

تأثیر کاربرد متیل‌جاسمونات بر محتوای پرولین و جذب عناصر مس، آهن، روی و منیزیم در گیاه شاهی (*Lepidium sativum*) تحت سمیت مس

الهام اسدی کرم*، زهرا اسرار و بتول کرامت

کرمان، دانشگاه باهنر کرمان، دانشکده علوم گروه زیست‌شناسی

تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۷

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف متیل‌جاسمونات (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میکرومولار) در گیاهانی که تحت تأثیر سطوح مختلف فلز مس (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) قرار داشتند انجام شد. میزان پرولین، قند احیاکننده و میزان جذب آهن، روی، منیزیم و مس در گیاهان اندازه‌گیری شد. همچنین محتوای Cu ، Mg ، Fe و Zn از طریق اسپکتروسکوپی با نشر مرئی-پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) مدل Vista MPX تحت شرایط بهینه اندازه گرفته شد. نتایج نشان داد، که با افزایش غلظت مس در محلول غذایی میزان تجمع مس در اندام هوایی و ریشه افزایش می‌یابد. کاربرد متیل‌جاسمونات باعث کاهش میزان مس در گیاه شد. در حضور مقادیر زیاد مس در محلول غذایی، محتوای آهن در ریشه زیاد و در اندام هوایی کم گردید. کاربرد متیل‌جاسمونات موجب کاهش میزان آهن در ریشه و افزایش آن در اندام هوایی شد. در شرایط تنش مس محتوای منیزیم در اندام هوایی گیاه کاهش یافت در حالی که محتوای منیزیم ریشه نسبت به شاهد تغییری نکرد. میزان روی در ریشه گیاه کاهش یافت و در اندام هوایی تغییری نکرد. تیمار متیل‌جاسمونات و مس نشان داد که در برخی از غلظت‌ها، متیل‌جاسمونات باعث افزایش مقدار یون‌ها از جمله منیزیم و روی در اندام هوایی گردید. بنابراین تیمار متیل‌جاسمونات به طور موثری باعث کاهش تنش مس از طریق تغییر محتوای یونها در شرایط تنش در گیاه شاهی شد.

واژه‌های کلیدی: گیاه شاهی، متیل‌جاسمونات، مس

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۴۳۳۲۲۲۰۳۲، پست الکترونیکی: Asadikaram_e2007@yahoo.com

مقدمه

مس به عنوان یک کوفاکتور در فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف سلول‌های گیاهی عمل می‌کند که شامل انتقال الکترون در فتوسنتز، تنفس میتوکندریایی، ربایش سوپراکسید، لیگنینی‌شدن دیواره سلولی می‌باشد (۹). مس یک عنصر فلزی ضروری برای تغذیه گیاه است و نقش مهمی در فرایندهای متابولیکی مختلف بازی می‌کند، اما می‌تواند در غلظت‌های بالا برای گیاهان و حیوانات سمی باشد (۱۶). غلظت معمول این فلز در بافت‌های گیاهی بین ۵-۱ میکروگرم بر گرم وزن خشک است (۲۱). این مقدار بسته به گونه و واریته‌های مختلف متفاوت می‌باشد. علاوه

براین مس اضافی می‌تواند جذب سایر عناصر غذایی را تغییر دهد (۱۵). براین اساس، یک نشانه سمیت فلز سنگین در گیاهان، بر هم خوردن تعادل تغذیه گیاه است. برای مثال غلظت عنصر K^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} و Mn^{2+} در اندام هوایی با افزایش غلظت Cu در محلول غذایی کاهش می‌یابد (۲۷). مس به اشکال مختلفی در خاک وجود دارد. غلظت مس محلول در خاک در کل کم و بیش از ۹۸ درصد مس محلول متصل به مواد آلی می‌باشد (۲۷) و ماده آلی خاک می‌تواند مهم‌ترین عامل خاک در تعیین Cu در دسترس باشد (۲۶). مشخص شده که سهم Cu^{2+} متصل به ماده آلی

استرهای آن که در حالت کلی به جاسمونات‌ها معروف هستند به عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی طبیعی جنبه‌های مختلف واکنش گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی را تحت تاثیر قرار می‌دهند (۱۱). این مواد فرآورده نهایی اکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع همانند اسید لینولئیک می‌باشند که به صورت مولکول‌های سیگنالی سیستم‌های دفاعی گیاهان را در مقابل عوامل تنش‌زای محیطی فعال می‌کنند (۳۴). تاثیر متیل‌جاسمونات بر کاهش خسارات ناشی از تنش کم آبی در توت فرنگی (۳۶) و ذرت (۱۸) و همچنین اثر آن بر سازگاری گیاه جو به تنش شوری (۳۵) بیانگر کارآیی ترکیب فوق در زمینه کاهش خسارت ناشی از تنش‌های محیطی در گیاهان می‌باشد. با توجه به تاثیر مثبت متیل‌جاسمونات در مقابله با تنش‌های محیطی، هدف کلی از انجام این پژوهش، بررسی تاثیر احتمالی متیل‌جاسمونات بر میزان جذب و انتقال عناصر ضروری در گیاه شاهی تحت شرایط تنش مس می‌باشد.

مواد و روشها

گیاه مورد مطالعه در این پژوهش، گیاه شاهی (*sativum L.*) *Lepidium* می‌باشد که متعلق به خانواده Brassicaceae است. بذرها از مرکز تحقیقات کشاورزی کرج تهیه شد. برای این منظور ابتدا بذرها را یکسان از نظر اندازه، با سدیم هیپوکلریت ۰/۵ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی شده و سپس دو دفعه با آب مقطر شسته شدند. برای کشت گیاه، از گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۲ سانتیمتر حاوی پرلیت استفاده شد. سپس بذرها را خیس خورده به گلدان‌ها منتقل شدند. برای هر تیمار ۳ گلدان به عنوان ۳ تکرار در نظر گرفته شد. در هر گلدان دو بذر به عنوان دو نمونه کاشته شد. گلدان‌ها پس از کشت در گلخانه، تحت شرایط نوری (۱۶:۸) (نور/ تاریکی) با شدت نور ۱۴ کیلولوکس، رطوبت ۷۵ درصد و دمای (۱۶) درجه سانتیگراد (تاریکی/ نور) قرار گرفتند و به منظور تامین املاح مورد نیاز گیاه، گلدان‌ها هفته‌ای ۳ مرتبه با محلول غذایی هوگلند ۱/۲ با

در محلول خاک از ۳۷ درصد تا ۹۵ درصد می‌باشد که با کاهش PH افزایش می‌یابد (۲۵). مس به مقدار زیاد در اثر رسوب مواد رها شده از پسماند فاضلاب‌ها، معدن‌کاری، ذوب فلزات، فعالیت‌های صنعتی و کاربرد گسترده آفت-کش‌ها به محیط وارد شده، غلظت‌های زیاد آن به عنوان یک آلاینده دائمی در محیط محسوب می‌شود. مس همانند سایر فلزات سنگین از طریق ریشه و به صورت Cu^{2+} از محلول خاک جذب گیاه می‌شود (۳۰).

گیاهان سه استراتژی را برای رشد در خاک‌های آلوده به فلزات بکار می‌برند (۲۴). شامل حذف‌کننده‌های فلز (Metal excluders)، این گیاهان از ورود فلزات به بخش‌های هوایی جلوگیری می‌کنند و یا غلظت فلزی ثابت و پایین را در گستره وسیعی از غلظت‌های فلزی در خاک حفظ می‌کنند. اینها معمولاً فلز را در ریشه‌هایشان محدود می‌کنند. این گیاهان ممکن است از طریق تغییر در نفوذپذیری غشاهایشان، تغییر در ظرفیت اتصال فلزات به دیواره سلولی و یا ترشح ترکیبات کلاته‌کننده این عمل را انجام دهند (۱۲). از راه‌های تحمل گیاه به فلز سنگین می‌توان اتصال فلز به دیواره سلول، کاهش انتقال از میان غشاء و خروج فعال یونها را نام برد (۲۸). معرف‌های فلز (Metal indicator)، گونه‌هایی که به صورت فعال فلزات را در بافت‌های هوایی تجمع می‌کنند و عموماً منعکس‌کننده سطح فلزات در خاک هستند. این گیاهان غلظت‌های موجود از فلزات را بوسیله تولید ترکیبات درون سلولی متصل‌شونده به فلزات (کلاتورها) و یا تغییر کده‌بندی فلزات و ذخیره سازی فلزات در بخش‌های غیرحساس (واکوئل) تحمل می‌کنند (۲۸). گونه‌های گیاهی تجمع‌دهنده فلزات، این گیاهان می‌توانند فلزات را در بخش‌های هوایی خود تا سطوح بالاتر از آنچه که در خاک وجود دارد درخودشان تغلیظ کنند. این گیاهان سطوح بالای مواد آلوده‌کننده را جذب کرده و آن را در ریشه‌ها، ساقه‌ها و یا برگ‌ها تجمع می‌دهند (۲۴). جاسمونیک‌اسید و متیل

خشک ریشه و ساقه به صورت جداگانه به ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه گردید. سپس به مدت بیش از ۲۴ ساعت در زیر هود قرار داده تا هضم اسیدی شوند. سپس در زیر هود حرارت داده شده تا بخارات اسیدی از آن خارج شود. در نهایت، حجم محلول به ۵۰ میلی لیتر رسانده و از کاغذ صافی عبور داده شد. از محلول شفاف رویی جهت اندازه‌گیری مقدار یون مورد نظر در دستگاه ICP استفاده گردید.

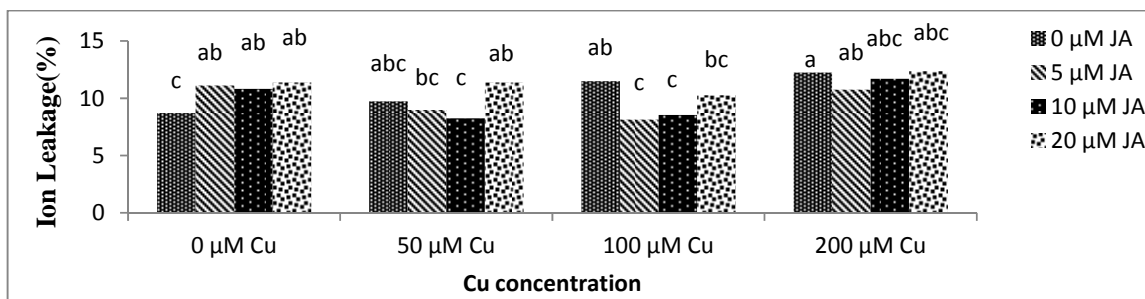
تحلیل آماری: این تحقیق در قالب یک طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی انجام شد. برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری پارامترها، با استفاده از نرم افزار SPSS 16.0 تحت آنالیز واریانس یک-طرفه قرار گرفتند و میانگین داده‌ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0/05$ به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد.

نتایج

تیمار مس باعث افزایش معنی‌دار میزان نشت یونی نسبت به شاهد گردید، همچنین تیمار متیل جاسمونات به تنهایی، موجب افزایش درصد نشت یونی نسبت به گیاه شاهد شد. در تیمار توام مس و متیل جاسمونات، غلظت ۵ و ۱۰ میکرومولار متیل جاسمونات، باعث کاهش معنی‌دار نشت یونی در غلظت ۱۰۰ میکرومولار مس، نسبت به شرایط تیمار مس بدون متیل جاسمونات شد.

pH تقریبی $1 \pm 0/7$ مدت ۳ هفته آبیاری شدند. پس از اینکه گیاهان به رشد کافی رسیدند (مرحله سه جفت برگگی)، به مدت دو هفته به صورت یک روز در میان، تیمارهای مس و جاسمونات به طور همزمان اعمال شد. به منظور تهیه محلولهایی با غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار مس، مقدار مناسبی از سولفات مس به محلول هوگلدن اضافه گردیده و pH محلول‌ها با استفاده از اسید-کلریدریک و پتاس یک میلی‌مولار تنظیم شد. محلول‌ها به صورت یک روز در میان به حجم ۵۰ میلی لیتر به گلدانها اضافه و در فواصل بین تیمارها به منظور مرطوب نگه داشتن خاک و ممانعت از تجمع بیش از حد نمک در گلدان‌ها از آب مقطر استفاده می‌شد. محلول‌پاشی گیاهان توسط متیل جاسمونات نیز با غلظت‌های ۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میکرومولار همزمان با تیمار محلول‌های مس شروع و به مدت دو هفته ادامه داشت. پس از گذشت دو هفته نمونه‌ها برداشت شدند. برای سنجش میزان آسیب به غشا، میزان نشت یونی از روش (8) Ben Hamed و همکاران استفاده شد. اندازه‌گیری مقدار قندهای احیاکننده از روش (29) Neslon-Somogy انجام شد. برای اندازه‌گیری پرولین از روش (7) Bates و همکاران استفاده شد.

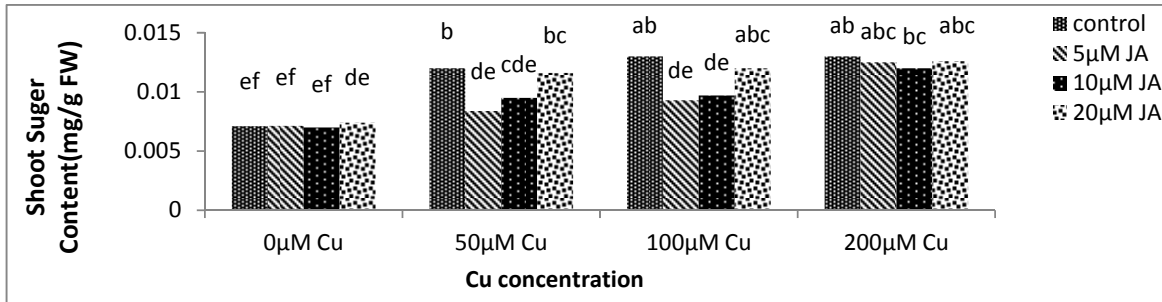
سنجش میزان عناصر مس، آهن، روی و منیزیم در اندام هوایی و ریشه با دستگاه Induced Coupled ICP (Plasma): به منظور اندازه‌گیری یون‌های فوق از دستگاه ICP استفاده شد. در این روش ۰/۱۲۵ گرم از بافت



نمودار ۱- اثر تیمار متیل جاسمونات و مس بر درصد نشت یونی گیاه شاهی. براساس آزمون دانکن، حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری در سطح $p > 0/05$ اختلافی ندارند.

غلظت‌های ۵ و ۱۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات، مقدار قند را در تیمار غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار مس نسبت به شرایط تنش بدون تیمار جاسمونات کاهش داده است.

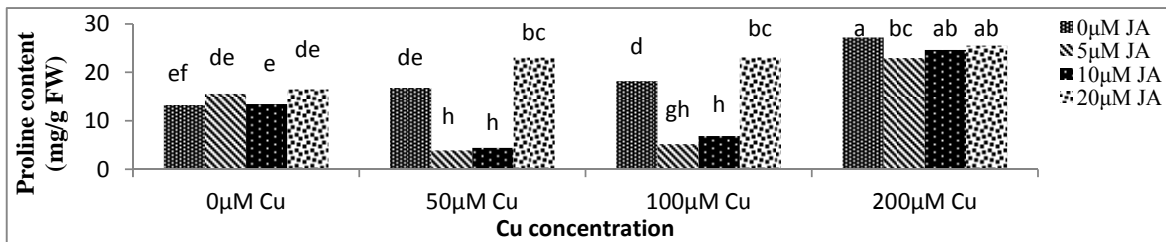
نتایج نشان داد که، تنش مس باعث افزایش مقدار قند در برگ در مقایسه با نمونه شاهد شد. کاربرد متیل‌جاسمونات به تنهایی، اثر معنی‌داری بر مقدار قند برگ نداشته است، اما



نمودار ۲- اثر تیمار متیل‌جاسمونات و مس بر میزان قند احیاکننده در برگ گیاه شاهی. براساس آزمون دانکن، حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری در سطح $p > 0.05$ اختلافی ندارند.

میکرومولار مس، تیمار ۵ و ۱۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات باعث کاهش معنی‌دار محتوای پرولین برگ نسبت به گیاهان شاهد و گیاهان در شرایط تنش بدون جاسمونات گردید (نمودار ۳).

در اندازه‌گیری مقدار پرولین برگ مشاهده شد که، تیمار گیاهان با ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار مس باعث افزایش معنی‌دار مقدار پرولین در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. تیمار متیل‌جاسمونات به تنهایی، تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت. در گیاهان تحت تیمار غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰



نمودار ۳- اثر تیمار متیل‌جاسمونات و مس بر میزان پرولین برگ گیاه شاهی. براساس آزمون دانکن، حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری در سطح $p > 0.05$ اختلافی ندارند.

اندام هوایی نسبت به گیاهان تحت تنش بدون تیمار متیل‌جاسمونات شدند (جدول ۱). تیمار متیل‌جاسمونات به تنهایی، باعث کاهش محتوای مس در ریشه شد. در گیاهان تحت تنش مس تیمارهای ۵ و ۱۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات، باعث کاهش میزان تجمع مس در ریشه نسبت به شرایط تنش بدون تیمار جاسمونات شد (جدول ۲).

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان عناصر در اندام هوایی و ریشه گیاه شاهی: میزان تجمع فلز مس در اندام هوایی و ریشه: میزان تجمع فلز مس در اندام هوایی و ریشه با افزایش غلظت مس در محلول غذایی افزایش یافت. تیمار متیل‌جاسمونات به تنهایی، تأثیر معنی‌داری بر محتوای مس در اندام هوایی و ریشه نداشت، تیمارهای توأم مس و متیل‌جاسمونات باعث کاهش محتوای مس در

حالی که در شرایط کاربرد مس، برخی تیمارهای متیل-جاسمونات باعث افزایش میزان منیزیم در اندام هوایی گردید (جدول ۱). تیمار مس به تنهایی، تأثیر معنی‌داری بر تجمع میزان منیزیم در ریشه نداشت. تیمار ۵ و ۲۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات به تنهایی، باعث افزایش معنی‌دار محتوای منیزیم ریشه نسبت به شاهد گردید. تیمار ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار مس، غلظت ۵ و ۱۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات تأثیر معنی‌داری بر میزان منیزیم ریشه نداشت در حالی که، تیمار ۲۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات میزان منیزیم را به طور معنی‌داری کاهش داد. (جدول ۲)

میزان تجمع فلز آهن در اندام هوایی و ریشه: تیمار مس به تنهایی، تأثیر معنی‌داری بر تجمع میزان آهن در اندام هوایی نداشت. تیمار متیل‌جاسمونات به تنهایی، باعث افزایش محتوای آهن در اندام هوایی شد که این افزایش، تنها در غلظت ۲۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات نسبت به گیاهان شاهد معنی‌دار است. در بررسی تیمار توام، تیمار ۱۰ و ۲۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات در تمام غلظت‌های مس به کار برده شده، باعث افزایش میزان آهن در اندام هوایی و کاهش این میزان در ریشه گیاهان گردید.

میزان تجمع منیزیم در اندام هوایی و ریشه: تیمارهای مس به تنهایی، میزان منیزیم در اندام هوایی کاهش یافت در

جدول ۱- اثر تیمار متیل‌جاسمونات و مس بر میزان تجمع عناصر ضروری گیاه (مس، آهن، منیزیم و روی) در اندام هوایی گیاه شاهی. براساس آزمون دانکن، حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری در سطح $p > 0.05$ اختلافی ندارند.

متیل جاسمونات (میکرومولار)	سولفات مس (میکرومولار)	Cu (میلی گرم بر گرم وزن خشک)	Fe (میلی گرم بر گرم وزن خشک)	Mg (میلی گرم بر گرم وزن خشک)	Zn (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
۰	۰	۰/۰۰۳ ^c	۰/۰۱۹۰ ^e	۵۵/۳۵۱ ^{cd}	۰/۰۱۰۵ ^b
۰	۵۰	۰/۱۰۸۶ ^b	۰/۰۰۷۴ ^e	۶۰/۵۶۵ ^{bcd}	۰/۰۲۵۱ ^b
۰	۱۰۰	۰/۱۸۶۶ ^{ab}	۰/۱۱۷۵ ^{bcd}	۴۲/۸۵۵ ^{de}	۰/۰۰۰۰ ^b
۰	۲۰۰	۰/۲۰۰۲ ^a	۰/۰۰۰۰ ^e	۳۴/۴۳۷ ^e	۰/۰۳۴۸ ^b
۵	۰	۰/۰۰۰۰ ^c	۰/۰۸۹۲ ^{bcd}	۶۱/۲۰۵ ^{bcd}	۰/۶۸۱۰ ^b
۵	۵۰	۰/۰۰۲۷ ^c	۰/۰۴۴۶ ^{de}	۶۱/۱۱۱ ^{bcd}	۰/۱۲۸۰ ^a
۵	۱۰۰	۰/۱۱۵۸ ^b	۰/۲۰۱۰ ^{abc}	۸۳/۷۸۴ ^a	۰/۱۶۹۱ ^a
۵	۲۰۰	۰/۰۷۴۷ ^{bc}	۰/۰۹۱۲ ^{bcd}	۶۱/۷۸۳ ^{bcd}	۰/۱۰۷۹ ^{ab}
۱۰	۰	۰/۰۲۴۰ ^c	۰/۱۰۳۷ ^{bcd}	۵۹/۴۸۲ ^{bcd}	۰/۰۴۴۸ ^b
۱۰	۵۰	۰/۰۲۷۷ ^c	۰/۱۸۵۴ ^{abc}	۵۹/۰۶۹ ^{bcd}	۰/۱۴۰۳ ^a
۱۰	۱۰۰	۰/۰۶۲۴ ^{bc}	۰/۱۵۷۱ ^{abcd}	۶۰/۴۹۴ ^{bcd}	۰/۱۲۳۱ ^a
۱۰	۲۰۰	۰/۱۰۴۲ ^b	۰/۲۵۸۴ ^a	۶۸/۴۲۲ ^{abc}	۰/۰۹۵۰ ^{ab}
۲۰	۰	۰/۰۳۷۷ ^c	۰/۲۱۳۰ ^{ab}	۵۶/۴۸۵ ^{cd}	۰/۰۶۶۱ ^b
۲۰	۵۰	۰/۰۳۵۳ ^c	۰/۱۷۷۱ ^{abc}	۶۰/۶۸۲ ^{bcd}	۰/۰۳۷۳ ^b
۲۰	۱۰۰	۰/۰۵۴۹ ^c	۰/۲۸۱۸ ^a	۷۷/۳۳۳ ^{ab}	۰/۰۲۵۴ ^b
۲۰	۲۰۰	۰/۰۸۴۶ ^{bc}	۰/۱۷۴۶ ^{abc}	۶۶/۳۴۳ ^{abc}	۰/۰۴۳۴ ^b

غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار مس، میزان روی را در اندام هوایی گیاه نسبت به گیاه شاهد افزایش داد (جدول ۱). تیمار مس به تنهایی، باعث کاهش معنی‌دار میزان تجمع روی در ریشه گیاه در مقایسه با شاهد شد. تیمار متیل

میزان تجمع روی در اندام هوایی و ریشه: تیمار مس و متیل‌جاسمونات هر کدام به تنهایی، تأثیر معنی‌داری بر تجمع میزان روی در اندام هوایی در مقایسه با شاهد نداشتند. تیمارهای ۵ و ۱۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات در

نسبت به شرایط تنش بدون تیمار جاسمونات گردید، که بیشترین میزان تجمع روی در ریشه در تیمار ۱۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات و ۱۰۰ میکرومولار مس مشاهده شد (جدول ۲).

جاسمونات به تنهایی در برخی از غلظت‌ها، باعث کاهش معنی‌دار میزان روی در ریشه شد. در تیمار توام مس و متیل‌جاسمونات، غلظت ۵ و ۱۰ میکرومولار متیل-جاسمونات در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار مس، باعث افزایش معنی‌دار میزان روی در اندام هوایی

جدول ۲- اثر تیمار متیل‌جاسمونات و مس بر میزان تجمع عناصر ضروری گیاه (مس، آهن، منیزیم و روی) در ریشه گیاه شاهی. براساس آزمون دانکن، حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری در سطح $p > 0.05$ اختلافی ندارند.

متیل جاسمونات (میکرومولار)	سولفات مس (میکرومولار)	Cu (میلی گرم بر گرم وزن خشک)	Fe (میلی گرم بر گرم وزن خشک)	Mg (میلی گرم بر گرم وزن خشک)	Zn (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
۰	۰	۰/۱۰۴۵ ^{cde}	۰/۱۷۹۵ ^{cd}	۶۵/۱۱۷۰ ^{bc}	۰/۱۴۷۰ ^{ab}
۰	۵۰	۰/۱۷۷۴ ^{abc}	۰/۱۹۹۱ ^{bc}	۵۸/۰۳۲۰ ^{bc}	۰/۰۲۴۷ ^{fg}
۰	۱۰۰	۰/۲۲۳۷ ^{ab}	۰/۲۰۱۴ ^{abc}	۵۴/۷۱۸۰ ^c	۰/۰۱۵۹ ^g
۰	۲۰۰	۰/۲۴۰۲ ^a	۰/۲۴۴۱ ^a	۶۵/۴۹۸۰ ^{bc}	۰/۰۳۳۵ ^{efg}
۵	۰	۰/۰۰۰۰ ^g	۰/۱۲۸۴ ^e	۸۲/۳۲۰۰ ^a	۰/۰۵۸۲ ^{cdefg}
۵	۵۰	۰/۰۹۸۳ ^{def}	۰/۲۰۰۱ ^{bc}	۶۱/۷۵۰۰ ^{bc}	۰/۱۱۰۸ ^{bc}
۵	۱۰۰	۰/۱۴۹۳ ^{bcd}	۰/۱۶۱۷ ^{cde}	۷۵/۹۹۹۰ ^{bc}	۰/۱۰۹۷ ^{bc}
۵	۲۰۰	۰/۱۱۳۲ ^{cde}	۰/۱۹۱۴ ^{bcd}	۵۶/۶۲۹۰ ^c	۰/۰۹۸۷ ^{bcd}
۱۰	۰	۰/۰۳۶۰ ^{efg}	۰/۱۶۱۸ ^{cde}	۶۷/۹۹۵۰ ^b	۰/۰۹۵۹ ^{bcd}
۱۰	۵۰	۰/۰۶۱۶ ^{efg}	۰/۱۷۸۲ ^{cd}	۴۳/۳۳۰۰ ^d	۰/۰۸۳۲ ^{cde}
۱۰	۱۰۰	۰/۰۸۰۰ ^{def}	۰/۱۰۱۳ ^e	۶۱/۷۴۲۰ ^{bc}	۰/۱۸۳۲ ^a
۱۰	۲۰۰	۰/۰۷۵۲ ^{defg}	۰/۱۳۷۶ ^e	۵۶/۰۸۹۰ ^c	۰/۰۹۷۴ ^{bcd}
۲۰	۰	۰/۰۲۰۸ ^{fg}	۰/۱۷۵۳ ^{cde}	۸۳/۵۸۵۰ ^a	۰/۰۸۱۰ ^{cde}
۲۰	۵۰	۰/۰۳۷۳ ^{efg}	۰/۱۵۰۸ ^{de}	۶۳/۵۰۳۰ ^{bc}	۰/۰۶۹۵ ^{cdef}
۲۰	۱۰۰	۰/۱۹۳۱ ^{ab}	۰/۰۷۳۵ ^f	۳۵/۹۲۰۰ ^d	۰/۰۶۵۲ ^{cdefg}
۲۰	۲۰۰	۰/۲۱۸۶ ^a	۰/۰۴۷۸ ^f	۲۸/۸۳۴۰ ^d	۰/۰۴۷۷ ^{defg}

باعث کاهش نشت یونی در شرایط سمیت مس شده است، که نشان‌دهنده اثر مطلوب این غلظت‌ها بر کاهش تنش ناشی از سمیت مس می‌باشد (نمودار ۱). به طور کلی نشت غشایی ایجاد شده توسط مس، به عنوان یک نتیجه از آسیب غشا سلول در *Rumex dentatus* گزارش شده است (۲۰). در این پژوهش تیمار مس، میزان قند احیاکننده در گیاه را افزایش داد در حالی‌که تیمارهای ۵ و ۱۰ میکرومولار توانست در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار مس این میزان را نسبت به گیاهان تیمار شده با مس در فقدان

بحث

فلزات سنگین از طریق افزایش تجمع ROS و در اثر تنش اکسیداتیو حاصل از آن، منجر به تخریب ساختار غشا می‌شود. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌گردند. لذا غشاهای زیستی آسیب دیده و قابلیت نفوذپذیری آنها مختل می‌شود. همین امر باعث نشت الکتروولتتها به خارج سلول می‌شود. در این پژوهش غلظت‌های ۵ و ۱۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات

نیترژن برای رشد بعد از رفع تنش، کاهش خطرات حاصل از تولید ROS، جاروب کردن رادیکال‌های هیدروکسیل، خاموش کردن اکسیژن یکتائی و تنظیم pH سلولی نقش دارد (۳۳). گیاهان برنج ترانسژنی که مقدار پرولین بیشتری را تجمع می‌دادند در شرایط تنش دارای رشد بهتری بودند (۳۱). نتایج حاصل از سنجش پرولین در گیاه شاهی نشان داد که تیمار مس باعث افزایش مقدار پرولین شد. تیمار متیل‌جاسمونات به تنهایی تاثیر معنی‌داری بر مقدار پرولین در برگ گیاه شاهی نداشت (نمودار ۳). در بررسی اثر مس بر میزان پرولین در برگ و ریشه دو رقم از گیاه کلزا مشاهده شد که میزان پرولین در ریشه و برگ افزایش یافت که این افزایش در ریشه چشمگیرتر از ساقه بود. تجمع پرولین در گیاه تحت تنش مس می‌تواند به عنوان یک شاخص زیستی برای نقش فلز سنگین باشد (۲). همچنین گزارش شده که تیمار متیل‌جاسمونات باعث افزایش محتوای پرولین در گیاه جو نشده است (۶). نتایج به دست آمده در این بررسی نشان می‌دهد که متیل‌جاسمونات می‌توانند از طریق تاثیر بر محتوای پرولین به طور موثری باعث افزایش مقاومت گیاه شاهی در برابر سمیت مس و کاهش اثرات تنش ناشی از سمیت شود. در پژوهش حاضر، با افزایش غلظت مس در محلول غذایی میزان تجمع مس در اندام هوایی و ریشه افزایش یافت. در غلظت زیاد مس مشاهده شده که محتوای مس ریشه گیاهان لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و بسیاری از گیاهان دیگر افزایش پیدا می‌کند. بیشتر فلزات سنگین می‌توانند از ریشه به ساقه حرکت کنند. بعضی از گیاهان مقاوم به مس به وسیله نگهداری Cu در ریشه از رسیدن Cu به ساقه و برگ‌ها جلوگیری می‌کنند. محدودیت انتقال مس به ساقه و برگ‌ها به عنوان یک مکانیسم مقاومت به مس در گیاهان مطرح می‌باشد (۳۹). از عوامل تأثیرگذار در تجمع فلز در بخش‌های مختلف گیاه انتقال یون‌های فلزی به اندام هوایی درون آوند چوب، توسط انتقال توده‌ای آب، در اثر تبخیر می‌باشد (۳۷). در شرایطی

متیل‌جاسمونات، کاهش دهد. در مورد اثر تنش فلز سنگین گزارش شده است که در گیاهچه‌های *Musa acuminata* با افزایش غلظت مس، محتوای قند در اندام هوایی گیاهان تحت تیمار افزایش یافته است که احتمال می‌دهد تنش ناشی از مس را خنثی کند (۱۳). محتوای قند گیاه ارتباط مستقیم با میزان فتوسنتز دارد. غلظت اضافی مس، باعث تغییر ارتباط مخزن-منبع می‌شود که این مسئله منجر به تجمع قندها و کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد می‌گردد (۳۲).

در زمینه بررسی اثرات متیل‌جاسمونات بر محتوای قند، گزارش شده است که کاربرد متیل‌جاسمونات در گیاه صنوبر اثری بر فتوسنتز و میزان قندهای محلول برگ نداشته است اما بر سرعت انتقال و کوتاه کردن زمان انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ساقه‌ها و ریشه‌ها موثر بوده است (۵). مشاهده شده است که در برگ‌های برنج تحت تیمار متیل‌جاسمونات (۴۵ μM)، ۴۸ ساعت پس از شروع تیماردهی، محتوای قندهای ساکارز و گلوکز کاهش یافته است (۹). این محققین اظهار کرده‌اند که قندهای ساکارز و گلوکز به عنوان سوسترهای تنفسی در برگ‌های برنج به شمار می‌روند. مشاهده شده است که، پیش‌تیمار جاسمونات باعث افزایش سطح فرآورده‌های فتوسنتزی در گیاه جو تحت تنش شوری گردیده است. این دانشمندان اظهار داشتند که تیمار جاسمونات باعث افزایش نسخه-برداری زیر واحد کوچک روبیسکو در گیاهان تیمار شده گردیده است. بنابراین به دلیل تعدیل در کاهش میزان فتوسنتز و فرآورده‌های فتوسنتزی می‌توان نقش جاسمونات‌ها را در ایجاد مقاومت گیاه در برابر استرس موثر دانست (۳۵). یکی از راه‌های مقابله با تنش‌های محیطی نظیر شوری و خشکی سنتز ترکیبات سازگاز و محافظ اسمزی می‌باشد که پرولین از جمله این ترکیبات به شمار می‌رود. پرولین در حفظ تعادل آب، حفظ ثبات پروتئین‌ها، حفظ ساختار سه بعدی پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، تثبیت غشاهای و دستگاه سنتز پروتئین، ذخیره کربن و

اندام هوایی و ریشه به ویژه در غلظت ۲۰ میکرومولار کاهش می‌یابد که ممکن است متیل‌جاسمونات از همین طریق در کاهش محتوای مس در ریشه گیاه شاهی شرکت کند. علائمی مانند کلروز برگگی در گیاه پونه کوهی رشد یافته در خاکهایی با غلظت‌های بالای مس مشاهده شده است که این علائم به دلیل کمبود منیزیم یا آهن نیست. مشاهده شده است که همراه با افزایش غلظت مس در خاک، محتوای مس در برگ این گیاه افزایش می‌یابد و در میزان منیزیم یا آهن برگ کاهشی مشاهده نمی‌شود (۲۲). نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر نشان داد که در حضور مقادیر زیاد مس در محلول غذایی، محتوای آهن در ریشه زیاد و در اندام هوایی کم می‌گردد که این نشان می‌دهد، احتمالاً مس موجب کاهش انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی گیاه شاهی شده است. براین اساس، گزارشات زیادی از گیاهانی که تحت سمیت مس رشد کردند وجود دارد که اثر آنتاگونیست مس و آهن را نشان می‌دهند. برای مثال، در برنج غلظت آهن به طور معنی‌داری در اندام هوایی گیاهانی که تحت شرایط سمیت مس بودند کاهش یافته است (۱۴). با این حال اثر سینرژستیک مس و آهن در گیاه گندم مطرح شده، به طوری که با افزایش غلظت مس در محلول غذایی، میزان آهن در گیاه افزایش یافت (۱۷). در پژوهش انجام شده، بررسی نتایج نشان داد که کاربرد متیل‌جاسمونات موجب کاهش میزان آهن در ریشه و افزایش آن در اندام هوایی می‌گردد، که این نشان می‌دهد احتمالاً متیل‌جاسمونات موجب افزایش انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی می‌شود و از این طریق می‌تواند آهن مورد نیاز برای سنتز کلروفیل را فراهم کند. مس می‌تواند جذب منیزیم که یک ماده معدنی اساسی برای متابولیسم فتوسنتز و بارگیری آوند آبکش است را مهار کند. تنش مس محتوای منیزیم را در برگ خیار کاهش داده است، با توجه به اینکه منیزیم نقش کلیدی در تشکیل ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات کربوکسیلاز در استرومای کلروپلاست دارد (۲۳)، این می‌تواند کاهش نرخ تثبیت کربن و فتوسنتز را توجیه

که مقدار فلز زیاد باشد تعرق می‌تواند در جابجایی یون‌های فلزی نقش بیشتری اعمال کند (۲۶). بنابراین میزان تعرق، وضعیت آبی گیاه، ترکیب، pH و پتانسیل احیائی شیره خام می‌تواند مقدار و تحرک یون‌های مس را در آوند چوب و در نتیجه میزان تجمع آن را در بخش‌های مختلف گیاه، تحت تأثیر قرار دهد (۱۹). البته این احتمال نیز وجود دارد که گیاه شاهی با ممانعت سلولی فلز مس در فضای آپوپلاست ریشه از ورود بیشتر این فلز به درون سیتوزول جلوگیری کرده و در نتیجه انتقال آن را به اندام هوایی کاهش داده است. به همین دلیل یک جزء گسترده فلزات در ریشه گیاهان در فضای آزاد آپوپلاستی یافت می‌شود. بارگیری فلزات در برگ‌های پیر و ریزش برگ‌های پیر در بسیاری از گونه‌های تحت تنش فلز دیده شده است (۲۶). احتمالاً مقدار بیشتری از فلز مس در برگ‌های پایین‌تر گیاه شاهی، بخصوص برگ لپه‌ای تجمع پیدا کرده و به برگ‌های بالاتر منتقل نشده است که می‌تواند یکی از دلایل کاهش فلز مس در برگ‌های بالایی گیاه باشد. مس تمایلی به تجمع در اندام هوایی ندارد و احتمالاً به دلیل وجود مکانیسم‌های مقاومت به مس در ریشه، غلظت مس در بافت ریشه بصورت خطی با افزایش غلظت آن در محلول غذایی افزایش یافته است (۲۷). مس موجود در ریشه‌ها یا کورتکس بیشتر به صورت متصل به دیواره سلولی است (۹). با توجه به گزارش ارائه شده مبنی بر اثر جاسمونیک-اسید در افزایش نسخه برداری ژن‌های کدکننده گلوکاتایون احیا شده در گیاه آرابیدوپسیس (۳۸) و از طرفی نقش GSH در مسیر بیوسنتز فیتوکلاتین‌ها در سلول‌های ریشه، تا حدودی میزان سمیت کادمیوم در سلول کاهش یافته و از انتقال آن به برگ جلوگیری گردیده است (۱۰). در تحقیق انجام شده روی کاربرد متیل‌جاسمونات در گیاه سویا تحت تنش کادمیوم مطرح شد که احتمالاً متیل‌جاسمونات به همین طریق باعث افزایش تجمع کادمیوم در ریشه و کاهش انتقال آن به برگ گردیده باشد (۳). در این پژوهش با کاربرد متیل‌جاسمونات مشاهده شده که محتوای مس در

گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد، رقابت بین جذب مس و سایر عناصر مانند منیزیم و روی از بین می‌رود و در نتیجه باعث افزایش میزان منیزیم و روی در گیاه می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی: در این پژوهش سطوح سمیت مس، جذب و میزان عناصر مس، آهن، روی و منیزیم در اندام هوایی و ریشه گیاه شاهی را تغییر داد و باعث بر هم خوردن تعادل غذایی در گیاه شد. در حالی که تیمار متیل-جاسمونات با تاثیر بر میزان این عناصر در اندام هوایی و ریشه گیاه شاهی تا حدودی توانست باعث بهبود تغذیه و رشد گیاه شود و بنابراین تنش ناشی از مس را تخفیف دهد.

کند (۴). در این پژوهش، در شرایط تنش مس محتوای منیزیم در اندام هوایی گیاه کاهش یافت در حالی که محتوای منیزیم ریشه نسبت به شاهد تغییری نکرد. در این شرایط میزان روی در ریشه گیاه کاهش یافت و در اندام هوایی تغییری نکرد. تیمار متیل‌جاسمونات تحت تنش مس در برخی از غلظت‌ها باعث افزایش مقدار یون‌ها از جمله منیزیم و روی در اندام هوایی گردید. از آن جایی که در این پژوهش در شرایط تنش مس، کاهش میزان قند و رنگیزه‌های فتوسنتزی مشاهده گردید و رشد اندام هوایی کاهش یافت، احتمالاً کاهش اسکلت کربنی منجر به کاهش قدرت جذب یونها توسط ریشه شده است و تیمار متیل-جاسمونات با سنتز فیتوکلاتین میزان فلز مس را در گیاه کاهش می‌دهد که باعث تخفیف تنش شده و رشد و تغذیه

منابع

- ۱ - رئیس، م. ع.، اسرار، ز. و پورسیدی، ش. (۱۳۸۸). بررسی اثر متقابل (SNP) و مس بر برخی از پارامترهای رشد و فیزیولوژی گیاه شاهی (*Lepidium sativum* L.). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.
- ۲ - روشنی، م. و لاری یزدی، ح. (۱۳۸۹). اثرات برهم کنش مس، آسکوربات و جیبرلین بر پرولین و فعالیت آنزیمهای پراکسیداز و
- ۳ - کرامت، ب.، منوچهری کلانتری، خ. و آروین، م. ج. (۱۳۸۸). بررسی اثر متیل‌جاسمونات بر تنش ناشی از کادمیوم در گیاه سویا (*Glycine max* L.). پایان نامه دکتری. دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.
- 4- Alaoui-Sosse B, Genet P, Vinit-Dunand F, Toussaint ML, Epron D, Badot PM (2004) Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science* 166: 1213-1218.
- 5- Babst BA, Ferrieri RA, Gray DW, Lerdau M, Schyler DJ, Schueller M, Thorpe MR, Orians CM (2005) Jasmonic acid induces rapid changes in carbon transport and partitioning in *Populus*. *New Phytol* 167: 63-72.
- 6- Bandurska, H, Stroiński A, Kubiś J (2003) The effect of jasmonic acid on the accumulation of ABA, proline and spermidine and its influence on membrane injury under water deficit in two barley genotypes. *Journal of Plant physiology* 201:406-409.
- 7- Bates, L.S., Waldern, R. P. and Tare, I.D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 29: 205-207.
- 8- Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C. (2007) Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Journal of Plant Growth Regulation* 53: 185-194.
- 9- Chein, H.F., Wang, J.W., Lin, C.C. and Kao, C.H. (2001) Cadmium toxicity of rice leaves is mediated through Lipid peroxidation. *Journal of Plant Growth Regulation* 33 :205-213.
- 10- Cobbett, C.S. (2000) Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification. *Journal of Plant Physiology* 123: 825-832.
- 11- Creelman, R.A. and Mullet, J.E. (1997) Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annual Review Plant Physiology. Plant Molecular Biology*. 48: 355-381.
- 12- Cunningham, S. (1995) In Proceedings/Abstracts of the Fourteenth Annual Symposium, Current

- Topics in Plant Biochemistry, Physiology, and Molecular Biology Columbia; pp. 47-48.
- 13- Deo, B. and Nayak, P.K. (2011) Study of copper phytotoxicity on in vitro culture of *Musa acuminata* cv. 'Bantala'. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development Vol. 3(8), pp. 136-140.
 - 14- Fageria, N.K. (2002) Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops. *Brasilia*, 37:1765-1772.
 - 15- Gaetke, L.M. and Chow, C.K. (2003) Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients Toxicology, pp. 147-163.
 - 16- Ke, W., Xiong, Z., Chen, S. and Chen, J. (2007) Effect of copper and mineral nutrition on growth, copper accumulation and mineral element uptake in two *Rumex japonicus* populations from a copper mine and an uncontaminated filed sites. *Environ Experimental Botany*, pp. 59-67.
 - 17- Lanaras, T., Moustakas, M., Symeonidis, L., Diamatoglou, S. and Karataglis, S. (1993) Plant metal content, growth responses and some photosynthetic measurements on field cultivated wheat growing on ore bodies enriched in Cu. *Physiologia Plantarum* 88: 307-314.
 - 18- Li L, Staden J.V, Jager A.K. (1998) Effect of plant growth regulators on the antioxidant system in seedlings of two maize cultivars subjected to water stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 25: 81-87.
 - 19- Liao, M.T., Hedley, M.J., Woolley, D.J., Brooks, R.R. and Nichols, M.A. (2000) Copper uptake and translocation in chicory (*Cichorium intybus* L. cv Grasslands Puna) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv Rondy) plants grown in NFT system. II. The role of nicotianamine and histidine in xylem sap copper transport. *Plant and Soil*. 223: 243-252.
 - 20- Liu, J. and Xiong, Z.T. (2004) Differences in accumulation and physiological response to copper stress in three populations of *Elsholtzia haichowensis*. *Water Air Soil Pollution*. 168: 5-16.
 - 21- Marschner, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, London. pp. 344-346.
 - 22- Panou-Filotheou, H., Bosabalidis, A.M. and Karataglis, S. (2001) Effects of Copper Toxicity on Leaves of Oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*). *Annals of Botany* 88: 207-214.
 - 23- Pierce, J. (1983) Determinants of substrate specificity and the role of metal in the reaction of ribulosebisphosphate carboxylase/oxygenase, *Plant Physiology*. 81: 934-945.
 - 24- Raskin, I., Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, S. and Salt, D. (1994) Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current Opinion Biotechnology* 5: 285-290.
 - 25- Reddy, K.J., Wang, L. and Gloss, S.P. (1995) Solubility and mobility of copper, zinc and lead in acidic environments. *Plant and Soil*. 171:53-58.
 - 26- Reichman, S.M. (2002) The Responses of Plants to Metal Toxicity: A review focusing on Copper, Manganese and Zinc. The Australian Minerals and Energy Environment Foundation. 13: 1-54.
 - 27- Sheldon, A. and Menzies, N.W. (2004) The effect of copper toxicity on the growth and morphology of Rhodes grass (*Chloris gayana*) in solution culture. *Super Soil*. 8: 1-8.
 - 28- Singh, S.P. and Ghosh, M. (2005) On review of phytoremediation heavy metals and utilization of its by products and Biomass. *Environmental Studies Faculty of Engineering Sciences*.102-114.
 - 29- Somogy, M. (1952) Notes on sugar determination. *Journal Biology Chemistry*, 195: 19-29.
 - 30- Sossé, B.A., Genet, P., Dunand, F.V., Toussaint, M.L., Epron, D. and Badot, P.M. (2004) Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science*. 166: 1213-1218.
 - 31- Su, J. and Wu, R. (2004) Stress-induced synthesis of Proline in transgenic rice confer faster growth under stress conditions than with constitutive synthesis. *Plant Science* 166: 941-947.
 - 32- Vassilev, A., Lidon, F., Ramalho, J.C., Doceumatos, M. and Graca, M. (2003) Effects of excess Cu on growth and photosynthesis of Barley Plants. Implication with a screening test for Cu tolerance. *Journal Central European Agriculture*. 4: 225-236.
 - 33- Verbruggen, N. and Hermans, C. (2008) Proline-accumulation in plants: a review. *Amino acids* 35(4): 753-759.

- 34- Vick, B.A and Zimmermann, D.C. (1984) Biosynthesis of jasmonic acid by several plant species. *Plant Physiology* 75: 458–461.
- 35- Walia, H., Wilson, C., Condamine, P., Liu, X., Ismoil, A.M. and Close, T.J. (2007) Large-scale expression profiling and physiological characterization of jasmonic acid-mediated adaptation of barley to salinity stress. *Plant Cell and Environment* 30: 410-421.
- 36- 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 Sinica* 40: 219-225.
- 37- Welch, R.M. (1995) Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Science*. 14: 49-82.
- 38- Xiang, C. and Oliver, D. (1998) Glutathione metabolic genes coordinately respond to heavy metals and jasmonic acid in Arabidopsis. *Plant Cell* 10: 1539-1550.
- 39- Yurekli, F. and Porgali, Z.B. (2006) The effects of excessive exposure to copper in Bean plants. *Acta Biologica Series Botanica*. 2: 7–13.

Effect of methyl jasmonate on proline content and absorption Cu, Fe, Zn and Mg in *Lepidium sativum* L. subjected to copper toxicity

Asadi Karam E., Asrar Z. and Keramat B.

Biology Dept., Shahid Bahonar University, Kerman, I.R. of Iran

Abstract

This study aimed to investigate the effect of different concentrations of methyl jasmonate (0, 5, 10 and 20 μM) in plants under different levels of Cu (0, 50, 100 and 200 μM) were performed. Proline, reducing sugars and absorption of iron, zinc, magnesium and copper were measured in plants. The determination of Mg, Fe, Zn, Cu contents was performed on a model Vista MPX Varian inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP-OES) under optimized measurement condition. Our results showed that with the increase of copper concentration in the nutrient solution of copper accumulation in shoots and roots increased. Use of methyl jasmonate reduces the amount of copper in plants. The presence of large amounts of copper in the nutrient solution, iron content in roots increased while decreased in shoots. Use of methyl jasmonate reduces the amount of iron in the shoots. The magnesium content of copper stress on root crops decreased while the magnesium content was unchanged compared with controls. The rate of decline in plant roots and shoots did not change. Methyl jasmonate treatment of certain concentrations under increasing amounts of copper ions such as magnesium and zinc in the shoot.

Key words: Cu, *Lepidium sativum*, Methyl jasmonate