نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۷، ص. ۵۲۹-۵۱۷

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 3, Jul.-Agu. 2018, p. 517-529

تأثیرکادمیم بر صفات رویشی، شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تربچه نقلی (*Raphanus sativus* L.)

کلثوم دالوندگماری[۱]- سیدعبدالله افتخاری[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۵

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کادمیم بر صفات رویشی، شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه تربچه نقلی آزمایشی در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در به صورت طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو تیمار و ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل کلریدکادمیم در سه سطح (۰(شاهد)، ۳۰ ، ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، دو زمان برداشت (بلوغ تجاری (زمان اول) و یک هفته پس از بلوغ تجاری (زمان دوم)) بود. صفات مورد اندازه‌گیری طی دو زمان برداشت شامل وزن تر و خشک بخش زیرزمینی و بخش هوایی، سطح برگ و تعداد برگ، طول و عرض برگ و طول ریشه، شاخص‌های فیزیولوژیکی شامل نشت الکترولیت و محتوای رطوبت نسبی (RWC) و شاخص‌های بیوشیمیایی شامل کلروفیل b, a، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، پرولین، ویتامین ث هیپوکوتیل بود. نتایج نشان داد که کادمیم ویژگی‌های رشدی (وزن تر و خشک) را کاهش داد. همچنین کادمیم باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ، تعداد برگ، طول و عرض برگ و طول ریشه گردید. غلظت ۶۰ میلی‌گرم درکیلوگرم کادمیم نشت الکترولیت (۲۸/۲ درصد) و میزان پرولین (۴۸/۸ میلی‌گرم در گرم) را نسبت به گیاه شاهد افزایش داد. محتوای رطوبت نسبی تحت تنش کادمیم کاهش یافت. شاخص‌های بیوشیمیایی شامل کلروفیل a و b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، ویتامین ث کاهش معنی‌داری مشاهده شد. در غلظت‌های به کار برده شده، غلظت ۶۰ کادمیم بیشترین اثر را در مقایسه با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی شاخص‌ها نشان داد. بیشترین تجمع کادمیم در گیاه در غلظت ۶۰ کادمیم مشاهده شد. به نظر می‌رسد افزایش غلظت کادمیم از طریق کاهش شاخص‌های فیزیولوژیکی باعث کاهش ویژگی‌های رشدی در تربچه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تربچه، شاخص‌های فیزیولوژیکی، کادمیم، ویتامین

مقدمه

کادمیم (Cd) متعلق به گروه عناصر سنگین می‌باشد که در گیاهان هیچ گونه نقش بیولوژیکی ندارد و برای حیوانات و گیاهان بسیار سمی است (۳۷). در بین فلزات سنگین کادمیم دارای اهمیت ویژه‌ای است زیرا به راحتی توسط سیستم گیاه جذب می‌شود و سمیت آن ۲ تا ۲۰ برابر سایر فلزات سنگین می‌باشد (۳۵). بخشی از خاک های کشاورزی در سراسر دنیا به طور کم تا متوسط در اثر گسترش استفاده از کودهای سوپر فسفات، کاربرد فاضلاب‌ها آلوده به کادمیم هستند (۱۰). در همه تحقیقات اثرهای محدود کننده کادمیم روی وزن تر، وزن خشک، بیومس، ارتفاع، طول ریشه، سطح برگ و دیگر پارامترهای بیومتری گزارش شده است. اختلاف در درجه ظهور فیتوکسی به غلظت‌های مختلف کادمیم به کار برده در بستر ریشه، مدت تیمار و ویژگی‌های گونه و کولتیوار تحت تیمار دارد (۳۷). ابواودا[۳] و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند کادمیم افزوده شده به خاک ویژگی‌های رشدی مانند وزن‌تر و خشک ریشه و شاخه را در هویج کم می‌کند (۱). حضور فلزات سنگین در منطقه ریزوسفر و ورود آنها به گیاه باعث کاهش رشد شده و متابولیسم سلولی را به هم می‌زند (۳۶). یون‌های فلزات سنگین زمانی که در مقادیر زیاد در محیط وجود داشته باشند به وسیله ریشه گیاهان جذب و به اندام هوایی منتقل می شوند که این امر موجب اختلال در سوخت و ساز گیاه و کاهش رشد می‌گردد (۳۵). اتحادیه اروپا حداکثر مجاز کادمیم درخاک‌های زراعی را ۱ تا ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین نموده است (۴). تربچه با نام علمی *Raphanus sativus* ازخانواده چلیپاییان (Brassicaceae)

۱ و ۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: Email: eftekhari_9t@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jsw.v0i0.29030
3- Abou auda

می‌باشد. قسمت ضخیم خوراکی ریشه در انواع نقلی از هیپوکوتیل و در انواع دراز و کشیده از ریشه و هیپوکوتیل است. تربچه گیاهی یک ساله است قسمت خوراکی که اصطلاحاً ریشه نامیده می‌شود به رنگ‌های سفید، سیاه، صورتی، بنفش و دورنگ سفید و قرمز (نوع ژاپنی) وجود دارد، تربچه گیاهی روزبلند می‌باشد (۲۸). شواهد واضحی وجود دارد که گونه های مختلف گیاهان در توانایی جذب، تحمل و تجمع فلزات سنگین تفاوت بسیار زیادی وجود دارد و بدین ترتیب مشخص می شود که در بررسی فلزات در سیستم‌های مختلف و پیچیده گیاه و خاک عوامل زیادی وجود دارند که مرتبط با ویژگی های خاک، خصوصیات گیاه و دیگر عوامل زیست محیطی می‌باشند (۲۵). در همه تحقیقات اثرهای محدود کننده کادمیم روی وزن تر، وزن خشک، بیومس، ارتفاع، طول ریشه، سطح برگ و دیگر پارامترهای بیومتری گزارش شده است. اختلاف در درجه ظهور فیتوکسی به غلظت‌های مختلف کادمیم به کار برده در بستر ریشه، مدت تیمار و ویژگی های گونه و کولتیوار تحت تیمار دارد همچنین کاربرد کادمیم میزان رنگدانه‌های گیاهی را کاهش می‌دهد به طوری که غلظت کلروفیل a نسبت به کلروفیل b بیشتر کاهش می‌یابد تأثیر کادمیم بر رنگدانه‌های گیاهی به سن برگ و نمو گیاه بستگی دارد (۳۷). آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین و انتقال آن به محصولات کشاورزی به عنوان یک مشکل جهانی، مطرح می‌باشد با توجه به اهمیت این موضوع و اطلاعات محدود در زمینه اثرات کادمیم در محصولات غده‌ای، تحقیقی به منظور بررسی اثر کادمیم بر روی شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تربچه نقلی رقم ایرانی سرخان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با تیمار کادمیم از منبع کلرید کادمیم در سه غلظت ۰ (شاهد)، غلظت ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و غلظت ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، دو زمان برداشت با سه تکرار به صورت کشت در گلدان و قرار دادن گلدان‌ها در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. با توجه به اینکه منابع آلاینده مانند زه‌آب‌های کارخانجات صنعتی که گاهاً در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای مقادیر زیادی کادمیم می‌باشد (۱۶) و سایر محققان ازغلظت های متفاوت کادمیم حتی تا ۲۵۰ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک استفاده نموده‌اند (۳۵)، در این پژوهش از غلظت‌های ۰، ۳۰ و ۶۰ استفاده گردید با توجه به بررسی منابع و مطالعه مقالات مختلف، انتخاب غلظت ها انجام گرفت در مطالعات و تحقیقات بسیاری از جمله سالاسکار[1] و همکاران (۲۰۱۱) از کلرید کادمیم استفاده شده است (۳۲). خاک مورد استفاده با مش ۲ میلی‌متر الک شد و جهت اعمال تیمار کادمیم توزین شد. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. کلرید کادمیم در غلظت‌های مذکور به صورت محلول بر روی خاک‌ها محلول پاشی شد. خاک‌ها به مدت بیست روز به منظور تثبیت کادمیم در کیسه‌های پلاستیکی در بسته رها شدند و در طی این مدت رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت زراعی نگه داشته شد. بذرهای تربچه در گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۱۵ سانتی‌متر (با حجم ۳ کیلوگرم خاک)کشت شدند. با توجه به ظرفیت گلدان و متناسب با ویژگی‌های رشد رویشی رقم انتخاب شده، تعداد سه گیاه در هر گلدان پرورش داده شد. در زمان‌های ذکر شده برداشت صورت گرفت و فاکتورهای ذیل اندازه‌گیری شدند. برای تعیین وزن تر و خشک نمونه‌ها از ترازوی دقیق استفاده و برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سطح برگ سنج استفاده شد. طول و عرض برگ و طول ریشه با خط کش اندازه‌گیری شد. آنالیز آماری با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کارتنوئید

میزان کلروفیل در برگ بر اساس روش پیشنهادی لیختن تالر[2](۱۹۸۷) با استفاده از استون ۸۰ درصد جهت استخراج کلروفیل و اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر انجام شد (۲۱).

اندازه گیری پرولین

اندازه‌گیری پرولین با استفاده از روش بیتس[3] و همکاران (۱۹۷۳) انجام گرفت. جذب نمونه‌ها با اسپکتروفتومتر در ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و منحنی استاندارد آنها رسم شد. برای بدست آوردن مقدار پرولین (mg/g FW) میزان جذب قرائت شده نمونه‌ها را در فرمول حاصل از منحنی قرار داده، و در معادله حاصل از منحنی استاندارد قرار گرفته، مقدار پرولین موجود در آنها محاسبه می‌شود (۲).

اندازه‌گیری ویتامین ث

میزان ویتامین ث[4] با روش هرناندز[5] و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از تیتراسیون دی کلرواندوفنل[6] (DCIP) اندازه‌گیری شد (۱۵).

1- Salaskar
2- Lichtenthaler
3- Bates
4- Vitamin c
5- Hernandez
6- 2,6,dichloroindophenol

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک مورد استفاده قبل از کشت

Table 1- Analysis of soil used before cultivation

هدایت الکتریکی EC (dS/m^{-1})	اسیدیته pH	درصد مواد آلی Percent organic matter	فسفر قابل جذب P (ave) ($mg\ kg^{-1}$)	پتاس قابل جذب K (ave) ($mg\ kg^{-1}$)	بافت خاک Soil texture	کادمیم خاک (قابل جذب) Soil cadmium (ave) ($mg\ kg^{-1}$)
3	7.06	0.82	33	188	لومی‌شنی Sandy Loam	0.17

نشت الکترولیت و محتوای رطوبت نسبی

نشت الکترولیت[1] با استفاده از روش ژائو[2] و همکاران (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد (۳۹).

$$\text{Relative Permeability (\%)} = ((EC_1-EC_0) / (EC_2-EC_0)) \times 100$$

محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها نیز طبق روش ریتچی[3] و همکاران (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد (۳۰).

$$\text{\% RWC} = [\ (Fw-Dw\ ) / (Tw-Dw)\ ] \times 100$$

اندازه‌گیری کادمیم گیاه و خاک

میزان کادمیم موجود در گیاه به روش هضم سه اسید طبق روش شارما[4] و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد (۳۴).

کادمیم قابل استخراج خاک به روش DTPA طبق روش لیندزی و نورول[5] (۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد (۲۰).

نتایج و بحث

اثر کادمیم بر وزن تر و خشک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر کادمیم، زمان و اثر متقابل کادمیم و زمان بر وزن تر بخش زیرزمینی در سطح احتمال یک درصد ($P<0/01$) معنی‌دار شده است. جدول ۵ مقایسه میانگین اثر کادمیم را بر صفات رویشی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشان می‌دهد. بیشترین وزن تر بخش زیرزمینی مربوط به تیمار شاهد زمان دوم یعنی یک هفته پس از بلوغ تجاری (۱۱/۶۴ گرم) و کمترین وزن تر بخش زیرزمینی مربوط به تیمار ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم در زمان اول یعنی زمان بلوغ تجاری (۳/۵۴ گرم) می‌باشد. بین شاهد زمان اول (بلوغ تجاری) و شاهد زمان دوم (یک هفته پس از بلوغ تجاری) با تیمار ۳۰ میلی‌گرم و ۶۰ میلی‌گرم اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در تیمار ۶۰ میلی‌گرم نیز بین زمان اول (بلوغ تجاری) و زمان دوم (یک هفته پس از بلوغ تجاری) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کادمیم با اختلال در فتوسنتز، تنفس و متابولیسم نیتروژن در گیاهان منجر به کاهش رشد می‌شود که به دنبال آن توده زنده کاهش می‌یابد. مشخص شده است که کاهش وزن ریشه و اندام هوایی گیاهان لوبیا که تحت تنش کادمیم بودند به دلیل اختلال در جذب عناصر غذایی و آب می‌باشد (۱۱). رشد ریشه‌ها و وظیفه آن‌ها به عنوان سطوح جذب کننده آب و مواد غذایی، به عوامل محیطی زیادی بستگی دارد. تنش فلزات سنگین از جمله عوامل محدود کننده رشد ریشه است که این نیز می‌تواند یکی از عوامل کاهش وزن تر و خشک ریشه باشد (۲۹). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر کادمیم بر وزن خشک بخش زیرزمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. اثر زمان نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است و اثر متقابل کادمیم و زمان در سطح احتمال پنج درصد ($P<0/05$) معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها در وزن خشک بخش زیرزمینی در جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین وزن خشک بخش زیرزمینی مربوط تیمار شاهد در زمان دوم (۰/۷۴ گرم) و کمترین وزن خشک بخش زیرزمینی مربوط به تیمار ۶۰ در زمان اول (۰/۲۸ گرم) می باشد. اولیورا[6] و همکاران (۱۹۹۴) بیان کردند که غلظت‌های بالای کادمیم باعث کاهش ماده خشک در ریشه‌های سویا شد. و عملکرد ماده خشک با افزایش سطوح کادمیم کاهش پیدا کرد (۲۷). نتایج تجزیه داده‌ها در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر کادمیم بر وزن تر برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. اثر زمان و اثر متقابل کادمیم و زمان بر وزن تر برگ معنی‌دار نشد. بیشترین وزن تر برگ در جدول ۵ مربوط به شاهد در زمان دوم (۳/۱۳ گرم) و کمترین وزن تر برگ مربوط به تیمار ۶۰ در زمان اول (۱/۹ گرم)

1- Electrolyte leakage
2- Zhao
3- Ritchie
4- Sharma
5- Lindsay, Norvell
6- Oliveira

می‌باشد. نتایج تجزیه داده ها در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر کادمیم بر وزن خشک برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. اثر زمان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد ولی اثر متقابل کادمیم و زمان بر وزن خشک برگ معنی‌دار نشد. بیشترین وزن خشک برگ در جدول ۵ مربوط به شاهد زمان دوم (۰/۳۵۳ گرم) و کمترین وزن خشک برگ (۰/۱۳۷ گرم) می‌باشد. کادمیم باعث کاهش فعالیت هورمون سیتوکنین می شود که تأثیر بسزایی در تکثیر سلول و رشد گیاه دارد (۲۳). کاهش زی‌توده گیاه در اثر سمیت کادمیم پیامد مستقیم کاهش سنتز کلروفیل و فتوسنتز است (۲۲).

اثر کادمیم بر ویژگی‌های برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر کادمیم بر سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. اثر زمان بر سطح برگ معنی‌دار نشد و اثر متقابل کادمیم و زمان در سطح احتمال یک در صد معنی‌دار شده است. سطح برگ تربچه در شاهد زمان دوم (۱۴۸/۵۶ سانتی‌متر مربع) نسبت به زمان اول (۱۳۴/۱۲ سانتی‌متر مربع) افزایش دا شته ا ست. در جدول ۵ م شاهده می شود که در غلظت ۳۰ بین زمان‌های اول (۹۰/۵۳ سانتی‌متر مربع) و دوم (۸۳/۸۵ سانتی‌متر مربع) اختلاف معنی‌دار نبوده ا ست. کمترین سطح برگ متعلق به غلظت ۶۰ در زمان دوم (۷۰/۲۶ سانتی‌متر مربع) می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر کادمیم بر تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است و اثر زمان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد ولی اثر متقابل کادمیم و زمان بر تعداد برگ معنی‌دار نشد. در جدول ۵ بیشترین تعداد برگ متعلق به شاهد زمان دوم (۵ عدد) و کمترین تعداد برگ متعلق به تیمار ۶۰ زمان اول می‌باشد. نتایج حاصل از تجزیه داده‌ها در جدول ۳ نشان می‌دهد اثر کادمیم روی طول برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. اثر زمان و اثر متقابل کادمیم و زمان بر طول برگ معنی‌دار نشد. کادمیم طول برگ را کاهش می‌دهد بیشترین طول برگ متعلق به شاهد در زمان دوم (۵/۹ سانتی‌متر) و کمترین طول برگ متعلق به تیمار ۶۰ زمان اول (۳/۹ سانتی متر) می‌باشد. کادمیم عرض برگ را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر کادمیم بر صفات رویشی

Table 2- Analysis of variance effect cadmium for vegetative traits

منابع تغییر Sources change	درجه آزادی Degrees of Freedom	میانگین مربعات (MS)						
		وزن تر بخش زیرزمینی Root fresh weight (g)	وزن تر بخش زیرزمینی Root fresh weight (g)	وزن خشک بخش زیرزمینی Root dry weight (g)	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf area (cm^2)	تعداد برگ Leaf number
بلوک Blok	2	0.48 ns	0.48 ns	0.0012 ns	0.11 ns	0.00031 ns	38.17 ns	0.055 ns
کادمیم Cadmium	2	52.16**	52.16**	0.18**	3.16**	0.071**	7435.4**	4.38**
زمان Time	1	13.71**	13.71**	0.024**	0.19 ns	0.0014*	2.6 ns	1.38*
کادمیم×زمان Cadmium × Time	2	10.39**	10.39**	0.014*	0.06 ns	0.0004 ns	264.8**	0.055 ns
خطا Error	10	0.44	0.44	0.0019	0.04	0.00028	23.26	0.18
کل Total	17							
CV(ضریب تغییرات)		11.12	11.12	9.52	8.84	8.1	4.7	9.9

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪ ۱٪ و غیر معنی‌دار

*, ** and ns means significant at 1%, 5% and non-significant respectively

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر کادمیم روی صفات رویشی و فیزیولوژیکی

Table 3- Analysis of variance effect cadmium on vegetative and physiological traits

میانگین مربعات (MS)

منابع تغییر Sources change	درجه آزادی Degrees of Freedom	طول برگ Leaf length (cm)	عرض برگ Leaf width (cm)	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	محتوای رطوبت نسبی Relative humidity
بلوک Blok	2	0.13^{ns}	0.0038 ^{ns}	0.58 ^{ns}	1.52 ^{ns}	18.2 ^{ns}
کادمیم Cadmium	2	3.9**	4.13**	31**	255.3**	142.32**
زمان Time	1	0.4 ^{ns}	0.43**	2.5*	43.43 ^{ns}	21.29 ^{ns}
کادمیم×زمان Cadmium Time ×	2	0.21 ^{ns}	0.2*	1.99*	14.7 ^{ns}	1.5 ^{ns}
خطا Error	10	0.21	0.03	0.46	12.62	7.1
کل Total	17					
CV(ضریب تغییرات)		10	6.14	7.5	18.8	3.4

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪، ۱٪ و غیر معنی‌دار

*, ** and ns means significant at 1%, 5% and non-significant respectively

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر کادمیوم بر صفات بیوشیمیایی

Table 4- Analysis of variance effect cadmium on biochemical traits

میانگین مربعات (MS)

منابع تغییر Sources change	درجه آزادی Degrees of Freedom	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll total	کارتنوئید Cartonoeid	پرولین Proline	ویتامین ث Vitamin C	کادمیم بخش هوایی Cd shoot	کادمیم بخش زمینی Cd root	کادمیم قابل جذب خاک Soil Cd (ave)
بلوک Blok	2	0.02 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.06 ^{ns}	1.95 ^{ns}	2.5^{ns}	6.36 ^{ns}	6.7 ^{ns}	0.14 ^{ns}
کادمیم Cadmium	2	24.69**	3.98**	48.4**	1.63**	2530.7 **	66.82**	6324.3**	۲۴۴۶/۴**	390.45**
زمان Time	1	0.07 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.19 ^{ns}	1.71 ^{ns}	0.01 ^{ns}	1.61 ^{ns}	1.42 ^{ns}	1.11**
کادمیم×زمان Cadmium ×Time	2	0.2 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.83*	0.29 ^{ns}	12.5**	3.6^{ns}	۳۸/۷۸*	۲۶/۴۵**	0.96**
خطا Error	10	0.12	0.1	0.18	0.11	1.5	1.97	7.01	1.72	0.056
کل Total	17									
CV (ضریب تغییرات)		8.98	24.4	8.27	26.7	4.5	7.2	5.4	3.7	2.72

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪، ۱٪ و غیر معنی‌دار

*, ** and ns means significant at 1%, 5% and non-significant respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر کادمیم بر صفات رویشی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

Table 5- The Average comparison of the effect of cadmium on vegetative, physiological and biochemical traits

غلظت کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) Soil cadmium (ave) (mg kg $^{-1}$)						
60		30		0 (شاهد) (Control)		
زمان برداشت دوم Second harvest time	زمان برداشت اول Firth harvest time	زمان برداشت دوم Second harvest time	زمان برداشت اول Firth harvest time	زمان برداشت دوم Second harvest time	زمان برداشت اول Firth harvest time	صفات اندازه گیری شده Measured traits
3.56d	3.54d	5.33c	4.89c	11.64a	6.87b	وزن تر بخش زیرزمینی (گرم) Fresh weights (g)
0.31a	0.28	0.44a	0.43a	0.74a	0.55a	وزن خشک بخش زیرزمینی (گرم) Dry weights (g)
2.06c	1.90c	2.25	2.23c	3.56a	3.13b	وزن تر برگ (گرم) Leaf fresh weight (g)
0.137cd	0.130d	0.166c	0.156cd	0.353a	0.316b	وزن خشک برگ (گرم) Leaf dry weight (g)
70.26e	80.33d	83.85cd	90.53c	148.56a	134.12b	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf area (cm^2)
4.0cd	3.3d	4.3bc	4.0cd	5.6a	5.0ab	تعداد برگ Leaf number
4.0c	3.9c	4.3bc	4.2c	5.9a	5.1ab	طول برگ (سانتی‌متر) Length leaf (cm)
2.4c	2.3c	2.5c	2.4c	4.2a	3.5b	عرض برگ(سانتی‌متر) Width leaf (cm)
7.0d	6.9d	8.6c	8.4c	12.5a	10.4b	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)
28.2a	21.5b	20.6b	18.6bc	12.2cd	11.5d	درصد نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)
71.80c	74.30c	75.70c	76.70bc	81.15ab	84.16a	درصد محتوای رطوبت نسبی Relative humidity (%)
$2.27c	2.70bc	2.80bc	3.03b	6.34	6.05a	کلروفیلa (میلی‌گرم در گرم) Chlorophyll a (mg/g)
0.5c	0.9bc	0.9bc	1.2b	2.4a	2.0a	کلروفیلb (میلی‌گرم در گرم) Chlorophyll b (mg/g)
2.82c	3.57bc	3.70b	4.24b	8.77a	8.14a	کلروفیل کل(میلی‌گرم در گرم) Chlorophyll total
0.84c	1.15bc	0.67c	1.26bc	2.02a	1.75ab	کارتنوئید(میلی‌گرم در گرم) Cartonoeid (mg/g)
48.8a	47.3a	29.8b	26.8c	5.7e	8.3d	پرولین (میلی‌گرم در گرم) Proline (mg/g)
15.9c	17.0bc	18.6b	19.2b	24.0a	22.2a	ویتامین ث هیپوکوتیل (میلی گرم در ۱۰۰گرم) Vitamin C (mg/100 g)
71.57a	68.08ab	65.92b	64.92b	8.37d	14.66c	
52.9a	52.7 a	42.4b	37.5c	11.5 e	15.0d	غلظت کادمیم در بخش هوایی (mg/kg) Cd of aerial part (mg/kg)
15.38b	16.8a	10.28c	10.34c	0.15d	0.16d	غلظت کادمیم در بخش زیرزمینی (mg/kg) Cd of underground part (mg/kg)
						غلظت کادمیم خاک بعد از کشت (mg/kg) Soil Cd after cultivation (mg/kg)

ارقامی که دارای حرف غیرمشترک در یک ردیف هستند، از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند

Rows with the non-same letters have significance difference at the five percent probability level

اثر کادمیم بر نشت الکترولیت و محتوای رطوبت نسبی

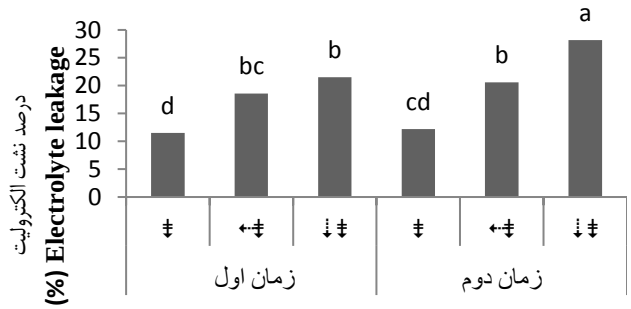
نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر کادمیم بر نشت الکترولیت در سطح احتمال یک درصد و اثر زمان و اثر متقابل کادمیم و زمان بر نشت الکترولیت معنی‌دار نشد. شکل ۱ نشان می دهد که کادمیم و نشت الکترولیت یک رابطه مثبتی را با هم نشان می‌دهند، بدین صورت که با افزایش غلظت کادمیم نشت الکترولیت افزایش یافته است بیشترین درصد نشت متعلق به تیمار۶۰ زمان دوم (۲۸/۲) و کمترین نشت الکترولیت متعلق به شاهد در زمان اول (۱۱/۵) می‌با شد. کادمیم با افزایش پراکسیدا سیون لیپید و تولید گونه های فعال اکسیژن، زوال غشاها را فراهم می‌نماید (۱۷). کادمیم همانند دیگر فلزات شباهت بسیار زیادی با لیگاندهای نیتروژن و سولفور پروتئین‌ها دارد پس با تشکیل پیوند با پروتئین‌ها موجب تخریب کانال‌های یونی و نشت یونی می‌گردد (۲۴). اثر کلرید کادمیم بر محتوای رطوبت نسبی در جدول ۳ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. اثر زمان و اثر متقابل کادمیم و زمان بر محتوای رطوبت نسبی معنی‌دار نشد. شکل ۲ نشان می‌دهد که کادمیم بر محتوای رطوبت نسبی (RWC) تأثیر گذاشته است. و باعث کاهش آن شده است بیشترین مقدار به سطح شاهد زمان اول (۸۴/۱۶ درصد) و کمترین میزان محتوای رطوبت نسبی به سطح ۶۰ زمان دوم (۷۱/۸ درصد) تعلق یافت. کاهش تورژسانس سلولی موجب به هم خوردن توازن آبی در گیاهان می‌شود. کاهش جذب آب در تیمار کادمیم به علت محدودیت در رشد ریشه‌ها می‌باشد. در تیمار کادمیم (RWC)، پتانسیل آب و پتانسیل فشار برگ کاهش می‌یابد. کاهش پتانسیل فشار برگ می‌تواند در نتیجه به هم خوردن تنظیم اسمزی باشد و این یک مکانیزم برای حفظ توازن آب در مواقع کمبود آب می‌باشد (۳۷).

اثر کادمیم بر کلروفیل و کارتنوئید

کادمیم کلروفیل a و b و کل و میزان کارتنوئیدها را به طور معنی‌داری کاهش داده است. و مقدار کلروفیل b کاهش بیشتری نسبت به کلروفیل a داشته است که مطابق با یافته‌های چن[1] و همکاران (۲۰۱۰) در دو گیاه پاچیو[2] و خردل می‌باشد (۶). نتایج تجزیه واریانس در جدول ۴ نشان می‌دهد کادمیم اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک در صد داشته است. اثر زمان و اثر متقابل کادمیم و زمان بر میزان کلروفیل a معنی‌دار نشد. در جدول ۵ بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به شاهد زمان دوم (۶/۳ میلی‌گرم در گرم) و کمترین میزان کلروفیل a مربوط به تیمار ۶۰ زمان دوم (۲/۲۷ میلی‌گرم در گرم) می‌باشد. در جدول ۴ مشاهده می‌شود کادمیم اثر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل b داشته است. اثر زمان و اثر متقابل کادمیم و زمان بر کلروفیل b معنی‌دار نشد. بیشترین میزان کلروفیل b متعلق به شاهد در زمان دوم (۲/۴ میلی‌گرم در گرم) و کمترین میزان کلروفیل b (۰/۵ میلی‌گرم در گرم) در تیمار ۶۰ در زمان دوم می‌باشد. در جدول ۴ مشاهده می‌شود کادمیم اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک در صد بر میزان کلروفیل کل داشته است. اثر زمان بر کلروفیل کل معنی‌دار نشد. اثر متقابل کادمیم و زمان بر کلروفیل کل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. شکل ۳ نشان می‌دهد که بیشترین میزان کلروفیل کل مربوط به شاهد زمان اول (۸/۷ میلی‌گرم در گرم) و کمترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار ۶۰ زمان دوم (۲/۸۲ میلی‌گرم در گرم) می باشد. کادمیم تشکیل کلروفیل را از طریق کاهش جذب آهن و منیزیم کم می‌کند (۱۲ و ۱۸). ممکن است کادمیم جایگزین منیزیم در مولکول کلروفیل شود (۱۰). کاهش ذخیره کلروفیل در برگ‌ها به علت مهار مراحل مختلف بیوسنتز کلروفیل است (۱۴). مهار بیوسنتز کلروفیل احتمالاً به واسطه مهار سنتز δ- آمینولوولینک اسید و مهار تشکیل پروتوکلروفیلید ردکتاز می‌باشد (۳۷). کادمیم با کاهش فعالیت آنزیم پروتوکلروفیلید ردوکتاز از طریق تأثیر بر گروه‌های سولفیدریل باعث کمتر شدن تولید اسید ۵-آمینولوولینیک (ALA) می‌شود اسید ۵-آمینولوولینیک یک پیش ماده برای حلقه تتراپیرول موجود در ساختمان کلروفیل است (۲۶). نتایج تجزیه واریانس در جدول ۴ نشان می‌دهد کادمیم اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر کارتنوئیدها داشته است. اثر زمان و اثر متقابل کادمیم و زمان بر کارتنوئیدها معنی‌دار نشد. شکل ۴ نشان می‌دهد که کادمیم میزان کارتنوئیدها را کم می‌کند به طوری‌که بیشترین میزان کارتنوئیدها مربوط به شاهد زمان دوم (۲/۰۲ میلی‌گرم در گرم) و کمترین میزان کارتنوئیدها (۰/۸۴ میلی‌گرم در گرم) می باشد. مقدار کارتنوئیدها تحت تنش کادمیم کاهش می یابد. کاهش آنها به دلیل فرونشانی غیرفتوشیمیایی کلروفیل‌های برانگیخته است که توسط کاروتنوئیدها انجام و در نتیجه بر هم ریختن ساختارشان می‌گردد. کاروتنوئیدها در سمیت زدایی کلروفیل برانگیخته سه‌تایی نقش دارند. کاروتنوئیدها در چند سطح باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می شوند که از جمله واکنش با کلروفیل برانگیخته برای ممانعت از تشکیل رادیکال‌های فعال اکسیژن است. کارتنوئیدها به عنوان یک سیستم حفاظتی در برابر تنش اکسیداتیو القا شده از بین می‌روند (۳۱).

1- Chen

2- Pakchoi

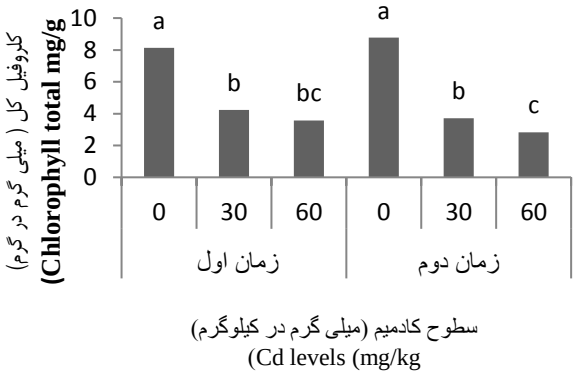


شکل ۱- اثر کادمیم بر درصد نشت الکترولیت

Figure 1- Effect of cd on electrolyte leakage (%)

شکل ۲- اثر کادمیم بر محتوای رطوبت نسبی

Figure 2- Effect of cd on Relative humidity (%)

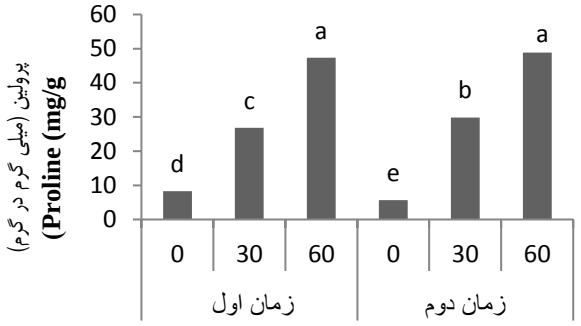


شکل ۳- اثر کادمیم بر کلروفیل کل

Figure 3- Effect of cd on chlorophyll total

شکل ٤- اثر کادمیم بر کارتنوئید

Figure 4- Effect of cd on cartenoid



سطوح کادمیم (میلی گرم در کیلوگرم)
(Cd levels (mg/kg

شکل ۵- اثر کادمیم بر پرولین

Figure 5- Effect of cd on proline (mg/g)

سطوح کادمیم (میلی گرم در کیلوگرم)
(Cd levels (mg/kg

شکل ٦- اثر کادمیم بر ویتامین ث هیپوکوتیل

Figure 6- Effect of cd on vitamin C

اثر کادمیم بر میزان پرولین، ویتامین ث هیپوکوتیل

در جدول ۴ مشاهده می شود اثر کادمیم روی پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. اثر زمان بر میزان پرولین معنی‌دار نشد. اثر متقابل کادمیم و زمان بر میزان پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. میزان پرولین تحت تأثیر کادمیم افزایش نشان داده است (شکل ۵). بیشترین میزان پرولین مربوط تیمار۶۰ زمان دوم (۴۸/۸ میلی‌گرم در گرم) و کمترین میزان پرولین مربوط به شاهد زمان دوم (۵/۷ میلی‌گرم در گرم) می‌باشد. افزایش مقدار پرولین بر اثر تنش کادمیم احتمالاً به عنوان مسیری برای حفظ انرژی است که از طریق بازدارندگی رشد ریشه توسط فعالیت آنزیم پراکسیداز موجود در دیواره های سلولی صورت می‌گیرد (۷). پرولین در تعدیل تنش‌های محیطی، از جمله تنش فلزات سنگین نقش مهمی را ایفا می‌کند پرولین احتمالا در سلول‌های تحت تنش نقش آنتی اکسیدانی دارد (۴۰). همچنین معلوم شده است که پرولین تأثیر کندکنندگی یون ها روی آنزیم ها را کاهش می‌دهد و باعث افزایش و پایداری آنزیم‌ها در دماهای بالا می‌شود (۳۸). در واقع پرولین به عنوان یک محافظ شیمیایی باعث پایداری فرم طبیعی پروتئین‌ها شده و از بهم خوردن شکل طبیعی ترکیبات آنزیمی ممانعت می‌نماید (۳۳). جدول ۴ نشان می‌دهد که کادمیم اثر معنی‌داری بر ویتامین ث هیپوکوتیل در سطح احتمال یک در صد داشته است. اثر زمان و اثر متقابل کادمیم و زمان بر میزان ویتامین ث معنی‌دار نشد. کادمیم میزان ویتامین ث را کاهش می‌دهد. شکل ۶ نشان می‌دهد که بیشترین ویتامین ث مربوط به شاهد زمان دوم (۲۴ میلی‌گرم در صد گرم) می‌باشد و کمترین میزان ویتامین ث مربوط به تیمار۶۰ زمان دوم (۱۵/۹ میلی‌گرم در صد گرم) می‌باشد. در تنش کادمیم گلوتاتیون وارد مسیر سنتز فیتوکلاتین‌ها می‌شود بنابراین سوبسترا برای آسکوربات کاهش می‌یابد. دلیل دیگر برای کاهش اسید آسکوربیک، کاهش فعالیت آنزیم‌های درگیر در اکسید و احیا آسکوربات می‌باشد (۸ و ۹). کاهش در مقدار اسید آسکوربیک ممکن است به علت سنتز کم آن، مصرف سریع آن یا کاهش نسبت اکسید و احیا آن باشد (۵).

تجمع کادمیم در بخش هوایی و زمینی

در جدول ۴ مشاهده می شود که کادمیم اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در بخش هوایی و بخش زمینی داشته است. اثر زمان در غلظت کادمیم بخش هوایی و بخش زمینی معنی‌دار نشد. اثر متقابل کادمیم و زمان در بخش هوایی در سطح احتمال ۵ درصد و در بخش زمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. جدول ۵ نشان می‌دهد که در تیمار ۶۰ کادمیم بیشترین تجمع کادمیم در بخش هوایی (۷۱/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) و در بخش زمینی (۵۲/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در زمان دوم برداشت می‌باشد.

نتیجه‌گیری

کاربرد غلظت‌های متفاوت کادمیم ویژگی‌های رویشی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با افزایش غلظت کادمیم در خاک میزان تجمع کادمیم در گیاه افزایش می‌یابد. افزایش غلظت کادمیم باعث افزایش نشت الکترولیت و غلظت پرولین و کاهش محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل، ویتامین ث تربچه شد. به علاوه باعث کاهش عملکرد از جمله وزن تر و خشک، طول ریشه، سطح برگ، طول و عرض برگ و تعداد برگ‌های تربچه شد. همچنین اثرات تخریبی بر ویژگی‌های رویشی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تربچه یک هفته پس از بلوغ تجاری بیشتر از زمان اول (بلوغ تجاری) بود. بنابراین در مدیریت استفاده از کودهای فسفره حاوی کادمیم برای

پرورش سـبزیجات به ویژه سـبزیجات غده‌ای مانند تربچه و همچنین مدیریت برداشت محصول باید دقت لازم را اعمال نمود.

منابع

1– Abou Auda M., and Elshakhali E. 2010. Cadmium and zinc toxicity effects on growth and mineral nutrients of carrot (*Daucus carota*). Pakistan Journal of Botany, 42(1): 341-351.

2- Bates L.S., Waldren, R. P., and Teare I. D. 1973. Rapid determination of proline for water stress studies, Plant Soil, 39: 205–207.

3- Barcelo J., Poschenrieder C., Andreu I., and Gunse B. 1986. Cadmium– induced decrease of water stress resistance in bush been plants (*L. cv. contender*). I. Effects of Cd on water potential, relative water content, and cell wall elasticity. Journal Plant Physiology, 125:17-25.

4- Behtash F., Tabatabaee S.J., Malakooti M.J., Sororoaldin M.H., and Oustan Sh. 2009. Effect cadmium and Silicon on growth and some physiological properties of red beet. Journal of Sustainable Agricultural Science, 20.2 (1): 53-67.

5- Borraccino G., Mastropasqua L., DeLeonardis S., and Dipierro S. 1994. The role of ascorbic acid system in delaying the senecence of oat (*Avena sativa* L.) leaf segments. Journal of Plant Physiology, 144: 161–166.

6- Chen X., Wang j., Shi Y., Zhao M.Q., and Chi Y. 2010. Effects of cadmium on growth and photosynthetic activities in pakchoi and mustard. Physiology, 52: 41-46.

7- Chen S.L., and Kao C.H. 1995. Cd induced changes in proline level and peroxidase activity in roots of rice seedlings. Plant Growth Regulation, 17:67-71.

8- Cho U. H., and Park J.O. 2000. Mercury-induced oxidative stress in tomato seedlings. Plant Science, 156:1-9.

9- DiCagno R., Guidini L., DeGara L., and Soldatini G.F. 2001. Combined cadmium and ozone treatment affect photosynthesis and ascorbate-dependent defense in sunflower. New Phytologist, 151, 627-636.

10- Farouk S., Mosa A.A., Taha A.A., Ibrahim H.M., and El-Gahmery A.M. 2011. Protective Effect of Humic acid and Chitosan on Radish (*Raphanus sativus* L. Var. sativus) plant subjected to Cadmium stress. Journal of stress physiology and Biochemistry, 7(2): 99-116.

11- Gouia H., Ghorbal M.H., and Meyer C. 2001. Effect of cadmium on activity of nitrat reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. Plant Physiology, 38:629-638.

12- Haghiri F. 1973. Cadmium uptake by plant. Journal of Environmental Quality, 2:93-95.

13- Haghighi M., Kafi M., Sadat Taqavi P., Kashi A.K., and Savabeghi Gh. 2008. The variation of lettuce enzyme photosynthesis activity under the influence of lettuce toxicity. Journal of Horticulture (Science and Technology of Agriculture), 22: 2-26.

14- Hegedus A., Erdi S., and Horvath G. 2001. Comparative studies of H2O2 detoxifying enzymes in green and greening barley seedlingNunder cadmium stress. Plant Science, 160:1085-1093.

15- Hernandez Y., Lobo M.G., and Gonzalen M. 2006. Determination of vitamin c in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. Food Chemistry, 96: 654-664.

16- Hodaji M., and Jalalian A. 2004. Distribution of nickel, manganese and cadmium in dung and agricultural products in the Mobarakeh Steel Company. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 3: 66-55.

17- Karim G., and Nojavan M. 2007. Effect of cadmium on growth parameters, proline content, sugars and soluble protein in lentils (*Lens miller*), Research and Development in Agriculture and Horticulture, 76: 53-47.

18- Khan D.H., and Frankland B. 1983. Effect of cadmium and lead on radish plants with particular reference to movement of metals through soil profile and plant. Plant and Soil, 70:335-345.

19- Lin L.D., HU K., Majing J., Qiu W., Wang P., and Zhang Sh. 2011. Effects of cadmium on the growth and physiological characteristics of sorghum plants. African Journal of Biotechnology, 10(70) 15771-15776.

20- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, Iron, manganese, and copper. Soil Science Society American Journal, 42: 421-428.

21- Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylls and Cartenoides: Pigmentsof hotosynthetic bio-membranes. In: Methods in Enzymol. (eds. S.P. Colowick and N.O. Kaplan) Academic Press. New York, 48: 350-382.

22- Mazhoudi A., Chaoui M.H., Ghorbal E., and Ferjani E. 1997. Response of antioxidant enzymes to excess copper in tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). Plant Science, 127, 129-137.

23- Mok M. 1994. Cytokinins and plant development- An overview. PP. 155-166. In*:* Mok, D. and M. Mok (Eds.), Cytokinins: Chemistry, Activity, and Function, CRC Press, Boca Raton, FL.

24- Mishra S., Tripathi R. D., Srivastava S., Dwivedi S., and Kumar T. 2009. Thiol metabolism play signicant role during cadmium detoxi, cation by Ceratophyllum demersum L. Bioresource Technology, 100: 2155-2161.

25- Nazemi S., and Khosravi A. 2011. A Survey on the Status of Heavy Metals in Soil, Water, and Vegetable Land. Journal of Knowledge and Health, 5(4): 31-28.

26- Ouzounidou G. 1995. Cu-ions mediated changes in growth chlorophyll and other ion contents in cu-tolerant koleria splenders. Biology Plantarum, 37:71-79.

27- Oliveira J., Oliva M., and Cambraia J. 1994. Effect cadmium on cholorophyll contents and on peroxidase activity in soybean. Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 36570-000, Brazil.
28- Peyvast Gh. 2009. Vegetables. Scholarly Publishing. Fifth Edition. 577 p.
29- Pourakbar L., and Ashrafi R. 2011. Effect of cadmium on hydrogen peroxide production and activity of some antioxidant enzymes in corn (*Zea mays* L.). Tarbiat Moallem University of Science, 9(3): 484-473.
30- Ritchie S. W., and Nguyen H.T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, 30: 105-111.
31- Sanitadi Toppi L., and Gabbrielli R. 1999. Response to cadmium in higher plants- review. Environmental and Experimental Botany, 41:105-130.
32- Salaskar D., Shrivasta M., and Kale S.P. 2011. Bioremidation Potential of spinach (*Spinacia olelacea* L.) for decontamination of cadmium in soil. Current Science, 101:1-5.
33- Solomon A., and Beer S. 1994. Effect of NaCl on the carboxylating activity of rubisco and absence of proline related compatible solutes. Plant Physiology, 108: 1387- 1394.
34- Sharma R.K., Agrawal M., and Marshal A. 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in surburban area of Varanasi, India. Ecotoxicology and Environmental Safety, 66: 258-266.
35- Taji H., and Golchin A. 2010. Investigation of different levels of cadmium and sulfur on yield and concentration of cadmium and some of the low-level elements in maize leaf and corn root (*Zea mays* L.) in greenhouse conditions, Science and Technology of Greenhouse Cultivars, 4: 32-23.
36- Vitoria A.p., Dacunha M., and Azevedo R.A. 2005. Ultra-structural changes of radish leaf exposed to cadmium. Enviromental and Experimental Botany, 58: 47-52.
37- Vassilev A., and Yordanov I. 1997. Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium treated Plants. Plant Physiology, 23(3–4), 114–133.
38- Wallace DM. 1987. Large and Small Phenol Extraction Methods in Enzymology, Academic Press, New York.
39- Zhao Y., Aspinall D., and Paleg L.G. 1992. Protection of membrane integrity in *Medicago saliva* L. by glycinebetaine against the effects of freezing. Journal of Plant Physiology, 140: 541-543.
40- Zhang H.H., Tang M., and Zheng C. 2010. Effect of inoculation with AM fungi on lead uptake, translocation and stress alleviation of *Zea mays* L. seedlings planting in soil with increasing lead concentrations. European Journal of Soil Biology, 46: 306-311.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 3, Jul.-Agu. 2018, p. 517-529

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۷، ص. ۵۲۹-۵۱۷

Effect of Cadmium on Vegetative Traits, Physiological and Biochemical Indexes of Radish (*Raphanus sativus* L.)

K. Dalvand Gomari[1]- S.A. Eftekhari[2]*

Received: 07-01-2014
Accepted: 05-01-2015

Introduction: Among wide variety of soil pollutants including heavy metals, acidic precipitation and other toxicants, the importance of heavy metals due to their pollution capacity has received growing attention in recent years. Heavy metals are important environmental pollutants and their toxicity is a problem of increasing significance for ecological, evolutionary, nutritional, and environmental reasons. Of all non-essential heavy metals, cadmium (Cd) is perhaps the metal that has attracted the most attention in soil science and plant nutrition due to its potential toxicity to humans, and also its relative mobility in the soil–plant system. The uptake of ions takes place in competition with that of elements such as Zn, P, Cl^-, Ca, and Cu. Soil, environmental, and management factors impact the amount of Cd accumulated in plants (Hart et al., 1998). Much of the Cd taken up by plants is retained in the roots, but a portion is translocated to the aerial portions of the plant and into the seed. The amount of Cd accumulated and translocated in plants varies with species and with cultivars within species. Cd toxicity causes inhibition and abnormalities of general growth in many plant species. After long-term exposure to Cd, roots are mucilaginous, browning, and decomposing; reduction of shoots and root elongation, rolling of leaves, and chlorosis can occur. Cd was found to inhibit lateral root formation while the main root became brown, rigid, and twisted. The changes in the leaf included alterations in chloroplast ultrastructure, low contents of chlorophylls, which caused chlorosis, and restricted activity of photosynthesis. Radish (*Raphanus sativus*) is a root vegetable grown and consumed all over the world and is considered as a part of the human diet, even though it is not common among some populations. Usually, people eat radishes raw as a crunchy vegetable, mainly in salad, while it also appears in many European dishes. Some people, at least in the Middle East, prefer to drink its juice in pursuit of certain health benefits. Radishes have different skin colors (red, purple, black, yellow, and white through pink), while its flesh is typically white. In addition, the edible root of radish varies in its flavor, size, and length throughout the world.

Materials and Methods: In this study, we investigated the influence of Cd application rates on vegetative parameters, and physiological and biological indexes of radish. The experimental design was a factorial with randomized block with two treatments and three replications carried out at the Research Farm of College of Agriculture, Shahid Chamran University. Treatments included three rates of Cd application of 0 (control), 30 and 60 mg kg^{-1}, and two harvesting dates of commercial maturity (CM) and a week after CM, hereafter referred to as 1^{st} and 2^{nd} harvesting dates. Measurements included vegetative parameters such as wet and dry weights, leaf area, length and width of leaves, leaf numbers and root length. Physiological indexes of electrolyte leakage and relative humidity, and biochemical indexes of chlorophyll a, b and total, Cartonoeid, Proline and vitamin C were also determined.

Results and Discussion: The results indicated that the Cd application reduced all of the vegetative parameters. Application of 60 mg kg^{-1} of Cd increased the electrolyte leakage by 28.2% and Proline concentration by 48.8 mg g^{-1}. Cd application increased the relative humidity. All biochemical indexes decreased as the Cd application rates increased. The maximum concentration of Cd in plant was observed at 60 mg kg^{-1} Cd contamination. It seems that decrease of physiological indices due to increased Cd concentration reduced the growth properties.

Conclusion: Application of different Cd concentrations affected the vegetative, physiological and biochemical properties. By increasing Cd concentration of soil, the Cd accumulation in the plant increased. Increasing the Cd concentration increased the electrolyte leakage and proline concentration and reduced the content of relative humidity, chlorophyll, vitamin C in radish. In addition, it decreased yield including fresh and dry weights, root length, leaf area, leaf length and width, and number of radish leaves. Further, the effects of degradation on vegetative, physiological and biochemical characteristics of radish were one week after commercial maturity more than the first time (commercial maturity). Therefore, the phosphorus-containing Cd for the cultivation of

1 and 2- Former M.Sc. Student and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran Unicersity of Ahvaz
(*- Corresponding Author Email: eftekhari_9t@yahoo.com)

vegetables, especially tubers, such as radishes, as well as harvest management, should be carefully applied.

Keywords: Cd, Physiological indexes, Proline