‌شود و کاهش مقدار کاروتنوئیدها احتمالاً به‌دلیل فروپاشی ساختار آنها در اثر سمّیت سرب بود (Sharma & Dubey, 2005). تخریب کلروفیل در گیاهان تیمار شده با سرب ناشی از افزایش فعالیت کلروفیلاز می‌باشد (Piotrowska *et al*., 2010). در شرایط کمبود سیلیسیم سنتز کلروفیل و در پی آن میزان فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد که دلیل این امر را می‌توان به نقش سیلیسیم در زنجیره فتوسنتزی و ممانعت از تخریب زنجیره کلروفیلی توسط سیلیسیم نسبت داد (Agarie *et al*., 1993). البته تأثیر سیلیسیم در افزایش تولید آنزیم رابیسکو نیز توسط دیگر محققان گزارش شده‌است (Adtina & Beasford, 1986).

افزایش محتوی پرولین در تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی، در واقع یکی از سازوکارهای گیاه برای افزایش مقاومت است. پرولین با حفظ تعادل اسمزی بین سیتوپلاسم و واکوئل و همچنین به‌عنوان نقش اسمولیتی به‌عنوان مخزن کربن و نیتروژن سبب مقاومت گیاه به تنش می‌شود. تجمع پرولین در شرایط تنش ممکن است به‌دلیل کاهش اکسیداسیون پرولین یا تحریک سنتز آن از گلوتامات یا افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز اولین نقش محافظت‌کنندگی آنزیم‌های سیتوزولی (حفاظت از آنزیم کربوکسیلاز) در ساختار سلولی را بر عهده دارد، از این‌رو پرولین در شرایط تنش، در سلول انباشته می‌شود (Akbari mogadam, 2012) که موجب استحکام دیواره سلولی و پاکسازی هیدروکسیل‌های تولیدی تحت تنش در گیاه می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

پرولین باعث پایداری پروتئین، تنظیم فشار اسمزی و محافظت از ساختارهای سلولی در شرایط تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش فلزات سنگین می‌شود که با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ازجمله سوپراکسید دیسموتاز از آسیب ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن می‌کاهد (Veselov *et al.*, 2003).

غلظت بالای فلزات سنگین قادر به اختلال در متابولیسم قندها در گیاهان می‌باشند. در واقع، میزان قندهای کل در گیاهان، نشان‌دهنده اثر سمّی فلزات سنگین بر روی متابولیسم کربن می‌باشد. افزایش غلظت سرب و کادمیوم در گیاهان گوجه‌فرنگی منجر به مهار متابولیسم کربوهیدرات شد (Hattab *et al.*, 2009). در واقع علت کاهش کربوهیدرات گیاه در حضور تنش‌های مختلف را می‌توان به انرژی بیشتر گیاه در شرایط تنش و استفاده از منابع کربوهیدراتی نسبت داد. سیلیسیم با تأثیر بر مواد قندی سبب افزایش آنها می‌شود. به‌ویژه در شرایط تنش سیلیسیم محتوی قندهای احیاکننده و محلول را در سلول افزایش می‌دهد. برخی محققان اذعان داشتند که سیلیسیم در شرایط تنش فرایندهای متابولیک و حفظ متابولیسم را در حد مطلوب نگه داشته و با افزایش کربوهیدرات گیاهان را از تخریب اکسیداتیو محافظت کرده و سبب بقای ساختار پروتئین خواهد شد (Verma & Dubeym, 2001؛ Saadatmand & Enteshary, 2013).

نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که افزایش غلظت سرب سبب افزایش میزان فنل گیاه با روند صعودی شد و محلول‌پاشی با نانو ذره سیلسیسم نیز میزان این متابولیت را تا حدی افزایش داد. نتایج این تحقیق با نتایج Gelich و همکاران (۲۰۱۵) بر روی گیاه یونجه مطابقت داشت و تیمار گیاه با فلز سرب سبب افزایش محتوی فنل کل گیاه شد. در واقع زمانی که گیاه در معرض تنش‌های محیطی مهم قرار می‌گیرد رادیکال‌های آزاد در گیاه تولید می‌شوند که گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده، دارای سیستم دفاعی با کارایی بالا هستند که می‌توانند رادیکال‌های آزاد را از بین برده یا خنثی کنند؛ این سیستم دفاعی شامل آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز، پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، مهار فعالیت رادیکال DPPH، ترکیب‌های فنلی و تعداد دیگری از مواد آنتی‌اکسیدانتی می‌باشد (Walker & Kersie, 1993). ترکیب‌های فنولی به‌عنوان یکی از ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانت موجود در گیاه در افزایش تحمل گیاهان به فلزات سنگین تأثیر بسزایی دارند. در واقع در گیاهانی که تحت تنش فلزات سنگین قرار می‌گیرند فنل‌های متصل به دیواره بیش از فنل‌های محلول در گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Kovacik *et al.*, 2010). ترکیب‌های فلاونوئیدی به‌عنوان بزرگترین گروه ترکیب‌های فنلی به‌طور وسیعی به‌ویژه در گیاهان دارویی حضور داشته و هم به‌عنوان عامل آنتی‌اکسیدان و هم کلاته‌کننده فلزات سنگین در گیاهان تحت تنش نقش دارند (Matsouka *et al.*, 2011).

برخی محققان علت این امر را به این ترتیب عنوان کردند که هنگامی که CO_2 موجود در داخل یک سلول فتوسنتزی به علت حضور فلزات سنگین محدود شود فعالیت‌های چرخه کلوین کاهش می‌یابد اما فتوسیستم فعال باقی می‌ماند؛ که این منجر به یک انرژی تحریکی بیشتر در فتوسیستم شده و الکترون‌های انباشته شده در زنجیره انتقال الکترون به اکسیژن رسیده و این منجر به تولید رادیکال های آزاد می‌شود. غیر فعال شدن رادیکال‌های آزاد در مرکز زنجیره فتوشیمیایی سرآغاز واکنش‌های فتوشیمیایی در فتوسیستم دو می شود که این به صورت استرس اکسیداتیو بروز می‌کند و موجب افزایش در مقادیر فنول و فلاونوئید می‌شود که نتایج حاصل از این مطالعه این امر را تأیید می‌کند. در مورد pH پایین جلبک با افزایش ورود دی‌اکسیدکربن نسبت فتوسنتز به تنفس در گیاه به هم

www.SID.ir

Archive of SID

می‌ریزد و این خود دوباره باعث اسـترس اکسـیداتیو گیـاه می‌شود (Han *et al*., 2012 ؛Moss, 1973).

به‌عنوان نتیجه‌گیری نهایی می‌توان گفت که سیلیسیم به‌عنوان یک عنصر مفید و ضروری برای برخی از گیاهان شناخته شده‌است. نتایج این پژوهش کاهش معنی‌دار بسیاری از فاکتورها را در گیاه گشنیز به اثبات رساند، اما محلول‌پاشی با نانو ذرات سیلیسیم سبب بهبود رشدی در گیاه گشنیز در شرایط تنش سرب و بدون سرب شد که این مطلب نیز مؤید اثرات سودمند این عنصر بر گیاه مورد مطالعه می‌باشد.

منابع مورد استفاده

- Adtina, M.H. and Beasford, R.T., 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. Journal of Annual of Botany, 58(3): 343-351.
- Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., Kubota, F. and Kaufman, P.B., 1993. Effects of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice plant (*Oryza sativa* L.). Crop Production and Improvement Technology, 34: 225-234.
- Ahmed, M., Hassen, F. and Khurshid, Y., 2011. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? Agriculture Water Management, 98(12): 1808-1812.
- Akbari Mogadam, R., 2012. Dry matter partitioning and wheat varieties morphological reaction under drought conditions at different growth stages. Ph.D. Thesis. Zabul Agriculture University, Zabul, Iran.
- Akinci, I.E, Akinci, S. and Yilmaz, K., 2010. Response of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to lead toxicity: Growth, element uptake, chlorophyll and water content. African Journal of Agriculture Research, 5: 416-423.
- Akowuah, G.A., Ismail, Z., Norhayati, I. and Sadikun, A., 2005. The effects of different extraction solvents of varying polarities on polyphenols of *Orthosiphon stamineus* and evaluation of the free radicalscavenging activity. Food Chemistry, 93: 311-317.
- Al-aghabary, K., Zhu, Z. and Shi, Q., 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, on chlorophyll flurescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. Journal of Plant Nutrition, 27(12): 2101-2115.
- Alloway, B.J., 2010. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Blackie Academic and Professional, London, England, 613p.
- Almeida, A.F., Valle, A.A., Mielke, M.S., Gomes, F.P. and Braz, J., 2007. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. Plant Physiology, 19: 83-98.
- Amiri A., Bagheri, A., Khajeh, M., Najafabadi pour, F. and Yadollahi, P., 2014. Effect of silicone foliar application on yield and antioxidant enzymes activity of safflower under limited irrigation conditions. Journal of Crop Production Research, 5(4): 372-361.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24: 1-15.
- Asgari, H., Najafi, N. and Moghise, E., 2015. Effect of soil contamination with heavy metals on the production of medicinal plants. Journal of Land Management, 2(2): 11-122.
- Bates, L.S., Waldern, R.P. and Tear, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil, 39: 205-207.
- Beketov, E.V., Pakhomov, V.P. and Nesterova, O.V., 2005. Improved method of flavonoid extraction from bird cherry fruits. Pharmaceutical Chemistry Journal, 39(6): 316-318.
- Cenkci, S., Cioerci, I.H., Yildiz, M., Oezay, C., Bozdao, A. and Terzi, H., 2010. Lead contamination reduces chlorophyll biosynthesis and genomic template stability in *Brassica rapa* L. Environmental Experimental Botany, 67: 467-470.
- Chen, W., Yao, X., Cai, K. and Chen, J., 2011. Silicon alternatives drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. Biological Trace Element Research, 142(1): 67-76.
- El-Rjoob, A.W.O., Massadeh, A.M. and Omari, M.N., 2008. Evaluation of Pb, Cu, Zn, Cd, Ni and Fe levels in *Rosmarinus officinalis* Labaiatae (Rosemary) medicinal plants and soils in selected zones in Jordan. Environmental Monitoring and Assessment, 140: 61-68.
- Estrella-Gomez, N., Mendoza-Cozatl, D., Moreno-Sanchez, R., Gonzalez-Mendoza, D., Zapata-Perez, O., Martinez-Hernandez, A. and Santiamaria, J.M., 2009. The pb-hyperaccumulator aquatic fern (*Salviana minima*), responds to pb^{+2} by increasing phyochelatins

www.SID.ir

Archive of SID

- Lin, C., Liu, J., Zhu, T., Sheng, L. and Wang, D., 2009. Soil amendment application levels. Environmental & Experimental Botany, 65: 410-416.
- Liu, J., Zhang, H., Zhang, Y. and Chai, T., 2013. Silicon attenuates cadmium toxicity in *Solanum nigrum* L. by reducing cadmium uptake and oxidative stress. Plant Physiology Biochemical, 68: 1-7.
- Ma, J.F. and Yamaji, N., 2008. Functions and transport of silicon in plants. Cellular and Molecular Life Science, 65: 3049-3057.
- Ma, J.F., Tamai, K., Ichii, M. and Wu, K., 2002. A rice mutant defective in active Si uptake. Plant Physiology, 130: 2111-2117.
- Maleki, A., Gharibi, F., Alimohammadi, M., Daraei, H. and Zandsalimi, Y., 2014. Concentration levels of heavy metals in irrigation water and vegetables grown in peri-urban areas of Sanandaj, Iran. Journal of Advances in Environment Health Research, 1(2): 81-88.
- Marinova, D., Ribarov, F. and Atanassova, M., 2005. Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 40(3): 255-260.
- Matsouka, I., Beri, D., Chinou, I., Haralampidis, K.G. and Spyropoulos, C., 2011. Metals and selenium induce medicarpin accumulation and excretion from the roots of fenugreek seedlings: a potential detoxification mechanism. Plant and Soil, 343(1-2): 235-245.
- Michalska, M. and Asp, H., 2001. Influence of lead and cadmium on growth, heavy metal uptake and nutrient concentration on three lettuce cultivars grown in hydroponic culture. Communication in Soil Science and Plant Analyses, 32: 571-583.
- Moss, B., 1973. The influence of environmental factors on the distribution of freshwater algae: an experimental study: II. The role of pH and the carbon dioxide-bicarbonate system. The Journal of Ecology, 61: 157-177.
- Pais, I. and Jones, J., 2000. The Handbook of Trace Elements. St Lucie Press, 240p.
- Parsadoost, F., Bahreininejad, B., Safarisanjani, A. and Kaboli, M., 2007. Phytoremediation of lead with native rangeland plants in Irankooh polluted soils. Pajuhesh va Sazandegi, 75: 54-63.
- Piotrowska, A., Bajguz, A., Godlewska-Z-Ylkiewicz, B. and Zambrzycka, E.B., 2010. Changes in growth, biochemical components, and antioxidant activity in aquatic plant *Wolffia arrhiza* (Lamiaceae) exposed to via changes in smpcs expression and in ohytochelatin synthase activity. Aquatic Toxicology, 91: 320-328.
- Ghelich, S., Zarinkamar, F. and Niknam, V., 2015. Lead accumulation and it's effects on peroxidase activity, phenolic and flavonoidd compounds in seedling stage of *Medicago sativa* L. Journal of Plant Research, 28(1): 164-174.
- Girisha, S.T. and Ragavendra, V.B., 2009. Accumulation of heavy metals in leafy vegetables grown in urban areas by using sewage water and its effect. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 42(10): 956-959.
- Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S. and Zhang, C.H., 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. Journal of Plant Nutrition, 26: 1055-1063.
- Han, J.W., Yoon, M., Kupper, F.D., Klochkova, T.A., Oh, J.S., Rho, J.R. and Kim, G.H., 2012. Accumulation of galloyl derivatives in a green alga, *Spyrogyra varinas*, in response to cold stress. Journal of Applied Phycology, 24: 1279-1286.
- Hattab, S., Chouba, L., Ben, M., Mehouachi, T. and Boussetta, H., 2009. Cadmium and copper induced DNA damage in *Pisum sativum* roots and leaves as determined by the comet assay. Plant Biosystems, 10: 1080-1087.
- Irrigoyen, J.H, Emerich, D.W. and Sanchez Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 84: 55-66.
- Khatibi, M., Rashed, M.H., Ganjeali, A. and Lahooti, M., 2008. The effects of different nickel concentration on some morpho-physiological characteristics of parsley. Iranian Journal of Field Crops Research, 2: 292-302.
- Khoshgofatr Manesh, A., 2007. Plant Nutrition. Isfahan University of Technology Publication Center, 542p.
- Kovacik, J., Klejdus, B., Hedbavny, J., Covska, S. and Zon, J., 2010. Significance of phenols in cadmium and nickel uptake. Journal of Plant Physiology, 168: 576-584.
- Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y.G. and Christie, P., 2007. Mechanisms of silicon mediated alleviation of a biotic stresses in higher plants: a review. Environmental Pollution, 147: 422-428.
- Liang, Y., Wong, J. and Long, W., 2005. Silicon mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. Chemosphere, 58: 475-483.

www.SID.ir

Archive of SID

- Seregin, I.V. and Ivanov, V.B., 2001. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. Russian Journal of Plant Physiology, 48: 523-544.
- Shahnaz, G., Enteshari, S., Delvar, K. and Behyar, M.B., 2011. Interactive effects of silicon and aluminum on the malondialdehyde (MDA), proline, protein and phenolic compounds in *Borago officinalis* L. Journal of Medicinal Plants Research, 5(24): 5818-5827.
- Sharma, P. and Dubey, R.S., 2005. Lead toxicity in plants. Plant physiology, 17: 35-52.
- Shivhare, L. and Sharma, S., 2012. Effect of toxic heavy metal contaminated soil on an ornamental plant Georgina wild (Dahlia). Journal of Environment Analytical Toxicology, 2: 156-159.
- Sinha, P., Dube, B.K., Srivastava, P. and Chatterjee, C., 2006. Alteration in uptake and translocation of essential nutrients in cabbage by excess lead. Chemosphere, 65: 651-656.
- Soltani, F., Ghorbanli, M. and Manouchehri-kalantari, K.H., 2006. Effect of cadmium on photosynthetic pigments, sugars and malondealdehyde content in *Brassica napus* L. Iranian Journal of Biology, 2: 136-145.
- Street, R.A., Kulkarni, M.G., Stirk, W.A., Southway, C. and Van Staden, J., 2007. Toxicity of metal elements on germination and seedling growth of widely used medicinal plants belonging to hyacinthaceae. Bulletin Environmental Contamination Toxicology, 79: 371-376.
- Torabi, F., Majd, A., Enteshary, S.H. and Ayrian, S., 2013. Study of effect of silicon on some anatomical and physiological characteristics of borage (*Borago officinalis* L.) in hydroponic conditions. Journal of Cell & Tissue, 4(3): 275-285.
- Verma, S. and Dubeym, R.S., 2001. Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice. Biologia Plantarum, 44: 117-123.
- Veselov, D., Kuudoyarova, G., Syymonyan, M. and Veselov, S.T., 2003. Effect of cadmium on ion uptake, transpiration and cytokinin content in wheat seadling. Plant Physiology, 117: 353-359.
- Walker, M.A. and Mc Kersie, B.D., 1993. Role of the ascorbate glutathione antioxidant system in chilling resistance of tomato. Journal of Plant Physiology, 141: 234-239.
- Ye, J., Yan, C.L., Liu, J.C., Lu, H.L., Liu, T. and Song, Z.F., 2012. Effects of silicon on the distribution of cadmium and lead. Archives Environmental Contamination and Toxicology, 58: 594-604.
- Prabagar, S., Hodson, M.J. and Evans, D.E., 2011. Silicon amelioration of aluminium toxicity and cell death in suspension cultures of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Environmental Experiment Botany, 70: 266-276.
- Prakash, V., 1990. Leafy Spices. Boca Raton: CRC Press Inc, 128p.
- Rai, V. and Mehrotra, S., 2008. Chromium-induced changes in ultra morphology and secondary metabolites of *Phyllanthus amarus* Schum & Thonn. an hepatoprotective plant. Environmental Monitoring Assessment, 147: 307-315.
- Rai, V., Khatoon, S., Rawat, A.K. and Mehrotra, S., 2007. Disruption of elements uptake due to excess chromium in Indian medicinal plants. Biological Trace Element Research, 120: 127-132.
- Redmann, R.E., Haraldson, J. and Gusta, L.V., 1986. Leakage of UV absorbing substances as a measure of salt injury in leaf tissue of woody species. Physiologia Plantarum, 67: 87-91.
- Ritchie, S.W. and Nguyen, H.T., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, 30: 105-111.
- 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. Environment Pollution, 144: 11-18.
- Saadatmand, M. and Enteshary, S.H., 2013. The effects of pretreatment duration with silicon on salt stress in Iranian borage (*Echium amoenum* Fisch & C.A. mey). Journal of science and Technology of Greenhouse culture, 3(4): 45-47.
- Sang, G.K., Ki, W.K., Eun, W.P. and Doil, C., 2002. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: A possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. Phytopathology, 92: 1095-1103.
- Savvas, D., Manos, G., Kotsiras, A. and Souvaliotis, S., 2002. Effect of silicon and nutrient induced salinity on yield, flower quality and nutrient uptake of gerbera grown in a closed hydroponic system. Journal of Applied Botanic, 76: 153-158.
- Sefidkon, F., 1999. Effect of essential oil in shoot and fruit of coriander. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 13: 32-38.

www.SID.ir

Archive of SID

cadmium compartmentation in root tips of *Kandelia obovata* (S., L.) Yong. Environmental Pollution, 162: 369-373.
- Zhiqiang, X., Qixing, Z. and Weitao, L., 2009. Joint effects of cadmium and lead on seedlings of four Chinese cabbage cultivars in northeastern China. Environmental Sciences, 21: 1598-1606.
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q. and Yu, J., 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plant Science, 167(3): 527-533.

www.SID.ir

Archive of SID

Effects of silicon nano-particle nutrition on growth and physiological characteristics of *Coriandrum sativum* L. under lead stress

H. Fatemi[1], B. Esmaielpour[2*], A. Soltani-Toolarood[3] and A. Nematolah Zadeh[4]

1- Ph.D. student, Department of Horticultural Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardebil, Iran
2*- Corresponding author, Department of Horticultural Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardebil, Iran
E-mail: behsmaiel@yahoo.com
3- Department of Soil Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardebil, Iran
4- Department of Chemistry Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardebil, Iran

Received: June 2017 Revised: September 2017 Accepted: October 2017

Abstract

Silicon (Si) is the second most abundant element in the earth crust. Silicon has been shown to ameliorate the adverse effects of heavy metals on plants. This research was aimed to investigate the effects of silicon nano-fertilizer nutrition on growth and physiological characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under lead stress. The study was conducted in a factorial experiment based on a completely randomized design with four replications in the research greenhouse of Mohaghegh Ardabili University during 2016. Experimental treatments included soil contamination by $PbCl_2$ (0, 500, 1000 and 1500 mg/kg soil) and foliar spraying with silicon nano-fertilizer (0, 1.5 and 3 mM). Morphological studied traits including plant height, leaf number and area, fresh and dry weight of root and plant, root and stem diameter, physiological parameters such as photosynthetic pigments, electrolyte leakage, relative water contents, proline, carbohydrates, phenol, antioxidants were measured. Results indicated that lead stress reduced the morphological characteristics such as plant height, plant fresh and dry weight, and stem and root diameter, so that the increased content of lead led to decrease of plant dry weight, root weight, root and stem diameter, root length, plant height, leaf area and dry weight up to 57, 50, 20, 41, 15, 42 and 25%, respectively. Foliar spraying with silicon (3mM) led to improve most of morphological traits of coriander. The content of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid and carbohydrate in leaves was increased with increasing lead concentration in soil. However, silicon foliar spraying improved these traits under lead stress. Proline, phenol, flavonoid and antioxidant capacity were significantly increased with increasing concentration of lead up to 1500mg/kg. In general, it can be concluded that the use of silicon nanoparticles for coriander can reduce the negative effects of lead stress to a satisfactory level.

Keywords: Chlorophyll, heavy metal stress, phenol, flavonoid, nanoparticles.

www.SID.ir