مجله فرایند و کارکرد گیاهی

تاثیر کادمیوم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در مینای چمنی (*Bellis perennis* L.)

فائزه فاضلی*[1]، اسمامعتقدی[2]

[1]* دانشیار، گروه علوم زیستی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

[2] دانشجوی کارشناسی ارشد علوم محیط زیست، گروه علوم زیستی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

Fazeli@sru.ac.ir

چکیده

فلزات سنگین از جهت ماندگاری بالا در محیط، عدم تجزیه پذیری توسط میکروارگانیسم های خاک و پتانسیل بالای جذب توسط گیاهان و ورود به زنجیره غذایی، جزء مهم ترین و خطرناک ترین آلاینده های محیط زیستی هستند. کادمیوم یکی از فلزات سنگین و سمی برای موجودات زنده از جمله گیاهان است. از این‌رو بر بسیاری از صفات رشدی و ترکیبات موجود در آنها تاثیر می گذارد. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر کادمیوم بر مینای چمنی (*Bellis perennis* L.) می باشد. به این منظور تاثیر غلظت های مختلف کادمیوم (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم در لیتر) با سه تکرار در قالب طرح کاملا تصادفی بر این گیاه بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش غلظت کادمیوم اثر معنی داری بر وزن تر و طول گیاه مینای چمنی ندارد. همچنین با افزایش غلظت کادمیوم وزن خشک گیاه، محتوای کلروفیل اندام هوایی، کاروتنوئیدها، پروتئین کل، فاکتور انتقال، فاکتور تجمع زیستی اندام هوایی و ریشه بطور معنی‌داری کاهش یافت. در حالی که محتوای پرولین، کادمیوم و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز اندام هوایی و ریشه بطور معنی داری افزایش پیدا کرد. بر اساس این پژوهش مینای چمنی برای کشت در غلظت های مورد مطالعه مناسب نیست.

واژه های کلیدی: کادمیوم، پرولین، پروتئین، آنزیم های آنتی اکسیدان، مینای چمنی

مقدمه

آلودگی فلزات سنگین، یکی از مهم‌ترین مشکلات محیط زیستی است که امروزه انسان با آن روبروست. متداول‌ترین منابع رهاسازی فلزات سنگین به خاک شامل فعالیت‌های صنایع مختلف نظیر معدن کاوی، ذوب فلزات، صنایع آبکاری، فلزکاری، مصرف سوخت، تخلیه فاضلاب و انهدام زباله، کاربرد آفت‌کش ها، کودها و لجن فاضلاب مصرفی در بخش کشاورزی است (مشایخی و همکاران، ۱۳۹۳). در سال‌های اخیر آلودگی محیط با فلزات سنگین به سبب تخلیه زباله و فاضلاب از منابع انسانی به طور چشمگیری رو به افزایش بوده است (Ghosh and Singh, 2005). آلودگی خاک به فلزات سنگین به دلیل ورود به زنجیره غذایی می‌تواند سبب به خطر افتادن سلامتی انسان، مختل شدن فرآیندهای رشد و نموگیاهان و کاهش کیفیت و حاصلخیزی خاک شود (Ogundola *et al.*, 2022). میزان سمیت این فلزات بسته به نوع و

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

غلظت فلز، گونه گیاهی، اسیدیته و نوع ترکیبات خاک متفاوت است. فلزات سنگین عناصری هستند که وزن مولکولی آنها از عنصر آهن سنگین تر و چگالی آنها بیش از ۴/۵ گرم بر سانتی متر مکعب باشد. اخیرا آلودگی کادمیوم به عنوان یک مشکل جهانی مطرح می‌باشد. کادمیوم بیشتر در مواد رنگی، آلیاژها و صنایع الکترونیکی و همچنین کودهای فسفاته، پاک کننده ها و محصولات تصفیه شده نفتی وجود دارد (چرم و جعفری، ۱۳۸۲). این عنصر سمی حتی در غلظت‌های کم نیز به سبب غیرقابل تجزیه بودن، ورود به زنجیره غذایی و تجمع در بدن انسان و دیگر جانداران باعث بروز بیماری های زیادی می‌شود. بطوری که از اثرات مخرب آن می توان به تاثیر بر کلیه ها، کبد، استخوان، سیستم عصبی مرکزی، سیستم ایمنی، باروری، ناهنجاری های روانی و آسیب احتمالی به DNA و سرطان اشاره کرد (حق شناس، ۱۳۹۲).

مینای چمنی (*Bellis perennis* L.) گیاهی بوته ای و کوتاه قد، چندساله و پاییزه از تیره آفتابگردان یا کاسنیان (Asteraceae) است که در اروپا و غرب آسیا به صورت وحشی در چمنزارها، زمین های مرطوب و مناطق جنگلی تا ارتفاع ۲۰۰۰-۱۸۰۰ متری رشد می کند (Stace, 1997; وزیری الهی،۱۳۶۶). چندین رقم زینتی مینای چمنی با گل‌هایی به رنگ سفید تا ارغوانی وجود دارند (Mitich,۱۹۹۷). مینای چمنی از ماه اسفند تا مهر گل می دهد و چنانچه زمستان ملایم باشد، در طول سال به گل می رود (Stace, 1997). این گیاه در شمال ایران رویش فراوانی دارد. سهولت کاشت و نیاز به عدم مراقبت زیاد و همچنین گل های فراوان از جمله ویژگی های این گیاه ذکر شده است. مینای چمنی، به عنوان یکی از گیاهان دارویی استفاده های مختلفی داشته و قسمت های مورد استفاده و دارویی آن برگ ها و سایر اندام های آن است. این گیاه تصفیه کننده خون، ملین ملایم، از بین برنده التهاب‌ها، آرام کننده، مقوی، معرق، خلط‌آور و به طور خفیف مدر بوده و در درمان رماتیسم نیز کاربرد دارد (زرگری،۱۳۶۸). از اینرو در این پژوهش به بررسی تاثیر کادمیوم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مینای چمنی پرداخته شد.

مواد و روش ها

بذرهای مینای چمنی تهیه شده از موسسه نهال و بذر کرج، با آب ژاول ۵ درصد به مدت ۲۰ دقیقه ضدعفونی شد. سپس بذرها بر روی کاغذ صافی قرار داده شد. به منظور تیماردهی از نیترات کادمیوم با غلظت های ۰، ۱۰، ۲۰و۳۰ میلی گرم در لیتر استفاده شد. شرایط آزمایش عبارت است دمای متوسط روز/ شب (۲۲/۲۷)درجه سانتی گراد، شدت نور ۴۶ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه و رطوبت نسبی ۳۵-۳۰ درصد بود. پس از ۱۵ روز از زمان کشت بذرها، گیاهان حاصله برداشت شده و نمونه های گیاهی(ریشه و اندام هوایی) مورد آزمایش قرار گرفتند.

اندازه گیری وزن تر و خشک و طول گیاه: پس از اندازه گیری طول، گیاهان توزین شده در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد و پس از طی این مدت وزن خشک آنها اندازه گیری شد.

سنجش محتوای کلروفیل ها و کاروتنوئیدهای برگ: سنجش کلروفیل بر اساس روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) انجام شد. استخراج توسط استون ۸۰ درصد انجام گرفت. شدت جذب عصاره ها در طول موج‌های۶۶۳/۲ و ۶۴۶/۸ برای کلروفیل a و b و کلروفیل کل و در طول موج ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها با دستگاه اسپکتروفتومتر Shimadzu مدل

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

UV-160 قرائت شـد. نتایج حاصـل از اندازه‌گیری مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها بر حسـب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه گردید.

غلظت کلروفیل a = $0/0127\times A_{663}-0/00269\times A_{645}$

غلظت کلروفیل b = $0/0229\times A_{645}-0/0046\times A_{663}$

غلظت کلروفیل (a+b) = $0/0202\times A_{645}+0/00802\times A_{663}$

غلظت کاروتنوئیدها = $(1000A_{470}-1/8chlorophyla-85/02chlorophylb)/198$

A=شدت جذب نوری

سنجش محتوای پروتئین: جهت اندازه گیری پروتئین در اندام‌های هوایی و ریشه ها از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. بدین منظور یک گرم بافت گیاهی با ۲ میلی لیتر بافر استخراج تریس–HCl یک مولار (pH=۶/۸)در ۴ درجه سانتی‌گراد ساییده و همگن شد. همگنای حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور سانتریفوژ گردید. روشناور حاصل جهت سنجش محتوای پروتئین، همچنین تعیین فعالیت آنزیم های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز مورد استفاده قرار گرفت. شدت جذب نمونه ها با اسپکتروفتومتر Shimadzu مدل UV-160 در طول موج ۵۹۵ نانومترقرائت شد. محتوای پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلبومین محاسبه و برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

سنجش محتوای پرولین: برای سنجش میزان پرولین آزاد از روشBates و همکاران(۱۹۷۳) استفاده شد. استخراج با استفاده از ۰/۵ گرم بافت تر گیاهی و اسید سولفوسالیسیک۳ درصد انجام شد. آماده سازی نمونه ها با استفاده از ۲ میلی لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال و قرارگیری به مدت یک ساعت در حمام آب گرم (۱۰۰ درجه سانتی گراد) انجام شد. پس از سرد شدن و اضافه نمودن ۴ میلی لیتر تولوئن و مخلوط کردن آنها، شدت جذب نمونه ها با اسپکتروفتومتر Shimadzu مدل UV-160 در طول موج ۵۲۰ نانومترقرائت شد. محتوای پرولین برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

سـنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: فعالیت آنزیمی بر طبق روش Aebi (۱۹۷۴) و بر پایه تجزیه پراکسـید هیدروژن توسـط آنزیم کاتالاز انجام شـد. کمپلکس واکنش شـامل ۲/۵ میلی لیتر از بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار (pH=۷)، ۰/۳ میلی لیتر پراکسـید هیدروژن۳٪ و ۵۰ میکرولیتر عصـاره آنزیمی بود. واکنش با افزودن پراکسـید هیدروژن آغاز و کاهش در جذب نمونه ها در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت شـد. فعالیت آنزیمی بر اسـاس تغییرات واحد جذب در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه گردید.

سـنجش فعالیت آنزیم پراکسـیداز: این سنجش با استفاده از روش Abeles و Biles (۱۹۹۱) صورت گرفت. کمپلکس واکنش شـامل ۴ میلی لیتر بافر استات سدیم ۰/۲ مولار (pH=۴/۸)، ۰/۴ میلی لیتر پراکسید هیدروژن ۳٪ و ۰/۲ میلی لیتر بنزیدین ۰/۰۲ مولار در متانول ۵۰٪ و ۵۰ میکرولیتر عصـاره آنزیمی بود. تغییرات جذب در طول موج ۵۳۰ نانومتر ثبت شد. فعالیت آنزیمی بر اساس تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه گردید.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: به منظور سنجش فعالیت این آنزیم از روش Nakano **و** Asada **(۱۹۸۱) استفاده شد.** کمپلکس واکنش شامل ۲ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم۰/۰۵ مولار (pH=۷)، ۰/۲ میلی لیتر پراکسید هیدروژن ۳ درصد، ۰/۲ میلی لیتر آسکوربات ۵۰ میکرومولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب نمونه ها در طول موج ۲۹۰ نانومتر قرائت شد. فعالیت آنزیمی بر اساس تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه گردید.

سنجش محتوای کادمیوم: به این منظور ۰/۵ گرم بافت خشک آسیاب شده گیاه پس از خاکستر شدن با ۱۰ میلی لیتر اسید هیدروکلریک مخلوط و هضم نهایی انجام شد (Sumner and Miller, 1996). محتوای عنصر کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer 400AA) ساخت کشور آمریکا سنجیده شد.

فاکتور انتقال (Translocation factor): میزان انتقال فلز سنگین از بخش ریشه ای به بخش هوایی را نشان می دهد (ذوفن، ۱۳۹۷). این فاکتوراز تقسیم غلظت کادمیوم در بخش هوایی به بخش ریشه ای بدست آمد.

فاکتور تجمع زیستی (Bioaccumulation factor): جذب فلز سنگین توسط بافتها از محیط را نشان می دهد (و صفاهیه و محمودی، ۱۳۹۳). این فاکتور با استفاده از تقسیم غلظت **کادمیوم در بافت (اندام هوایی و ریشه)** به غلظت آن در محیط حاصل شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: آزمایشات در قالب طرح کاملا تصادفی با ۴ تیمار در ۳ تکرار انجام شد. جهت تجزیه واریانس داده ها از نرم افزار SPSS نسخه۱۶ استفاده گردید. همچنین مقایسه میانگین داده ها در سطح خطای ۵ درصد با آزمون دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

بررسی وزن تر، وزن خشک و طول گیاه: نتایج نشان داد که افزایش غلظت نیترات کادمیوم بطور غیرمعنی داری سبب کاهش **وزن تر** گیاه می شود. هم‌چنین با افزایش غلظت نیترات کادمیوم، وزن خشک گیاه مینای چمنی بطور معنی‌داری کاهش یافت. بطوری که بیشترین وزن خشک در غلظت صفر نیترات کادمیوم یعنی ۲/۸ میلی گرم و کمترین وزن خشک در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر نیترات کادمیوم یعنی ۰/۳ میلی گرم بدست آمد (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه میانگین وزن تر و خشک، طول، محتوای کلروفیل کل، کاروتنوئیدها مینای چمنی تحت تاثیر غلظت های مختلف نیترات کادمیوم. مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار است($p\leq 0/05$).

عامل مورد بررسی / نیترات کادمیوم (mgl^{-1})	وزن تر (mg)	وزن خشک (mg)	طول (cm)	کلروفیل کل ($mgg^{-1}fw$)	کاروتنوئیدهای اندام هوایی ($\mu gg^{-1}fw$)	کاروتنوئیدهای ریشه ($\mu gg^{-1}fw$)
۰	۵/۰۰±۰/۰۰^a	۲/۸۰±۰/۰۰^a	۲/۷۰±۰/۳۰^a	۸/۴۵±۰/۱۵^a	۳/۶۸±۰/۷۹^a	۱/۱۴±۰/۱۸^a

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

۱۰	۴/۰۰±۰/۰۰^{a}	۰/۶۰±۰/۰۰^{b}	۲/۷۱±۰/۵۷^{a}	۷/۶۵±۰/۲۴^{b}	۳/۱۹±۰/۲۰^{b}	۰/۹۸±۰/۰۸^{b}
۲۰	۴/۰۰±۰/۰۰^{a}	۰/۴۰±۰/۰۰^{bc}	۳/۰۸±۰/۴۵^{a}	۶/۹۲±۰/۰۷^{c}	۲/۵۶±۰/۲۵^{c}	۰/۸۲±۰/۰۶^{c}
۳۰	۴/۰۰±۰/۰۰^{a}	۰/۳۰±۰/۰۰^{c}	۲/۳۳±۰/۳۸^{a}	۶/۱۴±۰/۱۱^{d}	۱/۹۲±۰/۱۱^{d}	۰/۷۳±۰/۰۵^{d}

میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی دار می باشند.

جدول ۲- مقایسه میانگین پروتئین کل، پرولین وکادمیوم مینای چمنی تحت تاثیر غلظت های مختلف نیترات کادمیوم. مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار است($p\leq 0/05$).

عامل مورد بررسی / نیترات کادمیوم (mgl^{-1})	پروتئین کل اندام هوایی ($mgg^{-1}fw$)	پروتئین کل ریشه ($mgg^{-1}fw$)	پرولین اندام هوایی ($\mu gg^{-1}fw$)	پرولین ریشه ($\mu gg^{-1}fw$)	کادمیوم اندام هوایی ($\mu gg^{-1}dw$)	کادمیوم ریشه ($\mu gg^{-1}dw$)
۰	۴/۲۴±۰/۰۸^{a}	۳/۱۰±۰/۱۸^{a}	۱۶/۱۳±۲/۳۰^{d}	۹/۱۲±۰/۸۹^{d}	۲۶/۸۶±۱/۹۷^{d}	۱۱/۳۰±۱/۵۰^{d}
۱۰	۳/۹۷±۰/۱۲^{b}	۲/۸۴±۰/۱۱^{b}	۲۲/۶۵±۲/۳۵^{c}	۱۳/۵۸±۰/۹۷^{c}	۳۳/۵۵±۶۴/۲^{c}	۱۵/۱۴±۱/۵۶^{c}
۲۰	۳/۵۵±۰/۱۷^{c}	۲/۶۲±۰/۱۶^{c}	۳۳/۴۳±۲/۶۳^{b}	۱۸/۴۸±۱/۶۵^{b}	۴۳/۴۶±۱/۶۴^{a}	۲۱/۱۸±۲/۰۶^{b}
۳۰	۳/۲۷±۰/۸۹^{c}	۲/۳۷±۰/۲۲^{d}	۴۳/۸۷±۲/۳۰^{a}	۲۵/۵۹±۱/۳۳^{a}	۶۰/۵۴±۴/۰۷^{a}	۲۷/۲۰±۱/۳۳^{a}

میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی دار می باشند.

یافته های حاصل از بررسی تاثیرات کادمیوم بر پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهچه های کلزا نشان داد که افزایش غلظت کادمیوم کاهش معنی داری در وزن خشک، وزن تر، طول اندام های هوایی گیاه و مقدار کلروفیل اندام

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

هوایی دارد (آقا عباسی و همکاران،۱۳۹۲). کادمیوم از طریق برهم زدن تعادل عناصر غذایی و کاهش جذب برخی عناصر پرمصرف مانند پتاسیم و نیتروژن سبب کاهش رشد، کاهش وزن تر و گسترش سلول های گیاهی می گردد. به نظر می رسد کاهش وزن خشک گیاه به دلیل اختلال در فعالیت آنزیم ها و مهار فتوسنتز (Moradoghlu *et al*., 2015) و اختلال در بیوسنتز رنگدانه های کلروفیلی باشد که از اثرات احتمالی کادمیوم بر رشد گیاه هستند (Khatibi *et al*., 2008). محققین دیگری نیز کاهش وزن خشک گیاه اسفناج را در پی افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت گزارش کردند و بیان نمودند که کادمیوم از طریق کاهش سازوکار تولید انرژی در میتوکندری ها و کلروپلاست ها سبب کاهش وزن خشک می شود(Talatam and Parida, 2009). در گیاه شب بو نیز افزایش میزان کادمیوم موجب کاهش معنی داری در وزن خشک بخش هوایی در گیاهان تحت تیمار شد (Ghaderian and Jamali, 2010). گزارش هایی نیز مبنی بر اینکه کادمیوم موجب کاهش رشد گیاهچه در گاوزبان (شیخ زاده و همکاران، ۱۴۰۱)، بازدارندگی رشد، کاهش وزن خشک بوته ها در گاوزبان (حسینی و همکاران، ۱۴۰۰) نیز وجود دارد.

اعمال کادمیوم تاثیر معنی داری بر طول گیاه نداشت و تمام تیمارها در یک سطح آماری قرار داشتند. بیشترین مقدار طول گیاه مینای چمنی در غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم یعنی ۳/۰۸ سانتی متر و کمترین طول گیاه در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم یعنی ۲/۳۳ سانتی متر بدست آمد (جدول ۱).

در برخی پژوهش ها بیان شده که کوتاه قدی از علائم اصلی ناشی از تاثیرات سمیت گیاه به وسیله کادمیوم است (Sandalio *et al*., 2001). در خاک‌های کشاورزی دارای ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم، رشد گیاه به شدت کاهش یافته و گیاهان کوتاه قد شدند (Sanita *et al*., 1999). پژوهش ها نشان داده است که افزایش غلظت کادمیوم باعث کاهش ارتفاع بوته ذرت می شود (Mihalescu *et al*., 2010). کادمیوم باعث کاهش فعالیت هورمون سیتوکینین می شود که تأثیر به سزایی در تکثیر سلول و رشد گیاه دارد (Mok, 1994). به نظر می رسد که کاهش رشد ممکن است به دلیل از بین رفتن آماس سلول و کاهش در فعالیت های میتوزی و یا مهار طویل شدن سلول باشد(Hassan *et al*., 2006). علیلو و صدقیانی (۱۳۹۱) گزارش کردند که ارتفاع ساقه گیاه بنگدانه در اثر افزایش غلظت کادمیوم کاهش یافت. پژوهش مشابهی توسط یعقوب زاده و همکاران (۱۳۸۸) در مورد گیاه ذرت انجام شده است. بررسی های مختلف نشان دهنده تأثیر کادمیوم بر تقسیم و رشد سلول های گیاهی و همچنین کاهش محتوای آبی گیاه از طریق تأثیر بر کانال های آبی تونوپلاست بوده که به دنبال آن کاهش طویل شدگی یاخته ای و کاهش طول اندام هوایی را موجب می‌گردد.

محتوای کلروفیل: یافته ها نشان داد که افزایش غلظت نیترات کادمیوم سبب کاهش کلروفیل کل بخش هوایی می‌شود. بنابراین بیشترین محتوای کلروفیل کل اندام های هوایی در غلظت صفر یا عدم کاربرد نیترات کادمیوم به مقدار ۸/۴۵ میلی گرم بر گرم وزن تر اندام هوایی و کمترین محتوای کلروفیل کل اندام های هوایی در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر نیترات کادمیوم یعنی ۶/۱۴ میلی گرم بر گرم وزن تر اندام هوایی بدست آمد (جدول ۱). کاهش محتوای رنگیزه‌های کلروفیلی در اندام های هوایی گیاهان مورد مطالعه در این پژوهش، در اثر افزایش غلظت نیترات کادمیوم به وضوح قابل ملاحظه بود. نتایج مطالعه حاضر با نتایج آقائی و همکاران (۱۳۹۸) روی گیاه ریحان و ناطقی و همکاران (۱۳۹۹) روی گیاه تاتوره مطابقت داشت. کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش کادمیوم می تواند ناشی از اثر این فلز در مهار فعالیت

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

آنزیم های دخیل در بیوسنتز رنگیزه ها باشد (Moradoglu *et al*., 2015). این کاهش را می توان این گونه توضیح داد که فلزات سنگین فرایندهای متابولیکی را از طریق بازدارندگی عمل آنزیم ها، کاهش می دهند. کاهش محتوای کلروفیل در اثر تنش ناشی از سایر فلزات سنگین نیز گزارش شده است و علت آن هم به ممانعت از فعالیت آنزیم های مسئول در بیوسنتز کلروفیل و حتی تحریک فعالیت آنزیم کلروفیلاز نسبت داده شده است (Zengin and Munzuroglu, 2005). به عبارت دیگر، فلزات سنگین به وسیله مهار آنزیم های گاما- آمینو لوالونیک اسید، دهیدروژناز و پروتوکلروفیلید ردوکتاز سبب مهار بیوسنتز کلروفیل می شوند. برهم کنش فلز سنگین با گروه سولفیدریل آنزیم ها مهم ترین سازوکار این مهارها عنوان شده است (Khatibi *et al*., 2008). همچنین دلیل دیگر کاهش میزان کلروفیل‌ها تحت تنش کادمیوم را می‌توان به جایگزین شدن کادمیوم به جای منیزیوم در ساختار این رنگیزه ها دانست. زیرا کادمیوم نیز دو ظرفیتی بوده و با منیزیوم در هنگام جذب از ریشه رقابت می کند. این امر حتی می تواند به کاهش سایر عناصر ضروری دو ظرفیتی دیگر مانند آهن، کلسیم و مس هم منجر شود که اثرات سمیت ناشی از کادمیوم را تشدید می‌کند (Sanita *et al*., 1999). مطالعات بیانگر آن است که کادمیوم، کلروفیل ها و دیگر رنگیزه های فتوسنتزی گلرنگ را کاهش داده و این امر سبب کاهش فتوسنتز و رشد شده و علایم کمبود را به صورت کلروز در برگ های گیاه ظاهر می کند (نورانی آزاد و کفیل زاده، ۱۳۹۰). رشد گیاه تربچه درخاک هایی که دارای غلظت بالایی از فلزات کادمیوم و روی هستند، باعث کاهش محتوای کلروفیل برگ شد. فلزات سنگین می توانند در غلظت های پائین سبب افزایش میزان کلروفیل و در غلظت های بالا موجب کاهش آن شوند(Alipour *et al*., 2009). گزارش شده که مقدار کلروفیل عدسک (*Lemna polyrrhiza* L.) در غلظت های اندک کادمیوم و سرب افزایش می یابد، اما با افزایش غلظت کادمیوم و سرب و همچنین افزایش زمان قرار گرفتن در شرایط تنش محتوای هر سه کلروفیل a، b و کل در عدسک کاهش می یابد (John *et al*., 2008). در خردل هندی (*Brassica juncea* L.) غلظت های صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار سرب و غلظت های صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ میکرومولار کادمیوم، طی مدت ۴۰روز تیمار، محتوای کلروفیل a،b و کلروفیل کل و نیز محتوای کاروتنوئیدها در مرحله گلدهی را افزایش داد اما با تداوم شرایط تنش وگذشت زمان، میزان این رنگدانه ها کاهش یافت (John *et al*., 2009).

محتوای کاروتنوئیدها: نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین و کمترین محتوای کاروتنوئیدهای اندام های هوایی بترتیب در غلظت صفر کادمیوم یعنی ۳/۶۸ و در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم یعنی ۱/۹۱ میکروگرم بر گرم وزن تر اندام هوایی بدست آمد. همچنین محتوای کاروتنوئیدهای ریشه با افزایش غلظت کادمیوم به طور معنی داری کاهش یافت. بطوری‌که بیشترین محتوای کاروتنوئیدهای ریشه در غلظت صفر کادمیوم یعنی ۱/۱۴ میکروگرم بر گرم وزن تر ریشه و کمترین محتوای کاروتنوئیدهای ریشه در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر یعنی ۰/۷۲ میکروگرم بر گرم وزن تر ریشه بدست آمد (جدول ۱). فتوسنتز گیاهانی که در معرض کادمیوم قرار می گیرند، کاهش پیدا می کند که ناشی از تخریب فراساختار کلروپلاست، جلوگیری ازسنتز کلروفیل، پلاستوکوئینون، کاروتنوئیدها، ممانعت از انتقال الکترون، جلوگیری ازفعالیت آنزیم های چرخه کالوین است. گزارش شده است که میزان کلروفیل و کاروتنوئیدهای برگ ها با افزایش غلظت کادمیوم در محیط رشد کاهش می یابد (Sandalio *et al*., 2001). کادمیوم می‌تواند از طریق تاثیر بیوسنتز

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

کاروتنوئیدها، موجب کاهش تولید آنها شـود (شـیخ زاده و همکاران، ۱۴۰۱; Sandalio *et al.*, 2001). نتایج تحقیق حاضـر با نتایج Hamid و همکاران(۲۰۱۰) در *Phaseolus vulgaris* و ناطقی و همکاران (۱۳۹۹) در تاتوره همخوانی دارد.

محتوای پروتئین: نتایج مقایسات میانگین نشان داد که محتوای پروتئین کل اندام های هوایی با افزایش غلظت کادمیوم به طور معنی داری کاهش یافت. بطوری‌که بیشترین و کمترین محتوای پروتئین کل اندام های هوایی به ترتیب در غلظت صفر کادمیوم یعنی ۴/۲۴ درصد و غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم یعنی ۳/۲۷ درصد بوده است. با توجه به نتایج بدست آمده محتوای پروتئین کل ریشه با افزایش غلظت کادمیوم به طور معنی داری کاهش یافت بطوری که بیشترین و کمترین محتوای پروتئین کل ریشه به ترتیب در غلظت صفر کادمیوم یعنی ۳/۱ درصد و در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم یعنی۲/۳۷ درصد بوده است (جدول۲). نتایج پژوهش حاضر در باره پروتئین کل ریشه با نتایج Shah و Dubey (۱۹۹۷) بر روی برنج، آقائی و همکاران (۱۳۹۸) روی گیاه ریحان، نوروزی و همکاران(۱۳۹۲) روی گیاه تاج‌ریزی مطابقت نداشت. کاهش پروتئین ها در غلظت های بالای کادمیوم به دلیل تجزیه پروتئین هاست. از طرف دیگر برخی از پروتئین ها مانند پروتئین های غشا و دیواره‌ای به دلیل نشت کادمیوم بر دیواره و آسیب کانال‌های یونی غشاءها کاهش می-یابند(Mishra *et al.*, 2009). این احتمال وجود دارد که فلزات سنگین پراکسیداسیون لیپیدها را القا کرده و تجزیه شدن پروتئین ها در نتیجه سمیت رادیکال های فعال اکسیژن منجر به کاهش محتوای پروتئین می شود (مهربان و عبدل زاده، ۱۳۹۱). کاهش محتوای پروتئین در مطالعه Singh وSinha (۲۰۰۵) بر روی *Brassicea jounica* مشاهده شده که مطابق با نتایج تحقیق حاضر است. فلزات سنگین از جمله کادمیوم در برخی از گونه های گیاهی سبب فعال تر شدن آنزیم پروتئاز و افزایش تجزیه پروتئین ها می شوند(Kabir *et al.*, 2008). در مطالعه دیگر بر روی*Brassicea juncea* مشخص شد که میزان پروتئین های محلول با افزایش غلظت کادمیوم کاهش می یابد (John *et al.*, 2009). بنظر می رسد فلزات سنگین از جمله کادمیوم به راحتی توسط گیاهان جذب می شوند و به وسیله کاهش فعالیت آنزیمی، سطح پروتئین و تخریب مواد مغذی به گیاه آسیب می رسانند (Benavides *et al.*, 2005).

محتوای پرولین: نتایج مقایسات میانگین نشان داد که تجمع پرولین اندام های هوایی با افزایش غلظت کادمیوم به طور معنی داری افزایش یافت. بطوری که بیشترین و کمترین محتوای پرولین اندام های هوایی به ترتیب در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم معادل ۴۳/۸۶ و در عدم کاربرد کادمیوم به مقدار ۱۶/۱۳ میکروگرم بر گرم وزن تر بافت بدست آمد. همچنین نتایج مقایسات میانگین تجمع پرولین در ریشه ها نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط، محتوای پرولین ریشه ها به طور معنی داری افزایش یافت. بطوری که بیشترین و کمترین محتوای پرولین ریشه به ترتیب در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر به مقدار ۲۸/۵ و کمترین در عدم کاربرد کادمیوم به مقدار۹/۱۲ میکروگرم در گرم وزن تر بافت ریشه بدست آمد (جدول ۲). این نتایج با نتایج آقائی و همکاران (۱۳۹۸) بر روی گیاه ریحان، و Zhao و همکاران (۲۰۱۵) بر گوجه فرنگی و Saadati و همکاران (۲۰۱۲) در لوبیا مطابقت دارد. پرولین یکی از مهم ترین آنتی اکسیدان های غیرآنزیمی است. پرولین از مهم ترین اسیدهای آمینه در گیاهان است که در برابر انواع تنش ها از جمله تش‌های زیستی و غیرزیستی و همچنین عناصر سنگین از گیاه محافظت می کند. یکی از دلایل تجمع پرولین در محیط کشت حاوی کادمیوم را به دلیل نقش این ماده در اتصال به کادمیوم و تشکیل یک کمپلکس غیرسمی از پرولین-کادمیوم می دانند (Sharma *et al.*, 1998).

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

پرولین می تواند به عنوان یک ماده تنظیم کننده اسمزی و آنتی اکسیدن در گیاهان نقش ایفا کند و با ممانعت از پراکسیداسیون لیپیدها خطر رادیکال های آزاد را کاهش داده و باعث حفظ تمامیت غشاها گردد (Alia *et al.*, 2001). پرولین در شرایط تنش های مختلف از جمله تنش فلزات سنگین موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش می شود (بارنده و کاوسی، ۱۳۹۵).

محتوای کادمیوم: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که غلظت کادمیوم در اندام های هوایی با افزایش غلظت کادمیوم محیط به طور معنی داری افزایش یافت. بطوری که بیشترین و کمترین محتوای کادمیوم اندام های هوایی به ترتیب در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر به مقدار ۶۰/۵۳ و در عدم کاربرد کادمیوم به مقدار ۲۶/۸۶ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک اندام هوایی بدست آمد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از مقایسات میانگین، غلظت کادمیوم ریشه با افزایش غلظت کادمیوم به طور معنی داری افزایش یافت. بطوری‌که بیشترین و کمترین محتوای کادمیوم ریشه به ترتیب در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر به مقدار ۲۷/۱۹ و در عدم کاربرد کادمیوم به مقدار ۱۱/۳۰ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک ریشه بدست آمد. (جدول ۲). Qin و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی اثر غلظت های بین ۱ تا ۵ میکرومولار کادمیوم در محلول غذایی (کشت هیدروپونیک)، افزایش غلظت کادمیوم در اندام هوایی و ریشه دو رقم برنج را مشاهده کردند. همچنین افزایش غلظت کادمیوم در اندام هوایی ذرت (تاجی و گلچین، ۱۳۹۰) و ریشه و اندام هوایی دو رقم جو (Tiryakioglu *et al.*, 2006) در اثر کاربرد سطوح مختلف کادمیوم، نیز گزارش شده است. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر، به نظر می رسد گیاه مینای چمنی نمی تواند از ورود مقادیر بالای کادمیوم به اندام های هوایی و ریشه خود جلوگیری کند. کاهش رشد گیاه با افزایش غلظت کادمیوم در محیط این مطلب را تایید می کند. این نتایج با نتایج پژوهش آقایی و همکاران (۱۳۹۸) بر روی ریحان مطابقت دارد. در پژوهش حاضر نیز با افزایش غلظت کادمیوم اعمال شده به بستر رشد گیاه مینای چمنی، محتوای کادمیوم اندام هوایی و ریشه افزایش یافت. بنظر می رسد که تجمع فلزات سنگین توسط گیاهان وابستگی بالایی به نوع گیاه و ظرفیت های مختلف گیاهان در جذب آنها دارد.

فاکتور انتقال و فاکتور تجمع زیستی: در بررسی شاخص های مرتبط با جذب مشخص شد که در همه غلظت های نیترات کادمیوم، مقادیر فاکتور انتقال و همچنین فاکتور تجمع زیستی در اندام هوایی و ریشه بیشتر از یک است(جدول۴). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط، غلظت این فلز در اندام هوایی و ریشه افزایش می یابد (جدول ۱). فاکتور انتقال برای تعیین میزان توانایی تحمل و انتقال فلزات سنگین و فاکتور تجمع زیستی برای ارزیابی کارایی جذب و تجمع در گیاهان بکار می رود (Liu *etal.*, 2009).

جدول۴- مقایسه میانگین شاخص های تجمع زیستی اندام هوایی و ریشه، فاکتور انتقال کادمیوم مینای چمنی تحت تاثیر غلظت های مختلف نیترات کادمیوم. مقادیر میانگین سه تکرار

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

± انحراف معیار است ($p\leq0/05$)..

عامل مورد بررسی / نیترات کادمیوم (mgl^{-1})	فاکتور تجمع زیستی اندام هوایی	فاکتور تجمع زیستی ریشه	فاکتور انتقال
۰	۰/۰۰۰±۰/۰۰^{c}	۰/۰۰۰±۰/۰۰^{c}	۲/۴۰۰±۰/۰۴^{a}
۱۰	۳/۳۸۹±۰/۰۳^{a}	۱/۵۷۴±۰/۵۵^{a}	۲/۲۳۳±۰/۰۵^{b}
۲۰	۲/۱۶۲۳±۰/۰۵^{b}	۱/۰۷۳±۰/۰۲^{b}	۲/۰۹۴±۰/۰۴^{c}
۳۰	۲/۰۸۰۷±۰/۰۶^{b}	۰/۹۸۷±۰/۱۱^{b}	۲/۲۲۶±۰/۱۱^{b}

میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی دار می باشند.

از اینرو به‌نظر می رسد مینای چمنی در۱۰ میلی گرم در لیتر نیترات کادمیوم توانایی بالایی در تجمع کادمیوم را دارد و با افزایش غلظت نیترات کادمیوم، تجمع کادمیوم در بافت های این گیاه کاهش می یابد. بطوریکه، اندام های هوایی و ریشه های مینای چمنی در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر نسبت به سایر غلظت های نیترات کادمیوم، مقادیر بیشتری از کادمیوم را تجمع می دهند. از سوی دیگر داده ها حاکی از آن است که افزایش غلظت نیترات کادمیوم منجر به انتقال بیشتر آن به بخش هوایی نمی شود و احتمالا مینای چمنی در غلظت های بالاتر نیترات کادمیوم با استفاده از آنتی اکسیدان های آنزیمی و غیرآنزیمی خود توانسته است از تجمع نیترات کادمیوم در غلظت های بالاتر، در بافت های خود جلوگیری نماید. چنین نتایجی در مطالعات دیگر از جمله در مورد سایر گیاهان از جمله پنیرک نیز بدست آمده است(ذوفن و همکاران، ۱۳۹۷).

فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان: بررسی فعالیت آنزیم های اکسیدان نشان می دهد که فعالیت آنزیم کاتالاز در اندام های هوایی گیاه مورد بررسی در غلظت های ۲۰ و ۳۰ میلی گرم در لیتر نیترات کادمیوم بطور معنی داری نسبت به شاهد افزایش یافته است. همچنین، فعالیت آنزیم های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز اندام های هوایی با افزایش غلظت کادمیوم نسیت به شاهد بطور معنی داری افزایش داشته است. فعالیت آنزیم های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز ریشه ها در غلظت های ۲۰ و ۳۰ میلی گرم در لیتر نیترات کادمیوم نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان داده است.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

همچنین، فعالیت آنزیم پراکسیداز در ریشه ها با افزایش غلظت کادمیوم نسبت به شاهد افزایش معنی دار داشته است(جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز مینای چمنی تحت تاثیر غلظت های مختلف نیترات کادمیوم. مقادیر میانگین سه تکرار± انحراف معیار است($p\leq 0/05$).

عامل مورد بررسی / نیترات کادمیوم (mgl^{-1})	کاتالاز اندام هوایی ($ODg^{-1}fwmin^{-1}$)	کاتالاز ریشه ($ODg^{-1}fwmin^{-1}$)	پراکسیداز اندام هوایی ($ODg^{-1}fwmin^{-1}$)	پراکسیداز ریشه ($ODg^{-1}fwmin^{-1}$)	آسکوربات پراکسیداز اندام هوایی ($ODg^{-1}fwmin^{-1}$)	آسکوربات پراکسیداز ریشه ($ODg^{-1}fwmin^{-1}$)
۰	۰/۲۴۲±۰/۰۷۷^{b}	۲/۳۷±۰/۱۸^{c}	۰/۳۹۵±۰/۱۱۵^{c}	۰/۱۲۸±۰/۰۵۸^{d}	۰/۴۶۱±۰/۱۲۵^{c}	۰/۳۲۵±۱/۵۰^{c}
۱۰	۰/۲۵۵±۰/۱۱۰^{b}	۲/۶۲±۰/۱۱^{c}	۰/۵۵۶±۰/۰۷۴^{b}	۰/۱۳۲±۰/۰۹۵^{c}	۰/۵۶۵±۰/۱۵۵^{b}	۰/۴۱۲±۱/۵۶^{bc}
۲۰	۰/۳۱۶±۰/۰۶۲^{a}	۲/۸۴±۰/۱۶۰^{b}	۰/۶۴۳±۰/۰۱۱^{a}	۰/۲۸۴±۰/۰۶۵^{b}	۰/۵۶۹±۰/۱۶۴^{b}	۰/۵۷۳±۰/۱۶۵^{b}
۳۰	۰/۳۲۷±۰/۰۸۰^{a}	۳/۱۰±۰/۲۲^{a}	۰/۶۸۳±۰/۰۶۰^{a}	۰/۵۱۳±۰/۱۲۸^{a}	۰/۶۰۳±۰/۰۹۳^{a}	۰/۸۷۶±۰/۳۳۰^{a}

میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی دار می باشند.

بنظر می رسد کادمیوم موجب تولید رادیکال های آزاد و در نتیجه کاهش کلروفیل و به دنبال آن کاهش فتوسنتز در مینای چمنی شده و به عبارت دیگر تنش اکسیداتیو را سبب شده است. از اینرو افزایش آنزیم های آنتی اکسیدان می تواند پاسخ دفاعی گیاه باشد (Shahid *et al.*, 2014 ، شهابی وند و همکاران، ۱۴۰۱). افزایش فعالیت کاتالاز تحت تاثیر کادمیوم از طریق سم زدایی پراکسید هیدروژن و جلوگیری از تولید رادیکال هیدروکسیل به منظور حفاظت از پروتئین ها، چربی ها و اسیدهای نوکلئیک گزارش شده است(Rastgoo and Alemzadeh, 2011). با توجه به اینکه کاتالاز در پراکسی زوم سلول های برگی وجود دارد و در کلروپلاست یافت نمی شود، آسکوربات پراکسیداز در اندامک یاد شده افزایش می یابد و با افزایش غلظت کادمیوم، میزان فعالیت آن افزایش می یابد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر در این موارد با نتایج در مورد عدس (بارنده و کاوسی، ۱۳۹۵)، ذرت (پوراکبر و اشرفی، ۱۳۹۰) و توت فرنگی (Muradoglu *et al.*, 2015) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

همـانطور کـه از نتـایج این پژوهش برمی آید گیاه مینای چمنی در برابر تنش ناشـــی از تجمع فلز کادمیوم، گیاه چندان مقاومی نیست و کاهش شاخص های رشد از قبیل وزن خشک، وزن تر، طول گیاه، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و پروتئین در گیاهان تحت تاثیر کادمیوم نسبت به گیاهان شاهد مؤید این مطلب است. گیاه مینای چمنی، در این شرایط سعی کرده است با افزایش آنتی اکسیدان های آنزیمی و غیرآنزیمی تا حدی با اثرات سمی کادمیوم مقابله کند. البته مشخص شد که پرولین نقش چندانی در این زمینه ندارد.

منابع:

آقـا عبـاســـی، ک.، بی بـاک، ح. و قطب زاده، س. (۱۳۹۲) بررســـی تـأثیرات کـادمیوم بر پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهچه های کلزا، اولین همایش ملی زیسـت پالایی، دانشـکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

آقائی، ک.، راه خسـروانی، ب.، مغانلو، ل. و قطبی راوندی، ع. (۱۳۹۸) بررسـی اثر تجمع کادمیوم بر برخی ویژگی های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در گیاه ریحان. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۳۳: ۱۱۵-۱۰۷.

بارنده، ف. و کاوســی، ح. (۱۳۹۵) اثر کلرید کادمیوم بر رنگیزه های فتوســنتزی، محتوای پرولین، میزان پروتئین های محلول و برخی آنزیم های آنتی اکسیدان در گیاهچه های عدس. فرایند و کارکرد گیاهی۱۶: ۱۳۳-۱۱۷.

پوراکبر، ل.، اشـرفی، ر. (۱۳۹۰) اثر کادمیوم بر میزان تولید هیدروژن پراکسید و فعالیت برخی آنزیم های آنتی اکسیدانی در گیاه ذرت. یافته های نوین در علوم زیستی ۳: ۴۸۴-۴۷۳.

تاجی، ه. و گلچین، ا. (۱۳۸۹) بررسی سطوح مختلف کادمیوم و گوگرد بر عملکرد و غلظت کادمیوم و برخی عناصر کم مصـرف در برگ و ریشـه ذرت (*Zea mays* L.) در شـرایط گلخانه ای. علوم و فنون کشـت های گلخانه ای. ۴: ۳۱-۲۳.

چرم، م.، جعفری، س. (۱۳۸۲) تثبیـت کبـالت و کادمیوم در رس های خاک به کمک انرژی حرارتی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال هفتم. ۲: ۸۲-۶۹ .

حسـینی، ش.، زارع، ن.، شـیخ زاده، پ و ابوطالبی، ش. (۱۴۰۰) تاثیر نانوسـیلیکون بر خصوصیات بیوشیمیایی گاو زبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) تحت تنش کادمیوم. تنش های محیطی در علوم زراعی. ۳: ۸۲۹-۸۱۷.

حق شـناس، ا. (۱۳۹۲) اثرات زیانبار مواجهه با کادمیوم برای انسـان. اولین همایش سـراسـری محیط زیسـت، انرژی و پدافند زیستی. تهران.

ذوفن، پ.، نیسـی، ا.، رسـتگارزاده، س. (۱۳۹۷). ارزیابی برخی شـاخص های رشدی و توانایی تجمع کادمیوم در بخش های هوایی . ریشه ای پنیرک(*Malva parviflora* L.) در شرایط هیدروپونیک. مجله پژوهش های گیاهی. ۲: ۳۳۱-۳۱۶.

زرگری، ع. (۱۳۶۸) گیاهان دارویی. انتشارات دانشگاه تهران.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

شـهابی وند، ص.، آقایی، ا.، اطهاری، م.، نصـیری، ی. (۱۴۰۱) اثر کاربرد برگی اکسـید روی و نانوذره روی بر رشـد و فعالیت آنزیم های آنی اکسـیدان در گیاه دارویی ریحان(*Ocimum basilicum* L.). فرایند و کارکرد گیاهی.۴۷: ۹۴-۸۳.

شیخ زاده، پ.، زارع، ن. و ابوطالبی، ش. (۱۴۰۱) تاثیر تنش کادمیوم بر رنگیزه های فتوسنتزی و متابولیت های ثانویه گاو زبان (*Borago officinalis* L.) . تنش های محیطی در علوم زراعی. ۴: ۱۱۶۰-۱۱۴۵.

صـفاهیه، ع. و محمودی، م. (۱۳۹۳) غلظت هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای در رسـوبات سـاحلی بوشـهر. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۳: ۳۳-۲۵.

علیپور داوری، ح.، زارع مایوان، ح. و مظفر شـریفی. (۱۳۸۸) فعالیت پراکسـیداز در تربچه (*Raphanus sativus* L.) در ارتباط با فلزات سنگین. مجله علوم دانشگاه تهران. ۱: ۴۳-۳۷.

علیلو، س. ک. و رسـولی صـدقیانی، م ح.(۱۳۹۱) اثر آلودگی کادمیومی خاک بر برخی شـاخص های فیزیولوژیک گیاه بنگدانه در حضور و عدم حضور ریز جانداران محرک رشد گیاه. نشریه دانش آب و خاک۴: ۳۰-۱۷.

مشـایخی، ح. ر.، بقائی، ا. ح. و گماریان، م. (۱۳۹۳) بررسـی اثر کادمیوم بر برخی پارامترهای مورفولوژیکی گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis*). دومین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار، همدان.

ناطقی، س.، قادریان، س. و مسـتاجران، ا. (۱۳۹۹) اثرکادمیوم بر میزان آتروپین و پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه داتوره. فرآیند و کارکرد گیاهی.۳۶: ۳۰-۱۸.

مهربان، پ. و عبدل زاده، ا. (۱۳۹۱) اثرات بشـبود آهن در فعالیت آنتی اکسـیدانی و الگوی الکتروفورزی پروتئین ها در گیاه برنج رقم شفق. پژوهش های تولید گیاهی. ۱: ۱۰۶-۸۵.

نورانی آزاد، ح. و کفیل زاده، ف. (۱۳۹۰) تاثیر سـمیت کادمیوم بر رشد، قندهای محلول، رنگیزه های فتوسنتزی و برخی آنزیم ها در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). زیست شناسی ایران. ۶: ۸۵۷-۸۴۸.

نوروزی، ر.، باقی زاده، ا. و عباسـپور، ح. (۱۳۹۲) بررسـی اثرکادمیوم برمیزان پروتئین ها دراندام هوایی گیاه تاجریزی (*Solanum nigrum* L.)، کنفرانس علوم کشاورزی و محیط زیست، شیراز.

وزیری الهی، غ. (۱۳۶۶) گلکاری عملی. انتشارات روزبهان.

یعقوب زاده، ف.، ارادتمند، د.، یوسفی راد، م.، طیبی،.م ر. (۱۳۸۸) گیاه پالایی کادمیوم ازخاک با استفاده از گیاه ذرت، اولین همایش ملی گیاه پالایی،مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، کرمان.

Abeles, F.B., Biles, C.L. (1991) Characterization of peroxidase in lignifying peach fruit endocarp. Plant Physiology 95:269-273.

Aebi, H. (1974) Catalase. In: Bergmeyer, H.U. (ed.) Methods of enzymatic analysis. Vol. 2, Academic Press. New York. Pp: 673-684.

Alia, G., Srivastava, P. S. and Iobal, M. (2001) Responses of *Bacopa moniera* cultures to cadmium toxicity. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 66: 342-349.

Bates, L.S., Waldrent R.P., Teare, I.D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil 39:205-207.

Benavides, M.P., PGallego, S.M. and Tomaro, M.L. (2005) Cadmium Toxicity in Plants. Brazilian Journal of Plant Physiology. 1:21-34.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

Bradford, M. M. (1976) A rapid sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding Analytical Biochemistry 72:248-254.

Ghaderian, S. M. and Jamali Hajiani, N. (2010) Tolerance, uptake and accumulation of cadmium in *Matthiola chenopodiifolia* Fisch and C. A. Mey (Brassicaceae). Journal of Plant Biology 6: 87-98.

Ghosh, M. and Singh, S.P. (2005) Strategies for enhancing the phytoremediation of cadmium contaminated agricultural soils by *Solanum nigrum* L. Environmental Pollution159:762-768.

Hamid, N., Bukhari, N. and Jawaid, F. (2010) Physiological responses of *Phaseolus vulgaris* to different lead concentrations. Pakistan Journal of Biological Sciences 42: 239-246.

Hassan, A. A., 2006. Study of chemical treatment effect on chemical composition and *in vitro* digestibility for dried date palm frond. Jordan Journal of Agricultural Sciences. 4: 401-414.

John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., and Sharma, S. (2009)Heavy metal toxicity: effect on plant growth, biochemical parameters metalaccumulation by *Brassica juncea* L. International Journal of Plant Production 3 (3): 65-76.

Khatibi, M., Rashed, M. H., Ganjeali, A. and Lahooti, M. (2008) The effects of different nickel concentration on some morpho-physiological characteristics of parsley Iran. Journals of Field Crops Research 2: 295-302.

Lichtenthaler, H. K. (1987) [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology148:350–382.

Liu, Z., He, X., Chen, W., Yuan, F., Yan, K., Tao, D. (2009) Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in a potential hyperaccumulator *Lonicera japonica* Thumb. Journal of Hazardous Materials 169: 170-175.

Mihalescu, L. A., Mare-Rosca, O. E., Marian, M. and Bildar, C. F. (2010) Research on the growth intensity of the Zea mays L. plant lets aerial parts under cadmium treatment. Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Biologie147-151.

Mishra, S., R. D. Tripathi, S. Dwivedi , Kumar, S. T. (2009) Thiol metabolism playsignicant role during cadmium detoxication by *Ceratophyllum demersum* L. Bioresource Technology 100: 2155-2161.

Mitich, L.W. 1997. English daisy (*Bellis perennis* L.). Weed Technol. 11: 626-628.

Mok, M. (1994) Cytokinins and plant development- An overview in Cytokinins. Chemistry, Activity, and Function 155-166.

Muradoglu, F., Gundogdu, M., Ercisli, S., Encu, T., Balta, F., Jaafar, H. and Haq, M. (2015) Cadmium toxicity affects chlorophyll a and b content, antioxidant enzyme activities and mineral nutrient accumulation in strawberry. Biological Research 48: 11.

Nakano, Y., Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidasein spinach chloroplasts. Plant, Cell and Environment 20: 1193-1198.

Ogundola A.F., Adebayo E.A., Ajao S.O. (2022) Phytoremediation: The ultimate technique for reinstating soil contaminated with heavy metals and other pollutants. In Phytoremediation Technology for the Removal of Heavy Metals and Other Contaminants from Soil and Water pp: 19-49). Elsevier.

Rastgoo, L., Alemzadeh, A. (2011) Biochemical responses of Guoan (*Aleuropus littoralis*) to heavy metals stress. Australian Journal of Crop Sciences 4: 375-383.

Saadati, M., Motesharezadeh, B. and Moez-ardalan, M. (2012) Study of concentration change of proline and potassium for two varieties of Pinto beans under cadmium stress. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 3: 344-352.

Sandalio, L. M., Dalurzo, H. C. and Gomez, M. (2001) Cadmium induced changes in the growth and oxidative metabolism of Pea plants. Journal of Experimental Botany 52: 2115-2126.

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

Shah, K. and Dubey, R. S. (1997) Effect of cadmium on proline accumulation and ribonuclease activity in rice seedlings: Role of proline as a possible enzyme protectant. Plant Biology 40: 121-130.

Shahid, M., Pourrut, B., Dumat, C., Nadeem, M., Aslam, M.M., Pinelli, E. (2014) Heavy metal induced reactive oxygen species: phytotoxicity and physiochemical changes in plants. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 232: 1-44.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

Sharma, K., Saini, A. L., Nawab, S. and Ogra, J. L. (1998) Feeding behavior and forage nutrient utilization by goats on a semi-arid reconstituted silvipasture. Asian-Australian. Journal of Animal Sciences 4: 344-350.

Singh, S., Singh, A. and Bahadur, R. (2011) Effect of cadmium on germination and seedling growth of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill). Plant Archieves 11: 859-862.

Stace, C. 1997. New Flora of the British Isles. 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Sumner, M.E., Miller, W.P. (1996) Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: D.L.Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke (eds), Methods of soil analysis. Part 3, Chemical methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. Pp: 1201-1229.

Talatam, S. and Parida, B. (2009) Crop growth as influenced by Zinc and organic matter in Cadmium-rich polluted soils. Department of Plant Sciences 4-13.

Tiryakioglu, M., Eker, S., Ozkutlu, F., Husted, S. and Cakmak, I. (2006) Antioxidant defense system and cadmium uptake in barley genotypes differing in cadmium tolerance. Trace Element Medical Biology. 3: 181-189.

Zengin, F. K. and Munzuroglu, O. (2005) Effects of some heavy metals on chlorophyll, proline and some antioxidant and chemicals in Bean (*Phaseolus vulgaris* L) seedlings. Acta Biologica Cracoviensla Series Botanica 47: 157-164.

Zhaoو S.P., Zhangو Y.Z., Yeو X.Z., Zhangو Q. and Xiao, W.D. (2015) Responses to cadmium stress in two tomato genotypes differing in heavy metal accumulation. Turkish Journal of Botany 39: 615–624.

Effect of cadmium on some physiological and biochemical traits in common daisy *(Bellis perennis* L.)

[*1]Faezeh Fazeli, [2]Asma Motaghedi

[*1]Associate Professor, Department of Biology Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran

[2]Masters Student of Environmental Sciences, Department of Biology Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran

Fazeli@sru.ac.ir

Abstract

Heavy metals are part of the most important and dangerous environmental pollutants due to their long shelf life, non-degradability by soil microorganisms, and high potential for absorption by plants and entering the food chain. Cadmium is one of the toxic metals for organisms such as plants. The purpose of this research was to investigate the effect of cadmium on the ability of the common daisy plant. In this research, the effect of different amounts of cadmium (0, 10, 20 and 30 mgl^{-1}) had done in a completely randomized design with three replicates. The results showed that the increase of the cadmium hadn't any significant effect on common daisy plant fresh weight and length. Also, plant dry weight, shoot total chlorophyll, shoot and root carotenoids contents, total protein contents, plant translocation factor, bioaccumulation factor decreased with the increase of cadmium concentration, significantly. While shoot and root proline, and

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

cadmium contents and catalase, peroxidase and ascorbate peroxidase activity increased, significantly. According to this research, the common daisy isn't suitable for planting in studied cadmium concentrations.

Keywords: Cadmium, Proline, Protein, Antioxidant enzymes, Common daisy

پیش انتشار

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.