Archive of SID

مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2021.343457.2812

جلد ۳۶، شماره ۶، صفحه ۱۰۶۸-۱۰۵۲ (۱۳۹۹) | شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1399.36.1052.104.6.1575.160

# اثر تغذیه‌ای سیلیکون روی صفات مورفولوژیکی و اسانس گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت سمّیت کادمیوم

**جواد قشلاق‌پور[۱]، راحله خادمیان[۲*]، بهور اصغری[۳] و بهنام صداقتی[۴]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲*- استادیار، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

پست الکترونیک: r.khademian@eng.ikiu.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۴- دکترای بیوتکنولوژی گیاهی، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۹ | تاریخ اصلاح نهایی: آبان ۱۳۹۹ | تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۹

## چکیده

به‌منظور بررسی اثر سیلیکون روی صفات مورفولوژی و درصد و ترکیب‌های اسانس گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تنش کادمیوم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. فلز کادمیوم در سه سطح صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و تیمار سیلیکون با غلظت‌های صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار اعمال شد. صفات مورد ارزیابی شامل طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ساقه، قطر ساقه، تعداد برگ، وزن تر برگ، تعداد جوانه، تعداد ساقه فرعی و درصد و ترکیبات اسانس گیاه ریحان بوده است. نتایج نشان داد که کادمیوم روی همه صفات مورفولوژی مورد مطالعه اثر منفی داشته و موجب کاهش معنی‌دار مقادیر این صفات نسبت به شاهد شده است. اما اعمال تیمار سیلیکون موجب بهبود همه این صفات شده و با افزایش غلظت این عنصر روند افزایشی معنی‌داری در مقادیر صفات مشاهده گردید. کاربرد سیلیکون در تیمار ۲ میلی‌مولار به‌ترتیب افزایش ۶۳/۸، ۸۱، ۶۱ و ۶۱ درصدی صفات تعداد ساقه فرعی، وزن تر ریشه، وزن تر ساقه و تعداد جوانه را در مقایسه با شاهد نشان داد. مقدار پنج ترکیب ۸،۱-سینئول، لینالول، استراگول، متیل اوژنول و اوژنول به‌عنوان اصلی‌ترین اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس ریحان به شکل معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کادمیوم و سیلیکون قرار داشت. اما اثر متقابل این دو تیمار فقط بر روی سه ترکیب ۸،۱-سینئول، لینالول و متیل اوژنول تأثیر معنی‌داری نشان داد. بیشترین مقدار ۸،۱-سینئول و متیل اوژنول به‌ترتیب با مقادیر ۵/۰۶٪ و ۶/۲۱٪ در گیاهانی که تحت تیمار همزمان بیشترین غلظت کادمیوم و سیلیکون بودند مشاهده شد. مقدار ترکیب لینالول نیز در اثر حضور فلز کادمیوم کاهش و با اعمال تیمار سیلیکون افزایش یافت. تیمار کادمیوم منجر به افزایش ۱۲/۸ درصدی استراگول و کاهش ۲۵/۲ درصدی اوژنول گردید. تیمار سیلیکون نیز موجب افزایش ۲۳/۹ درصدی استراگول و کاهش ۱۸/۳ درصدی اوژنول شد.

**واژه‌های کلیدی:** ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، تنش فلز سنگین، صفات مورفولوژی، اسانس.

www.SID.ir

Archive of SID


**مقدمه**

آلودگی فلزات سنگین در خاک یکی از معضلات جدی برای محیط‌زیست و کشاورزی بوده و روی تولید محصولات گیاهی نیز به‌طور مستقیم تأثیرگذار است (Pirzadah *et al*., 2018). فلزات سنگین روی رشد، میزان بیوماس و فتوسنتز گیاهان اثرهای منفی دارند (Adrees *et al*., 2015؛ Ali *et al*., 2015) و تجمع و انتقال عناصر ضروری را در گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهند (Rehman *et al*., 2017). تحقیقات انجام شده نشان داده است که تجمع فلزات سنگین در گیاهان می‌تواند موجب بسیاری از تغییرات بیوشیمیایی، ساختاری و فیزیولوژیکی و به نوعی ایجاد سمّیت در آنها گردد (Afshan *et al*., 2015). سمّیت یون‌های فلزی موجب اختلال در هموستازی فرایندهایی مانند جذب آب، تنفس، متابولیسم غذایی (Poschenrieder & Barcelo, 2004) و تداخل کانال‌های یونی در گیاهان می‌شود (Demidchik, 2018). گیاهان در پاسخ به تنش فلزات سنگین واکنش‌های متفاوتی را همانند کاهش رشد و تغییر ساختار ریشه (Pirzadah *et al*., 2019)، نکروزه و کلروزه شدن برگ‌ها، کاهش تورژسانس، کاهش فعالیت فتوسنتزی، کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی، مرگ سلولی و در نهایت مرگ گیاه نشان می‌دهند (Wang *et al*., 2018). با توجه به موارد ذکر شده، در سراسر دنیا توجه زیادی به موضوع آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین شده و تلاش می‌گردد تا دسترسی و جذب آنها توسط گیاهان کاهش داده شود و بدین‌وسیله تولید مواد غذایی سالم افزایش یابد.

نقش ریزمغذی‌ها در ایجاد تحمل گیاهان نسبت به تنش‌های مختلف در مطالعات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است (Vanderschuren *et al*., 2013؛ Bradacova *et al*., 2016). سیلیکون ازجمله این عناصر مغذی است که دارای نقش‌های متعددی در گیاه به‌ویژه تحت شرایط تنش بوده و به‌عنوان یک عنصر تقریباً ضروری چند منظوره در گیاه تلقی می‌شود (Zargar *et al*., 2019). برخی از مهمترین نقش‌های سیلیکون در گیاهان شامل افزایش رشد، بهبود عملکرد و کیفیت، بهبود فرایند فتوسنتز، تثبیت نیتروژن و ایجاد تحمل در مقابل تنش‌های زنده و غیر زنده می‌باشد. در مطالعه‌ای که به اثر سیلیکون در ایجاد مقاومت گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) در برابر تنش خشکی پرداخته، نشان داده شد که این عنصر با بهبود پارامترهای فیزیولوژیکی مانند عناصر مغذی و معدنی، محتوای متابولیت‌هایی مانند پرولین و ترکیب‌های اسانس قابلیت رازیانه را برای مقاومت بیشتر در شرایط خشکی افزایش می‌دهد (Asgharipour & Mosapour, 2016). استفاده از نانو ذرات سیلیکا به‌عنوان عامل تعدیل‌کننده اثرهای منفی استرس شوری در گیاه ریحان نیز نشان داد که این عنصر می‌تواند با کاهش عوارض منفی تنش غلظت بالای نمک بر گیاه و تحریک تولید ترکیب‌هایی مانند پرولین، به ایجاد مقاومت در ریحان کمک کرده و شرایط محیطی را برای رشد گیاه مساعدتر نماید (Kalteh *et al*., 2014).

عملکرد این عنصر در مواجه با تنش فلز سنگین به‌صورت سازوکارهایی همانند غیر متحرک کردن فلز سمّی در محیط خاک و یا محیط رشد گیاه، رسوب همزمان فلز با سیلیکون (Gu *et al*., 2011)، تحریک آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی و غیر آنزیمی، کلاته کردن فلز، جداسازی یون‌های فلزی در بخش‌های غیرفعال از نظر متابولیکی در گیاه (Zhang *et al*., 2008) و یا سازوکارهای القایی خنثی کردن فلز در درون گیاه (Adrees *et al*., 2015) انجام می‌شود. مطالعات فراوانی اثر تعدیل‌کنندگی این عنصر روی خطر سمّیت فلزات سنگین مانند کادمیوم، سرب، کروم، نیکل و مس را در گیاهان مختلف بررسی و گزارش نموده‌اند (Ali *et al*., 2013؛ Li *et al*., 2013؛ Shen *et al*., 2014؛ Keller *et al*., 2015).

www.SID.ir

Archive of SID


انتخاب گیاه مناسب برای کاشت در خاک‌های آلوده به فلز سنگین یکی از مهمترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. زیرا بیشتر گیاهان زراعی و باغی پس از کشت در چنین خاک‌هایی با جذب فلزات سنگین، آنها را وارد زنجیره غذایی کرده و بدین طریق موجب آلودگی مواد غذایی و ایجاد خطر برای سلامت بشر می‌شوند. امروزه استفاده از گیاهان معطر و دارویی برای کشت در چنین خاک‌هایی بیش از گیاهان غیر معطر و تغذیه‌ای توصیه می‌گردد. به این دلیل که بیشتر گیاهان دارویی فلزات سمّی را از خاک استخراج می‌کنند و آنها را به فرمی که سمّیت کمتری دارند تبدیل می‌نمایند، بدون آنکه زنجیره غذایی آلوده گردد و در عین حال این کار با روشی اقتصادی انجام می‌شود (Pandey *et al*., 2019). از سوی دیگر، یکی از مزایای این روش، تحریک تولید متابولیت‌های ثانویه با ارزش اقتصادی بالا در گیاهان معطر است که به‌علت تنش القایی ناشی از فلز سنگین می‌باشد که این امر استفاده از گیاهان دارویی و معطر را در مقابله با این نوع تنش‌ها توجیه‌پذیرتر می‌نماید. اسانس‌ها از معروف‌ترین فرآورده‌های بدست آمده از گیاهان دارویی هستند که از مهمترین متابولیت‌های ثانویه نیز به حساب می‌آیند و استفاده‌های فراوانی در صنایع مختلف دارویی، آرایشی و بهداشتی دارند. البته کیفیت و کمّیت اسانس‌های تولید شده در گیاهان به‌طور مستقیم به شرایط حاکم بر محیط رشد آنها بستگی دارد. براساس مطالعات انجام شده شرایط آب و هوایی، نوع و میزان مواد مغذی و معدنی موجود در خاک و انواع استرس‌های زیستی و غیرزیستی اعمال شده، در نوع و نسبت اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس گیاهان مؤثر است. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد تولید اسانس در گیاهان معطر و دارویی تحت تنش فلزات سنگین افزایش یافته، زیرا این فلزات به‌عنوان یک عامل محرک عمل می‌کنند. در تحقیقات انجام شده تأیید گردید که خطر آلودگی فلز سنگین در اسانس گیاهان معطر به میزان حداقل بوده است. ازاین‌رو اسانس حاصل از نظر بازار تجاری قابل قبول است (Scora & Chang, 1997؛ Zheljazkov & Nielsen, 1996). در پژوهشی دیگر نشان داده شد که اسانس حاصل از گیاهان شوید (*Anethum graveolens*)، نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) و ریحان رشدکرده در مناطق آلوده به فلزات سنگین دارای حداقل میزان آلودگی فلزی هستند(Zheljazkov *et al*., 2006).

گیاه ریحان با نام علمی (*Ocimum basilicum* L.)، گیاهی یک‌ساله از تیره نعناعیان است که به‌صورت تازه استفاده تغذیه‌ای دارد و در عین حال، یک گیاه دارویی با مصارف گوناگون است. این گیاه دارای خواص ضد باکتریایی، آنتی‌اکسیدانتی، ضد قارچی، ضد التهابی و بسیاری از اثرهای مفید دیگر برای سلامتی انسان است (Juliani & Simon, 2002 ؛Tanrıkulu *et al*., 2018). علاوه‌براین، مواد مؤثره مهمی مانند ترکیب‌های فنلی، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها، اسانس‌ها و ساپونین‌ها مهمترین ترکیب‌های این گیاه هستند (Filip, 2017؛ Jayasinghe *et al*., 2003). اجزای اصلی اسانس این گیاه شامل استراگول، ۸،۱–سینئول، متیل اوژنول و لینالول است (Al Abbasy *et al*., 2015 ؛Azzaz *et al*., 2018). در بررسی اثر کادمیوم، سرب و مس روی گیاه ریحان گزارش گردید که با افزایش غلظت این عناصر مقادیر آنها در ریشه این گیاه بسیار بیشتر از ساقه بوده، بنابراین بخش هوایی و با اهمیت آن کمتر تحت آلودگی فلز سمّی قرار گرفته است. همچنین در این پژوهش بیان گردید که تغییرات ایجاد شده در ترکیب‌های اسانس این گیاه تحت تنش کادمیوم به نوعی بوده که اسانس حاصل دارای استانداردهای لازم برای مصارف تجاری می‌باشد (Zheljazkov *et al*., 2006). البته تاکنون استفاده از عوامل مختلفی مانند عناصر سیلیکون، بور و سلنیم، ترکیب‌هایی مانند سالیسیلیک اسید و عوامل

www.SID.ir

Archive of SID


زیستی مانند قارچ‌های مایکوریزا در ایجاد مقاومت گیاهان نسبت به فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفته است (Prasad *et al*., 2011؛ Singh *et al*., 2019؛ Chen *et al*., 2019).

این تحقیق با هدف بررسی اثر فلز سنگین کادمیوم روی صفات مورفولوژی، درصد و ترکیب‌های اسانس گیاه ریحان و نیز ارزیابی نقش سیلیکون در کاهش دادن و تعدیل اثرهای مخرب این فلز در گیاه مربوط انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

کاشت گیاهان برای این آزمایش در فروردین سال ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) انجام گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. بذرهای ریحان از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. ابتدا بذرها با آب معمولی شسته شدند، سپس به مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۷۰٪ قرار گرفتند و بلافاصله به محلول هیپوکلرید سدیم ۱٪ حاوی چند قطره توین ۸۰ به مدت ۲۰ دقیقه انتقال و در نهایت ۳ بار با آب مقطر استریل شستشو داده شدند. بذرهای ضدعفونی شده برای جوانه‌زنی در گلدان پلاستیکی حاوی شن کوارتز استریل کشت و با محلول غذایی هوگلند آبیاری شدند. گلدان‌ها در داخل انکوباتور در شرایط دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار داده شدند. پس از گذشت یک ماه تعداد ۱۵ گیاهچه سالم و یکدست انتخاب و در گلدان‌های (به ابعاد ۵۰×۳۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) حاوی ۱۸ کیلوگرم خاک استریل کشت گردیدند. خاک مورد استفاده در این تحقیق از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) تهیه شد. خاک مورد استفاده شنی لومی با pH برابر ۷/۲، هدایت الکتریکی (EC) برابر ۰/۲۱ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی ۰/۴۲٪، نیتروژن ۰/۰۹٪، فسفر ۱۹/۷ppm و پتاسیم ۲۳۸ppm بود. فاکتور اول در این آزمایش تیمار کادمیوم بود که در مقادیر صفر (Cd 0)، ۲۵ (Cd 25) و ۵۰ (Cd 50) میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک اعمال گردید. برای آلوده‌سازی خاک با فلز سنگین، مقادیر مورد نیاز از محلول نمک نیترات کادمیوم ($Cd(NO_3)_2$) خریداری شده از شرکت DYC کشور چین بر روی خاک اسپری و به‌هم زده شد تا فلز سنگین به‌طور یکنواخت در خاک پخش شود. فاکتور دوم تیمار سیلیکون بود که به‌صورت اسپری محلول‌های با غلظت صفر (Si 0)، ۱ (Si 1) و ۲ (Si 2) میلی‌مولار به روی گیاه بعد از استقرار اولیه (مرحله چهار برگی) اعمال شد. برای تهیه محلول سیلیکون مورد نیاز جهت اسپری، از محلول ترکیب متا سیلیکات سدیم ($Na_2SiO_3$) خریداری شده از شرکت مرک آلمان استفاده شد. گلدان‌ها در شرایط نور طبیعی، دمای ۲ ± ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰٪ نگهداری شدند. گلدان‌ها در فاصله زمانی سه روزه با آب شهری آبیاری شدند و در هر ماه نیز یک‌بار از محلول غذایی هوگلند برای آبیاری آنها استفاده شد. اندازه‌گیری صفات مورد ارزیابی شامل طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ساقه، قطر ساقه، تعداد برگ، وزن تر برگ، تعداد جوانه و تعداد ساقه فرعی دو ماه بعد از کاشت گیاهچه و در حالت رشد کامل و قبل از گلدهی انجام گردید.

نمونه‌های جمع‌آوری شده از بخش هوایی گیاه به‌منظور حفظ کمّیت و کیفیت اسانس در سایه و دمای محیط خشک شدند. اسانس‌گیری از اندام‌های خشک شده به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر انجام شد. اسانس‌های بدست آمده پس از آبگیری با استفاده از نمک سولفات سدیم، در شیشه‌های رنگی و در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری شدند.

شناسایی اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس گیاه ریحان با

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌نگار جرمی Younglin (مدل YL6900 ساخت کره) انجام شد. دمای منبع یونیزاسیون طیف‌نگار جرمی روی ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد و ولتاژ یونیزاسیون آن بر روی ۷۰ الکترون ولت تنظیم گردید. شناسایی اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس با محاسبه اندیس کواتس و مقایسه با مقادیر موجود در منابع (Adams, 2007) و نیز مقایسه طیف جرمی آنها با اطلاعات موجود در کتابخانه داخلی دستگاه انجام شد. مشخصات ستون و برنامه‌ریزی دمایی این دستگاه مشابه کروماتوگرافی گازی بود که در ادامه ذکر خواهد شد.

اندازه‌گیری اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس گیاه ریحان با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC Younglin مدل YL6500 ساخت کره) مجهز به دتکتور یونیزاسیون شعله‌ای (FID) و ستون DB-5 به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۳۲ میلی‌متر و ضخامت لایه ۰/۲۵ میکرومتر انجام شد. دمای محل تزریق و آشکارساز به‌ترتیب روی ۲۵۰ و ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. از گاز نیتروژن با شدت جریان ۱/۱ میلی‌لیتر بر دقیقه به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. در طی فرایند آنالیز دمای ستون با سرعت ۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه از ۶۰ به ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و به‌مدت ۱۰ دقیقه در این دما باقی ماند. حجم تزریق اسانس ۱ میکرولیتر بود.

### تجزیه‌وتحلیل آماری

برای محاسبات آماری و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ انجام شد.

## نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که تیمار کادمیوم و سیلیکون تأثیر معنی‌داری بر صفات طول ریشه، وزن تر ریشه، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ساقه، قطر ساقه، تعداد برگ، وزن تر برگ، تعداد جوانه برگ و تعداد ساقه فرعی داشتند. اثر متقابل تیمارهای کادمیوم و سیلیکون در این آزمایش تنها در مورد دو صفت وزن تر ریشه و ارتفاع بوته معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که صفات طول ریشه، وزن تر ریشه، ارتفاع بوته و وزن خشک ساقه همراه با افزایش غلظت کادمیوم کاهش معنی‌داری داشتند، به‌طوری که حداکثر مقادیر این صفات متعلق به تیمار شاهد و حداقل آن در غلظت ۵۰ گرم بر کیلوگرم خاک کادمیوم (Cd 50) مشاهده شد. کاهش مقادیر این صفات برای طول ریشه، وزن تر ریشه، ارتفاع بوته و وزن خشک ساقه در تیمار Cd 50 به‌ترتیب ۳۳، ۵۲، ۱۴ و ۵۴ درصد نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه گیاه ریحان تحت تیمارهای کادمیوم و سیلیکون

| منابع تغییر | درجه آزادی | طول ریشه | وزن تر ریشه | وزن خشک ریشه | ارتفاع بوته | وزن تر ساقه | وزن خشک ساقه | قطر ساقه | تعداد برگ | وزن تر برگ | تعداد جوانه برگ | تعداد ساقه فرعی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کادمیوم | ۲ | ۲۵/۹۸۵** | ۰/۱۲۶** | ۰/۰۱۵ns | ۱۱۸/۲۰۱** | ۱/۱۲۴ ** | ۰/۷۷۱ ** | ۱/۳۳ ** | ۲۱/۰۳۳** | ۱/۹۴۴** | ۱۶/۸۱۱** | ۰/۷۳۴ * |
| سیلیکون | ۲ | ۲/۸۸۲ ** | ۰/۰۵۹** | ۰/۰۶۱ns | ۱۶۱/۱۰۳ ** | ۳/۰۰۲** | ۰/۱۴۵ ** | ۰/۹۴۶ ** | ۲۰/۱۶۱ ** | ۳/۴۴۳ ** | ۳۵/۱۶۳ ** | ۲/۵۹۶** |
| کادمیوم × سیلیکون | ۴ | ۰/۸۳۳ ns | ۰/۰۰۴** | ۰/۰۲۲ns | ۱۳/۱۸۸ * | ۰/۰۲۹ ns | ۰/۰۰۰۹ns | ۰/۰۲۱ns | ۱/۱۶۸ ns | ۰/۱۰۸ ns | ۱/۱۶۷ ns | ۰/۲۰۸ ns |
| خطا | ۱۸ | ۰/۴۴۲ | ۰/۰۰۰۴ | ۰/۰۴۶ | ۴/۲۳۳ | ۰/۰۶۹ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۸۳ | ۱/۲۹۱ | ۰/۰۶۲ | ۰/۸۷۶ | ۰/۲۰۰ |
| CV | – | ۷/۹۴ | ۷/۳۶ | ۱۴/۷۳ | ۴/۴۰ | ۱۰/۶ | ۹/۸۰ | ۱۰/۴۷ | ۹/۸۱ | ۱۰/۹۴ | ۱۱/۱۴ | ۷/۲۵ |

ns ، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌دار بودن و معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت سطوح مختلف فلز سنگین کادمیوم

| تیمار کادمیوم | طول ریشه (سانتی‌متر) | وزن تر ریشه (گرم) | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) | وزن تر ساقه (گرم) | وزن خشک ساقه (گرم) | قطر ساقه (میلی‌متر) | تعداد برگ | وزن تر برگ (گرم) | تعداد جوانه برگ | تعداد ساقه فرعی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| صفر (**Cd0**) | ۱۰/۲۲۰a | ۰/۴۱۹a | ۵۰/۷۲۱a | ۲/۸۷۷a | ۱/۰۰۸a | ۳/۱۰۸a | ۱۴/۳۳۳a | ۲/۸۰۷a | ۹/۹۱۱a | ۰/۹۶۷a |
| ۲۵ میکرومول (**Cd25**) | ۸/۰۳۸b | ۰/۲۳۱b | ۴۶/۰۶۹b | ۲/۳۶۳b | ۰/۵۴۴b | ۲/۷۱۰b | ۱۳/۲۸۹a | ۲/۰۴۴b | ۸/۰۲۲b | ۰/۴۶۷b |
| ۵۰ میکرومول (**Cd50**) | ۶/۸۷۳c | ۰/۲۰۱c | ۴۳/۵۸۱c | ۲/۲۰۰b | ۰/۴۶۷c | ۲/۴۳۴b | ۱۱/۱۳۳b | ۱/۹۶۷b | ۷/۲۵۶b | ۰/۴۷۸b |

حروف مشابه به معنی عدم معنی‌دار بودن اختلاف بین صفات است.

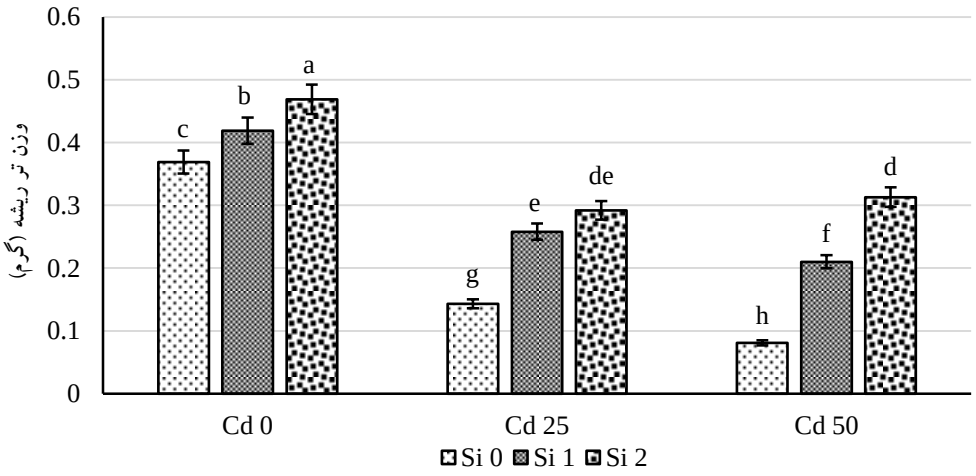
www.SID.ir

Archive of SID


تغییرات مربوط به صفات وزن تر ساقه، قطر ساقه، وزن تر برگ، تعداد جوانه و تعداد ساقه فرعی در گیاهان رشد کرده تحت تیمار کادمیوم، اختلاف معنی‌داری با گیاهان شاهد داشتند اما بین دو سطح Cd 25 و Cd 50 با وجود حفظ روند کاهشی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. صفت تعداد برگ تحت تیمار Cd 25 تفاوت معنی‌داری با گیاهان شاهد نداشت اما گیاهان در معرض تیمار Cd 50 کاهش معنی‌دار ۲۲ درصدی را نشان دادند (جدول ۲).

کاربرد سیلیکون در این تحقیق بر خلاف تیمار کادمیوم موجب بهبود و تقویت همه صفات مورد مطالعه شد، به‌طوری که با افزایش غلظت سیلیکون مصرفی، این صفات مقادیر بالاتری را نشان دادند (جدول ۳). در همه صفات مورد ارزیابی به‌استثنای ارتفاع بوته، تیمار ۲ میلی‌مولار سیلیکون (Si 2) نسبت به تیمار ۱ میلی‌مولار (Si 1) آن افزایش معنی‌دار صفات را به‌همراه داشت (جدول ۳). صفات تعداد ساقه فرعی، وزن تر ریشه، وزن تر ساقه و تعداد جوانه به‌ترتیب با افزایش ۶۳/۸، ۸۱، ۶۱ و ۶۱ درصدی در تیمار Si 2 نسبت به شاهد دارای بالاترین میزان افزایش بودند.

اثرهای متقابل دو عامل کادمیوم و سیلیکون فقط روی دو صفت وزن تر ریشه و ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). به‌نحوی که بیشترین مقدار وزن تر ریشه در گیاهانی که تحت تیمار Cd 0 + Si 2 بودند مشاهده گردید. این در حالیست که کمترین مقدار این صفت در نمونه‌های تحت تیمار Cd 50 + Si 0 دیده شد (شکل ۱). به‌عبارتی همان گونه که مطابق اثرهای اصلی این دو تیمار انتظار می‌رفت با افزایش غلظت کادمیوم میزان این صفت کاهش و با افزودن مقدار سیلیکون مصرفی مقدار آن بهبود یافت. در نتیجه حداکثر وزن تر ریشه با حداقل کادمیوم و بیشترین مقدار سیلیکون بدست آمد و در مقابل، حداقل میزان این صفت با حداکثر کادمیوم مصرفی و کمترین مقدار سیلیکون حاصل شد.




**شکل ۱- اثر متقابل کادمیوم و سیلیکون بر وزن تر ریشه**

مقادیر میانگین سه تکرار به همراه انحراف معیار هستند. حروف مشابه به معنی عدم معنی‌دار بودن اختلاف است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت سطوح مختلف تیمار سیلیکون

| تیمار سیلیکون | طول ریشه (سانتی‌متر) | وزن تر ریشه (گرم) | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) | وزن تر ساقه (گرم) | وزن خشک ساقه (گرم) | قطر ساقه (میلی‌متر) | تعداد برگ | تعداد جوانه برگ | وزن تر برگ (گرم) | تعداد شاخه فرعی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| صفر (Si0) | ۷/۸۸۰b | ۰/۱۹۸c | ۴۲/۱۰۵b | ۱/۸۶۲c | ۰/۵۴۳c | ۲/۴۷۷b | ۱۰/۲۴۴b | ۶/۵۰۰c | ۱/۶۰۱c | ۰/۱۶۷b |
| ۱ میلی‌مولار (Si1) | ۸/۲۵۸b | ۰/۲۹۶b | ۴۷/۹۳۴a | ۲/۵۷۱b | ۰/۶۸۰b | ۲/۶۶۷b | ۱۱/۳۱۱b | ۸/۲۴۴b | ۲/۳۹۹b | ۰/۵۲۲b |
| ۲ میلی‌مولار (Si2) | ۸/۹۹۳a | ۰/۳۵۸a | ۵۰/۳۳۲a | ۳/۰۰۶a | ۰/۷۹۷a | ۳/۱۰۹a | ۱۳/۲۰۰a | ۱۰/۴۴۴a | ۲/۸۱۸a | ۱/۲۲۲a |

حروف مشابه به معنی عدم معنی‌دار بودن اختلاف بین صفات است.

جدول ۴- تجزیه واریانس درصد و ترکیب‌های اسانس گیاه ریحان

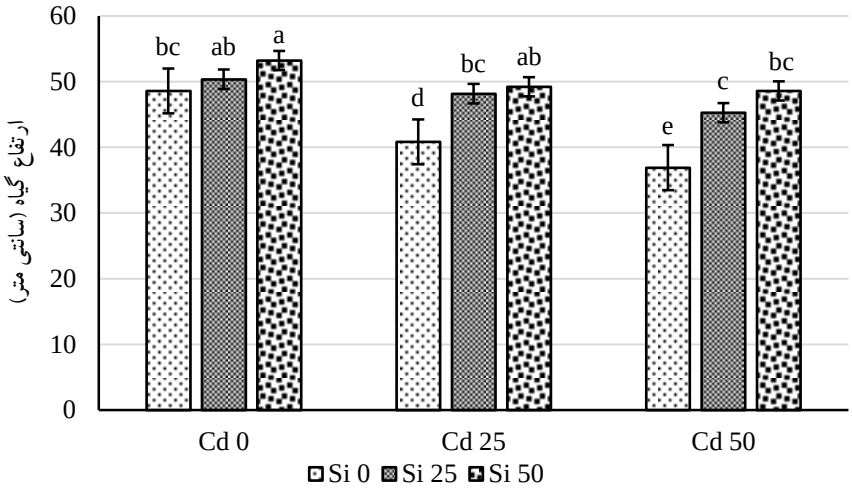
| منابع تغییر | درجه آزادی | 1,8-cineol | linalool | estragol | eugenol | methyl eugenol | درصد اسانس |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کادمیوم | ۲ | ۰/۶۴۹** | ۵۳/۱۹۴** | ۳۴۱/۵۸۸** | ۰/۳۱۸** | ۰/۶۸۶** | ۰/۳۲** |
| سیلیکون | ۲ | ۹/۱۳۰** | ۱۹/۴۷۶** | ۱۰۴/۷۶۲** | ۰/۶۵۷** | ۵/۰۸۷** | ۰/۰۳۱** |
| کادمیوم × سیلیکون | ۴ | ۰/۷۴۰** | ۲/۴۶۸** | ۱/۹۸۸ns | ۰/۰۰۹ns | ۰/۱۷۶** | ۰/۰۰۱ns |
| خطا | ۱۸ | ۰/۰۰۷ | ۰/۳۷۴ | ۳/۲۴۸ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۰۲ |
| CV | - | ۲/۲ | ۴/۳ | ۳/۲ | ۸/۶ | ۲/۵ | ۱۲/۹ |

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌دار بودن و معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪

www.SID.ir

Archive of SID


اثر متقابل کادمیوم و سیلیکون روی صفت ارتفاع بوته به گونه‌ای بود که حداکثر ارتفاع در تیمار عدم مصرف کادمیوم و کاربرد حداکثر میزان سیلیکون (Cd 0 + Si 2) بدست آمد و کمترین ارتفاع بوته نیز تحت تیمار حداکثر مصرف کادمیوم و عدم مصرف سیلیکون (Cd 50 + Si 0) مشاهده گردید (شکل ۲).




**شکل ۲- اثر متقابل کادمیوم و سیلیکون بر ارتفاع گیاه**

مقادیر میانگین سه تکرار به همراه انحراف معیار هستند. حروف مشابه به معنی عدم معنی‌دار بودن اختلاف است.

تأثیر تیمارهای کادمیوم و سیلیکون بر درصد اسانس بدست آمده از گیاه ریحان در جدول ۵ آورده شده است. نتایج حاصل حکایت از این دارد که به‌طور کلی افزایش فلز کادمیوم منجر به افزایش مقدار اسانس گیاه ریحان شده است. حضور عنصر سیلیکون نیز در غلظت ۲ میلی‌مولار باعث افزایش معنی‌داری در مقدار اسانس این گیاه در مقایسه نمونه‌های شاهد شد. بیشترین مقدار اسانس با مقادیر ۰/۴۸٪ و ۰/۴۳٪ حجمی-وزنی به‌ترتیب در گیاهانی که تحت تیمارهای Cd 50 + Si 2 و Cd 25 + Si 2 رشد کردند، قابل مشاهده بود.

براساس تحلیل‌های انجام شده اجزاء دارای مقدار بالاتر از ۱٪ ترکیب‌های ۸،۱-سینئول، لینالول، استراگول، اوژنول و متیل اوژنول بودند که به‌عنوان اصلی‌ترین اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس ریحان شناسایی شدند. براساس نتایج بدست آمده تیمارهای کادمیوم و سیلیکون هر یک به تنهایی اثر معنی‌داری در مقدار اجزاء اصلی اسانس گیاه ریحان داشته‌اند ولی اثر متقابل این تیمارها فقط بر روی مقدار سه ترکیب ۸،۱-سینئول، لینالول و متیل اوژنول معنی‌دار بود و بر روی میزان ترکیب‌های استراگول و اوژنول تأثیر معنی‌داری نداشته است (جدول ۴). در جدول ۵ درصد هر یک از ترکیب‌های ۸،۱-سینئول، لینالول و متیل اوژنول در اسانس گیاهان تحت تیمار آورده شده است. با مقایسه نتایج می‌توان مشاهده کرد که تیمار کادمیوم بر روی دو ترکیب منوترپن اکسیژن‌دار اسانس دارای تأثیر معکوسی بود. به‌طوری که افزایش مقدار کادمیوم منجر به افزایش مقدار ۸،۱-سینئول و کاهش مقدار لینالول شده است. این در حالیست که مقدار هر دو ترکیب در اثر اعمال تیمار سیلیکون در حضور کادمیوم به شکل قابل توجهی افزایش یافته است. بالاترین مقدار ۸،۱-سینئول (۵/۰۶٪) در گیاهانی که تحت تیمار همزمان بیشترین غلظت کادمیوم و سیلیکون (Cd 50 + Si 2) قرار گرفته بودند مشاهده شد و بیشترین مقدار ترکیب لینالول به‌عنوان دومین جزء اصلی

www.SID.ir

Archive of SID


اسانس نیز به تیمارهای Cd 25 + Si 2 و Cd 0 + Si 2 (به‌ترتیب با مقادیر ۱۷/۷۴٪ و ۱۶/۹۸٪) مربوط می‌گردد. اعمال تیمارهای کادمیوم و سیلیکون منجر به افزایش مقدار متیل اوژنول به‌عنوان یک ترکیب فنیل پروپانوئیدی در گیاه ریحان شده است. به گونه‌ای که کمترین مقدار این ترکیب در تیمار شاهد (۴/۲۳٪) و بیشترین مقدار آن در نمونه تحت تیمار Cd 50 + Si 2 با مقدار ۶/۲۱٪ مشاهده گردید که افزایشی ۴۶/۸ درصدی را نشان می‌دهد.

استراگول به‌عنوان اصلی‌ترین جزء اسانس ریحان تحت تأثیر تنش فلز سنگین کادمیوم در گیاه افزایش یافته است (جدول ۶). مقدار این ترکیب در تیمار Cd 0 برابر ۵۳/۱۵٪ بوده که با افزایش مقدار کادمیوم در تیمار Cd 50 به ۵۹/۹۶٪ رسیده است. تیمار سیلیکون نیز دارای اثر مشابهی در تغییرات مقدار استراگول اسانس بود؛ به این مفهوم که باعث افزایش مقدار این ترکیب در اسانس گردید (جدول ۷). بیشترین مقدار استراگول با ۶۳/۳۰٪، در اسانس گیاهانی مشاهده شد که در معرض غلظت بالای سیلیکون (Si 2) رشد کردند که افزایشی برابر ۲۳/۹٪ در مقایسه با گیاهانی که تحت تیمار سیلیکون نبودند (۵۱/۱۰٪)، از خود نشان داد. در مورد اوژنول دیگر ترکیب فنیل پروپانوئیدی موجود در اسانس ریحان با مشاهده نتایج بدست آمده، به وضوح می‌توان دید که تیمارهای کادمیوم و سیلیکون باعث کاهش مقدار این ترکیب در اسانس گیاه ریحان شده است (جدول‌های ۶ و ۷). این کاهش تحت تیمار کادمیوم به میزان ۲۵/۲٪ و تحت تیمار سیلیکون به میزان ۱۸/۳٪ بوده است.

**جدول ۵- مقایسه میانگین بازده اسانس (درصد حجمی-وزنی)، درصد ۸،۱-سینئول، لینالول و متیل اوژنول در اسانس ریحان تحت تیمارهای کادمیوم و سیلیکون**

| تیمار | 1,8-cineol (%) | linalool (%) | methyl eugenol (%) | بازده اسانس |
|---|---|---|---|---|
| **Cd 0 + Si 0** | ۲/۹۳ ± ۰/۰۵ e | ۱۴/۱۵ ± ۰/۲۵ c | ۴/۲۳ ± ۰/۱۲ e | ۰/۲۵ ± ۰/۰۴ e |
| **Cd 25 + Si 0** | ۲/۹۴ ± ۰/۰۶ e | ۱۲/۱۱ ± ۰/۵۲ d | ۵/۷۵ ± ۰/۱۱ b | ۰/۳۱ ± ۰/۰۶ cde |
| **Cd 50 + Si 0** | ۴/۵۷ ± ۰/۰۸ c | ۹/۶۰ ± ۰/۳۴ e | ۵/۳۲ ± ۰/۱۶ c | ۰/۳۰ ± ۰/۰۶ bcd |
| **Cd 0 + Si 1** | ۲/۸۹ ± ۰/۰۸ e | ۱۴/۷۲ ± ۰/۳۲ bc | ۴/۲۶ ± ۰/۱۲ e | ۰/۲۸ ± ۰/۰۳ de |
| **Cd 25 + Si 1** | ۳/۹۲ ± ۰/۰۹ d | ۱۴/۸۳ ± ۰/۶۳ bc | ۵/۴۷ ± ۰/۱۸ c | ۰/۳۰ ± ۰/۰۴ cde |
| **Cd 50 + Si 1** | ۴/۷۲ ± ۰/۱۲ b | ۱۲/۴۳ ± ۰/۹۸ d | ۵/۸۴ ± ۰/۱۲ b | ۰/۳۷ ± ۰/۰۳ bc |
| **Cd 0 + Si 2** | ۲/۴۹ ± ۰/۰۹ f | ۱۶/۹۸ ± ۰/۵۴ a | ۴/۸۳ ± ۰/۱۲ d | ۰/۳۴ ± ۰/۰۴ cd |
| **Cd 25 + Si 2** | ۴/۴۵ ± ۰/۰۷ c | ۱۷/۷۴ ± ۰/۷۰ a | ۵/۸۷ ± ۰/۰۹ b | ۰/۴۳ ± ۰/۰۵ ab |
| **Cd 50 + Si 2** | ۵/۰۶ ± ۰/۰۹ a | ۱۵/۶۷ ± ۰/۸۲ b | ۶/۲۱ ± ۰/۱۱ a | ۰/۴۸ ± ۰/۰۶ a |

حروف مشابه به معنی عدم معنی‌دار بودن اختلاف بین صفات است.

**جدول ۶- مقایسه میانگین درصد استراگول و اوژنول تحت تیمار کادمیوم**

| تیمار کادمیوم | estragol (%) | eugenol (%) |
|---|---|---|
| **صفر (Cd0)** | ۵۳/۱۵ ± ۵/۴۳ c | ۲/۱۰ ± ۰/۲۰ a |
| **۲۵ میکرومول (Cd25)** | ۵۶/۹۷ ± ۵/۸۶ b | ۱/۷۸ ± ۰/۱۵ b |
| **۵۰ میکرومول (Cd50)** | ۵۹/۹۶ ± ۵/۴۷ a | ۱/۵۷ ± ۰/۱۸ c |

حروف مشابه به معنی عدم معنی‌دار بودن اختلاف بین صفات است.

www.SID.ir

Archive of SID


جدول ۷- مقایسه میانگین درصد استراگول و اوژنول تحت تیمار سیلیکون

| تیمار سیلیکون | estragol (%) | eugenol (%) |
|---|---|---|
| صفر (**Si0**) | ۵۱/۱۰ ± ۳/۱۵ c | ۱/۹۷ ± ۰/۲۸ a |
| ۱ میلی‌مولار (**Si1**) | ۵۵/۶۹ ± ۳/۵۰ b | ۱/۸۹ ± ۰/۲۱ b |
| ۲ میلی‌مولار (**Si2**) | ۶۳/۳۰ ± ۳/۵۲ a | ۱/۶۱ ± ۰/۲۴ c |

حروف مشابه به معنی عدم معنی‌دار بودن اختلاف بین صفات است.

## بحث

تنش فلزات سنگین باعث ایجاد اختلال در سیستم رشدی گیاهان می‌گردد و مطالعات فراوانی این یافته‌ها را تأیید کرده است. به‌عنوان مثال در مطالعه Tashakorizadeh و Saeidnejad (۲۰۱۶) روند کاهشی مقادیر بسیاری از صفات مورفولوژیکی مانند ارتفاع بوته، طول ریشه، قطر ساقه، تعداد ساقه‌های فرعی، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و ساقه در گیاه ریحان همراه با افزایش غلظت کروم در خاک گزارش گردید. در پژوهشی دیگر بیان شد که در گیاه ریحان، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و وزن ریشه این گیاه با افزایش غلظت کادمیوم و سرب کاهش یافت (Fattahi *et al.*, 2020). نتایج مشابهی نیز در گیاه گشنیز تحت تیمار کادمیوم بدست آمد (Gonçalves *et al.*, 2009). کاهش ارتفاع بوته، طول ریشه و همچنین میزان کلروفیل و فتوسنتز در گیاه گندم با افزایش غلظت کروم موجود در خاک در مطالعه Ali و همکاران (۲۰۱۵) گزارش گردید. کاهش طول ریشه تحت تنش فلزات سنگین احتمالاً می‌تواند به‌دلیل تجمع یون‌های فلزی در این اندام و یا به علت آسیب ایجاد شده در سلول‌های نوک ریشه باشد (Ali *et al.*, 2013). یکی از دلایل اصلی کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش فلز سنگین نیز می‌تواند به کند شدن رشد طولی ریشه و در نتیجه کاهش انتقال آب و مواد غذایی به بخش‌های هوایی گیاه مرتبط باشد. همچنین تأثیر فلز سنگین بر متابولیسم سلولی اندام‌های هوایی نیز موجب کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Shanker *et al.*, 2005). ازجمله دلایل دیگری که برای کاهش طول ساقه تحت شرایط تنش فلزی ذکر شده است، آسیب‌های ساختاری ایجاد شده در سلول‌های مزوفیل این اندام و تنش اکسیداتیو القایی می‌باشد (Gilli *et al.*, 2015). در این مطالعه با افزایش غلظت کادمیوم وزن تر ریشه روند کاهشی نشان داد. فلزات سنگین با کاهش تورژسانس سلول موجب کاهش تقسیم و رشد سلولی می‌شوند (Molassiotis *et al.*, 2006). این امر می‌تواند موجب کندی رشد اندام‌های گیاهی مانند ریشه و ساقه و در نتیجه کاهش وزن تر این اندام‌ها گردد. از سوی دیگر، این فلزات با تجمع یافتن در ساختار درونی گیاه مانند دیواره سلولی و سیتوپلاسم و ایجاد سمّیت یونی (Kranner & Colville, 2011) در فرایند متابولیسم سلولی اختلال ایجاد کرده و بدین طریق کاهش رشد اندام‌های مختلف گیاه را موجب می‌شوند (Pandey & Madhuri, 2014). کاهش وزن خشک بخش‌های هوایی گیاه ریحان تحت تیمار کادمیوم که در این تحقیق مشاهده گردید با نتایج اعلام شده توسط Amirmoradi و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. دلیل این امر می‌تواند وجود مقادیر زیاد یون فلزی در محیط ریشه گیاه و جذب و انتقال آن به سمت اندام هوایی و در نتیجه ایجاد اختلال در متابولیسم گیاه باشد (Li *et al.*, 2010) که در نهایت موجب کاهش بیوماس گیاه می‌گردد (Fuentes *et al.*, 2007). همچنین ازجمله دلایل کاهش میزان بیوماس گیاه تحت تأثیر فلزات سنگین، کاهش و اختلال در سنتز پروتئین‌ها و نیز کاهش فعالیت فتوسنتزی بیان شده است. همچنین فلزات سنگین قابلیت ایجاد پیوندهایی ضعیف با اتم‌هایی مانند نیتروژن، گوگرد و اکسیژن را دارند و به‌موجب آن لیگاندهایی با حلالیت‌پذیری پایین

www.SID.ir

Archive of SID


تشکیل می‌دهند. این فلزات با تشکیل پیوند با گروه تیول در آنزیم‌ها و پروتئین‌ها موجب عدم شکل‌گیری صحیح ساختار سه بعدی و متوقف شدن فعالیت آنها می‌شوند (Hossain *et al*., 2012؛ Gill, 2014). کاهش رشد گیاه تحت تأثیر فلز سنگین ممکن است به‌دلیل اثر متقابل بین فلز و ریزمغذی‌های ضروری برای رشد باشد که در صورت وجود مقادیر بالای فلز در خاک، دسترسی به این عناصر برای گیاه محدود می‌گردد (Pradas-del-Real *et al*., 2013). مجموع این تغییرات به‌طور مستقیم و غیرمستقیم شاخص‌ها و فرایندهای مختلف مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

نتایج بدست آمده نشان داد که سیلیکون باعث بهبود فاکتورهای رشدی ریحان در شرایط تنش می‌گردد. افزایش معنی‌دار رشد طولی ریشه همراه با مصرف سیلیکون احتمالاً به‌دلیل تحریک تولید ترشحات ریشه است که منتج به کلاته شدن کادمیوم و کاهش جذب این عنصر توسط ریشه می‌شود (Kidd *et al*., 2001). علاوه‌براین، کاهش جذب فلز سنگین به‌دلیل کاهش انتقال آپوپلاستی آن به علت نقش سیلیکون در کم شدن غلظت فلز در آپوپلاسم نیز قابل توجیه است (Keller *et al*., 2015). البته ممانعت از جذب کادمیوم در دیواره‌های سلولی غنی از سیلیکون نسبت به سلول‌هایی که دارای سیلیکون کمتری هستند در تحقیقات پیشین گزارش شده است (Li *et al*., 2013) و بیان گردیده که کاهش جذب فلز حداقل به‌طور موضعی می‌تواند با توسعه موانع آپوپلاستی و بلوغ بافت‌های آوندی ریشه در ارتباط باشد (Vaculik *et al*., 2012). بنابراین به دلیل نقش سیلیکون در کاهش جذب فلز سنگین از ریشه و یا وجود موانع آپوپلاستی برای انتقال آن از آوند چوبی، میزان فلز انتقال یافته از ریشه به ساقه گیاه نیز به حداقل ممکن تقلیل یافته، در نتیجه رشد این اندام‌ها نیز کمتر تحت تأثیر اثرهای مخرب فلز سنگین قرار می‌گیرد. در مواردی مانند نتایج بدست آمده در این مطالعه، استفاده از غلظت‌های بالاتر سیلیکون نه تنها آسیب ایجاد شده از طریق فلز سنگین را جبران می‌کند بلکه حتی موجب می‌گردد که رشد ساقه در گیاهان تیمار شده بیش از گیاهان شاهد باشد. بالا بودن مقادیر وزن تر و خشک ریشه و ساقه در تیمار سیلیکون نسبت به شاهد را می‌توان به نقش این عنصر در افزایش فتوسنتز (Vanderschuren *et al*., 2013) و تقویت رشد این اندام‌ها نسبت داد. همچنین صفاتی مانند تعداد برگ، جوانه جانبی و ساقه‌های فرعی نیز به‌دلیل سرعت بیشتر فتوسنتز تحت تأثیر مصرف سیلیکون نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان دادند. در مطالعه‌ای گزارش شد که استفاده از محلول‌پاشی سیلیکون در گیاه ریحان تحت تنش نیکل موجب افزایش تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، طویل شدن گیاه و افزایش سطح برگ می‌شود (Davoodi *et al*., 2018).

شواهد مستدلی وجود دارد که بیان می‌کند سیلیکون جریان عبوری آپوپلاست را در سراسر ریشه گیاه متوقف کرده و انتقال آپوپلاستی کادمیوم از ریشه به ساقه را غیرفعال می‌نماید. در نتیجه، تجمع کادمیوم در ساقه نیز به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. استفاده از سیلیکون غلظت کادمیوم را در بسیاری از گیاهان ازجمله ذرت (Dresler *et al*., 2015)، آرابیدوپسیس (Li *et al*., 2008) و گندم (Hussain *et al*., 2015) کاهش داده است. همچنین براساس تحقیقات انجام شده، گزارش شده که سیلیکون متابولیسم گیاهان را به شکل مؤثری تقویت می‌نماید و با افزایش میزان فتوسنتز و کاهش جذب فلز موجب افزایش رشد گیاه می‌گردد (Adrees *et al*., 2015). بنابراین این کار می‌تواند یکی از مهمترین دلایل بهبود صفات مورفولوژی گیاه در اثر مصرف سیلیکون در این تحقیق باشد.

همانند نتایج بدست‌آمده در این تحقیق مطالعات پیشین نیز اثر افزایش دهنده فلزات سنگین مانند کادمیوم را بر مقدار اسانس گیاه ریحان نشان داده است (Prasad *et al*., 2011؛ Fattahi *et al*., 2019). این کار بیشتر به اثر فعال‌کنندگی این فلزات بر آنزیم‌های دخیل در مسیر بیوسنتزی ترکیب‌های اسانسی نسبت داده می‌شود. در حقیقت تولید ترکیب‌های اسانسی به‌عنوان یک پاسخ دفاعی از طرف گیاه برای مقابله با شرایط استرس فلزی در نظر

www.SID.ir

Archive of SID


گرفته می‌شود (Ghorbanpour *et al.*, 2016). یکی از اصلی‌ترین سازوکارهایی که تحت آن سیلیکون تنش فلزات سنگین را در گیاهان کاهش می‌دهد کمک به تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه مانند اسانس‌ها در گیاه است. ازجمله متابولیت‌های دیگری نیز که افزایش آنها در اثر حضور سیلیکون گزارش شده است می‌توان به اسیدهای آلی، ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدی اشاره کرد. گزارش شده است که در گیاهان ذرتی که با سیلیکون و آلومینیوم تیمار شده بودند در مقایسه با ذرت‌هایی که فقط با آلومینیوم تیمار شدند مواد فنولی بیشتری تولید شده بود و ترکیب‌های فنولی مانند کاتچین، کامفرول و کوئرستین قابلیت کلاته کردن بیشتری برای آلومینیوم داشتند که احتمالاً فاکتور مهمی در افزایش تحمل گیاه نسبت به آلومینیوم به دلیل استفاده از سیلیکون بوده است (Kidd *et al.*, 2001؛ Wang *et al.*, 2004).

از بین ترکیب‌های اصلی شناسایی شده اسانس گیاه ریحان استراگول، متیل اوژنول و اوژنول جزء فنیل پروپانوئیدها و ۸،۱-سینئول و لینالول جزء منوترپن‌های اکسیژن‌دار می‌باشند. اگرچه ماده خالص استراگول در غلظت‌های بالا اثرهای التهابی از خود نشان داده است، اما به همراه سایر ترکیب‌ها یا اسانس می‌تواند بدون هیچ عوارضی به‌صورت کرم یا پماد استفاده شود (Yadav *et al.*, 2013). براساس مطالعات انجام شده گیاه ریحان حاوی ۸۸-۲۲٪ استراگول می‌تواند اثرهای مثبتی در آروماتراپی داشته باشد (Clarke, 2008). همچنین این ترکیب به‌عنوان یک حشره‌کش طبیعی فعالیت قابل توجهی از خود نشان داده است (Ling Chang *et al.*, 2009).

کاهش مقدار اوژنول و افزایش متیل اوژنول تحت تیمارهای اعمالی ممکن است به بالا رفتن فعالیت آنزیم اوژنول-O-متیل ترانسفراز که مسئول واکنش متیله کردن اوژنول است، مربوط باشد (Tarchoune *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای که به بررسی تیمار شوری و اثر محافظت‌کنندگی ملاتونین بر گیاه ریحان پرداخته نیز نتایج مشابهی در مورد دو ترکیب مذکور گزارش شده است (Bahcesular *et al.*, 2020). کاهش مقدار لینالول و افزایش محتوای ۸،۱-سینئول اسانس گیاه ریحان در اثر کاربرد فلزات سنگین مانند مس، کادمیوم و روی در مطالعه‌ای که توسط Zheljazkov و Warman (۲۰۰۴) انجام شده، نشان داده شده است. همچنین در مطالعه‌ای که به بررسی اثر محافظتی قارچ *Arbuscular mycorrhizal* در مقابل اثر فلزات سنگین بر گیاه ریحان انجام شد، مشخص گردید که مقدار لینالول در اثر تیمار فلزاتی مانند کروم، کادمیوم و نیکل در اسانس کاهش یافت، اما استفاده از تیمار قارچی باعث افزایش قابل توجه این ترکیب شد (Prasad *et al.*, 2011).

به‌هرحال سازوکار دقیق اثر فلزات سنگین و عناصری مانند سیلیکون در تغییر مقدار اجزاء اسانس گیاه ریحان مشخص نیست اما این فرایند می‌تواند از یک‌سو به تغییراتی که در جذب عناصر مغذی از خاک ایجاد می‌شود و از سوی دیگر به تغییر میزان فعالیت آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز این ترکیب‌ها مرتبط باشد. بنابراین می‌توان گفت ترکیب‌هایی که مقدارشان در شرایط استرس افزایش می‌یابد احتمالاً در سیستم دفاعی گیاه نقش دارند و می‌توانند به بالا بردن مقاومت گیاه در مقابل شرایط تنشی کمک کنند.

## منابع مورد استفاده

- Adams, R.P., 2007. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Quadrupole Mass Spectroscopy. Carol Stream, IL: Allured Publishing, 804p.
- Adrees, M., Shafaqat, A., Rizwan, M., Zia-ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Farooq Qayyum, M. and Irshad M.K., 2015. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 119: 186-197.
- Afshan, S., Shafaqat, A., Bharwana, S.A., Rizwan, M., Farid, M., Abbas, F., Ibrahim, M., Mehmood, M.A. and Abbasi, G.H., 2015. Citric acid enhances the phytoextraction of chromium, plant growth, and photosynthesis by alleviating the oxidative damages in *Brassica napus* L. Environmental Science and Pollution Research, 22(15): 11679-11689.
- Al Abbasy, D.W., Pathare1, N., Al-Sabahi, J.N. and Khan, S.A., 2015. Chemical composition and antibacterial activity of essential oil isolated from

www.SID.ir

Archive of SID


- Davoodi, M., Esmaielpour, B., Fatemi H. and Maleki Lajayer, H., 2018. Effect of silicon nutrition on alleviation the detrimental effects of nickel stress in (*Ocimum basilicum*). Journal of Plant Process and Function, 7(24): 25-38.
- Demidchik, V., 2018. ROS-activated ion channels in plants: biophysical characteristics, physiological functions and molecular nature. International Journal of Molecular Science, 19(4): 1263.
- Dresler, S., Wójcik, M., Bednarek, W., Hanaka, A. and Tukiendorf, A., 2015. The effect of silicon on maize growth under cadmium stress. Russian Journal of Plant Physiology, 62: 86-92.
- Fattahi, B., Arzani, K., Souri, M.K. and Barzegar, M., 2019. Effects of cadmium and lead on seed germination, morphological traits, and essential oil composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Industrial Crops & Products, 138: 111584.
- Fattahi, B., Arzani, K., Souri, M.K. and Barzegar, M., 2020. Effect of cadmium and lead on morpho-physiological traits and Photosynthesis of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Iranian Journal of Horticultural Science, 50(4): 839-849.
- Filip, S., 2017. Basil (*Ocimum basilicum* L.) a source of valuable phytonutrients. International Journal of Clinical Nutrition & Dietetics, 3(118): 1-5.
- Fuentes, D., Disante, K.B., Valdecantos, A., Cortina, J. and Vallejo, V.R., 2007. Response of *Pinus halepensis* Mill. seedlings to biosolids enriched with Cu, Ni and Zn in three Mediterranean forest soils. Environmental Pollution, 145: 316-323.
- Ghorbanpour, M., Asgari Lajayer, H. and Hadian, J., 2016. Influence of copper and zinc on growth, metal accumulation and chemical composition of essential oils in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Medicinal Plants, 15: 132-144.
- Gill, M., 2014. Heavy metal stress in plants: a review. International Journal of Advanced Research, 2(6): 1043-1055.
- Gilli, R.A., Zang, L., Ali, B., Farooq, M.A., Cui, P., Yang, S. and Zhou, W., 2015. Chromium-induced physio-chemical and ultrastructural changes in four cultivars of *Brassica napus* L. Chemosphere, 120: 154-164.
- Gonçalves, J.F., Antes, F.G., Maldaner, J., Pereira, L.B., Tabaldi, L.A., Rauber, R., Rossato, L.V., Bisognin, D.A., Dressler, V.L. and de Moraes Flores, E.M., 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.
- Omani basil (*Ocimum basilicum* Linn.). Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 5(8): 645-649.
- Ali, S., Farooq, M.A., Yasmeen, T., Hussain, S., Arif, M.S., Abbas, F., Bharwana, S.A. and Zhang, G.P., 2013. The influence of silicon on barley growth, photosynthesis and ultra-structure under chromium stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 89: 66-72.
- Ali, S., Chaudhuri, A., Ruzwan, M., Anwar, H.T., Adrees, M., Farid, M., Irshad, M.K., Hayat, T. and Anjum, S.A., 2015. Alleviation of chromium toxicity by glycine betaine is related to elevated antioxidant enzymes and suppressed chromium uptake and oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). Environmental Science and Pollution Research, 22(4): 10669-10678.
- Amirmoradi, S., Moghaddam, P.R., Koocheki, A., Danesh, S. and Fotovat, A., 2012. Effect of cadmium and lead on quantitative and essential oil traits of peppermint (*Mentha piperita* L.). Notulae Scientia Biologicae, 4: 101-109.
- Asgharipour, M.R. and Mosapour, H., 2016. A foliar application silicon enhances drought tolerance in fennel. The Journal of Animal & Plant Sciences, 26: 1056-1062.
- Azzaz, A.A., Jellali1, S., Bengharez, Z., Bousselmi1, L. and Akrout, H., 2018. Investigations on a dye desorption from modified biomass by using a low-cost eluent: hysteresis and mechanisms exploration. International Journal of Environmental Science and Technology, 16: 7393-7408.
- Bahcesular, B., Yildirim, E.D., Karaçocuk, M., Kulak, M. and Karamana, S., 2020. Seed priming with melatonin effects on growth, essential oil compounds and antioxidant activity of basil (*Ocimum basilicum* L.) under salinity stress. Industrial Crops and Products, 146: 112165.
- Bradacova, K., Weber, N.F., Morad-Talab, N., Asim, M., Imran, M., Weinmann, M. and Neumann, G., 2016. Micronutrients (Zn/Mn), seaweed extracts, and plant growth-promoting bacteria as cold-stress protectants in maize. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 3: 19.
- Chen, D., Chen, D., Xue, R., Long, J., Lin, X., Lin, Y., Jia, L., Zeng, R. and Song, Y., 2019. Effects of boron, silicon and their interactions on cadmium accumulation and toxicity in rice plants. Journal of Hazardous Materials, 367: 447-455.
- Clarke, S., 2008. Composition of essential oils and other materials: 123-229. In: Clarke, S., (Ed.). Essential Chemistry for Aromatherapy Churchill Livingstone, 302p.

www.SID.ir

Archive of SID


- Li, Q., Cai, S., Mo, C., Chu, B., Peng, L. and Yang, F., 2010. Toxic effects of heavy metals and their accumulation in vegetables grown in a saline soil. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73(1): 84-88.
- Li, P., Song, A., Li, Z., Fan, F. and Liang, Y., 2013. Silicon ameliorates manganese toxicity by regulating manganese transport and antioxidant reactions in rice (*Oryza sativa* L.). Plant and Soil, 354: 407-419.
- Ling Chang, C., Kyu Cho, I. and Li, Q.X., 2009. Insecticidal activity of basil oil, trans-anethole, estragole, and linalool to adult fruit flies of *Ceratitis capitata*, *Bactrocera dorsalis*, and *Bactrocera cucurbitae*. Journal of Economic Entomology, 102: 203-209.
- Molassiotis, A., Tanouc, G., Diamantidis, G. and Patakas, A., 2006. Effects of 4-month Fe deficiency exposure on Fe reduction mechanism photosynthetic gas exchange chlorophyll fluorescence and antioxidant defense in two peach root stock differing in Fe deficiency tolerance. Journal of Plant Physiology, 163: 176-185.
- Pandey, G. and Madhuri, S., 2014. Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences, 2(2): 17-23.
- Pandey, J., Verma, R.K. and Singh, S., 2019. Suitability of aromatic plants for phytoremediation of heavy metal contaminated areas: a review. International Journal of Phytoremediation, 21(5): 405-418.
- Pradas-del-Real, A.E., García-Gonzalo, P., Alarcón, R., González-Rodríguez, A., Lobo, M.C. and Pérez-Sanz, A., 2013. Effect of genotype, Cr (III) and Cr (VI) on plant growth and micronutrient status in *Silene vulgaris* (Moench). Spanish Journal of Agricultural Research, 11(3): 685-694.
- Pirzadah, T.B., Malik, B., Tahir, I., Irfan, Q.M. and Rehman R.U., 2018. Characterization of mercury-induced stress biomarkers in *Fagopyrum tataricum* plants. International Journal of Phytoremediation, 20(3): 225-236.
- Pirzadah, T.B., Malik, B. and Ahmad Dar, F., 2019. Phytoremediation potential of aromatic and medicinal plants: A way forward for green economy. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 15(3): 62-75.
- Prasad, A., Kumar, S., Khaliq, A. and Pandey, A., 2011. Heavy metals and *arbuscular mycorrhizal* (AM) fungi can alter the yield and chemical composition of volatile oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Biology and Fertility of Soils, 47(8): 853.
- Gu, H.H., Qiu, H., Tian, T., Zhan, S.S., Chaney, R.L. and Wang, S.Z., 2011. Mitigation effects of silicon rich amendments on heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) planted on multi-metal contaminated acidic soil. Chemosphere, 83: 1234-1240.
- Hossain, M.A., Piyatida, J., Teixeira da Silva, J.A. and Fujita, M., 2012. Molecular mechanism of heavy metal toxicity and tolerance in plants: central role of glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in heavy metal chelation. Journal of Botany, 872875: 37p.
- Hussain, I., Ashraf, M.A., Rasheed, R., Asghar, A., Sajid, M.A. and Iqbal, M., 2015. Exogenous application of silicon at the boot stage decreases accumulation of cadmium in wheat (*Triticum aestivum* L.) grains. Brazilian Journal of Botany, 38: 223-234.
- Jayasinghe, C., Gotoh, N., Aoki, T. and Wada, S., 2003. Phenolics composition and antioxidant activity of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51: 4442-4449.
- Juliani, H.R. and Simon, J.E., 2002. Antioxidant Activity of Basil. Trends in New Crops and New Uses. Proceedings of the Fifth National Symposium, Atlanta, Georgia, USA, 10-13 November: 575-579.
- Kalteh, M., Alipour, Z.T., Ashraf, S., Marashi Aliabadi, M. and Falah Nosratabadi, A., 2014. Effect of silica nanoparticles on basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. Journal of Chemical Health Risks, 4: 49-55.
- Keller, C., Rizwan, M., Davidian, J.C., Pokrovsky, O.S., Bovet, N., Chaurand, P. and Meunier, J.D., 2015. Effect of silicon on wheat seedling (*Triticum turgidum* L.) grown in hydroponics and exposed to 0 to 30 mM Cu. Planta, 241: 847-860.
- Kidd, P.S., Liugany, M., Poschenrieder, C., Gunsé, B. and Barceló, J., 2001. The role of root exudates in aluminum resistance and silicon-induced amelioration of aluminum toxicity in three varieties of maize (*Zea mays* L.). Journal of Experimental Botany, 52:1339-1352.
- Kranner, I. and Colville, L., 2011. Metals and seeds: biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. Environmental and Experimental Botany, 72: 93-105.
- Li, J., Leisner, M. and Frantz, J., 2008. Alleviation of copper toxicity in *Arabidopsis thaliana* by silicon addition to hydroponic solutions. Journal of the American Society for Horticultural Science, 133: 670-677.

www.SID.ir

Archive of SID


- Vaculik, M., Landberg, T., Greger, M., Luxová, M., Stoláriková, M. and Lux, A., 2012. Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. Annals of Botany, 110(2): 433-443.
- Vanderschuren, H., Boycheva, S., Li, K.T., Szydlowski, N., Gruissem, W. and Fitzpatrick, T.B., 2013. Strategies for vitamin B6 biofortification of plants: a dual role as a micronutrient and a stress protectant. Frontiers in Plant Science, 4: 143.
- Wang, Y., Stass, A. and Horst, W.J., 2004. Apoplastic binding of aluminum is involved in silicon-induced amelioration of aluminum toxicity in maize. Plant Physiology, 136: 3762-3770.
- Wang, S., Zhang, Y., Song, Q., Fang, Z., Chen, Z., Zhang, Y., Zhang, L., Zhang, L., Niu, N., Ma, S., Wang, J., Yao, Y., Hu, Z. and Zhang, G., 2018. Mitochondrial dysfunction causes oxidative stress and tapetal apoptosis in chemical hybridization reagent-induced male sterility in wheat. Frontiers in Plant Science, 8: 2217.
- Yadav, N.P., Meher, J.G., Pandey, N., Luqman, S., Yadav, K.S. and Chanda, D., 2013. Enrichment, development, and assessment of Indian basil oil based antiseptic cream formulation utilizing hydrophilic-lipophilic balance approach. BioMed Research International, 2013, 1-9.
- Zargar, S.M., Mahajan, R., Bhat, J.A., Nazir, M. and Deshmuk, R., 2019. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. 3 Biotech, 9: 73.
- Zhang, C., Wang, L., Nie, Q., Zhang, W. and Zhang, F., 2008. Long-term effects of exogenous silicon on cadmium translocation and toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). Environmental and Experimental Botany, 62: 300-307.
- Zheljazkov, V.D. and Nielsen, N.E., 1996. Studies on the effect of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Mn, Zn and Fe) upon the growth, productivity and quality of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) production. Journal of Essential Oil Research, 8(3): 259-274.
- Zheljazkov, V.D., Craker, L.E. and Xing, B., 2006. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. Environmental and Experimental Botany, 58: 9-16.
- Zheljazkov, V.D. and Warman, P.R., 2004. Source-separated municipal solid waste compost application to Swiss chard and basil. Journal of Environmental Quality, 33: 542-552.
- Poschenrieder, C.H. and Barcelo, J., 2004. Water relations in heavy metal stressed plants: 207-229. In: Prasad, M.N.V. and Hagemeyer, J., (Eds.). Heavy Metal Stress in Plants, Springer, Berlin, Heidelberg, 401p.
- Rehman, M.Z.U., Rizwan, M., Ali, S., Ok, Y.S., Ishaque, W., Saifullah, Nawaz, M.F., Akmal, F. and Waqar, M. 2017. Remediation of heavy metal contaminated soils by using *Solanum nigrum*: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 143: 236-248.
- Scora, R.W. and Chang, A.C., 1997. Essential oil quality and heavy metal concentrations of peppermint grown on a municipal sludge-amended soil. Journal of Environmental Quality, 26(4): 975-979.
- Shanker, K.A., Cervantes, C., Loza-Taversa, H. and Avudainayagam, S., 2005. Chromium toxicity in plants. Environment International, 31:739-753.
- Shen, X., Xiao, X., Dong, Z. and Chen, Y., 2014. Silicon effects on antioxidative enzymes and Lipid peroxidation in leaves and roots of peanut under aluminum stress. Acta Physiologiae Plantarum, 36: 3063-3069.
- Singh, S., Singh, V.P., Prasad, S.M., Sharma, S., Ramawat, N., Dubey, N.K., Tripathi, D.K. and Chauhan, D.K., 2019. Interactive effect of silicon (Si) and salicylic acid (SA) in maize seedlings and their mechanisms of cadmium (Cd) toxicity alleviation. Journal of Plant Growth Regulation, 38: 1587-1597.
- Tanrıkulu, G.İ., Ertürk, Ö., Yavuz, C., Can, Z. and Çakır, H.E., 2018. Chemical compositions, antioxidant and antimicrobial activities of the essential oil and extracts of Lamiaceae family (*Ocimum basilicum* and *Thymbra spicata*) from Turkey. International Journal of Secondary Metabolites, 4: 340-348.
- Tarchoune, I., Baâtour, O., Harrathi, J., Cioni, P.L., Lachaâl, M., Flamini, G. and Ouerghi, Z., 2013. Essential oil and volatile emissions of basil (*Ocimum basilicum*) leaves exposed to NaCl or $Na_2SO_4$ salinity. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 176: 748-755.
- Tashakorizadeh, M. and Saeidnejad, A.H., 2016. Effect of different concentrations chromium (III) on morphological characteristics and essential oil chemical composition of Basil. Water and Soil Science, 27(1): 135-145.

www.SID.ir

Archive of SID


# Nutritional effect of silicon on morphological characteristics and essential oils of basil (*Ocimum basilicum* L.) under cadmium toxicity

**J. Gheshlaghpour[1], R. Khademian[2*], B. Asghari[3] and B. Sedaghati[4]**

1- M.Sc. student, Department of Genetic and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
2*- Corresponding author, Department of Genetic and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, E-mail: r.khademian@eng.ikiu.ac.ir
3- Department of Horticulture Sciences, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
4- Department of Biotechnology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Received: July 2020 Revised: October 2020 Accepted: November 2020

## Abstract

To evaluate the silicon effects on morphological characteristics as well as the percentage and composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil under cadmium stress, a factorial greenhouse experiment was conducted in a completely randomized design. The treatments included cadmium metal (Cd) as the first factor at three levels of 0, 25, and 50 mg $kg^{-1}$ soil and silicon (Si) as the second factor with concentrations of 0, 1, and 2 mM. The characteristics including root length, fresh and dry weight of roots, plant height, fresh and dry weight of stems, stem diameter, number of leaves, fresh weight of leaves, number of buds, number of sub-stems, and percentage and composition of essential oil were evaluated. The results showed that Cd had negative effects on all studied morphological characteristics and significantly decreased their values compared to the control. However, Si treatment improved all these traits and with increasing the concentration of this element, a significant increase in the values of these traits was observed. Application of Si in the concentration of 2 mM caused 63.8, 81, 61, and 61% increase in the number of sub-stems, root fresh weight, stem fresh weight, and number of buds compared to the control, respectively. The amounts of five major constituents of basil essential oil including 1,8-cineole, linalool, estragole, methyl eugenol, and eugenol were affected significantly with the Cd and Si treatments. However, the interaction of these two treatments showed a significant effect only on the three compounds 1,8-cineole, linalool, and methyl eugenol. The maximum amounts of 1,8-cineole (5.06%) and methyl eugenol (6.21%) were observed in the plants which simultaneously exposed to the highest concentrations of Cd and Si. The amount of linalool was also decreased with the presence of Cd and increased with the Si treatment. The Cd treatment increased the amount of estragole by 12.8% and decreased the amount of eugenol by 25.2%. The Si treatment also increased the amount of estragole by 23.9% and decreased the amount of eugenol by 18.3%.

**Keywords:** Basil (*Ocimum basilicum* L.), heavy metal stress, morphological characteristics, essential oil.

www.SID.ir