Archive of SID

زیست‌شناسی گیاهی، سال دوم، شماره ششم، زمستان ۱۳۸۹، صفحه ۸۷ – ۹۸
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۴/۱۵
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۸۹/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۸۹/۱۲/۱۷

بررسی مقاومت، جذب و انباشتگی کادمیوم در گیاه *Matthiola chenopodiifolia* Fisch & C. A. Mey (Brassicaceae)

سید مجید قادریان * و ناصر جمالی حاجیانی
گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان

چکیده

کادمیوم، عنصری غیرضروری و سمّی برای گیاهان است که از طریق فعالیت‌های مختلف بشر وارد خاک می‌شود. این عنصر تأثیرات فیزیولوژیک و مورفولوژیک متعددی بر گیاهان دارد. با این حال، برخی گونه‌های مقاوم به کادمیوم توانایی جذب و انباشتگی این فلز را در بافت‌های خود دارند. یکی از گیاهانی که می‌تواند در خاک‌های آلوده به کادمیوم رشد کند، گیاه *Matthiola chenopodiifolia* است. در این مطالعه، مقاومت، جذب و انباشتگی کادمیوم در دو جمعیت از این گیاه که از دو منطقه آلوده به فلز و غیرآلوده جمع‌آوری شدند، بررسی شد. به این منظور اثر غلظت‌های ۰، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم بر وزن خشک بخش‌های هوایی و ریشه، شاخص مقاومت ریشه و میزان انباشتگی فلز در بخش‌های هوایی و ریشه در شرایط کشت هیدروپونیک مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم، وزن خشک بخش‌های هوایی و ریشه و شاخص مقاومت ریشه در هر دو جمعیت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($P<0/05$)؛ در عین حال، تفاوت معنی‌داری از نظر این عوامل بین این دو جمعیت مشاهده نگردید. همچنین، نتایج نشان داد که رابطه مستقیمی بین مقدار فلز در محلول غذایی و میزان جذب و انباشتگی فلز در گیاه وجود دارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، می‌توان گفت که گونه *M. chenopodiifolia* دارای قابلیت جذب و انباشتگی نسبتاً بالایی برای کادمیوم است.

واژه‌های کلیدی: انباشتگی، جذب، مقاومت، کادمیوم، *Matthiola chenopodiifolia*

مقدمه

کادمیوم یکی از فلزات سنگین دو ظرفیتی است که در طبیعت بیشتر در سنگ‌های معدنی همراه با روی یافت می‌شود. این عنصر از طریق فعالیت‌های معدن کاوی، استخراج و پردازش سنگ‌های معدنی روی، آبکاری فلزات، استفاده از سوخت‌های فسیلی، کودهای فسفاته و حشره‌کش‌ها در کشاورزی و از طریق فاضلاب‌های شهری و صنعتی وارد خاک می‌شود (Robinson *et al.*, 2000; Kirkham, 2006).

*نویسنده مسؤول: نشانی پست الکترونیک: ghaderian@sci.ui.ac.ir، شماره تماس: ۰۳۱۱۷۹۳۲۴۶۴

www.SID.ir

Archive of SID

نمک‌های کادمیوم به راحتی جذب گیاهان و سبب آسیب‌های سلولی و بافتی می‌شوند (Prasad, 1995; Robinson *et al*., 2000). کادمیوم عنصری غیر ضروری برای گیاهان است و هیچ‌گونه عملکرد بیولوژیک شناخته‌شده‌ای ندارد (Robinson *et al*., 2000; Clemens, 2001). هنگامی که مقدار کل آن در خاک به ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برسد، برای گیاهان سمّی است (Robinson *et al*., 2000).

یکی از روش‌های سمّیت‌زدایی و کاهش مواد سمّی- از جمله فلزات سنگین- در محیط‌های آلوده استفاده از گیاهان بیش‌انباشته‌گر است (Ebbs *et al*., 1997; Lasat, 2002). این گیاهان، گونه‌هایی هستند که می‌توانند مقادیر زیادی از فلزات سنگین را در غلظتی ۱۰ تا ۱۰۰ برابر بیش از آنچه که گیاهان زراعی متحمل می‌شوند، در خود تجمع دهند، بدون آنکه آثار سمّیت در آنها ظاهر گردد (Baker *et al*., 1994; Brooks, 1998). امروزه، شناسایی گیاهان بیش‌انباشته‌گر کادمیوم اهمیت بسیاری دارد، زیرا علاوه بر جنبه‌های زیست‌شناسی و مطالعات فیزیولوژیک، می‌توان از این گیاهان می‌توان برای مطالعات اکولوژیک و بررسی شرایط تکامل این گیاهان و بررسی ژن‌های مؤثر در مقاومت به کادمیوم استفاده کرد. همچنین، بررسی مقادیر عناصر موجود در خاک و گیاهان رشدیافته در خاک‌های آلوده، داده‌های ارزشمندی را فراهم می‌کند که به فهم مکانیسم‌های فیزیولوژیک مقاوم به تنش‌های موجود در این خاک‌ها کمک خواهد کرد. گیاهان مقاوم به کادمیوم در برخی نقاط جهان از خاک‌های اطراف معادن جمع‌آوری و بررسی شده‌اند (Ebbes *et al*., 1997; Reeves *et al*., 2001; Kirkham, 2006). در این راستا، تحقیقاتی بر روی برخی از گونه‌ها از جنبه‌های مختلف جذب، مقاومت و انباشتگی صورت گرفته‌است (Baker *et al*., 1994; Cosio *et al*., 2004). در ایران مطالعاتی بر روی گیاهان مقاوم به فلزات سنگین موجود در خاک‌های آلوده به فلز انجام شده است. مطالعه Rastmanesh و همکاران (۲۰۱۰) در معدن مس سرچشمه کرمان، مطالعه Chehregani و همکاران (۲۰۰۹) بر روی گیاهان معدن انگوران زنجان و مطالعه Nouri و همکاران (۲۰۰۹) در استان همدان نمونه‌هایی از این مطالعات است. از نخستین موارد این تحقیقات، می‌توان به تحقیق و پژوهش Ghaderian و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد که با بررسی گیاهان موجود در معدن سرب و روی ایرانکوه، مقدار عناصر سرب و روی را در این گیاهان تعیین نمودند. بر اساس این مطالعه، گیاه *M. chenopodiifolia* از خانواده شب‌بوئیان می‌تواند به خوبی در خاک‌های آلوده به سرب و روی ایرانکوه رشد کند و دارای پتانسیل قابل ملاحظه‌ای برای انباشتگی سرب و روی در برگ‌های خود در شرایط طبیعی است. بر این اساس و با توجه به اینکه کادمیوم معمولاً به عنوان یک عنصر همراه در معادن روی یافت می‌شود، در این تحقیق مقاومت، جذب و انباشتگی کادمیوم در این گیاه در شرایط کشت آزمایشگاهی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری بذر

بذرهای گیاه *M. chenopodiifolia* از منطقه معدنی ایرانکوه که دارای خاک آلوده به فلزات سنگین است و از

www.SID.ir

Archive of SID

منطقه غیرآلوده صفه جمع‌آوری گردید. معدن سرب و روی ایرانکوه به عنوان سومین معدن بزرگ سرب و روی ایران در منطقه ایرانکوه در امتداد رشته کوه ایرانکوه در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان قرار دارد. کوه صفه در شهر اصفهان و در ارتباط با پیرامون مجموعه ارتفاعات معروف به صفه، از کوه‌های مرکزی ایران قرار دارد و در جنوب غربی اصفهان واقع شده است.

کشت گیاه و تیمار

بذرها در محلول هیپوکلریت سدیم با ۵ درصد کلر فعال ضدعفونی گردید. جوانه‌زنی بذرها در پرلیت انجام شد و دانه‌رُست‌های ۱۵ روزه به محیط کشت هیدروپونیک منتقل شدند و در هر ظرف ۳ گیاه قرار داده شد. برای هر جمعیت و هر غلظت ۴ تکرار در نظر گرفته شد و ظرف‌ها در طرح آماری کاملاً تصادفی و در اتاقک کشت با دمای ۱۸/۲۵ درجه سانتی‌گراد (روز/شب) و تناوب نوری (۱۶ ساعت نور/۸ ساعت تاریکی) و شدت نور ۶۵ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه ($\mu mol\ photon\ m^{-2}s^{-1}$) قرار داده شدند. گیاهان ابتدا در محیط هیدروپونیک به مدت ۱۰ روز پیش کشت شدند. سپس غلظت‌های ۰، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم در محلول غذایی ۴۰ درصد هوگلند تغییر یافته و با استفاده از نمک کلریدکادمیوم ($CdCl_2$) تهیه، و تیمار گیاهان آغاز شد. محلول غذایی هر ۶ روز یک بار تعویض و اسیدیته محلول بر روی ۶ تنظیم شد. پس از گذشت ۲۴ روز نمونه‌ها برداشت شدند.

تعیین وزن خشک و میزان تجمع فلز در بخش‌های هوایی و ریشه گیاه

پس از پایان تیمار، گیاهان برداشت شده و با آب دو بار تقطیر سه مرتبه شستشو شدند. سپس هر گیاه به بخش هوایی و ریشه تقسیم شد و درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. وزن خشک بخش‌های هوایی و ریشه برای هر نمونه اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری کادمیوم انباشته شده، نمونه‌ها به مدت ۱۴ ساعت در کوره الکتریکی و دمای ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از سردشدن، خاکستر حاصل در ۴ میلی‌لیتر نیتریک اسید ۱۰ درصد حل شد. پس از صاف کردن، محلول به دست آمده در ظروف پلاستیکی مخصوص ریخته شد و میزان کادمیوم بافت گیاهی توسط دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (Shimadzu AA 6300) سنجش گردید.

آنالیز آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2003 و SPSS 15 انجام شد. آنالیز واریانس یک‌طرفه بر روی داده‌های حاصل از تیمارهای مختلف بر وزن خشک و میزان عنصر انباشته شده در بخش هوایی و ریشه گیاه در هر دو جمعیت انجام شد. همچنین، به منظور تعیین معنی‌دار بودن یا نبودن تفاوت میانگین‌های وزن خشک و میزان کادمیوم انباشته شده در بخش هوایی و ریشه گیاه در تیمارهای مختلف ($P<0/05$) از آزمون Tukey HSD استفاده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج

اثر کادمیوم بر وزن خشک بخش‌های هوایی

با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی، وزن خشک بخش هوایی کاهش معنی‌داری یافت که از این نظر تمام تیمارهای اعمال‌شده دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد بودند (P<۰/۰۵). اختلاف بین تیمار ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم از لحاظ آماری معنی‌دار نبود، ولی بین سایر تیمارها معنی‌دار بود. همچنین میزان کاهش وزن خشک بخش هوایی با افزایش غلظت عنصر در هر دو جمعیت مشابه بود و اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌داد. میانگین وزن خشک بخش هوایی در گروه شاهد در جمعیت ایرانکوه برابر با ۱۵/۷۵ میلی‌گرم و در بالاترین غلظت به کار رفته (۴۰ میلی‌گرم در لیتر) برابر با ۴/۸۲ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد که کاهش ۷۳ درصدی را نشان می‌داد. در جمعیت صفه میانگین وزن خشک بخش هوایی در گروه شاهد برابر با ۱۸/۹ میلی‌گرم و در بالاترین غلظت به کار رفته (۴۰ میلی‌گرم در لیتر) برابر با ۳/۷ میلی‌گرم بود که به میزان ۸۰ درصد کاهش یافت. در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم، وزن خشک بخش هوایی در جمعیت ایرانکوه به میزان ۳۰ درصد و در جمعیت صفه به میزان ۳۶/۵ درصد کاهش پیدا کرد (شکل ۱).

اثر کادمیوم بر وزن خشک ریشه

وزن خشک ریشه در هر دو جمعیت از گیاه *M. chenopodiifolia* با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی کاهش معنی‌داری یافت که از این نظر تمام تیمارهای اعمال‌شده دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد بودند (P<۰/۰۵). اختلاف بین تیمار ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر و بین تیمارهای ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم از نظر آماری معنی‌دار نبود، ولی بین سایر تیمارها معنی‌دار بود. همچنین، کاهش وزن خشک ریشه با افزایش غلظت عنصر در هر دو جمعیت مشابه بود و دو جمعیت از این نظر اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دادند.

میانگین وزن خشک ریشه در گروه شاهد در جمعیت ایرانکوه برابر با ۴/۴۲ میلی‌گرم و در بالاترین غلظت به کار رفته (۴۰ میلی‌گرم در لیتر) برابر با ۰/۳۵ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد که کاهش ۹۲ درصدی را نشان می‌داد. در جمعیت صفه میانگین وزن خشک ریشه در گروه شاهد برابر با ۷/۷ میلی‌گرم و در بالاترین غلظت به‌کار رفته (۴۰ میلی‌گرم در لیتر) برابر با ۰/۳۲ میلی‌گرم بود که ۹۵ درصد کاهش را نشان می‌داد. در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم، وزن خشک ریشه در جمعیت ایرانکوه به میزان ۴۸/۵ درصد و در جمعیت صفه به میزان ۵۲ درصد کاهش یافت (شکل ۲).

اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر شاخص مقاومت ریشه

با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی، شاخص مقاومت ریشه (درصد میانگین طول ریشه در تیمار فلز به میانگین طول ریشه در شاهد) در هر دو جمعیت صفه و ایرانکوه کاهش معنی‌داری یافت و تمام تیمارهای کادمیوم اعمال‌شده از این نظر با گروه شاهد اختلاف آماری معنی‌داری را نشان دادند (P<۰/۰۵) (شکل ۳).

در بالاترین تیمار اعمال‌شده (۴۰ میلی‌گرم در لیتر) شاخص مقاومت ریشه برای جمعیت صفه برابر با ۵/۲۵ و برای جمعیت ایرانکوه برابر با ۶/۷۵ محاسبه شد. در کمترین

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت اعمال‌شده (۲/۵ میلی‌گرم در لیتر) شاخص مقاومت ریشه برای جمعیت صفه برابر با ۷۴/۵ و برای جمعیت ایرانکوه برابر با ۸۳ بود (شکل ۳). شایان ذکر است که اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر شاخص مقاومت ریشه در هر دو جمعیت مشابه بوده و دو جمعیت اختلاف معنی‌داری را از نظر آماری نشان ندادند (P>۰/۰۵).

میزان انباشتگی کادمیوم در بخش هوایی گیاه در پاسخ به تیمارهای مختلف کادمیوم

با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی میزان عنصر انباشته‌شده در بخش هوایی گیاه *M. chenopodiifolia* افزایش یافت و از این نظر بین تمام تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵). همچنین دو جمعیت از نظر میزان انباشتن عنصر در بخش هوایی رفتار مشابهی را نشان دادند و مقدار عنصر انباشته‌شده در بخش هوایی هر دو جمعیت در غلظت‌های مختلف کادمیوم از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵) (شکل ۴).

میزان عنصر انباشته‌شده در تیمارهای اعمال‌شده، در جمعیت صفه بین حداقل ۴۵/۵ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک در غلظت ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم و حداکثر ۵۶۶/۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم متغیر بود. در جمعیت ایرانکوه میزان عنصر انباشته‌شده در بخش هوایی گیاه بین حداقل ۵۶/۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک در غلظت ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم و حداکثر در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم و به میزان ۵۷۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک متغیر بود (شکل ۴).

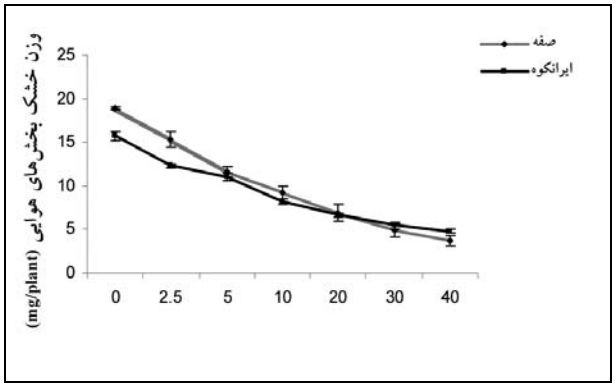
میزان انباشتگی کادمیوم در ریشه گیاه در پاسخ به تیمارهای مختلف کادمیوم

با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی میزان عنصر انباشته‌شده در ریشه گیاه *M. chenopodiifolia* افزایش یافت و از این نظر بین تمام تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵). میزان عنصر جذب شده در تیمارهای ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر، اختلاف معنی‌داری نشان نداد. همچنین، بین میزان انباشته‌شدن عنصر در تیمارهای ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. علاوه بر این، دو جمعیت از نظر میزان انباشته-شدن عنصر در ریشه گیاه رفتار مشابهی را نشان می‌دادند و مقدار عنصر انباشته شده در ریشه هر دو جمعیت در غلظت های مختلف کادمیوم از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵).

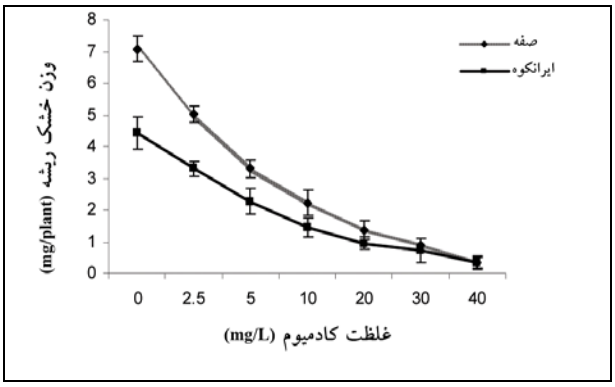
میزان عنصر انباشته شده در تیمارهای اعمال‌شده، در جمعیت صفه بین حداقل ۳۳/۱ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک در غلظت ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم و حداکثر ۳۳۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم متغیر بود. در جمعیت ایرانکوه میزان عنصر انباشته‌شده در بخش هوایی گیاه بین حداقل ۵۳ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک در غلظت ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم و حداکثر در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم و به میزان ۳۸۰/۵ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک متغیر بود (شکل ۵).

www.SID.ir

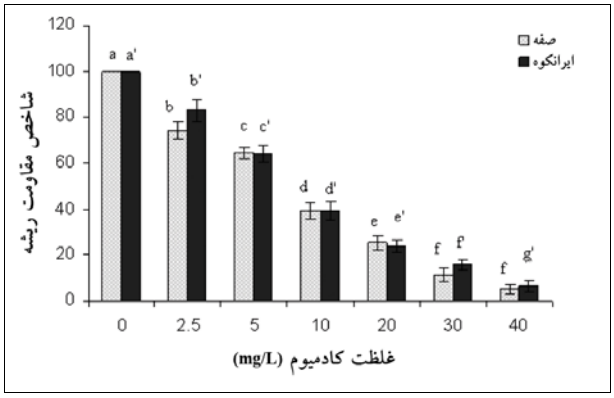
Archive of SID



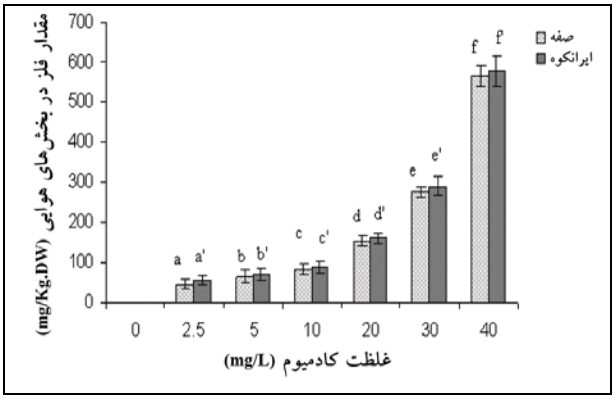
شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر وزن خشک بخش هوایی گیاه *M. chenopodiifolia* در دو جمعیت صفه و ایرانکوه



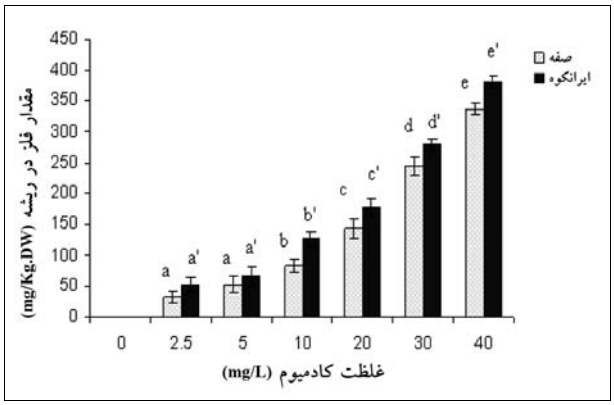
شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر وزن خشک ریشه گیاه *M. chenopodiifolia* در دو جمعیت صفه و ایرانکوه



شکل ۳- شاخص مقاومت ریشه در دو جمعیت صفه و ایرانکوه از گیاه *M. chenopodiifolia* در غلظت‌های مختلف کادمیوم؛ حروف متفاوت در هر ستون بیانگر معنی‌دار بودن اثر تیمارهاست.



شکل ۴- مقایسه میزان عنصر انباشته‌شده در اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم در بخش هوایی گیاه *M. chenopodiifolia* در دو جمعیت صفه و ایرانکوه؛ حروف متفاوت در هر ستون بیانگر معنی‌دار بودن اثر تیمارهاست.



شکل ۵- میزان کادمیوم انباشته‌شده در ریشه گیاه *M. chenopodiifolia* در اثر تنش در دو جمعیت صفه و ایرانکوه؛ حروف متفاوت در هر ستون بیانگر معنی‌دار بودن اثر تیمارهاست.

www.SID.ir

Archive of SID

بحث

وجود فلزات سنگین از جمله کادمیوم در محیط، یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان محسوب می‌شود؛ با این‌حال، برخی گیاهان از مکانیسم‌های فیزیولوژیک خاصی استفاده می‌کنند که می‌توانند در حضور مقادیر بالایی از فلزات سنگین که به طور طبیعی برای بیشتر گیاهان سمّی اند، به فعالیت‌های حیاتی خود ادامه‌دهند (Baker *et al.*, 1994). از این گیاهان می‌توان برای سمّیت‌زدایی و کاهش فلزات سنگین در محیط‌های آلوده استفاده کرد. در این زمینه خانواده شب‌بوییان معروفترین گروه به شمار می‌آید. دو گونه *Thlaspi caerulescens* (Baker *et al.*, 1994) و *Arabidopsis halleri* (Bert *et al.*, 2003) که به عنوان بیش‌انباشته‌گر کادمیوم معرفی شده‌اند، به این خانواده تعلق دارند. گیاه *M. chenopodiifolia*، یکی دیگر از اعضای این خانواده است که می‌تواند به خوبی در خاک‌های آلوده به فلزات در منطقه ایرانکوه رشد نماید و مقادیر نسبتاً بالایی از عناصر سرب و روی را در خود انباشته کند (Ghaderian *et al.*, 2007). از آنجا که فلز کادمیوم معمولاً به عنوان یک عنصر همراه در معادن روی دیده می‌شود، در این تحقیق، مقاومت، جذب و انباشتگی کادمیوم در این گیاه بررسی گردید. همچنین جمعیتی از این گیاه که در خاک‌های غیر آلوده به فلز صفه رشد کرده بودند، بررسی شد. این مطالعه با سیستم هیدروپونیک انجام گردید؛ زیرا در این شرایط تمام فلز در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. این روش برای شناسایی سریع گونه‌های مقاوم به فلز و بررسی توانایی گیاه برای انباشتن فلز در بخش هوایی مناسب است. تحقیقات نشان داده است که گیاهان بیش‌انباشته‌گر در خاک رفتاری مشابه محیط هیدروپونیک دارند (Lombi *et al.*, 2000).

میزان رشد ریشه یک گیاه به عنوان یکی از شاخص‌های مهم مقاومت گیاه نسبت به غلظت‌های مختلف یک فلز است. از آنجا که ریشه به طور ویژه‌ای به حضور فلزات سمّی حساس است و اولین اندامی است که در معرض سمّیت قرار می‌گیرد، از طول ریشه به عنوان یکی از مهمترین معیارهای تأثیرات سمّیت فلزات بر گیاهان استفاده شده است (Baker and Proctor, 1990). بنابراین، در این تحقیق شاخص مقاومت ریشه گیاه با مقایسه نسبت‌های طول ریشه گیاه در شرایط شاهد و تیمار محاسبه گردید که نتایج، نشان‌دهندهٔ کاهش شاخص مقاومت ریشه با افزایش غلظت فلز در محیط‌کشت بود (شکل ۳). شاخص مقاومت ریشه در تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم برای جمعیت ایرانکوه و صفه به ترتیب برابر با ۶۶ و ۶۴ است. شاخص مقاومت ریشه در این تیمار برای گیاه *Lens culinaris* برابر با ۱۷ (Kiran and Sahin, 2006)، *Thespesia populnea* برابر با ۱۶ (Kabir *et al.*, 2008)، *Albizia lebbeck* برابر با ۳۳، *Leucaena leucocephal* برابر با ۲۲ (Iqbal and Shazia, 2004) و *Phaseolus vulgaris* برابر با ۳۱ (Bhardwaj *et al.*, 2009) است. در نتیجهٔ کاهش رشد ریشه، میزان جذب آب و یون‌های معدنی کاهش می‌یابد (Barcelo and Poschenreider, 1990).

افزایش غلظت کادمیوم باعث کاهش معنی‌داری در وزن خشک ریشه و بخش هوایی شد (شکل‌های ۱ و ۲). کاهش رشد ناشی از سمّیت کادمیوم، به علت کاهش فتوسنتز و تنفس (Moya *et al.*, 1993)، کاهش متابولیسم

www.SID.ir

Archive of SID

کربوهیدرات‌ها (Sanita di Toopi and Gobbrielli, 1999; Moya *et al*., 1993) و ایجاد کلروز است (Sanita di Toopi and Gobbrielli, 1999). این کاهش در ریشه نسبت به بخش هوایی بیشتر و محسوس‌تر بود. تیمار ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم باعث کاهش وزن خشک بخش هوایی به میزان ۱۸ درصد در جمعیت ایرانکوه و ۲۱ درصد در جمعیت صفه گردید؛ در حالی‌که در همین تیمار وزن خشک ریشه در جمعیت ایرانکوه به میزان ۲۵ درصد و در جمعیت صفه به میزان ۲۹ درصد کاهش یافت. در تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم وزن خشک بخش هوایی جمعیت ایرانکوه و صفه به ترتیب ۳۲ و ۳۰ درصد کاهش را نسبت به شاهد نشان داد. تحقیقات نشان داده است که اگر گیاه *Thlaspi caerulescens* که یک بیش‌انباشته‌گر کادمیوم است، به مدت ۱۴ روز با غلظت ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم تیمار شود، کاهش ۱۴ درصدی در وزن خشک بخش هوایی و ۲۸ درصدی در وزن خشک ریشه را در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد (Wojcik *et al*., 2005). در تحقیقی دیگر نشان داده شد که وزن خشک برگ‌ها در گیاه *Arabidopsis halleri* (بیش‌انباشته‌گر کادمیوم) که با غلظت ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم تیمار شده بود، به میزان ۲۶ درصد (در مقایسه با شاهد) کاهش یافت (Cosio *et al*., 2004). در گیاه *Salsola kali* که به عنوان گیاه مقاوم به کادمیوم معرفی شده است، تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم باعث کاهش ۳۱ درصدی در وزن خشک بخش هوایی شده است (Rosa *et al*., 2004). این غلظت کادمیوم، وزن خشک بخش هوایی را در دو گیاه نخود و ذرت به‌ترتیب به میزان ۸۷ و ۴۱ درصد کاهش داده‌است (Lozano-Rodriguez *et al*., 1997). مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات سایر محققان، نشان‌دهندهٔ مقاومت نسبتاً بالای گیاه *M. chenopodiifolia* نسبت به کادمیوم است.

بررسی مقدار عنصر انباشته شده در بخش هوایی و ریشه گیاه نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت میزان انباشته‌شدن این عنصر توسط گیاه افزایش می‌یابد. مقدار عنصر انباشته شده در بخش هوایی نسبت به ریشه بیشتر است (شکل‌های ۴ و ۵). مقدار عنصر انباشته‌شده در غلظت ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم در بخش هوایی در دو جمعیت ایرانکوه و صفه به‌ترتیب ۵۷ و ۴۵ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک و در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم به ترتیب ۷۱ و ۶۴ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک برای دو جمعیت ایرانکوه و صفه است. مقدار عنصر انباشته‌شده در غلظت ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم در بخش هوایی دو گیاه بیش‌انباشته‌گر کادمیوم؛ یعنی *Thlaspi caerulescens* و *Arabidopsis halleri* به ترتیب برابر با ۲۴۲ و ۱۲۴ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک بوده‌است (Wojcik *et al*., 2005., Cosio *et al*., 2004) . در گیاه *Salsola kali* که با غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم تیمار شد، ۹۲ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک، کادمیوم انباشته شد (Rosa *et al*., 2004). همچنین بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده از بخش‌های مختلف این تحقیق نشان می‌دهد که گیاه *M. chenopodiifolia* جمع‌آوری شده از منطقه ایرانکوه (خاک آلوده به فلز) در برابر تیمارهای مختلف کادمیوم، مقاومت نزدیک و مشابهی را در مقایسه با جمعیت صفه (خاک غیر آلوده به فلز) نشان

www.SID.ir

Archive of SID

می‌دهد که می‌تواند به علت مقاومت نسبتاً بالا و ژنتیکی این گیاه نسبت به کادمیوم باشد. Baker و همکارانش (۱۹۹۴) وجود این مقاومت ژنتیکی را برای چند گونه *Thlaspi* گزارش کردند. بنابراین، این نتایج مخالف با گزارش‌هایی است که بیان کرده‌اند جمعیت‌های رشدیافته در خاک‌های آلوده به فلز به طور ژنتیکی از جمعیت‌های همان گونه که در خاک‌های غیرآلوده روییده‌اند متمایز شده‌اند (Reeves *et al*., 2001; Keller *et al*., 2003).

با توجه به نتایج این تحقیق، گیاه *M. chenopodiifolia* دارای مقاومت و قابلیت جذب و انباشتگی نسبتاً بالایی برای کادمیوم است. با توجه به اینکه مقدار کادمیوم در دسترس گیاه در خاک منطقه ایرانکوه در محدوده پایین‌تری نسبت به تیمارهای اعمال‌شده در این آزمایش قرار دارد؛ گیاه *M. chenopodiifolia* می‌تواند به عنوان گیاهی مناسب برای کاستن آلودگی کادمیوم در این منطقه مورد تحقیقات بیشتر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این پروژه با حمایت مالی مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان انجام گرفته‌است به همین جهت، از بذل عنایت آنان صمیمانه سپاسگزاری می‌کنیم.

منابع

Chehregani, A., Noori, M. and LariYazdi, H. (2009) Phytoremediation of heavy-metal-polluted soils: Screening for new accumulator plants in Angouran mine (Iran) and evaluation of removal ability. Ecotoxicology and Environmental Safety 72: 1349-1353

Clemens, S. (2001) Molecular mechanisms of plant metal homeostasis and tolerance. Planta 212: 475-486.

Cosio, C., Martinoia, E. and Keller, C. (2004) Hyperaccumulation of cadmium and zinc in *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri* at the leaf cellular level. Plant Physiology 134: 716-725.

Ebbs, S. D., Lasat, M., Brady, D. J., Cornish, J., Gordon, R. and Kochian, L. V. (1997) Phytoremediation of cadmium and zinc from a contaminated soil. Journal of Environmental Quality 26: 1424-1430.

Ghaderian, S. M., Hemmat, G. R., Reeves, R. D. and Baker A. J. M. (2007) Accumulation of lead and zinc by plants colonizing a metal mining area in Central Iran. Journal of Applied Botany and Food Quality 18: 145-150.

Iqbal, M. Z. and Shazia, Y. (2004) Differential tolerance of *Albizia lebbeck* and *Leucaena leucocephal* at toxic levels of lead and

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.

Baker, A. J. M., Reeves, R. D. and Hajar, A. S. M. (1994) Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. & C. Presl. (Brassicaceae). New Phytologist 127: 61-68.

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

Bert, V., Meerts, P., Saumitou-Laprade, P., Salis, P., Gruber, W. and Verbruggen, N. (2003) Genetic basis of Cadmium tolerance and hyperaccumulation in *Arabidopsis halleri*. Plant Soil 249: 9-48.

Bhardwaj, P., Chaturvedi, A. K. and Prasad, P. (2009) Effect of Enhanced Lead and Cadmium in soil on Physiological and Biochemical attributes of *Phaseolus vulgaris* L. Nature and Science 7(8): 63-75.

Brooks, R. (1998) Plants those hyperaccumulate heavy metals. CAB International, New York.

www.SID.ir

Archive of SID

cadmium. Polish Journal of Environmental studies 13(4): 439-442.

Kabir, M., Zafar, M., Shafigh, M. and Farooghi, Z.R. (2008) Reduction in germination and seedling growth of *Thespesia populnea* L. caused by lead and cadmium treatments. Pakistan Journal of Botany 40(6): 2419-2426.

Keller, K., Hammer, D., Kayser, A., Richner, W., Brodbeck, M. and Sennhauser, M. (2003) Root development and heavy metal phytoextraction efficiency: comparison of different plant species in the field. Plant and Soil 249: 67-81.

Kiran, Y. and Sahin, A. (2006) The effects of cadmium on seed germination, root development and mitotic of root tip cells of lentil (*Lens culinaris* Medick.). World Journal of Agricultural Science 2 (2): 196-200.

Kirkham, M. B. (2006) Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation and amendments. Geoderma 137: 19-32.

Lasat, M. M. (2002) Phytoexteraction of toxic metals: A review of biological mechanisms. Journal of Environmental Quality 31:109-120.

Lombi, E., Zhao, F. J., Dunham, S. J. and McGrayh, S. P. (2000) Cadmium accumulation in population of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi goesingense*. New Phytologist 145: 11-20.

Lozano-Rodriguez, E., Hernandez, L. E., Bonay, P. and Carpena-Ruiz, R. O. (1997) Distribution of cadmium in shoot and root tissues of maize and pea plants: physiological disturbances. Journal of Experimental Botany 48(306): 123-128.

Moya, J. L., Ros, R. and Picazo, I. (1993) Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. Photosynthesis Research 36: 75-80.

Nouri, J., Khorasani, N., Lorestani, B., Karami, M., Hassani, A. H. and Yousefi, N. (2009) Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species with phytoremediation potential. Environmental Earth Science 59:315-323.

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

Rastmanesh, F., Moore, F. and Keshavarzi, B. (2010) Speciation and phytoavailability of heavy metals in contaminated soils in Sarcheshmeh area, Kerman province, Iran. Bullten of Environmental Contamination Toxicology 85:515-519.

Reeves, R. D., Kruckeberg, A. R., Adiguzel, N. and Kramer, U. (2001) Studies on the flora of serpentine and other metalliferous areas of western Turkey. South African Journal of Science 97: 513-517.

Robinson, B. H., Mills, T. M., Petit, D., Fung, L. E., Green, S. R. and Clothier, B. E. (2000) Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: Implications for phytoremediation. Plant and Soil 227: 301-306.

Rosa, G., Peralta-Videa, J. R., Montes, M., Parsons, J. G., Cano-Aguilera, I. and Gardea-Torresdey, J. L. (2004) Cadmium uptake and translocation in tumbleweed (*Salsola kali*), a potential Cd-hyperaccumulator desert plant species: ICP/OES and XAS studies. Chemosphere 55: 1159-1168.

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

Wojcik, M., Vangronsveld, J. and Tukiendorf, A. (2005) Cadmium tolerance in *Thlaspi caerulescens*: Growth parameters, metal accumulation and phytochelatin synthesis in response to cadmium. Environmental and Experimental Botany 53: 151-161.

www.SID.ir

Archive of SID

Tolerance, uptake and accumulation of cadmium in *Matthiola chenopodiifolia* Fisch & C. A. Mey (Brassicaceae)

Seyed Majid Ghaderin* and Naser Jamali Hajiani

Department of Biology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan

Abstract

Cadmium is a non-essential divalent heavy metal cation. The toxic level of Cd may be caused by natural soil charscteristics or by human activity. Cd has been shown to cause many morphological, physiological, biochemical and structural changes in growing plants. Meanwhile, some plant species can grow in Cd-contaminated soil and are able to uptake and accumulate this element in their tissues. *Matthiola chenopodiifolia*, is a plant that is able to grow in heavy metals contaminated soils in Irankouh mining area. In this study, in order to determine the potentiality of this plant to accumulate of Cd, it was grown under different concentration of Cd in laboratory conditions. The seeds of *M. chenopodiifolia* were collected from plants grown on contaminated soils (Irankouh) and uncontaminated soils (Soffeh) around Isfahan. Plants were grown in hydroponic system with modified Hoagland nutrient solution for 10 days. Then, the plants were treated with Cd concentrations of 0, 2.5, 5, 10, 20, 30 and 40 ppm for 24 days. Results showed that the root and shoot dry weight in both populations were decreased with increasing concentration of cadmium. Also root tolerance index in both populations significantly decreased ($P<0.05$). In addition, both populations of *M. chenopodiifolia* were able to accumulate cadmium in their roots and shoots under all concentration of Cd. Uptake and accumulation of Cd were increased by increasing Cd concentration. Also, both populations had no significant differences in response to Cd, therefore, *M. chenopodiifolia* had an innate tolerance to Cd and was a very useful plant for phytoremediating of Cd from contaminated soils.

Key words: Accumulation, Uptake, Tolerance, Cadmium, *Matthiola chenopodiifolia*

* Correspong Author: ghaderian@sci.ui.ac.ir

www.SID.ir