تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹
۱۳۲۹-۱۳۴۴
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.2466.1648

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و میزان جذب سرب در گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تنش سرب

سمیه اسدی[۱]، محمد مقدم[۱*]، عبدالله قاسمی پیربلوطی[۲]، امیر فتوت[۳]
۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
۲. مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس، تهران
۳. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۱۲

چکیده

سرب به‌عنوان یک فلز سنگین و آلاینده شیمیایی پایدار از طریق منابع مختلف مصنوعی و طبیعی سلامت محیط‌زیست و موجودات زنده را تهدید می‌کند. به‌منظور بررسی اثر متقابل متیل‌جاسمونات و تنش سرب بر خصوصیات رشدی، جذب و تجمع این عنصر و تعیین شاخص خطرپذیری در گیاه ریحان پژوهشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح نیترات سرب (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات در سه غلظت (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از کاهش تمامی صفات مورفولوژیک موردمطالعه و افزایش میزان سرب برگ و ریشه گیاه و افزایش شاخص خطرپذیری با افزایش سطوح تنش سرب بود و محلول‌پاشی متیل جاسمونات تا حدودی توانست برخی از این صفات را بهبود بخشد. به‌طوری‌که محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات با غلظت ۱ میلی‌مولار سبب افزایش ۶/۰۱ درصدی طول گل‌آذین و به‌ترتیب سبب کاهش ۹۶/۵۶ و ۷۹/۳۱ و ۹۹/۲۰ درصدی میزان سرب برگ و ریشه و شاخص خطرپذیری گردید، درحالی‌که با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به‌ترتیب موجب افزایش ۲۷/۶۶ و ۹/۸۴ درصدی تعداد شاخه-فرعی و وزن تر اندام هوایی گردید؛ بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد متیل‌جاسمونات در شرایط تنش‌زا توانسته تا حدودی صفات گیاه را بهبود بخشد و ازآنجایی‌که در برخی موارد غلظت ۱ میلی‌مولار آن سبب کاهش برخی صفات مورفولوژی گیاه گردید لذا کاربرد آن با سطح ۰/۵ میلی‌مولار در شرایط تنش سرب قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: **تنظیم‌کننده رشد، سمیت سرب، شاخص خطرپذیری، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی**

مقدمه

فلزات سنگین به‌عنوان فلزاتی با عدد اتمی بالاتر از ۲۰ و چگالی بالاتر از پنج گرم بر سانتی‌متر مکعب تعریف‌شده‌اند که تعدادی از آن‌ها (مس، روی، نیکل، مولیبدن، منگنز و آهن) عناصر کم‌مصرف ضروری هستند که در رشد طبیعی، واکنش‌های اکسایش-کاهش، انتقال الکترون و بسیاری از فرآیندهای متابولیکی دیگر شرکت می‌کنند، ولی مقدار اضافی آن‌ها در خاک موجب اختلالات متابولیکی و بازدارندگی رشد در بیشتر گونه‌های گیاهی می‌شود. تعدادی دیگر از آن‌ها مانند سرب، کادمیوم، کروم و جیوه غیرضروری بوده و حتی در غلظت‌های کم نیز برای گیاهان سمی هستند (Rubio et al., 2012). وجود فلزات سنگین در محیط‌زیست گیاهان نوعی عامل تنش‌زا است که باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیک در گیاهان شده و می‌تواند موجب کاهش توان رشد گیاه و در حالت شدیدتر باعث از بین رفتن آن شود (Baker et al., 2000). سرب یکی از فلزات سمی برای انسان و همچنین جزء فلزات غیرضروری برای گیاهان است که عملکرد بیولوژیک

* نگارنده پاسخگو: محمد مقدم. پست الکترونیک: m.moghadam@um.ac.ir

شناخته‌شده‌ای ندارد؛ ولی به علت انحلال‌پذیری این عنصر در آب (میزان انحلال‌پذیری این عنصر به‌صورت نیترات سرب در دمای محیط ۵۴/۳ گرم در ۱۰۰ گرم آب است)، به‌راحتی توسط سیستم ریشه گیاه جذب می‌گردد (Kim et al., 2002) و از این طریق رشد و متابولیسم گیاهان با افزایش این فلز در محیط تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Sharma and Dubey, 2004). سمیت سرب موجب کاهش رشد و میزان محصول، زردی برگ‌های جوان، کاهش جذب برخی از عناصر ضروری مانند آهن و کاهش فتوسنتز می‌شود که علت آن نیز این است که سرب مانع جذب عناصری مانند آهن و منگنز از طریق ممانعت از ورود و یا تشکیل پیوند با ناقلین این عناصر شده که نهایتاً مانع جذب آن توسط ریشه و برگ می‌شود و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Pallavi and Rama, 2005). بر اساس استاندارد سازمان جهانی بهداشت حد مجاز غلظت عنصر سرب در گیاهان ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Khan et al., 2008).

بیشترین میزان سرب از طریق ریشه و برگ مخصوصاً برگ‌های دارای کرک جذب گیاهان می‌گردد (Kopyra and Gwzdz, 2003). چنین شرایطی موجب مسمومیت گیاه، مهار تقسیم سلولی، کاهش گسترش سلولی، کاهش سطح تعرق و مسمومیت گیاه می‌گردد (Kopyra and Gwzdz, 2003). سمیت سرب موجب کاهش ارتفاع، سطح و تعداد برگ گیاه ریحان شد (Padash et al., 2015). همچنین پاداش و همکاران (Padash et al., 2017) نشان دادند که وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گیاه ریحان در شرایط تنش سرب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تنش عناصر سنگین سبب کاهش رشد گیاه اسفناج (Ghorbani et al., 2016)، بابونه آلمانی (Saderi et al., 2011) و رزماری (Tabrizi et al., 2015) شد.

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در راستای کاهش جذب و تجمع فلزات سنگین در گیاهان می‌تواند روش مناسبی برای کاهش آسیب‌های مربوطه باشد (Creelman and Mullet, 1997). جاسمونات‌ها در رشد و نمو و واکنش به تنش‌های محیطی نقش تنظیم‌کننده‌ای را ایفا می‌کنند (Creelman and Mullet, 1997). جاسمونات‌ها به‌عنوان ترکیبات پیش‌برنده پیری، بازدارنده رشد و محرک‌هایی برای متابولیسم ثانویه در گونه‌های مختلف شناخته شدند (Balbi and Devoto, 2008). در گیاهان عالی جاسمونات و استر متیلی آن، متیل‌جاسمونات به‌عنوان فیتوهورمون‌هایی در نظر گرفته می‌شوند که گلدهی و پیری گیاه را تنظیم می‌کنند و منجر به راه انداختن پاسخ‌های مربوط به دفاع و تنش می‌شوند (Wasternack and Parthier, 1997). گزارش‌هایی وجود دارد که این تنظیم‌کننده رشد درنتیجه تنش اکسیداتیو القاء شده با فلزات سنگین نیز تولید می‌شود (Creelman and Mullet, 1997). جاسمونات‌ها در پاسخ گیاهان به تنش‌های زنده و محیطی نقش مهمی ایفا کرده و موجب کاهش خسارات ناشی از این تنش‌ها در گیاه می‌شوند (Creelman and Mullet, 1997). ازجمله سبب بهبود عملکرد تربچه (Dastjerdi et al., 2015) و بهبود خصوصیات گیاه شاهی (Asadi Karam et al., 2011) به‌ترتیب تحت تنش عناصر سنگین سرب و مس گردید. در واکنش گیاهان به تنش، جاسمونات‌ها به‌عنوان کد کننده ژن‌های پروتئین‌های بازدارنده نظیر تئونین، هیدروکسی پرولین و پرولین عمل می‌کنند و به‌طورکلی با فعال‌سازی مکانیسم‌های دفاعی، گیاه را در کاهش جذب و تجمع فلزات سنگین یاری می‌رسانند (Piotrowska et al., 2009).

ریحان با نام علمی (*Ocimum basilicum* L.) از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است. ریحان گیاهی یک‌ساله، علفی، ایستاده، تقریباً بدون کرک، معطر و به ارتفاع ۳۰-۶۰ سانتی‌متر است (Prakash, 1990; Omidbaigi, 1997). ریحان یکی از گیاهان دارویی و از سبزی‌های ارزشمند است که در تمام دنیا کشت می‌گردد، از این گیاه در طب و صنعت استفاده فراوان می‌شود. به‌طوری‌که اسانس و سایر مواد مؤثره این گیاه دارای خاصیت ضد قارچی و ضد باکتریایی بوده و برای معالجه نفخ شکم، انگل روده‌ای و کمک به هضم غذا استفاده می‌شود (Omidbeigi, 1995). در بررسی که خادمی افشاری (Afshari and Khademi, 2017) بر روی غلظت عناصر سنگین سبزیجات رشد یافته در اطراف شهر زنجان انجام دادند نشان داده شد که میانگین غلظت عنصر سرب در گیاه دارویی ریحان ۳۳/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که این میزان از حد مجاز غلظت سرب در گیاهان فراتر است. با توجه به موارد فوق و با توجه به اینکه تاکنون تحقیقی مبنی بر بررسی اثر متیل-جاسمونات بر کاهش خسارات ناشی از تنش عنصر سنگین سرب در گیاه ریحان وجود ندارد؛ در این تحقیق کوشش شده است تا ضمن بررسی اثر سمیت سرب بر خصوصیات رشدی گیاه و تجمع سرب در اندام‌های هوایی و ریشه ریحان، اثر احتمالی متیل‌جاسمونات به‌عنوان یک

تنظیم‌کننده رشد گیاهی بر کاهش اثرات سرب بر رشد ریحان نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

کشت و تیمار گیاهان

این تحقیق در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در بهار و تابستان سال ۱۳۹۴ به‌صورت گلدانی و آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح نیترات سرب ($Pb(NO_3)_2$)، (صفر (شاهد)، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و سه سطح متیل‌جاسمونات (صفر (شاهد)، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) به‌عنوان تخفیف‌دهنده تنش به‌صورت محلول‌پاشی اعمال شد (Moghaddam and Talebi., 2016). بذرهای ریحان دارویی رقم کشکنی لولو در سینی‌های نشاء با نسبت مساوی کوکوپیت و پرلیت کشت‌شده و حدود یک ماه بعد در مرحله چهار برگی به گلدان‌هایی به ارتفاع ۴۰ و قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر که گنجایش ۱۲ کیلوگرم خاک داشتند، انتقال یافتند. بستر کشت گیاه حاوی خاکی بود که از قبل به عنصر سنگین سرب آلوده شده بود. نحوه آلوده‌سازی خاک این‌گونه بود که نیترات سرب در غلظت‌های ذکرشده در آب حل‌شده (میزان انحلال‌پذیری این ماده در آب در دمای ۲۰ درجه سلسیوس ۵۲ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب است) و خاک زراعی (جدول ۱) (لومی رسی با pH=۷/۹ و هدایت الکتریکی ۱/۳ دسی زیمنس بر متر) به ضخامت ۱ یا ۲ سانتی‌متر روی پلاستیک پهن شده و اسپری غلظت‌های مختلف نیترات سرب روی خاک جهت آلوده‌سازی آن انجام شد. برای اینکه شرایط آلودگی خاک به عنصر سنگین تا حدی شبیه شرایط طبیعی موجود در زمین‌های آلوده گردد، نمونه‌های تیمار شده تا حد ظرفیت زراعی مرطوب شده و به مدت ۱۵ روز در این حد رطوبتی ثابت نگه‌داشته شدند (Padash et al., 2016). پس‌ازاین مدت نمونه‌ها هوا خشک گردید و پس از نرم کردن کلوخه‌ها به مقدار ۱۲ کیلوگرم در هر گلدان ریخته شد. سپس نسبت به انتقال نشاءها به گلدان‌ها اقدام گردید. در هر گلدان ۴ نشاء کاشته شد. در طی مراحل داشت مقدار رطوبت گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی ثابت نگه‌داشته شد. نیتروژن افزوده‌شده به خاک توسط نمک نیترات سرب، با افزودن مقادیر محاسبه‌شده اوره به گلدان‌های دیگر تصحیح شد. پس از رسیدن گیاهان به رشد کافی محلول‌پاشی تیمارهای متیل‌جاسمونات در دو مرحله قبل گلدهی (حدود ۴۵ روز بعد از کاشت نشاء) و گلدهی (حدود ۶۰ روز بعد از کاشت نشاء) با اسپری و تا حدی که پشت و روی تمام برگ‌های گیاه کاملاً خیس شود اعمال شد. تعیین زمان محلول‌پاشی طبق مطالعه قبلی روی گیاه شاهی (Asadi Karam et al., 2016) و ریحان (Moghaddam and Talebi, 2017) انجام گرفت. یک هفته پس از آخرین محلول‌پاشی صفات موردنظر اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک **Table1. Some physical and chemical properties of the soil**

پتاسیم (K)	فسفر (P)	نیتروژن (N)	کربن آلی Organic carbon	شن Sand	رس Clay	سیلت Silt	بافت خاک Soil Texture	EC	pH
------mg/kg------			----------%----------					$dS.m^{-1}$	
148	51	0.07	0.81	74.4	6.3	19.3	Clay-loam	1.3	7.9

ارزیابی خصوصیات رشدی

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و رشدی در مرحله گلدهی کامل انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، تعداد شاخه‌فرعی، تعداد گره، فاصله میانگره، طول و عرض برگ، قطر ساقه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی بود که بر روی ۴ بوته در هر تکرار اندازه‌گیری شدند و میانگین ۴ بوته برای هر تکرار ثبت شد. طول و عرض برگ به‌طور تصادفی برای ۴ برگ با کولیس اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها ثبت گردید. برای تعیین وزن خشک اندام هوایی و ریشه‌ها، نمونه‌ها در آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. سپس با ترازوی دیجیتال (مدل GF600) با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند.

درصد ماده خشک گیاه با استفاده از فرمول زیر به دست آمد.

$$DM(\%)=(DMW/FMW)\times 100 \qquad [۱]$$

که در آن DMW وزن خشک اندام هوایی گیاه و FMW وزن تر اندام هوایی گیاه می‌باشند.

محتوای آب برگ

جهت اندازه‌گیری محتوای آب برگ دو عدد برگ سالم گیاه را وزن نموده (FW) و به مدت ۱۴۸ ساعت درون آب مقطر به‌صورت شناور قرار می‌دهیم و پس‌ازاین مدت نمونه‌ها مجدد وزن شده و وزن آماس (TW) آن‌ها به دست آمد و به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار داده شد و وزن خشک (DW) آن‌ها حاصل شد و با قرار دادن در فرمول زیر محتوای آب برگ گیاه به دست آمد (Sanchez and Manchanda, 1998).

محتوی‌آب‌برگ ($gH_2O.gDW^{-1}$) = (FW-DW)/DW [۲]

شاخص پایداری غشاء

به‌منظور اندازه‌گیری این صفت قطعات برگی به ابعاد ۲ سانتی‌متر پس از شستشو به همراه ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قرار داده شدند و پس‌ازاین مدت EC نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (EC1). پس‌ازاین مدت نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس اتوکلاو شدند و پس از خروج از اتوکلاو و سرد شدن EC آن‌ها برای بار دوم اندازه‌گیری شد (EC2) (Lutts et al., 1996).

شاخص پایداری غشاء = [۱ -(EC1/EC2)] × 100 [۳]

تولید اسانس

اسانس پیکر رویشی خشک گیاهان به روش تقطیر با آب و به‌وسیله دستگاه کلونجر به‌مدت ۳ ساعت استخراج شد. مقدار تولید اسانس در واحد گلدان با حاصل‌ضرب میزان اسانس در وزن خشک اندام هوایی بوته‌های هر گلدان محاسبه شد.

سنجش غلظت سرب در اندام هوایی و ریشه

مقدار سرب موجود در اندام هوایی و ریشه گیاه، به روش عصاره‌گیری با DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی (Shimadzu-AA۶۷۰ ساخت کشور آمریکا) اندازه‌گیری شد. بدین‌صورت که نمونه‌های گیاهی پس از خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت درون کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا خاکستر گیاه ایجاد شود و پس‌ازآن به‌منظور عصاره‌گیری به نمونه‌ها با نسبت ۱ به ۳ اسید نیتریک و اسیدکلریدریک اضافه گردید و عصاره‌های حاصله بر روی هیتر قرار گرفتند تا تبخیر انجام شود و بعدازآن با اسید نیتریک ۱ درصد به حجم ۲۵ سی‌سی رسانده شد و پس از عبور از کاغذ صافی میزان سرب با قرار دادن این عصاره در دستگاه اندازه‌گیری شد. غلظت سرب در اندام هوایی و ریشه گیاه و مقدار جذب کل سرب توسط اندام گیاهی به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$A = B \times C \qquad [۴]$$

که در آن A: مقدار کل تجمع فلز سرب در اندام گیاهی (میلی‌گرم در کیلوگرم)، B: غلظت فلز در اندام گیاهی (میلی‌گرم در کیلوگرم) و C: وزن خشک نمونه‌های گیاهی (کیلوگرم) هستند

شاخص خطرپذیری (TQH)

برای محاسبه شاخص خطرپذیری از فرمول ارائه‌شده توسط سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (USEPA) استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا میزان جذب آلاینده از طریق ماده غذایی به‌ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز محاسبه شد:

$$EDI = (CF \times IR \times FI \times EF \times ED)/(BW \times AT) \qquad [۵]$$

که در این معادله EDI: میزان جذب روزانه آلاینده (میکروگرم بر کیلوگرم در روز)، CF: غلظت آلاینده در غذا (میکروگرم بر کیلوگرم)، IR: میزان مصرف در روز (گرم در روز)، FI: مقدار آلاینده که از طریق غذا جذب بدن می‌شود (بین ۰/۲ تا ۰/۴ است که ما بالاترین مقدار را در نظر می‌گیریم)، EF: دفعات مصرف در سال، ED: تعداد سال‌هایی که از این ماده استفاده می‌شود، BW: وزن بدن انسان (به‌طور متوسط ۶۵ در نظر گرفته شد) و AT: از حاصل‌ضرب ED در تعداد روز سال به دست می‌آید. سپس برای محاسبه شاخص خطرپذیری EDI بر ۰/۳ (دوز مرجع سرب در سبزیجات است که توسط سازمان بهداشت جهانی اعلام شده است) تقسیم می‌شود.

آنالیز آماری

داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار JMP8 مورد تجزیه آماری قرار گرفتند و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2010 رسم گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیز واریانس اثرات متقابل سرب و متیل-جاسمونات بر وزن خشک ریشه، میزان سرب ریشه و اندام هوایی ریحان، درصد ماده خشک گیاه، محتوای آب برگ، شاخص پایداری غشاء، تولید اسانس و شاخص خطرپذیری بیماری‌های غیر سرطانی (TQH) در سطح احتمال یک درصد و بر طول گل‌آذین، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد؛ اما بر ارتفاع بوته، طول و عرض برگ، قطر ساقه، تعداد گره و فاصله میانگره اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). اثر اصلی تنش سرب در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته و اثر اصلی متیل‌جاسمونات در سطح احتمال پنج درصد بر طول برگ و قطر ساقه معنی‌دار شد (جدول ۲).

ارتفاع بوته

با افزایش سطوح تنش سرب از ۰ به ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از ارتفاع بوته ریحان کاسته شد به‌طوری‌که در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک میزان ارتفاع گیاه ۲۲/۱۴ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول ۳). همچنین نتایج همبستگی صفات نشان داد که میان ارتفاع گیاه با درصد ماده خشک (۰/۶۹)، شاخص پایداری غشاء (۰/۷۷۹) و تولید اسانس (۰/۷۳۳) در سطح ۵ درصد همبستگی مثبت وجود دارد (جدول ۶). مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق با افزایش سطوح تنش سرب از ارتفاع بوته در گیاه ریحان (Padash et al., 2017) و کلزا (Ranjbar et al., 2011) کاسته شد و این کاهش در ارتفاع گیاه می‌تواند به‌این‌علت باشد که در این شرایط تیمار سرب سبب کندی و تأخیر در رشد گیاه شده و سطح برگ گیاه کاهش می‌یابد و این امر کاهش سطح تعرق را در پی دارد که به‌موجب آن حرکت مواد از ریشه به سمت اندام هوایی کاهش‌یافته و درنتیجه رشد گیاه و در پی آن ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (Reddy et al., 1997). علاوه بر این علت کاهش ارتفاع گیاه تحت تنش سرب به‌این‌علت نیز می‌تواند باشد که این عنصر موجب اختلال در سوخت‌وساز سلولی بخش هوایی و یا مهار طویل شدن سلولی باشد (Shanker et al., 2005).

طول گل‌آذین

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که طول گل‌آذین با کاربرد سطوح مختلف متیل‌جاسمونات کاهش‌یافته و در شرایط بدون تنش و کاربرد ۱ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات در کمترین میزان خود بوده است. در بالاترین سطح کاربرد نیترات سرب، کاربرد متیل‌جاسمونات با غلظت ۱ میلی‌مولار سبب کاهش ۶/۰۱ درصدی طول گل‌آذین نسبت به شاهد شد (جدول ۴). کمتر شدن طول گل‌آذین می‌تواند به علت افزایش رشد رویشی گیاه باشد که در این شرایط عملکرد گیاه افزایش می‌یابد و کاربرد متیل‌جاسمونات نیز با افزایش رشد رویشی گیاه و درنتیجه افزایش عملکرد گیاه موجب شده است تا طول گل‌آذین گیاه کاهش یابد (Moghaddam and Talebi, 2017).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات موردمطالعه در ریحان دارویی رقم کشکنی لولو تحت تنش سرب و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات

Table 2. Analysis of variance of studied traits in basil Keshkeni luvelou cultivar under lead stress and methyl jasmonate foliar application

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	طول گل‌آذین Inflorescence length	تعداد شاخه فرعی Number of branches	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	قطر ساقه Stem diameter	تعداد گره Number of nodes
نیترات سرب Lead nitrate(A)	2	271.9**	0.94^{ns}	7.73**	0.46^{ns}	0.09^{ns}	0.08^{ns}	0.23^{ns}
متیل‌جاسمونات Methyl jasmonate(B)	2	21.06^{ns}	0.90^{ns}	4.27^{ns}	0.78*	0.10^{ns}	0.38*	1.63^{ns}
متیل جاسمونات×نیترات A × B	4	13.95^{ns}	2.14*	5.03*	0.26^{ns}	0.05^{ns}	0.15^{ns}	1.78^{ns}
خطا Error	18	8.69	0.71	1.23	0.14	0.05	0.06	1.11
ضریب تغییرات CV (%)		*12.62*	*7.82*	*12.77*	*11.00*	*11.54*	*12.21*	*12.07*

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	فاصله میانگره Internode length	وزن تر اندام هوایی Aerial part fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Aerial part dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	میزان سرب ریشه Lead of root	میزان سرب اندام هوایی Lead of aerial parts
نیترات سرب Lead nitrate(A)	2	0.65^{ns}	17.34^{ns}	0.69^{ns}	0.49^{ns}	0.002^{*}	0.07^{**}	10.44^{**}
متیل‌جاسمونات Methyl jasmonate(B)	2	0.34^{ns}	622.87^{**}	22.07^{**}	0.66^{*}	0.006^{**}	0.04^{**}	10.63^{**}
متیل جاسمونات×نیترات A × B	4	0.84^{ns}	54.29^{*}	1.94^{*}	0.51^{*}	0.02^{**}	0.11^{**}	19.05^{**}
خطا Error	18	0.34	6.36	0.56	0.16	0.0004	0.0072	0.04
ضریب تغییرات CV (%)		*15.58*	*14.70*	*13.07*	*14.62*	*15.01*	*14.36*	*15.79*

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد ماده خشک Dry matter percentage	محتوای آب برگ Water content of leaves	شاخص پایداری غشاء Membrane stability index	تولید اسانس Essential oil production	شاخص خطرپذیری (TQH)
نیترات سرب Lead nitrate (A)	2	33.94^{**}	0.098^{**}	1.84^{ns}	4.13^{ns}	10.26^{**}
متیل‌جاسمونات Methyl jasmonate (B)	2	95.44^{**}	0.012^{**}	3.52^{*}	140.02^{**}	10.77^{**}
متیل جاسمونات×نیترات A × B	4	20.57^{**}	0.009^{**}	34.66^{**}	67.41^{**}	19.29
خطا Error	18	3.73	0.001	0.84	2.49	0.04
ضریب تغییرات CV (%)		*11.75*	*15.73*	*2.84*	*13.02*	*15.3*

ns، ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns, * and **: Non- significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر ساده نیترات سرب بر ارتفاع بوته ریحان

Table 3. Mean comparison of simple effect of lead nitrate on plant height of basil

نیترات سرب Lead nitrate (mg/kg)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)
0	49.54^{a}
200	43.55^{b}
400	38.57^{c}

*در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column, followed by at least one similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

تعداد شاخه‌فرعی، تعداد گره، فاصله میانگره و قطر ساقه

با افزایش سطح تنش سرب و رسیدن آن به سطح ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نیترات سرب تعداد شاخه‌فرعی تا حدودی کاهش یافت؛ اما محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات در این شرایط نتوانست تأثیر معنی‌داری بر این صفت برجای بگذارد. درصورتی‌که در شرایط بدون تنش سرب کاربرد متیل‌جاسمونات در سطح ۰/۵ میلی‌مولار سبب افزایش ۲۷/۶۶ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد (جدول ۴). افزایش سطوح تنش سرب و کاربرد متیل‌جاسمونات

هیچ‌یک نتوانست اثر معنی‌داری بر تعداد گره و فاصله میانگره بر جای بگذارد. مقایسه میانگین اثر ساده متیل-جاسمونات بر قطر ساقه نشان داد که محلول‌پاشی این ماده موجب کاهش قطر ساقه گیاه نسبت به شاهد گردید (جدول ۵). نتایج همبستگی نشان داد با افزایش تعداد شاخه‌فرعی، طول (۰/۹۰۲) و عرض (۰/۹۰۷) برگ نیز با احتمال یک درصد و تعداد گره (۰/۶۸۳) و وزن تر (۰/۷۰۲) و خشک (۰/۷۲۵) ریشه با احتمال ۵ درصد افزایش یافتند (جدول ۶). مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق تنش سرب موجب کاهش خصوصیات رشدی گیاه نعناع‌فلفلی (Amirmoradi et al., 2017) گردید که ازجمله دلایل بروز این اتفاق را می‌توان ایجاد اختلال در سوخت‌وساز سلول در اثر بالا رفتن غلظت سرب در گیاه دانست (Hassan et al., 2006).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل سرب و متیل‌جاسمونات بر صفات موردمطالعه ریحان رقم کشکنی لولو

Table 4. Mean comparison of lead stress and methyl foliar application on studied traits of basil cultivar of Keshkeni luvelou

نیترات سرب Lead nitrate	متیل جاسمونات Methyl jasmonate	طول گل‌آذین Inflorescence length	تعداد شاخه فرعی Number of branches	وزن تر اندام هوایی Arial part fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Arial part dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
(mg/kg)	(mM)	(cm)			(g/plant)		
	0	13.33^{ab}	10.33^{c}	36.70^{d}	12.04^{b}	3.76^{a}	0.63^{a}
0	**0.5**	12.94^{ab}	14.33^{a}	45.31^{ab}	14.24^{a}	2.67^{bc}	0.46^{c}
	1	11.33^{c}	13.00^{ab}	29.07^{ef}	10.46^{cd}	2.88^{bc}	0.48^{c}
	0	12.55^{abc}	13.00^{ab}	29.52^{ef}	11.65^{bc}	3.17^{ab}	0.58^{ab}
200	**0.5**	12.55^{abc}	14.11^{a}	48.76^{a}	14.05^{a}	2.80^{bc}	0.64^{a}
	1	13.55^{a}	13.11^{ab}	25.77^{f}	10.03^{d}	2.47^{bc}	0.47^{c}
	0	12.83^{ab}	12.00^{bc}	38.00^{cd}	12.36^{b}	2.52^{bc}	0.49^{bc}
400	**0.5**	11.88^{cb}	11.00^{c}	41.74^{bc}	12.15^{b}	2.37^{c}	0.52^{bc}
	1	12.00^{bc}	11.66^{bc}	31.69^{e}	10.56^{cd}	3.02^{bc}	0.58^{ab}

Table 4. Continued **جدول ۴. ادامه**

نیترات سرب Lead nitrate	متیل جاسمونات Methyl jasmonate	درصد ماده خشک Dry matter percentage	محتوی آب برگ Water content of leaves	شاخص پایداری غشاء Membrane stability index	تولید اسانس Essential oil production	شاخص خطرپذیری TQH
(mg/kg)	(mM)	(%)	(g H_2O g DW^{-1})	(%)	(cc/pot)	(TQH)
	0	32.78^{cd}	0.62^{b}	89.46^{a-d}	22.82^{b}	0.043^{c}
0	**0.5**	36.23^{a-c}	0.69^{ab}	91.28^{a}	29.98^{a}	0.033^{c}
	1	39.39^{a}	0.79^{a}	91.91^{a}	22.96^{b}	0.019^{c}
	0	29.80^{d}	0.48^{c}	87.81^{cd}	16.43^{cd}	3.05^{b}
200	**0.5**	33.34^{b-d}	0.65^{b}	90.28^{a-c}	25.18^{ab}	0.08^{c}
	1	39.04^{ab}	0.70^{ab}	90.73^{ab}	16.77^{cd}	0.048^{c}
	0	28.83^{d}	0.46^{c}	83.80^{e}	16.33^{d}	6.44^{a}
400	**0.5**	31.44^{cd}	0.59^{bc}	87.44^{d}	21.24^{bc}	0.22^{c}
	1	32.53^{cd}	0.67^{ab}	88.38^{b-d}	16.51^{cd}	0.051^{c}

*در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column, followed by at least one similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تنش سرب و متیل‌جاسمونات نشان داد که بیشترین (۴۸/۷۶ گرم در بوته) و کمترین (۲۵/۷۷ گرم در بوته) وزن تر اندام هوایی به‌ترتیب در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیترات سرب در کیلوگرم خاک و محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات و تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیترات سرب در کیلوگرم خاک و محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات مشاهده شد (جدول ۴).

به‌طورکلی متیل‌جاسمونات در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار در تمامی سطوح تنش سرب سبب افزایش وزن تر اندام هوایی گردید. به‌طوری‌که این سطح از متیل‌جاسمونات در شرایط تنش بالا سبب بهبود ۹/۸۴ درصدی وزن تر اندام هوایی نسبت به شاهد شد و با افزایش سطح متیل‌جاسمونات به ۱ میلی‌مولار در شرایط اعمال تنش سرب کاهش وزن تر اندام هوایی مشهود بود (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد شرایط عدم تنش سرب و همچنین غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم نیترات سرب در کیلوگرم خاک و محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی ریحان گردید. میزان وزن خشک ریشه در تیمارهای مختلف روند متفاوتی نشان داد به‌طوری‌که بیشترین میزان وزن خشک ریشه (۰/۶۴ گرم در بوته) در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیترات سرب در کیلوگرم خاک با محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار متیل-جاسمونات به دست آمد که تفاوت معنی‌داری ازنظر آماری با تیمار شاهد (عدم تنش سرب و بدون کاربرد متیل‌جاسمونات) نداشت. کمترین میزان وزن خشک ریشه نیز در شرایط عدم تنش سرب با محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات با ۰/۴۶ گرم در بوته مشاهده شد که با تیمار عدم تنش سرب و محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات و تنش سرب در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم نیترات سرب در کیلوگرم خاک با محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر ساده متیل‌جاسمونات بر طول برگ (الف) و قطر ساقه (ب) ریحان رقم کشکنی لولو

Table 5. Mean comparison of simple effect of methyl jasmonate on leaf length and stem diameter of basil Keshkeni luvelou cultivar

متیل جاسمونات Methyl jasmonate (mM)	طول برگ Leaf length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)
0	4.78[a]	2.91[a]
0.5	4.32[b]	2.51[b]
1	4.23[b]	2.61[b]

*در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column, followed by at least one similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

همبستگی مثبتی بین وزن تر اندام هوایی با وزن خشک اندام هوایی و تولید اسانس وجود دارد (جدول ۶) و وزن خشک اندام هوایی نیز با تولید اسانس (۰/۷۴۰) دارای همبستگی مثبت بود (جدول ۶). همچنین همبستگی مثبتی بین وزن تر ریشه با وزن خشک ریشه و تولید اسانس وجود دارد. بین وزن خشک ریشه نیز با درصد ماده خشک، شاخص پایداری غشاء و محتوای آب برگ همبستگی مثبتی وجود دارد (جدول ۶). با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق با افزایش سطح تنش از وزن تر و خشک ریشه گیاه کاسته شد و در مقابل می‌توان گفت با کاربرد متیل‌جاسمونات در شرایط عدم تنش سرب میزان وزن خشک ریشه کاهش یافت، درحالی‌که در سطوح بالای تنش سرب با افزایش غلظت متیل-جاسمونات بر میزان وزن خشک ریشه افزوده شد؛ اما این افزایش معنی‌دار نبود. تنش عناصر سنگین سبب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی ریحان (Padash et al., 2015)، رزماری (Tabrizi et al., 2015)، نعناع فلفلی (Amirmoradi et al., 2017) و بابونه آلمانی (Saderi et al., 2011) شد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق تنش عناصر سنگین سبب کاهش وزن تر و خشک ریشه در ریحان (Mozafari et al., 2016; Padash et al., 2018) شد. افزایش غلظت فلزات سنگین در گیاه موجب کاهش جذب آب توسط ریشه و یا کاهش انتقال آب به اندام‌های هوایی شد (Zaier et al., 2010). همچنین مطابق با نتایج حاصل از این مطالعه، اثر سوء سرب بر وزن خشک ساقه و ریشه در بابونه هندی (Islam et al., 2007) و خردل هندی (Zaier et al., 2010) نیز گزارش شده است. همچنین مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات تحت تنش سرب سبب بهبود وزن تر و خشک اندام هوایی تربچه گردید (Dastjerdi et al., 2019). یکی از علل عمده کاهش تورژسانس سلولی در گیاهان تحت تنش با فلزات سنگین ازجمله سرب، نشت ترکیبات محلول به‌ویژه پتاسیم از سلول درنتیجه آسیب‌های غشایی است که به‌دنبال آن رشد گیاه کاهش می‌یابد (Wainwright et al., 1977). عنصر سنگین سرب موجب اختلال در بالانس آب در گیاه شده و به این طریق گیاه را با کمبود آب مواجه می‌سازد و به‌دنبال این کاهش آب، رشد گیاه نیز کم می‌شود و درنتیجه کاهش وزن تر و خشک گیاه در این تحقیق را تا حدودی ثابت می‌کند. علاوه بر این، این عنصر مانع جذب بسیاری از عناصر غذایی

موردنیاز برای رشد گیاه شده و گیاه به علت کمبود عناصر غذایی رشد کمتری داشته و وزن تر و خشک آن کم می‌شود (Sanita di Toppi and Gabrielli, 1999). همان‌طور که در این تحقیق نیز مشهود است کاربرد متیل‌جاسمونات در غلظت‌های پایین سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه شده اما با بالا رفتن غلظت آن از رشد گیاه کاسته می‌شود و این نشان می‌دهد که متیل‌جاسمونات در غلظت‌های پایین مؤثرتر است (Closas et al., 1999). به نظر می‌رسد این تنظیم‌کننده رشد گیاهی رشد و توسعه ریشه را افزایش داده و درنتیجه به جذب آب توسط گیاه کمک می‌کند و از این طریق رشد گیاه تحت تنش را بهبود می‌بخشد (Salimi and Shekari, 2012). از دلایل ممانعت فلزات سنگین بر روی رشد اندام هوایی و ریشه گیاهان می‌توان به این امر اشاره نمود که این عناصر موجب می‌شوند تا سلول‌های گیاه رشد غیرمعمول داشته و با کاهش تقسیم سلولی از رشد ریشه گیاه جلوگیری نمایند که این امر به‌خوبی در این تحقیق مشهود است (Vitoria et al., 2005). علاوه بر این سرب موجب ایجاد مسمومیت در گیاه شده و بدین طریق رشد ریشه را کاهش می‌دهد که این امر در تحقیقات پیشین نیز به‌خوبی مشهود است به‌طوری‌که همین نتایج در تحقیقی بر روی گیاه Brassica pekinesis rupr نیز مشاهده شده است (Chen et al., 2006). به‌بیان‌دیگر می‌توان چنین گفت که تنش سرب موجب لیگنینه شدن دیواره سلولی ریشه شده و رشد ریشه را کاهش می‌دهد (Almedia et al., 2007). متیل-جاسمونات در غلظت‌های پایین از طریق بالا بردن توان دفاعی گیاه و کاهش تنش اکسیداتیو موجب بهبود رشد گیاه شده و وزن تر و خشک ریشه را افزایش می‌دهد؛ اما با بالا رفتن غلظت آن در گیاه پراکسیداسیون لپیدی در گیاه اتفاق افتاده و کاهش رشد گیاه صورت می‌گیرد (Keramat and Daneshmand, 2012).

محتوای آب گیاه و درصد ماده خشک گیاه

نتایج این تحقیق حاکی از کاهش محتوای آب و درصد ماده خشک گیاه با افزایش سطح تنش بود؛ اما کاربرد متیل‌جاسمونات در بالاترین سطح تنش نتوانست تأثیر معنی‌داری بر درصد ماده خشک گیاه برجای بگذارد (جدول ۴)؛ اما کاربرد متیل‌جاسمونات با غلظت ۱ میلی‌مولار سبب افزایش ۴۵/۶۷ درصدی محتوای آب گیاه شد (جدول ۴). درصد ماده خشک دارای همبستگی مثبت با محتوای آب برگ و شاخص پایداری غشاء بود (جدول ۶). همبستگی مثبتی بین محتوای آب برگ و شاخص پایداری غشاء (۰/۸۷۶) وجود دارد؛ اما این صفت با شاخص خطرپذیری (۰/۸۱۱) همبستگی منفی داشت (جدول ۶). مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق عناصر سنگین سبب کاهش ماده خشک گیاه خرفه (Yadegari, 2018)، ماریتیغال (Poortabrizi et al., 2019) و کلزا (Taghizadeh et al., 2018) شد. عناصر سنگین با تأثیر منفی بر جذب آب موجب کاهش فشار تورگر می‌شود و این کاهش همراه با کاهش در خاصیت ارتجاعی سلول باعث کوچک شدن سلول‌ها و کاهش فضای بین سلولی گیاهان می‌شود و محتوای آب گیاه و درصد ماده خشک آن را کاهش می‌دهد (Noorani Azad and Kafilzadeh, 2011).

شاخص پایداری غشاء

با افزایش سطح تنش پایداری غشاء سلول کاهش‌یافته و در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به کمترین میزان خود رسید و کاربرد متیل‌جاسمونات در هر دو غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سبب افزایش این صفت شد به‌طوری‌که کاربرد ۱ میلی‌مولار آن در بالاترین سطح تنش سبب افزایش ۶/۳۵ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد (جدول ۴). نتایج همبستگی صفات حاکی از کاهش شاخص خطرپذیری (۰/۸۳۷) با افزایش شاخص پایداری غشاء بود (جدول ۶). مطابق با نتایج این تحقیق Amooaghaie و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که با افزایش سطح تنش فلزات سنگین بر نشت الکترولیت گیاه سویا افزوده شد و درنتیجه پایداری غشای آن کاهش یافت. نشت الکترولیت به‌عنوان یک شاخص پایداری غشاء محسوب شده و افزایش در میزان آن نشان‌دهنده کاهش پایداری غشاء است و علت این افزایش در نشت الکترولیت می‌تواند این امر باشد که تنش‌های غیرزنده از طریق تولید گونه‌های فعال اکسیژن موجب واردکردن صدمه به غشاء سلول شده و موجب می‌شوند تا نشت مواد داخل سلول به بیرون افزایش‌یافته و هدایت الکتریکی آن زیاد شود (Manchanda and Grag, 2008). محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات از طریق بالا نگه‌داشتن میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانع از اثر رادیکال‌های آزاد بر غشاء سلولی شده و جلوی تخریب آن را می‌گیرد و درنتیجه پایداری غشاء را افزایش می‌دهد که این امر به‌خوبی در این تحقیق مشهود است (Wang, 1999).

تولید اسانس

بیشترین مقدار تولید اسانس در تیمار بدون تنش و کاربرد میتل‌جاسمونات با سطح ۰/۵ میلی‌مولار و کمترین آن در بالاترین سطح تنش مشاهده شد و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات سبب افزایش ۳۰/۰۶ درصدی آن شد. مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق تولید اسانس در گیاه دارویی نعناع فلفلی با افزایش عناصر سنگین در خاک کاهش یافت (Topalov and Zheljasko, 1991). علت کاهش تولید اسانس در شرایط آلودگی فلزات سنگین می‌تواند این باشد که گیاه برای تولید ترکیبات ترپنوئیدی نیازمند کربن فتوسنتزی می‌باشد و ازآنجایی‌که در چرخه فتوسنتزی و سنتز کربن اختلال ایجاد می‌کنند درنتیجه میزان تولید اسانس گیاه را کاهش می‌دهند و کاربرد متیل‌جاسمونات از طریق کاهش اثرات تنش موجب افزایش آن می‌گردد (Srivastava et al., 1994).

جذب سرب

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش غلظت نیترات سرب در محیط رشد گیاه، میزان تجمع سرب در ریشه و بخش هوایی گیاه افزایش می‌یابد. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش سرب تا سطح ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نیترات سرب، میزان سرب در برگ تغییر نکرده و تقریباً صفر بوده است؛ اما در ریشه بر میزان سرب افزوده شده است. با کاربرد متیل‌جاسمونات در هر دو غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار از غلظت سرب تجمع یافته در بخش هوایی و ریشه گیاه به‌طور معنی‌داری کاسته شد و این کاهش در همه غلظت‌های نیترات سرب استفاده‌شده مشاهده گردید. به‌طوری‌که کاربرد متیل‌جاسمونات با غلظت ۱ میلی‌مولار در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب به‌ترتیب سبب کاهش ۹۶/۵۶ و ۷۹/۳۱ درصدی میزان سرب برگ و ریشه شد (شکل ۱- الف و ب). سرب ریشه دارای همبستگی منفی با درصد ماده خشک (۰/۷۰۴)، محتوای آب برگ (۰/۷۹۸) و شاخص پایداری غشاء (۰/۸۹۶) و همبستگی مثبت با سرب اندام هوایی (۰/۸۴۱) و شاخص خطرپذیری (۰/۷۶۵) بود (جدول ۶).

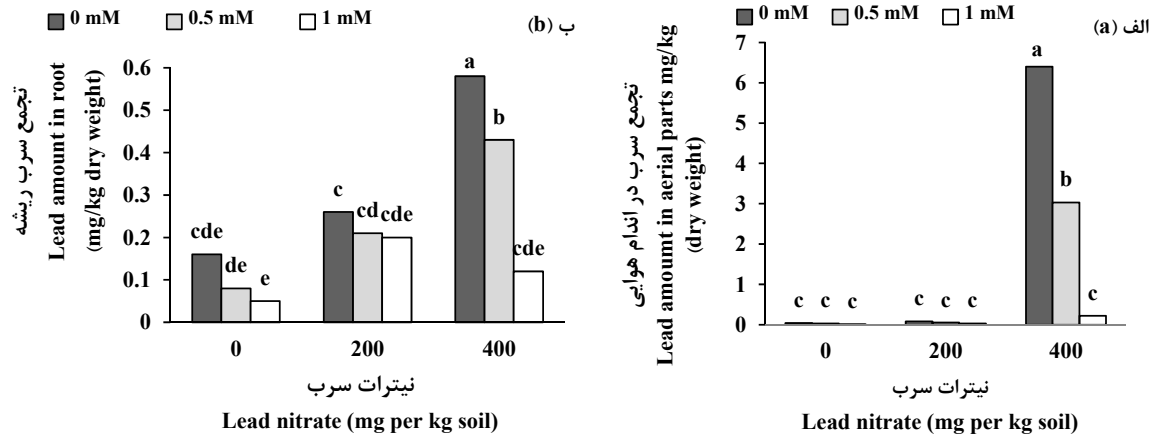
شاخص خطرپذیری بیماری‌های غیر سرطانی (TQH)

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش سرب و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات بر شاخص خطرپذیری بیماری‌های غیر سرطانی (TQH) نشان داد که بیشترین میزان این شاخص در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نیترات سرب مشاهده شد و کاربرد متیل‌جاسمونات با غلظت ۱ میلی‌مولار سبب کاهش ۹۹/۲ درصدی این صفت شد. بر طبق گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی چنانچه این شاخص از یک کوچک‌تر باشد خطری برای سلامت انسان ندارد و اگر از یک بیشتر شود مصرف این گیاه سلامت انسان را تهدید می‌کند و همان‌طور که نتایج این تحقیق نشان می‌دهد این شاخص در هر دو سطح ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک نیترات سرب بالاتر از یک بوده و کاربرد متیل‌جاسمونات در هر دو سطح ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار توانسته این شاخص را به زیر یک کاهش دهد (جدول ۴).

علت افزایش میزان سرب ریشه در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نیترات سرب می‌تواند این باشد که گیاه در مقابله با این عنصر به‌منظور محافظت از خود و با هدف سمیت‌زدایی، سرب را در ریشه خود ذخیره ساخته و از انتقال آن به بخش‌های هوایی گیاه جلوگیری می‌کند؛ اما با بالاتر رفتن سطح سرب دیگر قادر به ذخیره آن نبوده و بخشی از آن را به اندام هوایی گیاه انتقال می‌دهد (Khudsar et al., 2000) که این امر به‌خوبی در این تحقیق مشهود است و درنتیجه این انتقال به بخش هوایی شاخص خطرپذیری آن نیز بالا می‌رود.

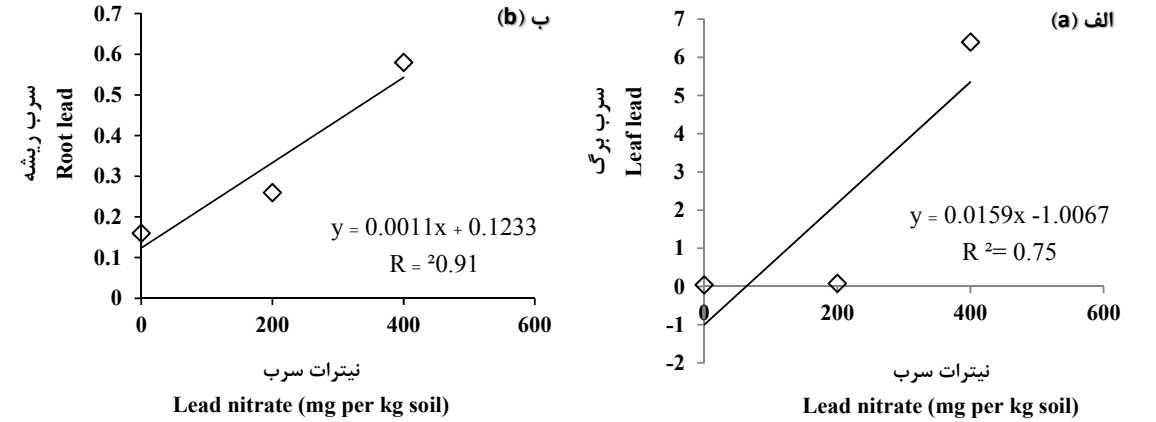
در مورد نقش متیل‌جاسمونات در کاهش تجمع سرب می‌توان گفت که این تنظیم‌کننده رشد به‌عنوان یک مولکول سیگنال بیان ژن‌های درگیر در مکانیسم‌های دفاعی گیاه ازجمله مسیر بیوسنتز فیتوکلاتین‌ها را فعال می‌کند که در اتصال به یون‌های فلزی و غیرسمی کردن آن‌ها نقش دارند (Maksymiec et al., 2007). در اثبات این مدعا می‌توان به تحقیق انجام‌شده توسط ماکسیمیوک و همکاران (Maksymiec et al., 2007) اشاره کرد که نشان دادند متیل‌جاسمونات تجمع فیتوکلاتین‌ها را در گیاه آرابیدوپسیس تالیانا (Arabidopsis thaliana) در حضور سرب و کادمیوم را سبب شده و باعث تحمل گیاه به تنش این فلزات شد. البته در مطالعه‌ای دیگر بیان گردید که نقش دفاعی جاسمونات‌ها در برابر تنش‌های غیر زیستی از طریق افزایش بیان ژن‌های درگیر در متابولیسم گلوتاتیون انجام می‌شود (Liu et al., 2009). همچنین گزارشی مبنی بر ارتباط بین جذب و تجمع

سرب و فعال شدن آنزیم لیپوکسیژناز وجود دارد که این آنزیم مسئول تجزیه لیپیدها و بیوسنتز جاسمونات‌ها است (Poschenrieder et al., 2006). سنتز جاسمونات‌ها در پاسخ به فلزات سنگین به دلیل نقش این هورمون در تنش‌های غیر زیستی است. به‌طور مثال در مطالعه انجام‌شده توسط لیو و همکاران (Liu et al., 2009) تیمار گیاه Arabidopsis thaliana L. با نیترات سرب سبب افزایش بیان ژن‌های درگیر در مسیر بیوسنتز جاسمونیک مانند آلن اکسید سنتتاز (AOS) شد.



شکل ۱. تأثیر متقابل متیل‌جاسمونات و نیترات سرب بر میزان سرب اندام هوایی (الف) و ریشه (ب) ریحان رقم کشکنی لولو

Fig. 1. Interaction of methyl jasmonate and lead nitrate on the amount of lead in the aerial parts (a) and root (b) of basil Keshkeni luvelou cultivar.



شکل ۲. روند تجمع سرب در اندام هوایی (الف) و ریشه (ب) گیاه ریحان با افزایش میزان سرب در خاک

Fig. 2. The trend of accumulation of lead in the aerial parts (A) and root (B) of basil plant with increasing lead levels in soil.

جدول ۵. مقادیر ضرایب همبستگی صفات موردمطالعه در این تحقیق

Table 5. Correlation coefficients of studied traits in this research

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	0.47	1							
3	0.56	0.38	1						
4	0.58	0.50	0.90**	1					
5	0.52	0.43	0.91**	0.97**	1				
6	0.46	0.03	-0.15	0.14	0.03	1			
7	0.16	-0.19	0.68*	0.60	0.62	-0.20	1		
8	0.51	0.18	0.22	0.28	0.11	0.54	0.22	1	
9	0.07	0.17	0.24	0.29	0.17	0.27	0.11	0.72*	1
10	0.29	0.32	0.39	0.34	0.23	0.20	-0.02	0.64	0.89**
11	0.64	0.37	0.70*	0.80**	0.66	0.47	0.46	0.71*	0.61
12	0.65	0.26	0.72*	0.75*	0.69*	0.25	0.62	0.35	0.01
13	-0.70	0.14	-0.42	-0.41	-0.43	-0.48	-0.26	-0.14	0.18
14	-0.69	-0.23	-0.54	-0.56	-0.58	-0.35	-0.03	0.05	0.12
15	0.69*	0.25	0.48	0.63	0.60	0.42	0.42	0.18	-0.29
16	0.60	-0.04	0.39	0.57	0.56	0.59	0.48	0.27	-0.18
17	0.78*	0.21	0.60	0.70*	0.69*	0.53	0.31	0.21	-0.06
18	0.73*	0.37	0.49	0.62	0.49	0.66	0.17	0.81**	0.68*
19	-0.39	0.11	-0.34	-0.54	-0.52	-0.66	-0.26	-0.11	-0.05

Table 5. Continued **جدول ۵. ادامه**

صفات Traits	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	1								
11	0.65	1							
12	0.06	0.67*	1						
13	0.01	-0.41	-0.63	1					
14	-0.16	-0.43	-0.58	0.84**	1				
15	-0.26	0.47	0.87**	-0.70*	-0.61	1			
16	-0.18	0.50	0.77*	-0.79**	-0.59	0.91**	1		
17	0.08	0.62	0.81**	-0.89**	-0.89**	0.86**	0.87**	1	
18	0.74*	0.90**	0.48	-0.45	-0.45	0.36	0.49	0.59	1
19	-0.06	-0.55	-0.58	0.76*	0.76*	0.64	-0.81**	-0.84**	-0.49

۱- ارتفاع بوته، ۲- طول سنبله،۳ - تعداد شاخه فرعی، ۴- طول برگ، ۵- عرض برگ،، ۶- قطر ساقه، ۷- تعداد گره، ۸- فاصله میانگره ۹- وزن تر اندام هوایی، ۱۰- وزن خشک اندام هوایی، ۱۱- وزن تر ریشه، ۱۲- وزن خشک ریشه، ۱۳-- میزان سرب ریشه، ۱۴- میزان سرب اندام، ۱۵- درصد ماده خشک، ۱۶- محتوی آب، ۱۷- شاخص پایداری غشا، ۱۸- تولید اسانس، ۱۹- خطرپذیری

1. Plant height, 2. Inflorescence length, 3. Number of branches, 4. v Leaf length, 5. Leaf width, 6. Steam diameter, 7. Number of nodes, 8. Internode length, 9. Aerial part fresh weight, 10. Aerial part dry weight, 11. Root fresh weight, 12. Root dry weight, 13. Lead of root, 14. Lead of aerial parts, 15. Dry matte percentage, 16. Water content of leaves, 17. Membrane stability index, 18. Essential oil production, 19. (TQH)

نتیجه‌گیری نهایی

در این تحقیق به بررسی اثر سطوح مختلف متیل‌جاسمونات بر خصوصیات رشدی و میزان جذب سرب در گیاه دارویی ریحان تحت تنش این فلز سنگین پرداخته شد. نتایج نشان داد که تنش سرب موجب کاهش تمامی صفات مورفولوژی موردمطالعه در ریحان گردید. همچنین نتایج نشان داد که با بالاتر رفتن سطح سرب در خاک میزان سرب در ریشه و برگ گیاه نیز بالا رفت و شاخص خطرپذیری به بیش از ۱ افزایش یافت و کاربرد متیل‌جاسمونات به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی توانست حتی در بالاترین سطح سرب هم موجب بهبود صفات رشدی گیاه ریحان شود و از میزان و تجمع این عنصر در گیاه بکاهد و شاخص خطرپذیری را به زیر ۱ کاهش و سلامت گیاه را برای مصرف انسان افزایش دهد. از میان دو سطح متیل-جاسمونات به‌کاربرده شده بر طبق نتایج این

تحقیق سطح ۰/۵ میلی‌مولار آن اثر بیشتری بر گیاه داشته و توانست صفات گیاه را تحت تنش سرب بهبود بخشد؛ اما سطح ۱ میلی‌مولار آن خود تا حدودی اثر بازدارنده رشد داشته و وزن تر و خشک گیاه را کاهش داد. لذا کاربرد متیل‌جاسمونات با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار در شرایط تنش سرب به‌منظور بهبود خصوصیات گیاه توصیه می‌شود.

منابع

Afshari, A., Khademi, H., 2017. Assessment of Pb, Zn, Cu, Ni and Cr in vegetables grown around Zanjan. Journal of Food Hygiene. 7, 31-42.

Amirmoradi, S., Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Danesh, S., Fotovat, A., 2017. Effect of cadmium and lead on quantitative and essential oil traits of peppermint (*Mentha piperita* L.). Journal of Agroecology. 9, 142-157. [In Persian with English summary].

Amooaghaie, R., Marefat, E., Shabani, L., 2012. Interaction of salicylic acid and cadmium on growth, photosynthetic pigments and ion distrubiution in arial parts of soybean plantlets. Journal of Plant Biology. 4, 75-88. [In Persian with English summary].

Asadi Karam E., Asrar, Z., Keramat, B., 2016. Effect of methyl jasmonate on proline content and absorption Cu, Fe, Zn and Mg in Lepidium sativum L. subjected to copper toxicity. Journal of Plant Researches (Iranian Journal of Biology). 29, 243-253. [In Persian with English summary].

Baker, A.J.M., Mc Grath. S.P., Reeves, R.D., Smith, J.A.C., 2000. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. In: Terry, N., Banuelos, G. (eds.), Phytoremediation of Contaminated soil and water. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. Pp. 85-107.

Balbi, V., Devoto, A., 2008. Jasmonate signalling network in *Arabidopsis thaliana*: crucial regulatory nodes and new physiological scenarios. New Phytologist. 177, 301-318.

Chen, Y., Wang, C., Wang, Z., 2005. Residues and source identification of persistent organic pollutants in farmland soils irrigated by effluents from biological treatment plants. Environment International. 31, 778–783.

Closas, L.M., Toro, F.J., Calvó, G., Pelacho, A.M., 2004. Effect of methyl jasmonate on the first developmental stages of globe artichoke. Acta Horticulture. 660, 185-195.

Creelman, R.A., Mullet, J.E., 1997. Oligosacchrins, brassinolides and jasmonates: non traditional regulators of plant growth, development, and gene expression. American Society of Plant Biology. 9, 1211- 1223.

Dastjerdi, Z., Safipour Afshar, A., Saeid Nematpour, F., 2015. Effects of lead and methyl jasmonate on radish (*Raphanus sativus* L.). Journal of Plant Process and Function, 4, 59-65. [In Persian with English summary].

Ghorbani, H., Heidari, M., Ghafari, M., 2016. Effect of salinity levels and lead and cadmium heavy metals on growth, photosynthetic pigments and sodium and potassium content in spinach. Journal of Science and Technology of Greenhouse. 7, 15-25. [In Persian with English summary].

Hassan, M.J., Zhu, Z., Ahmad, B., Mahmood, F., 2006. Influence of cadmium toxicity on rice genotypes as affected by zinc, sulfur and nitrogen fertilizers. Caspian Journal of Environmental Science. 4, 1-8.

Islam, E., Yang, X., Li, T., Liu, D., Jin, X., and Meng, F. 2007. Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of Elsholtzia argyi. Journal of Hazardous Material. 147, 3. 806-816.

Khudsar, T., Uzzafar, M., Soh W.Y., Iqbal, M., 2000. Morphological and anatomical ariations of *Cajanus cajan* (Linn.) Huth raised in cadmium-rich soil. Journal of Plant Biology. 43, 149-57.

Kim, Y. Y., Yang, Y., Lee, Y., 2002. Pb and Cd uptake in rice roots. Plant Physiology. 116, 368-372.

Kopyra, M., Gwzdz, E.A., 2003. Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of Lupinus luteus. Plant Physiology and Biochemistry. 41, 1011-1017.

Lindsay W.L., Norvell W.A., 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and

copper. Soil Science Society of America Journal. 42, 421-428.

Liu, T., Liu, S., Guan, H., Ma, L., Chen, Z., Gu, H., Qu L.-J., 2009. Transcriptional profiling of Arabidopsis seedlings in response to heavy metal lead Pb. Environmental and Experimental Botany. 67, 377-386.

Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annales Botanici Fennici, 78, 389-398.

Maksymiec, W., Wójcik, M., Krupa, Z., 2007. Variation in oxidative stress and tochemical activity in *Arabidopsis thaliana* leaves subjected to cadmium and excess copper in the presence or absence of jasmonate and ascorbate. Chemosphere. 66, 421-427.

Manchanda, G., Garg, N., 2008. Salinity and its effects on the functional biology of legumes. Acta Physiologiae Plantarum, 30, 595-618.

Moghaddam, M., Talebi, M., 2017. The Effects of salinity and methyl jasmonate on morphological and biochemical characteristics and photosynthetic pigments content in two basil cultivars. Seed and Plant Production, 32(2), 81-98. [In Persian with English summary].

Mozafari, H., Ali Shiri, M., Seiedmohamadi, Z., 2017. The effect of cadmium stress on yield and some morphological trait of basil (*Ocimum basilicum* L.). The Third International and the Sixth National Conference of Medicinal Herbs and Stable Agriculture. 1-2 December, Hamedan, Iran. [In Persian].

Noorani Azad, H., Kafilzadeh, F., 2011. The effect of cadmium toxicity on growth, soluble sugars, photosynthetic pigments and some of enzymes in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Plant Researches (Iranian Journal of Biology), 24, 857-867. [In Persian with English summary].

Omidbaigi R. 1997. Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants.Vol. 2. Tarrahan-e Nashr Publication. Tehran. [In Persian].

Padash, A., Ghanbari, A., Asgharipour, M. R., 2016. Interaction effects of lead and salicylic acid on some quantitative and qualitative growth parameters and antioxidant enzymes of basil. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 7, 181-191. [In Persian with English summary].

Padash, A., Ghanbari, A., Sirousmehr, A.R., Asgharipour, M.R., 2017. Effect of salicylic acid on basil resistance against lead. Journal of Plant Researches (Iranian Journal of Biology), 31, 68-79. [In Persian with English summary].

Pallavi, Sh., Rama, Sh.D., 2005. Lead toxicity in plant. Brazilian Journal of Plant Physiology. 17, 1-6.

Piotrowska, A., Bajguz, A., Godlewska-Zylkiewicz, B., Czerpak, R., 2009. Jasmonic acid modulator of lead toxicity in aquatic plant *Wolffia arrhiza* (Lemnaceae). Environmental and Experimental Botany. 66, 507-513.

Poortabrizi, S., Pourseyedi, Sh., Abdoshahi, R., Nadernejad, N., 2019. Effect of cadmium stress on morphological and physiological traits of milk thistle (*Silybum marianum*). Journal of Plant Process and Function, 7, 185-198. [In Persian with English summary].

Poschenrieder, C., Tolra, R., Barcelo, J., 2006. Can metals defend plants against biotic stress? Trends in Plant Science. 11, 288-295.

Prakash, V. 1990. Leafy Spices. CRC Press. 114p

Ranjbar, M., Lari Yazdi, H., Boroumand Jazi, SH., 2011. The effect of salicylic acid on photosynthetic pigments, contents of sugar and antioxidant enzymes under lead stress in *Brassica napus* L. Journal of Plant Biology, 3, 39-53. [In Persian with English summary].

Reddy, R.K., Hodges, H.F., Mckinion, J.M., 1997. Modeling temperature effect on cotton internode and leaf growth. Crop Science, 37, 503-507.

Rubio, C., Lucas, J.R.D., Gutiérrez, A.J., Glez-Weller, D., Marrero, B., Caballero, J.M., Revert, C., Hardisson, A., 2012. Evaluation of metal concentrations in Mentha herbal teas (*Mentha piperita* L. *Mentha pulegium* L.) by inductively coupled plasma spectrometry. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.71, 11-17.

Saderi, S. Z., Zarinkamar, F., Zeynali, H., 2011. The study of lead uptake and accumulation by Matricaria chamomilla in various growth stages. Journal of Plant Biology, 3, 53-63. [In Persian with English summary].

Sanchez, F.J., Manzanares, M. de Andres, E.F., Tenorio, J.L., Ayerbe, L., 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble

sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crops Research, 59, 225-235.

Sanita di Toppi, L., Gabbrielli, R., 1999. Response to cadmium in higher plants. Environmental and Experimental Botany. 41, 105-130.

Salimi, F., Shekari, F., 2012. The effects of methyl jasmonate and salinity on some morphological characters and flower yield of German chamomile (*Matricaria chamomilia* L.). Journal of Plant Biology. 4, 27-39.

Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., Avudainayagam, S., 2005. Chromium toxicity in plants. Environment International. 31, 63-68.

Sharma, P., Dubey, R.S., 2004. Ascorbate peroxides from rice seedling. Plant Science. 167, 541-550.

Srivastava, N.K., Luthra, R., 1994. Relationship between photosynthetic carbon metabolism and essential oil biogenesis in peppermint under Mn stress. Journal of Experimental Botany. 45, 1127-1132.

Tabrizi, L., Mohammadi, S., Delshad, M., Moteshare Zadeh, B., 2015. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under lead and cadmium stress. Environmental Science, 13, 37-48.

Taghizadeh, M., Solgia, M., Karimib, M., Sanatib, M. H., Khoshbina, Sh., 2018. Heavy metals effects on *Brassica oleracea* and elements accumulation by salicylic acid. Archives of Hygiene Sciences, 7, 1-11.

Topalov, V., Zhelyazkov, V., 1991. Effect of harvesting on the yield of fresh material, essential oil, and planting material from *Mentha piperita* L. and Mentha arvensis L. Herba Hung 50, 60-67.

Wainwright, S., and Woolhouse, H. 1977. Some physiological aspects of copper and zinc tolerance in *Agrostis tenuis* Sibth: cell elongation and membrane damage. Journal of Experimental Botany. 28, 1029-1036.

Wang, H.L., Lee, P.D., Liu, L.F., Su, J.C., 1999. Effect of sorbitol induced osmotic stress on the changes of carbohydrate and free amino acid pools in sweet potato cell suspension cultures. Botanical Bulletin of Academia Sinca. 40, 219225.

Wasternack, C., Parthier, B., 1997. Jasmonate signaled plant gene expression. Trends in Plant Sciences. 2, 302–307.

Zaier, H., Ghnaya, T., Lakhdar, A., Baioui, R., Ghabriche, R., Mnasri, M., Sghair, S., Lutts, S., Abdelly, C. 2010. Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: Tolerance and accumulation. Journal of Hazardous Material. 183, 609-615.

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 4, pp. 1329-1344
Winter 2021
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.2466.1648

Original article

The effect of methyl jasmonate spraying on some morphophysiological characteristics and lead absorption of basil (*Ocimum basilicum* L.) under lead stress

S. Asadi[1], M. Moghaddam[1*], A. Ghasemi Pirbalouti[2], A. Fotovat[3]

1. Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Research Center for Medicinal Plants, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Shahr-e-Qods, Tehran, Iran
3. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received 8 May 2019; Accepted 3 September 2019

Abstract

Lead as a heavy metal and permanent chemical contaminant threat the health of environment and alive creatures through different artificial and natural sources. In order to investigate the effect of methyl jasmonate and lead stress on growth characteristics, the adsorption and accumulation of lead and hazardous index in basil, a pot factorial experiment was carried out based on completely randomized design in research greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad. The treatments consisted of three levels of lead nitrate (0, 200 and 400 mg/kg soil), and methyl jasmonate spraying in three concentrations (0, 0.5 and 1 mM). The mean comparison of data represented the reduction in all the studied morphological traits and increasing the amount of lead in the leave and root of the plant and hazardous index with increasing lead stress levels and spraying with methyl jasmonate could partly improve some of these traits. So that spraying with 1 mM methyl jasmonate cause to increase 6.01% inflorescence length and cause to decrease lead amount of the eave 96.56, 79.31 and 99.20%, respectively and hazardous index, however, at o.5 mM methyl jasmonate cause to increase the number of branches and aerial fresh weight, 27.66 and 9.84%, respectively. Therefore, it seems that application of methyl jasmnate on stress conditions could improve partly the traits and so in some cases 1 mM methyl jasmonate concentration cause to decrease some morphological traits. Therefore, application of o.5 mM methyl jasmonate on lead stress is recommendable.

***Keyword*:** Dry weight of aerial parts, Fresh weight of aerial parts, Growth regulator, Hazardous index, Lead toxicity.

[*]Correspondent author: Mohammad Moghaddam; E-Mail: m.moghadam@um.ac.ir.