فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی
جلد ۱۳، شماره ۱، صفحات ۸-۱
(بهار ۱۳۹۶)

خاصیت گیاه پالایی تاجریزی در خاک‌های آلوده به کادمیوم در محیط آب کشت

فاطمه ابراهیمی
کارشناس ارشد اصلاح نباتات
دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته
کرمان، ایران
نشانی الکترونیک ✉:
fateme.ebrahimy@gmail.com

امین باقی‌زاده*
دانشیار گروه بیوتکنولوژی
پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی
دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته
کرمان، ایران
نشانی الکترونیک ✉:
a.baghizadeh@kgut.ac.ir
مسؤل مکاتبات*

شهرام پورسیدی
دانشیار دانشکده کشاورزی
دانشگاه شهید باهنر کرمان
کرمان، ایران
نشانی الکترونیک ✉:
spseyedi@uk.ac.ir

چکیده کادمیوم از فلزات سنگین است که در گیاهان تنش اکسیداتیو ایجاد می‌کند. هدف از این مطالعه تعیین توانایی خاصیت گیاه‌پالایی تاجریزی در محیط کشت آلوده به کادمیوم بود. آزمایش در شرایط آب کشت و پنج غلظت ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار کلرید کادمیوم و با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. طول ریشه، ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک گیاه، سطح برگ، میزان تجمع کادمیوم و مقدار کلروفیل کل در اندام هوایی بررسی شد. کاربرد کادمیوم، وزن خشک، سطح برگ و میزان کلروفیل کل را کاهش و طول ریشه، طول اندام هوایی و میزان جذب کادمیوم توسط گیاه را افزایش داد. با افزایش غلظت کادمیوم تا ۴۰۰ میلی‌مولار، میزان تجمع یون کادمیوم در گیاه افزایش یافت. گیاه تاجریزی حتی در غلظت ۶۰۰ میلی‌مولار نیز توانایی گیاه پالایی خود را حفظ کرد. این تغییرات مورفوفیزیولوژیک جهت مقابله گیاه با تنش ناشی از کادمیوم می‌باشد که سبب حفظ توانایی بقا و رشد نسبی مطلوب گیاه در چنین شرایطی شده و در نتیجه گیاه تاجریزی با تجمع کادمیوم در بافت‌های خود در پاک‌سازی محیط نقش مؤثری ایفا می‌کند. از این جهت می‌توان از گیاه تاجریزی به عنوان یک گیاه تجمع‌دهنده کادمیوم، برای رفع آلودگی خاک‌های مناطق صنعتی استفاده نمود.

شناسه مقاله:
نوع مقاله: **پژوهشی**
تاریخ پژوهش: **۱۳۹۴**
تاریخ دریافت: **۹۵/۰۵/۱۲**
تاریخ پذیرش: **۹۶/۰۱/۲۲**

واژه‌های کلیدی:
- **تنش اکسیداتیو**
- **زیست پالایی**
- **فلز سنگین**
- **کشت هیدروپونیک**
- **گیاه بیش‌انباشته‌گر**

مقدمه کادمیوم[1] یکی از فلزات سنگین دوظرفیتی است که در طبیعت بیشتر در سنگ‌های معدنی همراه با روی یافت می‌شود. این عنصر از طریق فعالیت‌های معدن‌کاوی، استخراج و پردازش سنگ‌های معدن روی، آبکاری فلزات، استفاده از سوخت‌های فسیلی، کودهای فسفاته و حشره‌کش‌ها در کشاورزی و از طریق فاضلاب‌های شهری و صنعتی وارد خاک می‌شود.[۱۶] نمک‌های کادمیوم به‌راحتی جذب گیاهان شده و سبب ایجاد آسیب‌های سلولی و بافتی می‌شوند.[۱۳] کادمیوم عنصر غیرضروری برای گیاهان است و هیچ عملکرد بیولوژیک شناخته‌شده‌ای نداشته[۷] و هنگامی‌که مقدار کل آن در خاک به ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برسد، برای گیاه سمی است.[۱۶] *راست‌منش و همکاران (۲۰۱۰)* نشان دادند که در معدن سرچشمه کرمان، فلزات سرب، کادمیم، مولیبدن و مس بیشترین آلودگی را در خاک‌های سطحی دارند.[۱۴]

یکی از روش‌های سم‌زدایی و کاهش مواد سمی از جمله فلزات سنگین در محیط-های آلوده استفاده از گیاهان بیش‌انباشته‌گر است.[۸] این گیاهان گونه‌هایی هستند که می‌توانند مقادیر زیادی از فلزات سنگین را در غلظتی ۱۰ تا ۱۰۰ برابر بیش از آن چه گیاهان زراعی متحمل می‌شوند در خود جمع کنند، بدون آن که آثار سمیت در گیاه ظاهر شود.[۱۵] امروزه، شناسایی گیاهان بیش‌انباشته‌گر کادمیوم اهمیت بسیار زیادی دارد زیرا می‌توان از این گیاهان برای مطالعات بوم‌شناختی و تکامل این گیاهان و ژن‌های مؤثر بر مقاومت به کادمیوم استفاده کرد. گیاهان مقاوم به کادمیوم در برخی نقاط جهان از خاک‌های اطراف معادن جمع‌آوری و بررسی شده‌اند.[۳]

در این راستا، پژوهش‌هایی روی برخی از گونه‌ها از جنبه‌های مختلف جذب، مقاومت و انباشتگی صورت گرفته است. *بیکر و پراکتور (۱۹۹۰)* واکنش‌های فنوتیپی گونه‌های مختلف گیاهی به تنش عناصر سنگین سرب، مس، کادمیوم و روی و توانایی آنها در جذب و ذخیره عناصر یاده شده را متفاوت ارزیابی نمودند.[۳] مطالعه‌ی *چهره‌گانی و همکاران (۲۰۰۹)* روی گیاهان معدن انگوران زنجان نشان داد که پوشش گیاهی پنج گیاه غالب منطقه از جمله تاج‌خروس و هفت‌بند در جذب فلزات سنگین منطقه ازجمله سرب، کادمیوم، نیکل و مس بسیار مؤثر بوده است.[۵] مطالعه‌ی *نوری و همکاران (۲۰۰۹)* در استان همدان نشان داد که گیاهان منطقه با جذب عناصر روی، منیزم و مس و تجمع دادن آن‌ها در اندام‌های هوایی و زیرزمینی، نقش بسیار مؤثری در رفع آلودگی خاک‌های منطقه ایفا می‌کنند.[۱۲]

کاربرد گیاهان جهت اصلاح محیط‌های آلوده به آلاینده‌های مختلف در بسیاری از نقاط جهان مورد استفاده قرار گرفته است و امروزه نیز از بهترین روش‌های اصلاحی محیط زیست به حساب می‌آید.[۱۴]

تاجریزی[2]، گیاهی است یکساله از تیرهٔ سیب‌زمینی که به صورت علف هرز در مزارع و باغ‌ها می‌روید و خاصیت جذب و تجمع‌دهندگی عناصر سنگین توسط این گیاه مشاهده و اثبات شده است.[۲۱] کاربرد گیاه تاجریزی جهت اصلاح محیط‌های آلوده به آلاینده‌های مختلف در ایران تاکنون چندان مورد توجه قرار نگرفته است. با توجه به این که بسیاری از گونه‌های گیاهی ابرجاذب شناسایی شده در جهان، با شرایط آب و هوایی کشور سازگاری ندارند، بنابراین شناسایی و استفاده از گونه‌های سازگار با شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک کشور نظیر تاجریزی، نخستین گام جهت استفاده از این روش در رفع آلودگی

[1] cadmium (Cd)

[2] *Solanum nigrum*

محیط‌های آلوده به فلزات سنگین به خصوص در مناطق صنعتی و معدنی کشور خواهد بود.[۱۲]

هدف از این مطالعه تعیین قابلیت گیاه‌پالایی تاجریزی در خاک‌های آلوده به کادمیوم بود.

مواد و روش‌ها بذرهای تاجریزی به مدت ۱۵ دقیقه با هیپوکلریت سدیم ۱٪ ضدعفونی و سه مرتبه با آب مقطر سترون شسته شده و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال در ظرف درب‌دار سترون نگهداری شدند. بذرها به ظروف پتری سترون حاوی محیط کشت موراشیگ و اسکوگ[1] نیم‌غلظت، آگار ۵ گرم در لیتر، ساکارز ۱۵ گرم در لیتر منتقل گردید. در هر ظرف پتری ۱۵ عدد بذر قرار گرفت. سپس ظروف پتری در دمای ۲۶ درجه سلسیوس و رطوبت ۶۵-۶۰٪ و دوره نوری ۱۶ : ۸ (تاریکی : روشنایی) نگهداری شدند.

برای انتقال گیاهچه‌ها به محیط آب کشت[2] ۲/۵ لیتر از محلول غذایی هوگلند[3] در هر گلدان با گنجایش ۳ لیتر ریخته شده و گیاهچه‌های رشد یافته تاجریزی در ظرف پتری با دقت زیاد به حفره‌هایی که روی صفحات یونولیت تعبیه شده بود، منتقل شد. این عمل به گونه‌ای انجام شد که ریشه در تماس با محلول غذایی باشد. هم‌چنین جهت تثبیت گیاهچه‌ها در داخل حفره‌ها، در اطراف آنها از فوم یا کائوچو استفاده شد. در این مرحله برای افزایش موفقیت گیاهچه‌ها در کسب سازگاری با شرایط هوای آزاد، در داخل گلدان حاوی کوکوپیت و پرلیت[4] سترون کشت شدند که سبب افزایش فضای مجاور ریشه و حفظ رطوبت گردید. روی گلدان‌ها با پلاستیک شفاف پوشانده شد تا ضمن دسترسی گیاه به نور، رطوبت محیط گیاهچه نیز در حد مناسب‌تری حفظ شود. گلدان‌ها در گلخانه قرار گرفته و هر هفته یک یا دو سوراخ در پلاستیک ایجاد شد. در حین رشد گیاهچه‌ها که ۳۰ روز به طول انجامید هر ۵ روز یک بار محلول غذایی هوگلند تعویض گردید. با توجه به حساسیت گیاه در مرحله گیاهچه‌ای، در ۱۵ روز اول آب کشت، محلول غذایی هوگلند به تنهایی و بدون اضافه کردن کادمیوم مورد استفاده قرار گرفت تا گیاه به شرایط پایدار برسد و با محیط آب کشت خود را سازگار کند. پس از گذشت ۱۵ روز از کشت، گیاهان وارد مرحله چهاربرگی شدند. در این مرحله اقدام به تعویض محلول غذایی و جایگزین کردن آن با محلول حاوی غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار کادمیوم شد. پس از ۱۵ روز از قرار گرفتن گیاه در سطوح مختلف کادمیوم، گیاهان جهت بررسی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک به آزمایشگاه انتقال یافتند.

طول ریشه از یقه گیاه تا نوک ریشه و طول اندام هوایی از یقه گیاه تا انتهای ساقه اصلی با خط‌کش اندازه‌گیری شد. وزن تر ریشه و اندام هوایی برحسب گرم با دقت ۰/۰۰۰۱ با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. وزن خشک نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در آون با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. برای مقایسه سطح برگ گیاه شاهد با گیاهان تحت تیمار، برگ‌های ردیف اول از گیاهان جدا شد. از برگ‌های جدا شده، کپی کاغذی تهیه و سپس وزن کپی مورد نظر با ترازو اندازه‌گیری گردید. ده سانتی‌متر مربع از کادر کاغذ نیز جدا و وزن شد. با محاسبه نسبت وزن برگ به وزن ۱ سانتی‌متر مربع از کاغذ، سطح هر برگ محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت.

[1] Murashige & Skoog
[2] hydroponic
[3] Hoagland
[4] cocopeat and perlite

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل، ۰/۱ گرم از بافت تر برگ با ترازوی دقیق آزمایشگاهی وزن و در هاون چینی که حاوی ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰٪ بود به خوبی ساییده شد. محتوای هاون به منظور استخراج رنگیزه‌ها با کاغذ صافی واتمن شماره ۱، صاف شده و ۵ میلی‌لیتر استون به هر نمونه اضافه شد تا حجم هر نمونه به ۱۵ میلی‌لیتر برسد. سپس جذب در طول موج‌های ۶۴۷ و ۶۶۴ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد. کلروفیل کل با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.[۲۰]

$$C_{a=} 12.25A_{663.2} _ 2.798A_{646.8}$$
$$C_b = 21.50A_{646.8} _ 5.10A_{663.3}$$
$$C_T = C_a + C_b$$

در فرمول‌های بالا C_a مقدار کلروفیل a، C_b کلروفیل b و C_T مقدار کلروفیل کل را نشان می‌دهند.

میزان کادمیوم تجمع یافته در بافت‌های گیاهی با استفاده از دستگاه جذب اتمی[۱] اندازه‌گیری شد.

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار اجرا شد. تجزیه واریانس داده‌ها با کمک نرم افزار SAS ver. 12 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت.

نتایج و بحث تأثیر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر کلیه صفات به غیر از وزن تر گیاه معنی‌دار بود (جدول ۱). سطوح مختلف کادمیوم بر طول ریشه اثر معنی‌داری داشت. بیشترین کاهش طول اندام زیرزمینی در غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار دیده شد و تیمار ۶۰۰ میلی‌مولار باعث افزایش طول ریشه گردید. احتمالاً گیاه برای تحمل کادمیوم اضافی به عنوان یک واکنش فوق حساسیت با طویل ریشه نسبت به جبران خسارت ناشی از افزایش کادمیوم واکنش نشان داده است (جدول ۲).

غلظت‌های مختلف کادمیوم بر طول اندام هوایی در سطح ۵٪ اثر معنی‌داری داشتند. اما بیشترین طول در تیمارهای۴۰۰ و ۶۰۰ میلی مولار و کمترین آن در غلظت‌های صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۲). اگرچه طول اندام‌های هوایی بلندتر شده است اما کلفتی ساقه و در نتیجه وزن اندام کاهش پیدا کرده است و این موضوع احتمالاً به دلیل اختلال در سیستم تقسیم سلولی می‌باشد. به نظر می‌رسد افزایش طول اندام هوایی در تیمارهای بالای کادمیوم به‌عنوان یک واکنش فوق حساسیت برای کاهش خسارات ناشی از افزایش کادمیوم اتفاق می‌افتد.

وزن تر ریشه و اندام هوایی در اثر تیمار کادمیوم در غلظت‌های متفاوت، تغییرات معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲).

سطوح مختلف کادمیوم اثرات معنی‌داری در سطح ۱٪ بر وزن خشک اندام‌های گیاهی داشتند و همه آنها موجب کاهش وزن خشک غلظت‌های مختلف نسبت به شاهد شدند. اگرچه طول اندام هوایی با افزایش میزان کادمیوم زیاد شده است اما کلفتی اندام‌های مذکور کم شده و ساقه‌ها عموماً باریک شده‌اند و در مجموع کاهش وزن اتفاق افتاده است. وزن خشک اندام‌های گیاهی در تیمار ۶۰۰ میلی‌مولار کادمیوم نسبت به بقیه‌ی تیمارها کاهش بیشتری داشته است (جدول ۲).

سطح برگ روند کاهشی در مقابل افزایش تنش کادمیوم داشت؛ به طوری که همه سطوح تیماری تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان دادند. با افزایش غلظت کادمیوم تا ۴۰۰ میلی‌مولار میزان تجمع یون کادمیوم نیز افزایش یافت ولی در تیمار ۶۰۰ میلی مولار این روند برعکس گردید (جدول ۲).

[1] atomic absorption spectrometer (Varian Spectraa 220 fs, USA)

جدول۱) تجزیه واریانس صفات موفوفیزیولوژیک تاجریزی رشد یافته در محیط آب‌کشت آلوده به کادمیوم

Table 1) Variance analysis of nightshade morphophysiological traits grown in hydroponic system Contaminated by cadmium

Source of variation	df	mean of squares						
		root length	shoot length	plant fresh weight	plant dry weight	leaf area	cadmium uptake	chlorophyll content
Treatment	4	4.9880**	5.2108*	0.0005^{ns}	0.00002**	0.1349**	1.3531**	44.91**
Error	10	0.3723	0.8912	0.0007	0.0000005	0.0052	0.0649	2.123
CV (%)		17.59	24.20	11.66	5.10	6.24	18.59	9.96

ns , *,** are non-significant and significant in 5and 1%, respectively. ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

جدول ۲) اثر تنش کادمیومی بر صفات مورفوفیزیولوژیک تاجریزی در محیط آبکشت

Table 2) The effect of cadmium stress on nightshade morphophysiological traits in hydroponic system

Cadmium rate (mM)	root length (cm)	shoot length (cm)	plant fresh weight (g)	plant dry weight (g)	leaf area (cm^2)	cadmium uptake (mg/g)	chlorophyll content (mg/g)
0	2.98 b	3.9 b	0.20 a	0.020 a	1.49 a	0.46 d	19.46 a
100	3.70 b	3.5 b	0.21 a	0.016 b	1.19 b	1.02 c	16.97 ab
200	3.36 b	3.7 b	0.23 a	0.014 c	1.14 bc	1.32b c	15.18 b
400	1.86 c	5.9 a	0.24 a	0.015 bc	1.04 c	2.26 a	11.36 c
600	5.41 a	6.2 a	0.24 a	0.011 d	0.76 d	1.63 b	10.15 c

میانگین‌هایی که دارای حرف یا حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means with at least one common letter in each column have no signification difference at 5% of probability level.

با افزایش غلظت کادمیوم تا ۶۰۰ میلی‌مولار، میزان کلروفیل کل کاهش یافت (جدول ۲).

تعیین اثر بازدارنده فلز بر رشد طولی ریشه‌هایی که در معرض کادمیوم می‌باشند، معمول‌ترین شیوه برای تشخیص اثرات بازدارندگی فلز سنگین بر رشد می‌باشد. از مزایای این روش، سادگی و سریع بودن روش و کارایی بالای آن می‌باشد.[۹] رشد ریشه‌ها نتیجه‌ای از دو سازوکار متفاوت تقسیم سلول در نوک ریشه و طویل شدن سلول در ناحیه رشد طولی می‌باشد.[۱] در صورت وجود فلزات سنگین، هر دو سازوکار تحت تأثیر قرار می‌گیرد ولی بسیاری از پژوهشگران اعتقاد دارند طویل شدن سلولی بسیار حساس‌تر از تقسیم سلولی می‌باشد. گزارش شده است که کاهش رشد ریشه می‌تواند به علت کاهش شاخص میتوزی سلول‌های منطقه تقسیم و یا به دلیل ایجاد جهش باشد.[۱۸] در ریشه‌های راش که با کادمیوم تیمار شده بودند، رشد ریشه‌ها به طور قابل توجهی کاهش یافته بود.[۶] *بارسلو و پوسچنریدر (۱۹۹۹)* گزارش کرده‌اند که به علت کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌ها در گیاهان تحت تنش با کادمیوم، رشد طولی ریشه‌ها مهار می‌شود.[۴] مهار رشد ریشه-ها به علت اثر مستقیم کادمیوم روی هسته سلول‌های ریشه یا برهمکنش بین هورمون‌ها می‌باشد[۲]، هم‌چنین گزارش شده است که کادمیوم از طریق تاثیر در کاهش سنتز پروتئین‌ها باعث کاهش رشد طولی ریشه دانه‌رست‌های برنج می‌شود.[۱۹] یون کادمیوم بر بخش‌های مختلف گیاه تأثیر می‌گذارد. گزارش‌هایی نیز وجود دارد مبنی بر این که در کلزایی که در معرض کلرید کادمیوم قرار داشت، رشد ریشه و برگ کاهش یافته است. یون کادمیوم با اختلال در فتوسنتز، تنفس و متابولیسم نیتروژن در گیاهان منجر به کاهش رشد می‌شود که به دنبال آن، بیوماس نیز کاهش می‌یابد.[۱۷] کادمیوم باعث کاهش سطح برگ نیز می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در گیاهان تحت تنش کادمیوم، سطح

برگ نسبت به گیاه شاهد کاهش چشم‌گیری نشان می‌دهد. دانشمندان اظهار کرده‌اند که کاهش پتانسیل تورگر و کاهش قابلیت ارتجاعی دیواره سلول باعث تشکیل سلول‌های کوچک و کاهش فضای بین سلولی در گیاهان تحت تنش کادمیوم می‌شود و سبب کاهش فشار تورگر به دلیل اختلال در جذب آب در این گیاهان می‌باشد. گزارش‌هایی نیز وجود دارد مبنی بر این که در ذرت تحت تنش کادمیوم، رشد سلول‌ها به دلیل افزایش کاتابولیسم اکسین کاهش یافته است[۲۰] در مورد خردل هندی نیز گزارشی مبنی بر اینکه کادمیوم رشد برگ را کاهش می‌دهد، وجود دارد.[۱۰] کادمیوم در دیواره سلولی و تیغه میانی سلول‌ها قرار گرفته و باعث افزایش اتصال متقاطع پکتین به غشا و تیغه میانی می‌شود. این اتصال متقاطع می‌تواند باعث مهار رشد و گسترش برگ شود.[۱۳] در این پژوهش اثر کادمیوم بر وزن تر ریشه و اندام هوایی گیاه بی‌معنی بوده است. صفت وزن خشک ریشه واندام هوایی در سطوح مختلف تیمار کادمیوم نسبت به شاهد در همه غلظت‌ها کاهش داشت. *لاگریفول و همکاران (۱۹۹۸)* گزارش کرده‌اند که وزن خشک برگ‌ها و ریشه‌های گیاه ذرت در حضور فلز کادمیوم کاهش می‌یابد.[۱۱] علت کاهش وزن تر و خشک گیاه را تجمع کادمیوم در بخش‌های مختلف گیاه و اختلال در متابولیسم کلی گیاه دانسته‌اند که باعث کاهش رشد کلی گیاه می‌شود. در بررسی حاضر با افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت، میزان جذب در ریشه‌ها افزایش یافت و بیشترین جذب کادمیوم در گیاه مربوط به تیمار ۴۰۰ بود. مهم‌ترین عامل در جذب کادمیوم توسط ریشه از محیط کشت، اسیدیته خاک می‌باشد.[۱۹] یک گیاه با ریشه‌های باریک متعدد می‌تواند فلز بیشتری را نسبت به گیاهی با ریشه‌هایی نسبتا ضخیم‌تر ذخیره کند. تجمع کادمیوم در ریشه‌ها بیشتر از ساقه‌ها است. ۹۰-۶۵٪ محتوای کادمیوم کل در گیاهان در ریشه جمع‌آوری می‌شود.[۲] یکی از نشانه‌های آشکار تنش کادمیوم، کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها گزارش شده است، کادمیوم باعث قرمز قهوه‌ای شدن و کلروز برگ نیز می‌شود، گزارش شده است که محتوای کلروفیل با افزایش غلظت کادمیوم کاهش می‌یابد. گزارش‌هایی وجود دارد مبنی بر این که کاهش ذخیره کلروفیل در برگ‌ها به‌علت مهار مراحل مختلف بیوسنتز کلروفیل می‌باشد[۲۰].

نتیجه‌گیری کلی حذف فلزات سنگین از محیط توسط گیاهان، یک فناوری جدید در جهت برطرف شدن آلودگی خاک‌ها می‌باشد. سازوکارهای مقاومتی گوناگونی وجود دارد که به گیاه اجازه می‌دهد که در شرایط تجمع زیاد فلزات سنگین بقای خود را حفظ کند. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد گیاه تاجریزی قابلیت جذب بالایی برای فلز سنگین کادمیوم دارد. تغییرات ایجاد شده در صفات مورفو-فیزیولوژیکی تاجریزی در شرایط تنش کادمیوم در جهت حفظ توانایی رشد و کاهش خسارت ناشی از تنش می‌باشد که به شکل مؤثری در این پژوهش نیز دیده می‌شود. بنابراین، از آنجایی که گیاه تاجریزی ضمن حفظ توانایی در رشد مناسب، قابلیت جذب فلز سنگین کادمیوم را نیز دارد، می‌توان آن را برای جذب این فلز و پاکسازی محیط اطرافش توصیه کرد.

References

1. Arduini I, Godbold DA, Onnis A (1994) Cadmium and copper change root growth and morphology of *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* seeding. Physiologia Plantrum 92(4): 675-680.
2. Baker AJM, McGrath SP, Reeves RD, Smith JAC (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. Lewis Publishers: Boca Raton 85-108.
3. Baker AJM, Proctor J (1990) The influence of cadmium, copper, lead and zinc on the distribution and evolution of metallophytes in the British Isles. Plant Systematic and Evolution 173(1): 91-108.
4. Barcelo J, Poschenrieder C (1999) Plant water relations as effected by heavy metal stress: a review. Journal of Plant Nutrition 13(1): 1-37.
5. Chehregani A, Noori M, 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(5): 1349-1353.
6. Chen YX, He YF, Lue YM, Yu YL, Lin Q, Wong MH (2003) Physiological mechanism of plant roots exposed to cadmium. Chemospher 50(1): 789-793.
7. Clemens S (2001) Molecular mechanisms of plant metal homeostasis and tolerance. Planta 212(4): 475-486.
8. Ebbs SD, Lasat M, Brady DJ, Cornish J, Gordon R, Kochian LV (1997) Phytoremediation of cadmium and zinc from a contaminated soil. Journal of Environmental Quality 26(1): 1424-1430.
9. Fediuk E, Erdi L (2002) Physiological and biochemical aspects of cadmium toxicity and protective mechanisms induced in *Phragmites australis* and *Typha latifolia*. Journal of Plant Physiology 159(3): 265-271.
10. Haag Kerwer A, Schafer HJ, Heiss S, Walter C, Rausch T (1999) Cadmium exposure in *Brassica juncea* causes a decline in transpiration rate and leaf expansion without effect on photosynthesis. Journal of Experimental Botany 50(341): 1827-1835.
11. Lagrifoul A, Mocquot B, Mench M, Vangronsveld J (1998) Cadmium toxicity effects on growth, mineral contents, and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays*). Plant and Soil 200(1): 241-250.
12. Nouri J, Khorasani N, Lorestani B, Karami M, Hassani AH, Yousefi N (2009) Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species with phytoremediation potential. Environmental Earth Sciences 59(2): 315-323.
13. Prasad MN (1995) Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. Environment and Experimental Botany 35(4): 525-545.
14. Rastmanesh F, Moore F, Keshavarzi B (2010) Speciation and phytoavailability of heavy metals in contaminated soils in Sarcheshmeh area, Kerman province, Iran. Bulletin of Environmental Contamination Toxicology 85(5): 515-519.
15. Reeves RD, Kruckeberg AR, Adiguzel N, Kramer U (2001) Studies on the flora of serpentine and other metalliferous areas of western Turkey. South African Journal of Science 97(1): 513-517.
16. Robinson BH, Mills TM, Petit D, Fung LE, Green SR, Clothier BE (2000) Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation. Plant and Soil 227(1): 301-306.
17. SanitdiToppi R, Gabbrielli R (1999) Response to cadmium in higher plants. Environmental and Experimental Botany 41(2): 105-130.
18. Schickler H, Caspi H (1999) Response of antioxidative enzymes to nickel and cadmium stress in hyperaccumulator plants of the genus Alyssum. Physiologia Plantarum 105(1): 39-44.
19. Shaw BP (1995) Effects of mercury and cadmium on the activities of antioxidative enzymes in the seedlings of *Phaseolus aureus*. Biologia Plantarum 37: 587-596.
20. Vasssilev AI, Yordanov T (1995) Effect of cadmium stress on growth and photosynthesis of young barley (*H. vulgar* L.). Bulgarian Journal of Plant Physiology 21(4): 12-21.
21. Watson L, Dallwitz MJ (1992 onwards) The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Available on-line as <delta-intkey.com/angio/> on 13 March 2017.

Phytoremediation potential of black nightshade in cadmium contaminated soils in hydroponic system

Agroecology Journal
Volume 13, Issue 1, pages: 1- 8
spring, 2017

Fatemeh Ebrahimi
Master of Plant Breeding
Graduate University of Advanced Technology
Kerman, Iran
Email ✉: fateme.ebrahimy@gmail.com

Amin Baghizadeh*
Associate professor of Biotechnology Department
Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences
Graduate University of Advanced Technology
Kerman, Iran
Email ✉: a.baghizadeh@kgut.ac.ir
*(corresponding author)

Shahram Pourseyedi
Associate professor
College of Agriculture
Shahid Bahonar University of Kerman
Kerman, Iran
Email ✉: spseyedi@uk.ac.ir

Received: 03 August 2016 **Accepted:** 11 April 2017

ABSTRACT Cadmium is a heavy metal causing oxidative stress in plants. The study objective was to determine phytoremediation potential of black nightshade in cadmium contaminated culture medium. The experiment was carried out under hydroponic conditions with five cadmium chloride concentrations of 0, 100, 200, 400 and 600 mM based on completely randomized design in three replications. Root length, plant height, plant fresh and dry weight, leaf area, cadmium uptake rate and total chlorophyll were recorded. Cadmium application decreased plant dry weight, leaf area and total chlorophyll and increased root length, plant height and cadmium uptake. Cadmium concentrations up to 400 mM caused cadmium uptake increment in plants. Black nightshade kept phytoremediation potential even at 600 mM cadmium concentration. These changes in morph-physiological traits are for cadmium stress management causing survivability of plant against these conditions and black nightshade could be effective in environment hygiene by cadmium accumulation in its tissues. Therefore, black nightshade might be recommended as a cadmium hyper-accumulator plant in industrial cadmium contaminated soils.

Keywords:
- oxidative stress
- heavy metal
- hydroponic culture
- hyperaccumulator plants
- bioremediation