بررسی برهم‌کنش کادمیوم و روی در گیاه *Matthiola flavida* Boiss.

احمد مهتدی* و سعیده هوشیاری

یاسوج، دانشگاه یاسوج، گروه زیست شناسی

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲۱

چکیده

بسیاری از اثرات سمی کادمیوم ناشی از برهم‌کنش با عناصر ضروری ازجمله روی می‌باشد. در این پژوهش برهم‌کنش بین کادمیوم و روی در گیاه *Matthiola flavida* که از خانواده شب بو می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت. روی در چهار سطح غلظتی ۲، ۱۰، ۲۰ و۴۰ میکرو مولار و کادمیوم در سطح ۰، ۱، ۵ و ۲۰ میکرومولار با سه تکرار استفاده گردید. ابتدا بذر گیاه در پیت کشت داده شد و بعد از دو برگی شدن به محیط هیدروپونیک منتقل شدند. با استفاده از محلول نیم هوگلند به مدت دو هفته آبیاری شد و بعد از دو هفته تیمار، طول ریشه، وزن تر و خشک، میزان کلروفیل و میزان فلز انباشته شده در گیاه اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت روی و کادمیوم طول ریشه کاهش معنی‌داری پیدا کرد. هم‌چنین وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی و کلروفیل a، b و کل با افزایش غلظت روی و کادمیوم کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا کرد ($P\leq0.05$). بررسی مقدار عنصر انباشته شده در گیاه نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت میزان انباشته شدن آن توسط گیاه افزایش یافت. مقدار کادمیوم انباشته شده در بخش هوایی‌گیاه *M. flavida* بیشتر از ریشه بود. روی و کادمیوم در حین جذب توسط ریشه گیاه با هم رقابت نموده و باعث اختلال در جذب و انتقال یکدیگر می‌شوند. با افزایش روی به ویژه در غلظت ۱۰ میکرومولار سمیت کادمیوم کاهش یافت.

واژه های کلیدی: برهم‌کنش، روی، کادمیوم، *Matthiola flavida*

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۷۱۷۵۳۹۸۲ ، پست الکترونیکی: a.mohtadi@yu.ac.ir

مقدمه

کادمیوم ازجمله عناصر سنگین و غیر ضروری برای گیاه است که بر رشد و نمو گیاهان اثر منفی دارد. این عنصر به علت سمیت و تحرک زیاد، یک آلاینده اساسی به شمار می‌رود (۱۱). نمک‌های کادمیوم به راحتی جذب گیاهان شده و سبب آسیب‌های سلولی و بافتی می‌شوند (۳۲). هنگامی که مقدار کل این عنصر در خاک به ۸ میلی گرم بر کیلوگرم برسد، برای گیاهان سمی است. یکی از ضروری‌ترین عناصر ریز مغذی روی می‌باشد که این عنصر در بسیاری از اعمال بیولوژیکی نقش دارد. گیاهان عمدتاً روی را به صورت کاتیون دو ظرفیتی جذب می‌نمایند. این عنصر یا به عنوان بخشی از ساختمان آنزیم‌ها بکار می‌رود و یا به صورت کوفاکتورهای تنظیم کننده در تعداد زیادی از آنزیم‌ها عمل می‌نمایند. تحقیقات محققان نشان داده است که روی حداقل در ساختمان چهار آنزیم: کربنیک آنهیدراز، الکل دهیدروژناز، سوپراکسید دیسموتاز و RNA پلی مراز بکار رفته است (۱). سمیت روی بستگی به اسیدیته محیط داشته که غلظت روی را در محیط کنترل می‌کند. عناصر غذایی در جذب، انتقال و متابولیسم با یکدیگر برهم‌کنش دارند. بطوری که اگر غلظت برخی از عناصر در محیط زیاد باشد از جذب برخی از عناصر دیگر جلوگیری می‌کنند این پدیده، بازدارندگی یا آنتاگونیسم نام دارد (۳). این فرضیه وجود دارد که عناصری که دارای خواص شیمیایی و فیزیکی مشابهی هستند بطور آنتاگونیستی عمل می‌کنند (۷). به علت خواص شیمیایی مشابه کادمیوم و روی، جذب و

انتقال این دو عنصر در داخل گیاه ممکن است از مسیرهای مشابهی صورت گیرد (۲۰). Choudhary نشان داد که اضافه کردن روی به خاک، غلظت کادمیوم را در گیاهان کاهش می‌دهد (۱۷). اما Moraghan و همکاران گزارش کردند که با اضافه کردن روی به خاک، جذب کادمیوم افزایش می‌یابد (۲۹). Chaoui و همکاران هیچ اثر آنتاگونیستی بین روی و کادمیوم مشاهده نکردند (۱۵). گیاهان خانواده شب بو بطور بالقوه در محیط‌های سمی با غلظت زیاد فلزات سنگین مانند سرب و روی رشد می‌کنند. گیاه *Matthiola flavida* از خانواده شب بو و بومی نواحی ایران می‌باشد. با توجه به آزمایشات انجام شده در گذشته، این گیاه پتانسیل لازم برای تجمع فلزات سنگین را دارد و یک گیاه بیش تجمع دهنده فلزات سنگین می‌باشد (۶). با توجه به اینکه گزارشات ارایه شده در مورد تاثیر کاربرد روی بر غلظت کادمیوم در گیاهان ضد و نقیض بوده و بستگی به گونه‌های گیاهی و شرایط رشد دارد، لذا این تحقیق با هدف بررسی اثرات برهم کنش کادمیوم و روی در گیاه *M. flavida* صورت گرفت.

مواد و روشها

بذرهای گیاه *M. flavid* از رویش‌گاه طبیعی آن در اطراف معدن سرب و روی ایرانکوه اصفهان تهیه گردید. بمنظور جوانه‌زنی و به دست آوردن دانه رست‌های مناسب برای انتقال به محیط کشت هیدروپونیک، بذرها در ظرف‌های حاوی پیت که استریل شده بود کاشته شدند و در شرایط اتاق کشت که در زیر اشاره شده قرار داده شدند.

دانه رست‌های ۱۵ روزه به محیط کشت هیدروپونیک در گلدان‌های یک لیتری پلاستیکی با محلول غذایی تغییر یافته هوگلند منتقل شدند که ترکیب آن به صورت زیر بود (۲۸):

3mM KNO3, 2 mM Ca(NO3)2, 1 mM NH4H2PO4 , 0.50 mM MgSO4, 20 µM Fe(Na)-EDTA, 1 µM KCl, 25 µMH3BO3, 2 µM MnSO4, 2 µM ZnSO4, 0.1 µM CuSO4 و 0.1 µM (NH4)6Mo7O24

در هر گلدان ۴ گیاه قرار داده شد. برای هر غلظت۳ تکرار در نظر گرفته شد. گلدان‌ها در طرح آماری کاملاً تصادفی و در اتاقک کشت با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد در روز و دمای ۱۵ درجه سانتی گراد در شب و تناوب نوری۱۶ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی قرار داده شدند. گیاهان ابتدا در محیط هیدروپونیک به مدت ۱۴ روز کشت شدند و در این مدت هر هفته محلول غذایی آن‌ها عوض می‌شد.

بعد از دو هفته و با استفاده از نمک سولفات روی و سولفات کادمیوم تیمار شدند. تیمارهای کادمیوم با غلظت‌های ۰، ۱، ۵ و ۲۰ میکرو مولار و روی با غلظت‌های ۲، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میکرو مولار انجام شد (غلظت ۲ میکرو مولار روی به عنوان شاهد در نظر گرفته شد).

محلول غذایی هر ۶ روز یکبار تعویض و اسیدیته محلول بر روی ۵/۵ تنظیم شد و با استفاده از محلول ۲ میلی مولار مورفولینو اتان سولفونیک اسید (MES) در محدوده ۵/۵ ثابت نگه داشته شد. همه تیمارها در شرایط فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در دمای $^{\circ c}$ ۲۰-۱۵ نگهداری شد. پس ازگذشت ۱۴روز نمونه‌ها برداشت شدند.

اندازه گیری طول ریشه (شاخص مقاومت): ۶ روز پس از تیمار با استفاده از کاغذ شطرنجی افزایش طول ریشه اندازه گیری شد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و کلروفیل کل با استفاده از روش Lichtenthaler انجام پذیرفت (۲۶). ۰/۲ گرم از برگ‌های تازه انتهای گیاه با ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده شد و با دور ۱۳۰۰ به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از صاف کردن، جذب نمونه‌ها با اسپکتروفتومتر (UV-2100) در طول موج‌های ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲۰ خوانده شد و غلظت رنگیزه‌ها بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

(کلروفیل a) $chla = 12.25\ A_{663.2} - 2.79\ A_{646.8}$

(کلروفیل b) $chlb = 21.21\ A_{646.8} - 5.1\ A_{663.2}$

(کلروفیل کل) $chlT = chla + chlb$

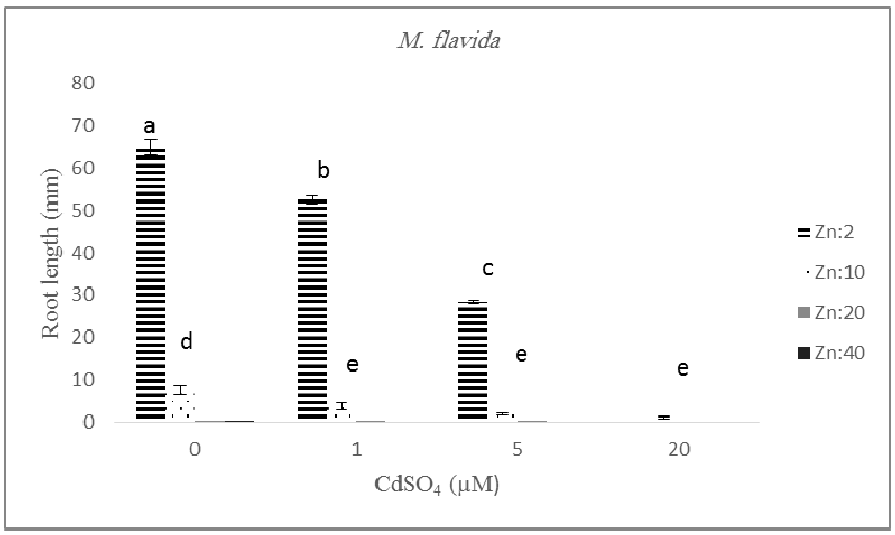
اندازه‌گیری وزن تر و خشک: پس از پایان تیمار، گیاهان برداشت شد و برای زدودن کادمیوم و روی که به سطح ریشه چسبیده بودند از محلول ۲۰ میلی مولار Na_2EDTA استفاده شد. ریشه ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق در محلول مذکور قرارگرفت و با دستمال کاغذی سطح آن‌ها خشک شد. سپس هرگیاه به بخش هوایی و ریشه تقسیم شد و وزن تر هر دو بخش جداگانه با ترازو (مدل Te313s) برحسب گرم اندازه‌گیری شد. هر بخش در پاکت گذاشته شد و درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت تا کاملا خشک شود سپس وزن خشک اندازه گیری شد.

اندازه‌گیری میزان فلز: پس از خشک شدن بخش هوایی و ریشه در آون، از هر نمونه ۰/۰۵گرم برداشته شد و در لوله های اسیدواش شده ۱۰میلی لیتری ریخته شد و ۳ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد به آن اضافه گردید و به مدت ۱۲ ساعت در زیر هود قرار داده شد. سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا محلول شفاف شود. بعد از سرد شدن در دمای اتاق، ۱ میلی لیتر پراکسید هیدروژن به آن اضافه شد و در بن ماری (حمام آب گرم) دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بی رنگ شد. سپس با آب مقطر به حجم ۱۰میلی لیتر رسانده شد و مقادیر روی و کادمیوم با استفاده از دستگاه طیف سنج جذب اتمی (مدل Shimadzu AA6300) اندازه گیری شد.

آنالیز آماری داده‌ها: آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت. رسم شکل‌ها با استفاده از Excel صورت گرفت.

نتایج

تاثیر برهم‌کنش روی و کادمیوم بر افزایش طول ریشه: شکل ۱ اثر غلظت‌های ۰، ۱، ۵ و ۲۰ میکرومولار کادمیوم را بر افزایش طول ریشه در حضور غلظت‌های ۲، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میکرومولار روی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت روی و کادمیوم طول ریشه کاهش پیدا می‌کند.



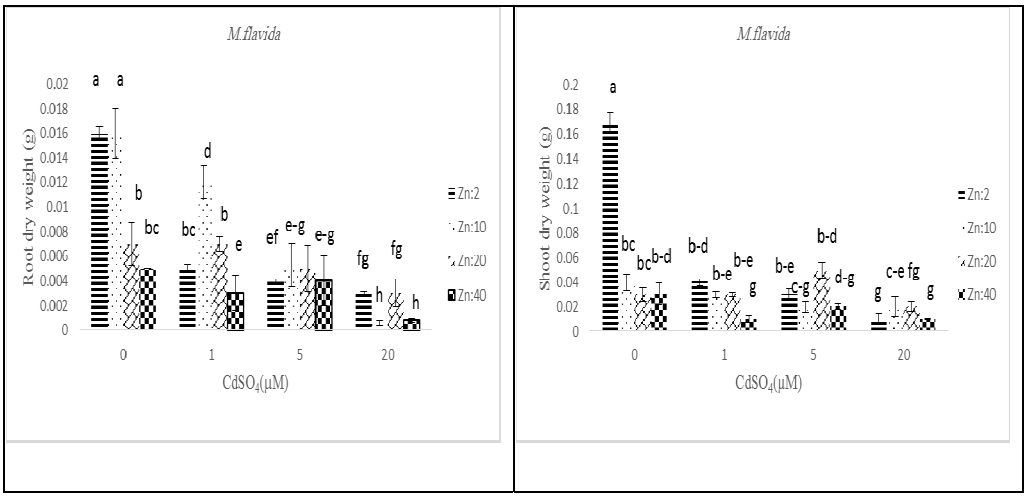
شکل ۱- تاثیر برهم‌کنش روی و کادمیوم بر میزان طول ریشه (میلی متر) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن می‌باشد ($P \leq 0.05$).

در سطح صفر کادمیوم و ۲ میکرومولار روی که شاهد آزمایش می‌باشد بیش‌ترین میزان طول ریشه مشاهده می‌شود. طول ریشه به عنوان شاخص مقاومت شناخته شده است با توجه به شکل ۱ گیاه *M. flavida* در سطح ۲۰ میکرومولار کادمیوم و غلظت ۲۰ و ۴۰ میکرومولار روی مقاومتی نشان نداد و افزایشی در طول ریشه نداشت.

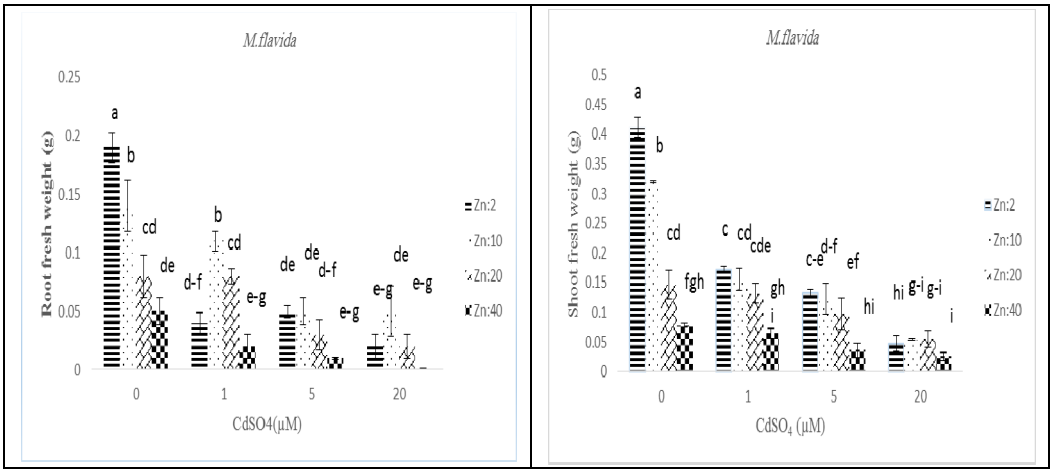
وزن خشک ریشه و بخش هوایی: شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کادمیوم و روی وزن خشک ریشه و بخش هوایی کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا می‌کند ($P\leq 0.05$). در غلظت ۲ میکرومولار روی و صفر کادمیوم که شاهد آزمایش می‌باشد بیش‌ترین مقدار وزن خشک ریشه و بخش هوایی را نشان می‌دهد. در گیاه *M. flavida*در غلظت‌های ۱ و ۵ میکرومولار کادمیوم با افزایش غلظت روی تا سطح ۱۰ میکرومولار باعث افزایش وزن خشک ریشه می‌شود. کمترین مقدار وزن خشک ریشه و بخش هوایی مربوط به ترکیب غلظتی ۲۰ میکرومولار کادمیوم و ۴۰ میکرومولار روی می‌باشد.

وزن تر ریشه و بخش هوایی: با افزایش غلظت کادمیوم و روی، میزان وزن تر ریشه و بخش هوایی کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا می‌کند ($P\leq 0.05$) (شکل ۳). بیش‌ترین مقدار وزن تر ریشه و بخش هوایی در ترکیب غلظتی ۲ میکرومولار روی و صفر کادمیوم که شاهد آزمایش می‌باشد مشاهده می‌شود. در گیاه *M. flavida* در غلظت‌های ۱ و ۲۰ میکرومولار کادمیوم، با افزایش غلظت روی تا سطح ۱۰ میکرومولار باعث افزایش وزن تر ریشه گردید. کمترین وزن تر ریشه و بخش هوایی مربوط به غلظت ۲۰ میکرومولار کادمیوم و ۴۰ میکرومولار روی می‌باشد.

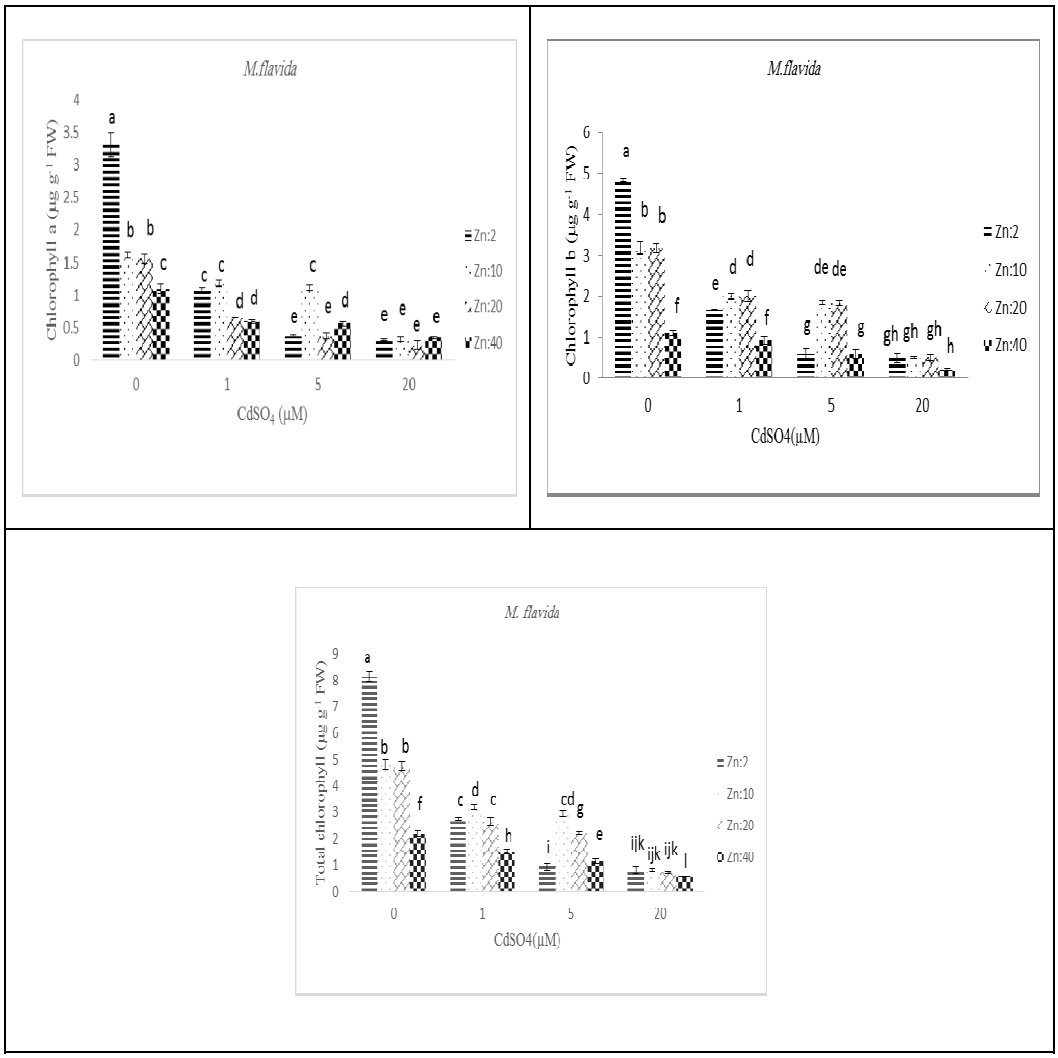
کلروفیل a، b و کل: شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کادمیوم و روی کلروفیل a، b و کل نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند ($P\leq 0.05$). بیش‌ترین میزان کلروفیل در گیاه *M. flavida* مربوط به غلظت ۲ میکرومولار روی و صفر کادمیوم می‌باشد. کمترین میزان هم مربوط به ترکیب غلظتی ۴۰ میکرومولار روی و ۲۰ میکرومولار کادمیوم می‌باشد. در گیاه *M. flavida* در غلظت های ۱ و ۵ میکرومولار کادمیوم با افزایش غلظت روی تا سطح ۱۰ میکرومولار باعث افزایش کلروفیل a، b و کل گردید.



شکل ۲- تاثیر برهم‌کنش روی و کادمیوم بر میزان وزن خشک ریشه و بخش هوایی (گرم) در گیاه *M. flavida* مقادیر میانگین سه تکرار ± خطا استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن می‌باشد ($P\leq 0.05$).

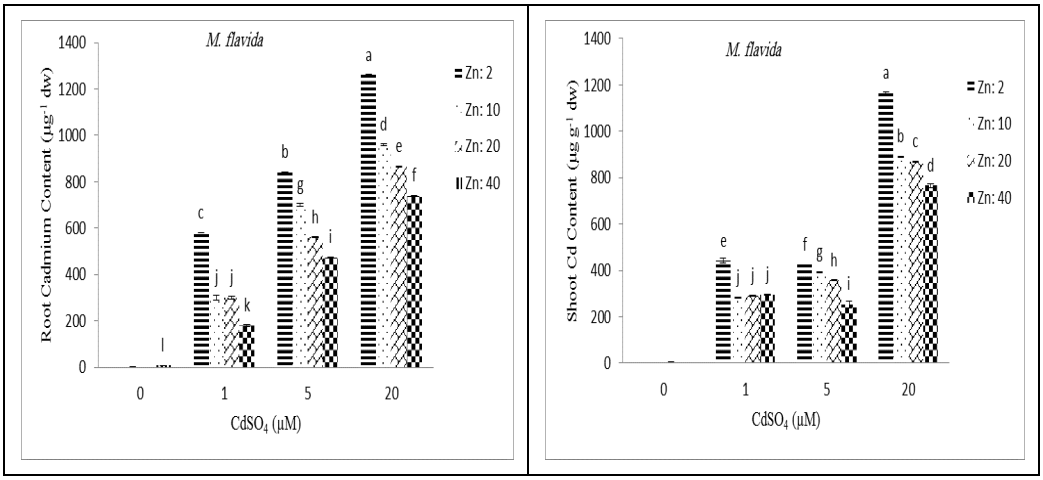


شکل ۳- تاثیر برهم‌کنش روی و کادمیوم بر میزان وزن تر ریشه و بخش هوایی (گرم) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطایاستاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن می‌باشد ($P\leq 0.05$).



شکل ۴- تاثیر برهم‌کنش روی و کادمیوم بر میزان کلروفیل a، b و کل (میکروگرم در گرم وزن تر) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن می‌باشد ($P\leq 0.05$).

تاثیر برهم‌کنش کادمیوم و روی بر میزان جذب و تجمع کادمیوم در ریشه و بخش هوایی: همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در تمام تیمارهای کادمیوم با افزایش غلظت روی کاهش معنی‌داری در میزان کادمیوم تجمع یافته در ریشه و بخش هوایی گیاه دیده می‌شود ($P\leq 0.05$). زمانی که غلظت کادمیوم صفر می‌باشد میزان تجمع هم صفر می‌باشد و با افزایش میزان کادمیوم در محیط کشت، میزان تجمع آن در ریشه و بخش هوایی افزایش می‌یابد. بیش‌ترین میزان تجمع کادمیوم مربوط به غلظت ۲۰ میکرومولار کادمیوم و ۲ میکرومولار روی می‌باشد. در غلظت ۲۰ میکرومولار کادمیوم، میانگین میزان تجمع کادمیوم در ریشه و بخش هوایی *M. flavida* بترتیب برابر با ۱۳۰۰ و ۱۲۰۰ میکروگرم در گرم وزن خشک می‌باشد. هنگامی که این تیمار کادمیوم با غلظت‌های بالاتر روی بطور همزمان اعمال می‌شود میزان کادمیوم تجمع یافته در ریشه و بخش هوایی گیاه بطور معنی داری کاهش می‌یابد. با توجه به میزان تجمع کادمیوم در ریشه و بخش هوایی مشاهده می‌شود که گیاه *M. flavida* بیش‌تر کادمیوم جذب شده توسط گیاه را به بخش هوایی منتقل می‌کند.

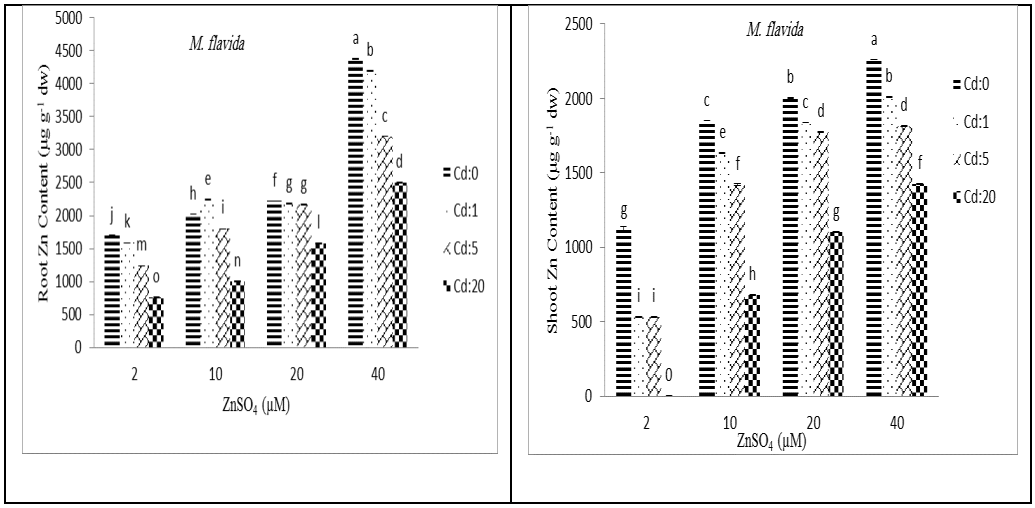


شکل۵- تاثیر برهم‌کنش کادمیوم و روی بر میزان کادمیوم ریشه و بخش هوایی (میکرو گرم در گرم وزن خشک) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن می‌باشد ($P\leq 0.05$).

تاثیر برهم‌کنش روی و کادمیوم بر میزان جذب و تجمع روی در ریشه و بخش هوایی: همانگونه که در شکل۶ مشاهده می‌شود در تمام تیمارهای روی و با افزایش غلظت کادمیوم، کاهش معنی‌داری در میزان روی تجمع یافته در ریشه و بخش هوایی دیده می‌شود ($P\leq 0.05$). در غیاب کادمیوم و هنگامی که گیاه با فلز روی به تنهایی تیمار شده است با افزایش میزان روی در محیط کشت، میزان جذب و تجمع روی افزایش می‌یابد که بیش‌ترین آن مربوط به غلظت ۴۰ میکرومولار روی می‌باشد. حداکثر میانگین میزان تجمع روی در غلظت ۴۰ میکرومولار در ریشه و بخش هوایی گیاه *M. flavida* بترتیب برابر با ۴۵۰۰ و ۲۲۰۰ میکروگرم در گرم وزن خشک می‌باشد. هنگامی که این تیمار روی با تیمارهای کادمیوم بطور همزمان اعمال می‌شود مقدار روی تجمع یافته در ریشه و بخش هوایی گیاه بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد. وقتی غلظت روی ۲ میکرومولار و غلظت کادمیوم ۲۰ میکرومولار می‌باشد میزان روی در بخش هوایی گیاه *M. flavida* به صفر می‌رسد.

بحث و نتیجه‌گیری

وجود فلزات سنگین از جمله کادمیوم درمحیط، یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان محسوب می‌شود.



شکل۶- تاثیر برهم‌کنش روی و کادمیوم بر میزان روی ریشه و بخش هوایی (میکرو گرم در گرم وزن خشک) در گیاه *M. flavida*. مقادیر میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن می‌باشد ($P\leq 0.05$).

با این حال، برخی گیاهان از مکانیسم‌های فیزیولوژی خاصی استفاده می‌کنند که می‌توانند در حضور مقادیر بالایی از فلزات سنگین که بطور طبیعی برای بیشترگیاهان سمی‌اند، به فعالیت‌های حیاتی خود ادامه دهند. از این گیاهان می‌توان برای سمیت‌زدایی و کاهش فلزات‌سنگین در محیط‌های آلوده استفاده کرد. در این زمینه خانواده شب‌بوییان معروفترین گروه به شمار می‌آید (۷). میزان رشد ریشه یک گیاه به عنوان یکی از شاخص‌های مهم مقاومت گیاه نسبت به غلظت‌های مختلف یک فلز است. از آنجا که ریشه بطور ویژه‌ای به حضور فلزات سمی‌حساس می‌باشد و اولین اندامی است که در معرض سمیت قرار می‌گیرد، از طول ریشه به عنوان یکی از مهمترین معیارهای تأثیر سمیت فلزات برگیاهان استفاده می‌شود (۱۰). نتایج این بخش از تحقیق کاهش شاخص مقاومت ریشه با افزایش غلظت فلز در محیط کشت را نشان می‌دهد. درحقیقت کادمیوم از تقسیم سلول‌های منطقه مریستمی و رشد سلول‌های منطقه رشد جلوگیری می‌کند. از طرف دیگر تمایز زودرس و چوبی‌شدن دیواره سلول‌های واقع در منطقه رشد می‌تواند از دلایل دیگر کاهش رشد ریشه باشد. رشد یکی از بهترین شاخص‌ها برای ارزیابی پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی می‌باشد. کاهش رشد ناشی از سمیت کادمیوم به علت کاهش فتوسنتز و تنفس، کاهش متابولیسم کربوهیدرات و ایجاد کلروز است و یا می‌تواند به دلیل جلوگیری از جذب عناصر و اختلال در سیستم غشایی ریشه باشد (۲، ۳۴ و ۳۶). این‌کاهش رشد در ریشه نسبت به بخش هوایی بیشتر و محسوس‌تر است. در نتیجه‌ی کاهش رشد ریشه، میزان جذب آب و یون‌های معدنی کاهش می‌یابد (۱۲). با توجه به نتایج مشاهده می‌شود با افزایش سطوح کادمیوم و روی، وزن تر و خشک بخش‌هوایی و ریشه کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد کادمیوم به دلیل جلوگیری از جذب عناصر و اختلال در سیستم غشای ریشه‌ای باعث کاهش وزن تر و خشک می‌شود (۴ و ۵). نتایج حاصل از مطالعه دانشمندان نشان داده است که در حضور یون کادمیوم میزان پراکسیداسیون چربی به علت افزایش مقدار پراکسید هیدروژن در سلول افزایش می‌یابد (۳۰). این وضعیت باعث برهم‌خوردن تعادل‌آبی و تغذیه‌ای سلول شده که این یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش وزن گیاه می‌باشد اما زمانی که سطح روی افزایش می‌یابد کاهش در وزن تر و خشک کم‌تر می‌شود (۳۴). به نظر می‌رسد روی ممکن است از گیاهان در مقابل سمیت کادمیوم از طریق

افزایش فعالیت آنزیم‌هایی مثل سوپراکسیداز دیسموتاز (آنزیم دارای روی) و هم‌چنین رقابت با کادمیوم برای پیوند با گروه‌های تیول (SH-) آنزیم‌ها و پروتئین‌ها، محافظت کند (۲۳). پورفووبیلینوژن پیش ماده کلروفیل می‌باشد که برای تشکیل این ماده منیزیم و روی مورد نیاز است. روی ازطریق اتصال به گروه سولفیدریل (SH-) باعث استحکام آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و ساختمان چربی غشای سلول می‌شود. هم‌چنین این عنصر از طریق محافظت ازگروه سولفیدریل باعث سنتز کلروفیل می‌گردد و درحضور آن تشکیل کلروفیل تسهیل می‌شود (۱۳ و ۲۵). علاوه بر این، روی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی از آثار مخرب رادیکال‌های آزاد و مواد اکسیدکننده جلوگیری می‌کند (۸). در شرایطی که گیاهان درمعرض تنش فلزات سنگین قرار می‌گیرند، تعداد زیادی از رادیکال‌های آزاد و مواد اکسید کننده تولید می‌شود که باعث آسیب به سلول‌های گیاهی می‌شوند (۱۶). کادمیوم باعث کاهش مقدار کلروفیل برگ و موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود و با توجه به این که تشابهی بین کادمیوم و روی وجود دارد کادمیوم نقش و وظایف فیزیولوژی روی را تقلید نموده ولی برخلاف روی، کادمیوم برای گیاه سمی می‌باشد (۳ و ۹). بهتاش و همکاران در سال ۱۳۸۹ گزارش کردند که برهم‌کنش کادمیوم و روی بر میزان کلروفیل برگ معنی‌دار بود و روی از تخریب کلروفیل توسط کادمیوم جلوگیری کرد (۱). یون‌های روی و کادمیوم از طریق ناقل‌های پروتئینی مشترک وارد سلول می‌شوند و این دو یون در حین جذب توسط ریشه گیاه باهم رقابت نموده و هر دو باعث اختلال درجذب وانتقال یکدیگر می‌شوند (۲۱). در تحقیقی که بر روی دو علف هرز *Cyperus* و *Digitaria* انجام گرفت کاهش معنی داری در میزان کلروفیل در اثر اعمال ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم دیده شد (۱۸). نتایج این‌تحقیق مشابه نتایج دیگر محققان می‌باشد (۱۸ و ۲۲). انتقال یون به اندام های هوایی و در نهایت تجمع آن در سلول‌های برگ باعث بروز علایم موفولوژی و فیزیولوژی تنش یون در برگ می‌شود (۱۳). این علایم به وضوح درتیمار با افزایش کادمیوم در این تحقیق نیز دیده شد. بررسی مقدار عنصر انباشته شده در بخش هوایی و ریشه گیاه نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت، میزان انباشته شدن این عنصر توسط گیاه افزایش می‌یابد. مقدارعنصر انباشته شده دربخش هوایی گیاه *M. flavida* نسبت به ریشه بیشتر است. Smild و همکاران در سال ۱۹۹۲ اعلام نمودند که با مصرف کادمیوم، غلظت کادمیوم در ذرت، کاهو، اسفناج و گندم افزایش یافت و در خاک‌شنی با مصرف روی، غلظت کادمیوم درکاهو افزایش یافت (۳۵). Choudhary و همکاران در سال ۱۹۹۵گزارش دادند که مقدار کادمیوم در اندام‌های گندم متفاوت بوده و مقدار کادمیوم به صورت ریشه>برگ>ساقه >دانه می‌باشد (۱۷). از طرف دیگر Grant و Bailey گزارش کردند که کاربرد روی باعث کاهش غلظت کادمیوم در دانه گندم دوروم گردید (۱۹). همچنین Yang و همکاران در سال ۲۰۰۴ گزارش نمودند که با افزایش مقدار کادمیوم، درمحلول غذایی غلظت روی در برگ گیاه*Sedum alfredii* کاهش یافت (۳۷). Lasat و همکاران در سال ۱۹۹۶ گزارش نمودند که انتقال روی به درون سلول از طریق پروتئین‌های ناقل که در غشای پلاسمایی سلول قرار دارند صورت می‌گیرد (۲۴). اثر متقابل روی و کادمیوم دراندام‌های گیاهی به صورت بازدارندگی و یا هم‌افزایی گزارش گردیده است (۲۷ و ۳۱). برخی محققین گزارش نموده‌اند که مصرف روی می‌تواند از جذب کادمیوم جلوگیری نموده و در نتیجه باعث کاهش غلظت کادمیوم دراندام‌های گیاهی شود (۲). کاهش جذب کادمیوم به وسیله افزودن روی به محلول غذایی ممکن است به دلیل رقابت بین این دو عنصر در جذب و انتقال از طریق ریشه باشد (۳۷). Piotrowska و همکاران اعلام نمودند که با افزایش روی درخاک سمیت کادمیوم درگندم بهاره تشدید می‌گردد (۳۳).

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق مشخص شد که در گیاه *M. flavida* کادمیوم بـا روی رابطـه بازدارندگی دارد یعنی با افزایش غلظت روی میزان کادمیوم در اندام‌های گیاه *M. flavida* کاهش می‌یابد. هم‌چنین مشخص شد با افزایش روی به ویژه در غلظت ۱۰ میکرومولار سمیت کادمیوم کاهش می‌یابد.

منابع

۱- بهتاش، ف، طباطبایی، س، ج، ملکوتی، م، ح، اوستان، ش، ۱۳۸۹. اثر روی و کادمیوم بر رشد، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و غلظت کادمیوم در چغندر لبویی." مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۴ (۱): ۳۲-۴۱.

۲- ثواقبی، غ، ا، ملکوتی، م، ج، ۱۳۷۹. بررسی نقش روی در کاهش اثرات سوء کادمیوم بر عملکرد و کیفیت دانـه گنـدم، مجلـه علوم خاک و آب، ۱۲ (۹): ۶۶-۷۵.

۳- چراتی، ع، ملکوتی، م، ج، ۱۳۸۳. ضرورت کاهش آلاینده‌های کادمیوم نیترات شالیزارهای شمال (کشور بررسـی تـأثیر روی وکادمیوم بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج). کتاب تغذیـه متعـادل بـرنج. انتـشارات‌سـنا. وزارت جهاد کـشاورزی معاونـت زراعت.

۴- فرجی، م، دیلمقانی، ک، ۱۳۹۳. اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک روی سمیت کادمیوم در گندم (*Triticum aestivum* L.)، مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، ۲۷ (۴): ۷۰۳-۷۱۴.

۵- کرامت، ب، دریایی، ف، آروین، م، ج، ۱۳۹۳. بررسی اثرات متقابل سلنیوم و کادمیوم بر محتوای آلدئیدها، پراکسیدهیدروژن و فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهچه گندم رقم کویر، مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، ۲۷ (۳): ۴۹۰-۵۰۰.

۶- مهتدی، ا، قادریان، س، م، ۱۳۹۰. بررسی پتانسیل گیاه *Matthiola flavida* جهت گیاه پالایی خاک های آلوده به سرب. اولین همایش ملی گیاه پالایی، کرمان.

7-Aravinad P., Narasimba M. and Prasad V. 2005. Cadmium-zinc interactions in hydroponic system using *Ceratophyllum demersum* L.: Adaptive ecophysiology, biochemistry and molecular toxicology. Brazilian Journal of Plant Physiology. 17: 3-20.

8-Aravind P., Narasimba M. and Prasad V. 2003. Zinc alleviates cadmium-induced stress in *Ceratophyllum demersum* L.: a free floating freshwater macrophyte. Plant Physiology and Biochemistry. 41: 391-397.

9-Aravind P., Narasimba M. and Prasad V. 2004. Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L.: a free floating freshwater macrophyte. Journal of Plant Science. 166: 1321-1327.

10-Baker A. J. M. and Proctor J. 1990. The influence of cadmium, copper, lead and zinc on the distribution and evolution of metallophyte in the British Isles. Plant Systematic and Evolution. 173: 91-108.

11-Benavides M. P., Gallego S. M. and Tomaro M. L. 2005. Cadmium toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology. 17: 21-34

12-Barcelo J. and Poschenreider C. 1990. Plant water relations as affected by heavy metals. a review. Journal of Plant Nutrient. 13: 1-37.

13-Bergmann D. C. 2004. Integrating signals in stomatal development. Current Opinion in Plant Biology. 7: 26–32.

14-Cakmak I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist.146: 185-205.

15-Chaoui A., Ghorbal M. H. and El-Ferjani E. 1997. Effects of cadmium-zinc intractions on hydroponically grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant Science. 126: 21-28.

16-Cho U. H. and Seo N. H. 2005. "Oxidative stress in *Arabidiopsis thaliana* exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation. Plant Science. 168:113-120.

17-Choudhary M., Bailey L. D., Grant C. A. and Leisle D. 1995. Effect of Zn on the concentration of Cd and Zn in plant tissue of two durum wheat lines. Canadian Journal of Plant Science. 75: 445-448.

18-Ewaise E. A. 1997. Effects of cadmium, nickel and lead on growth, chlorophyll content and

proteins of weed. Biologia Plantarum. 39:403-410.

19-Grant C. A. and Bailey L. D. 1998. Nitrogen, phosphorous and zinc management effects on grain yield and cadmium concentration in two cultivars of durum wheat. Canadian Journal of Plant Science. 78: 63-70.

20-Grant C. A., Buckley W. T., Bailey L. D. and Selles. F. 1997. Cadmium accumulation in crops. Canadian Journal of Plant Science. 78: 1-17.

21-Hart J. J., Welch R. M., Norvell W. A. and Kochian L.V. 2002. Transport interactions between Cd and Zn in roots of bread and durum wheat seedlings. Journal of Plant Physiology. 45: 91-97.

22-Jeliazkova E. A., Craker L. E. and Xing B. 2003. Seed germination of anise, caraway, and fennel in heavy metal contaminated solutions. Journal of Herbs, Spices, and Medicinal Plants. 10: 83-93.

23-Koleli N., Eker S. and Cakmak I. 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-different soils. Environmental Pollution. 31: 453-459.

24-Lasat M. M., Baker A. J. M. and ochian L. V. K. 1996. Physiological characterization of root Zn^{2+} absorption and translocation to shoot in hyperaccumulator and non hyperaccumulator species of *Thalaspi*. Journal of Plant Physiology. 112: 1715-1722.

25-Lebedev N. and Timco P.M. 1998. Protochlorophyllide photoreduction. Photosynthesis Research. 58: 5-23.

26-Lichtenthaler H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology. 148: 350-382.

27-Mckenna J. M., Chaney R. L. and Williams F. M. 1993. The effects of Cd and Zn interaction on the accumulation and tissue distribution of Zn on Cd in lettuce and spinach. Environmental Pollution. 79: 113-120.

28-Mohtadi A., Ghaderian S. M. and Schat H. 2012. A comparison of lead accumulation and tolerance among heavy metal hyperaccumulating and non-hyperaccumulating metallophytes. Plant and Soil. 352: 267-276.

29-Moraghan J. T. 1993. Accumulation of cadmium and selected elements in flax seed grown on a calcareous soil. Plant and Soil. 150: 61-68.

30-Nagajyoti P. C., Lee K. D. and sreekanth T. V. M. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environmental Chemistry Letters. 8: 199-216.

31-Nan Z., Li J., Zhang J. and Cheng G. 2002. Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions. Science Total Environment. 285: 187-195.

32-Prasad M. N. 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. Environment and Experimental Botany. 35: 525-545.

33-Piotrowska M., Dudka S. and Chlopecka A. 1994. Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and metal contents of the plants. Water Air Soil Pollution. 76: 333-341.

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

35-Smild K. W., Luit B. V. and Driel W. V. 1992. The extraction by soil and absorption by plants of applied zinc and cadmium. Plant and Soil. 143: 233-238.

36-Wu F. B., Zhang G. P. and Yu J. 2003. Interaction of cadmium and four microelements for uptake and translocation in different barley genotypes. Communication of Soil Science and Plant Analysis. 34: 2003-2020.

37-Yang X. E., Ye H. B., Long X.X., He B., He Z. L., Stoffella P.J. and Calvert D.V. 2004. Uptake and accumulation of cadmium and zinc by Sedum alfredii Hance at different Cd/Zn supply levels. Journal of Plant Nutrition. 27:1963-1977.

Study of cadmium and zinc interaction in *Matthiola flavida* Boiss.

Mohtadi A. and Hooshyari S.

Biology Dept., Yasouj University, Yasouj, , I.R. of Iran

Abstract

Many of the toxic effects of cadmium (Cd) caused by interactions with essential elements such as zinc (Zn). In this study, the interaction between Cd and Zn in *Matthiola flavida* (*Brassicacea)* was examined. Zn in four levels 2, 10, 20 and 40 µM and Cd in 0, 1, 5 and 20 µM with three replicate were used. The seeds were planted in the pit and after two leaves were transferred to a hydroponic environment. Using half-strength Hoagland's solution was watered for two weeks. After two weeks of treatment, root length, fresh and dry weight, chlorophyll content and the amount of metal accumulated in the plant measured. The results showed that with increasing concentration of Cd and Zn the root length significantly decreased. The root and shoot dry and fresh weight, chlorophyll a, b and total with increasing the concentration of Zn and Cd significantly decreased compared to the control ($P \leq 0.05$). Evaluate the amount of element accumulated in the plant showed that accumulation of Cd increased with increase concentration of Cd in the culture medium. The amount of Cd accumulation in *M. flavida* shoot was higher than root. Zn and Cd ions uptake by plant roots while competing with each other and each other's uptake and transport are impaired. Cd toxicity was reduced with increasing of Zn concentration particularly in the 10 µM.

Key words: Cadmium, Interaction, *Matthiola flavida*, Zinc