در زراعت و باغبانی

مطالعه اثر کادمیوم کلرید بر پارامترهای رشد ،محتوای کلروفیل ، کارتنوئیدها و محتوای قند و پروتئین در گیاهک کلزا (*Brassica napus*)

حکیمه علومی، بخش زیست شناسی ،دانشگاه شهید باهنر کرمان
خسرو منوچهری کلانتری مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی ، کرمان

چکیده

به منظور بررسی اثر کادمیوم بر برخی از پارامترهای رشد و فیزیولوژیک گیاهک کلزا بذرهای تهیه شده پس از استریل شدن ، تحت تیمار غلظت های صفر، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میکرو مولار کلرور کادمیوم در ظروف پتری قرار گرفتند و پس از هفت روز رشد در شرایط کنترل شده ژرمیناتور ، اثرات سمیت این یون بررسی گردید. به این منظور گیاهک های یکسانی از هر نمونه انتخاب و میزان رشد طولی و وزنی همچنین محتوای کلروفیل،کارتنوئیدها ،قند و پروتئین اندام های هوایی و ریشه نمونه ها مورد اندازه گیری قرار گرفت. نتایج نشان دهنده کاهش قابل توجه رشد طولی اندامهایی شامل ریشه و محور زیر لپه ، همچنین کاهش معنی دار وزن تر و خشک اندامهای گیاهک در غلظت های ۱۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار یون کادمیوم بود . مقدار کلروفیل و کارتنوئیدها هم در برگ نمونه های تحت تنش با کادمیوم به طور معنی داری کاهش یافت . میزان پروتئین کل در برگها و ریشه ها با افزایش غلظت کادمیوم تا ۱۰۰ میکرو مولار افزایش نشاد داد که این افزایش می تواند بیانگر افزایش آنزیم های درگیر در مکانیسم دفاعی گیاه و پلی پپتیدهای آنتی اکسیدان باشد. از طرفی مقدار قند در برگهای لپه ای به علت تبدیل قندهای غیر محلول به محلول افزایش نشان داد در حالیکه در ریشه ها کاهش مقدار قند مشاهده شد.

کلمات کلیدی : سمیت کادمیوم .کلزا (*Brassica napus*) .محتوای کلروفیل و کارتنوئید . محتوای قند و پروتئین

Pajouhesh & Sazandegi No: 59 pp:74-80

Study the effects of cadmium chloride on growth parameters, chlorophyll, carotenoids, proteins and sugar content in canola (*Brassica napus*) plants.

by: Oloumi, Hakimeh. Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman.Kh. m. Kalantari International Center of Science, High Technology and Environmental Science. Kerman.

In Order to study the effects of cadmium on some growth and physiological parameters on canola plants, seeds were sterilized and treated with different (0,10,50,100 and 500 µ inm)in cadmium Concentration petri dishes. Petri were transferred to germinator which was under control for seven days and toxicity effect this ion on seedlings were investigated. For this reason identical seedlings from each sample were selected then root and shoot length and weight as well as chlorophyll and carotenoids content were measured. The content of reduced sugar and proteins of these oranges were measured by spectrophotometeric methods. Results showed a significant decrease in root and epicothylodon growth. We also observed a significant decrease in shoot and root fresh and dry weight in seedlings which were treated M with100and500 µm of cadmium ion .Cholorophyll and carotenoids content decreased significantly. Total protein content increased in leaves and roots of those seedlings which were treated with 10,50 and 100µm of cadmium. This increase probably is the 100 µm indication of increase in enzymes involved in defense mechanism in plants and antioxidant poly peptides which also are a defense mechanism .On the order hand, the amount of reduced sugar increased in cothylodonary leaves and the reason of this could be the conversion of insoluble sugar, but the content of sugar decreased in roots.

Keywords:Cadmium toxixity, Canola (*Brassica napus*). Chlorophyll, Carotenoids, Protein, Sugar.

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

فلـز کادمیـوم یک عنصر کمیاب در خاکها می باشـد کـه امروزه به دنبال فعالیت های انسان ها در صنایع و معادن ، تولید و کاربرد باتری ها ، استفاده از فاضلابهای آلوده صنایع به منظور آبیاری سیستمهای کشاورزی ،همچنین کاربرد حشره کشها و کودهای فسفاته غلظت این یون در خاکها رو به افزایش می باشد (۱).

کادمیوم یک عنصر غیر ضروری برای فرآیندهای متابولیک است(۲). با این وجود به طور قابل توجهی توسط ریشه ها و اندام های هوایی گیاه جذب می شـود (۸). تجمع این یون در خاک منجر به کاهش محصولات کشـاورزی شـده که به دنبال آن اثرات س ـلامت انسان خواهد گذاشت (۲۳).

گزارش شده است که اثر سمی این ـن بر گ ـ و بدر سایر موجودات از جمله انسـان به خاطر تمایل شدید آن بـ ـروههای ـرفیدریل موجود در سـاختمان پروتئین ها و آنزیم ها می باشـد (۷) ـواهد نشـ داده که سمیت Cd^{2+} می تواند به دلیل القاء تنش اکسیداتیوی با ـکـ ـل شکیل رادیکالهای آزاد اکسـیژن مثل پراکسـید هیدروژن H_2O_2 ، رادیکال سوپر اکسید O_2 ، رادیکال هیدروکسـیل OH^- و اکسیژن یکتایی ایجاد میشـ (۲۶). از جمله تغییرات حاصل از اثر یون Cd^{2+} جذب شده توسط گیاه ـ توان کلروزگی و نکروزگی برگها ،اپی ناستی برگ ،قرمز – قهوه ا ـسد حاشیه برگها ، کاهش گسترش برگی ،کاهش بیوماس کل گیاه ـهوه ا ـ شـدن نوک ریشه و کاهش میزان محصول را نام برد (۱۴،۱۱) . علاوه بر این Cd^{2+} بر بسـیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک گیاه شـامل تنفس، فتوسـنتز، روابط آبی و تبادل گازی روزنه ها اثر می گذارد(۵،۱۱). بررسـی ها نشان داده است که اثر این یون بر فتوسنتز در چند سطح می باشد . از جمله : مهار فتوسیستم Ii فتوسنتزی (۴، ۳۳)، مهار سیکل کالوین (۴). نقص در بیوسـنتز کلروفیل (۲۴)و کاهش بار کوانتومی فتوشـیمیایی فتوسنتز (۱۷).

یون کادمیوم توسط ریشه ها جذب و به طور قابل توجهی به اندامهای هوایی منتقل شـده ، در آنجا تجمع می یابـد (۲۵، ۳۲). یون کادمیوم در ریشه ها در فضای آپوپلاستی یا در سطح دیواره سلول یا غشاء پلاسمایی تجمع مـی یابد (۲۶). این تجمع در نهایت باعث اختلال در تغذیه معدنی سـلولهای ریشه شـده کاهش قابل توجهی در رشد ریشه مشاهده خواهد شد (۲۲،۶). به دنبال کاهش انتقال مواد به برگها در حضور این یون و در نتیجه کاهش متعاقب سـرعت تعرق ، سـاختار فضایـی اندامکها و رفتار آنزیم های کلیدی مسـیرهای متابولیک نیز دچار تغییر می شود (۲۸، ۳۰) .گزارش شده تغییر در فعالیت آنزیم های پروتئولیتیک ، نوکلئولیتیک باعث القاء سنتز آمینو اسیدها و پروتئینهای خاص (۲۷، ۲۹) و تغییر در محتوای قندهای محلول در گیاهک در حال رشد برنج شده است (۳۴).

در این تحقیق به منظور بررسـی اثر سـمیت یون کادمیوم بر رشـد ونمو گیاه جوان کلزا پارامترهایی چون وزن تر و خشک اندامها ، محتوای کلروفیـل و کارتنوئیدها و میزان قند و پروتئین برگ و ریشـه مورد اندازه گیری و مقایسه قرار گرفت .

مواد و روشها

بذرهـای کلـزای مورد اسـتفاده از واحد بـذر و نهال مرکـز تحقیقات کشـاورزی کرمان تهیه گردید.بذرهای یکسان از نظر شکل و اندازه انتخاب و پـس از ضد عفونی با هیپوکلریت سـدیم ۱٪ و شستشـو با آب مقطر در شـرایط کاملاً اسـتریل ،روی کاغذ صافی خیس در پتری دیش انتقال داده شـدند و به مدت یک هفته تحت تیمار غلظت های صفر (به عنوان شاهد)، ۵۰، ۱۰۰،۱۰، و ۵۰۰ میکرومـولار یون کادمیوم قـرار گرفتند . پتری ها به ژرمیناتور با فتوپریود ۱۶ سـاعت روشـنایی ، ۸ سـاعت تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد منتقل شدند . پس از یک هفته تیمار گیاهک های یکسانی از پتری ها انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند (۱۷).

محاسبه وزن تر و خشک و طول اندامها

بـه این منظور هر پتـری به عنوان یک تکرار در نظرگرفته شـد. گیاهک ها به سـه بخش ریشـه ، ساقه و برگ تقسـیم شدند و سپس توسـط ترازوی Mettler مدل AE۶۰ و با حساسـیت ۰/۱ میلی گرم وزن شـدند . پـس از قرار دادن اندامها به مدت ۲۴ سـاعت در کوره الکتریکـی در دمای ۶۰ درجه سـانتیگراد ،نمونه های خشـک توزین شـدند

طول ریشـه هـا و محور زیـر لپه در نمونـه های مختلـف نیز با اسـتفاده از خط کش و با دقت ۱ میلی متر اندازه گرفته شـد.

محاسبه مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها

در ا ـ ـرس ـنگیره ها توسـط ۱۵ میلی لیتر اسـتون ۸۰٪ از ۰/۱ گرم وزن تر برگ نـ ـ ها استخراج شدند. پس از صاف کردن نمونه ها با کاغذ صافی واتمن سـما ـ ۱ ـذ ـ در طول موج های ۶۶۳nm برای کلروفیل a ۶۴۵nm ، بـرای کلروفـ ـل b و ۴۷۰nm بـرای کاروتنوئیدهـا (کاروتـن و گزانتوفیل)توسط اسـپکتروفتو ـ UV–Visible (Carry۵۰) خوانده شد. غلظت کلروفیل ها بر حسـ ـ ـیلی ـرم بر گرم وزن تر با استفاده از فرمول های زیر محاسبه شد:

$$C_a = ۱۲/۲۵\ A_{۶۶۳/۲} - ۲/۷$$

$$C_b = ۲۱/۵۰\ A_{۶۴۶/۸} - ۵/۱۰\ A_{۶۶۳/۲}$$

$$\text{Total chlorophyll} = C_a + C_b$$

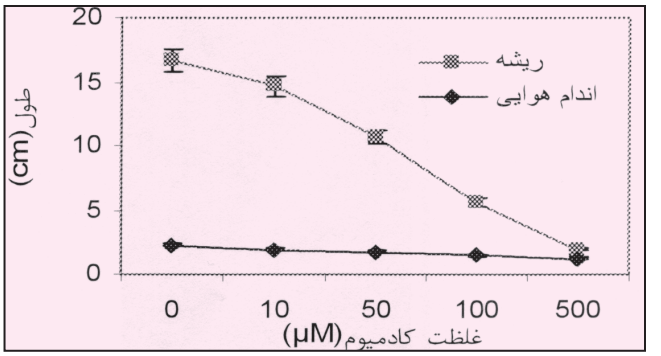
$$C_{x+c} = (۱۰۰۰A_{۴۷۰} - ۱/۸۲\ C_a - ۸۵/۲۵\ C_b)\ /۱۹۸$$

کـه در اینجا C_a کلروفیل a C_b کلروفیل b بوده و C_{x+c} کاروتنوئیدها می باشد (۱۸).

سنجش مقدار قند های احیا کننده

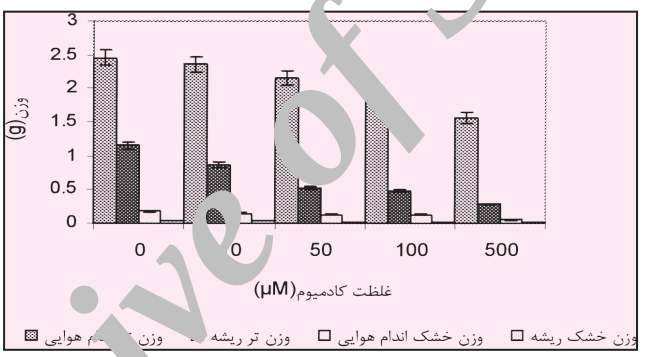
طبق این روش برگها و ریشـه ها پس از توزین به مدت ۱۴ سـاعت در حرارت ۸۰ درجه سـانتی گراد خشـک شـدند . ۰/۰۱ گرم از بافت ها با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر در هاون چینی سـاییده شـد. سپس محتوای هاون پس از حرارت دیدن در بشر توسط کاغذ صافی واتمن صاف گردید. ۲ میلی لیتر از عصاره بدسـت آمده به لوله آزمایش منتقل شـد. بـه این عصاره ۲ میلی

Archive of SID
www.SID.ir



نمودار ۱: مقایسه رشد طولی اندامها در تیما[illegible] مختلف یون کادمیوم

لیتر محلول سولفات مس (۴۰گرم کربا[illegible] سدیم + ۴۰۰ میلی لیتر آب + ۷/۵ گرم اسید تارتاریک + ۴/۵ گرم سولفات[illegible] مس آبدار[illegible] حجم یک لیتر آب)اضافه شد. سپس لوله های آزمایش به م[illegible] ۱۸ دقیقه در بن ماری با حرارت ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. احیای Cu^{2+} و تشکیل ترکیب نارنجی رنگ Cu_2O اساس تعیین مقدار قند در این روش می باشد . پس از سرد شدن لوله ها ۲ میلی لیتر محلول اسید فسفر مولیبدیک (۷۰ گرم اسید مولیبدیک + ۱۰ گرم تنگستات سدیم در ۷۰۰ میلی لیتر محلول ۵٪ سود به مدت ۴۰ دقیقه حرارت و سپس ۲۵۰ میلی لیتر اسید فسفریک ۸۵٪ اضافه گردید)به آنها اضافه شد. پس از تکان دادن لوله ها و پخش یکسان رنگ آبی پدیده آمده در لوله آزمایش ، جذب در طول موج ۶۰۰nm توسط اسپکتروفتومتر UV– Visible مدل Carry ۵۰. conc شرکت Varian خوانده شد و غلظت قند با استفاده از منحنی استاندارد قند بر حسب میلی گرم بر ۰/۰۱ گرم وزن خشک محاسبه شد(۳۱).



نمودار ۲: مقایسه وزن تر و خشک اندام‌های گیا[illegible] تحت تیمارهای متفاوت یون کادمیوم

سنجش میزان پروتئین ها

در این روش اولین مرحله واکنش کمپلکس پروتئین ـ مس در محلول قلیایی تشکیل می گردد. بقایای تیروزین ، تریپتوفان و سیستئین این کمپلکس در مرحله بعد معرف فسفوتنگستیک (معرف فولن)زرد رنگ را احیا نموده رنگ آبی تندی حاصل می گردد . میزان ۰/۰۱ گرم از بافت خشک برگ و ریشه هر نمونه در بافر استخراجی فسفات (PH=۷) ساییده شده توسط کاغذ صافی صاف گردید . پس از سانتریفیوژ عصاره ۱ میلی لیتر از محلول رویی برداشته و مورد تیمار معرف های مختلف بر اساس روش لوری قرار گرفت . در نهایت شدت جذب در ۶۶۰nm توسط اسپکتروفتومتر UV– Visible مدل ۵۰ –Carry خوانده شد و غلظت پروتئین برای هر نمونه با استفاده از رسم منحنی استاندارد تهیه شده از سرم آلبومین گاوی محاسبه شد (۲۰).

تجزیه و تحلیل های آماری

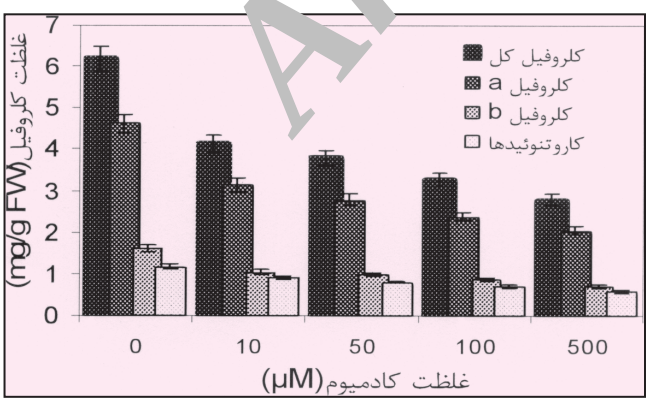
این تحقیق با سه بار تکرار برای هر نمونه و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد . از هر پتری دیش نمونه های تصادفی انتخاب و مورد آزمایش قرار گرفتند . نتایج به دست آمده با استفاده از نرم افزار SPSs مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و در مواردی که اختلاف معنی داری بین میانگین های گروه ها مشاهده گردید به منظور تعیین گروه های همگن از آزمون استفاده شد . مقایسه میانگین ها با ضریب اطمینان ۹۵٪(۵٪ ≥ p)انجام گرفت.

نتایج

تجزیه داده های حاصل از مقایسه رشد طولی اندامهای هوایی(S) و در ریشه ها (R) با استفاده از آزمون دانکن (۵ ≥ p) نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم ،رشد اندام های هوایی و همچنین رشد ریشه ها کاهش می یابد .رشد طولی ریشه در تمام غلظت ها نسبت به گیاهک شاهد کاهش یافت (نمودار ۱ و جدول ۱).

کاهش وزن تر و خشک S (شامل ساقه و برگ های لپه ای)در غلظت های پایین یون کادمیوم معنی دار نبود در حالیکه در غلظت های ۵۰۰و ۱۰۰ میکرو مولار یون این کاهش کاملا معنی دار بود (نمودار ۲ و جدول ۱) .

وزن تر و خشک R نیز طبق الگوی S کاهش نشان داد در حالیکه شدت کاهش وزن ریشه ها نسبت به اندام هوایی کاملا بیشتر بود . میانگین طول R به S در تیمارها در مقایسه



نمودار ۳: محتوای کلروفیل و کارتنوئیدها در تیمارهای متفاوت یون کادمیوم در برگ و ریشه

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- داده های مربوط به پارامتر های رشد شامل طول ریشه و اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی
(داده ها شامل میانگین ± خطای استاندارد می باشند ($p \leq ۵٪$)

وزن خشک ریشه (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن تر ریشه (g)	وزن تر اندام هوایی(g)	طول ریشه (cm)	طول اندام هوایی (cm)	غلظت کادمیوم (M μ)
۴/۶۶±۰/۰۰۳	۰/۱۸±۰/۰۰۳	۱/۱۵±۰/۱۲	۲/۴۴±۰/۱۵	۱۶/۶۶±۰/۸۸	۲/۳۶±۰/۱۸	۰
۳/۶۶±۰/۰۰۶	۰/۱۵±۰/۰۰۳	۰/۸۷±۰/۰۴	۲/۳۶±۳/۰۲	۱۴/۶۶±۰/۸۸	۲±۰/۱۱	۱۰
۳/۰۰±۰/۰۰۵	۰/۱۳±۰/۰۰۸	۰/۵۵±۰/۰۲	۲/۲۸±۰/۰۸	۱۰/۶۶±۱/۰۶	۱/۸±۰/۱۲	۵۰
۳/۳۳±۰/۰۰۳	۰/۱۳±۰/۰۰۸	۰/۴۶±۰/۰۶	۱/۹۹±۰/۰۸	۵/۱۶±۱/۰۴	۱/۵۶±۰/۱۲	۱۰۰
۳/۱۳±۰/۰۰۵	۰/۱۱±۰۰۸	۰/۳۶±۰/۲۹	۱/۶۴±۰/۲۹	±۲±۰/۲۸	۱/۲۶±۰/۱۴	۵۰۰

بـا کنترل به ترتیب در غلظت صفر ، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار یون ۲/۷، ۳۷/۷، ۵۸/۸،و ۸۲/۹ درصد کاهش نشان داد . مقایسه بین نسبت وزن خشـک R به S نشان دهنده کاهش ۰/۲ ، ۲/۷، ۱۳/۵۵، و ۱۴/۵۷ درصدی در غلظت های مختلف یون بود . که این نتایج نشاندهنده کاهش نسبت R به S می باشـد . اما شدت کاهش رشـد طولی نسبت به کاهش وزن بیشتر بود .

همانطـور که در نمودار ۳ دیده می شـود مقـدار کلروفیل a و b هم در تیمارها نسـبت به شاهد کاهش نشان داد که این کاهش رابطه مستقیمی با غلظت دارد . بنابراین کلروفیل کل (کلروفیل a + کلروفیل b) هم با افزایش غلظت یون کاهش می یابد.

داده های حاصل از محاسـبه غلظت کاروتنوئیـد ها بیانگر کاهش آنها درحضور یون $Cd^{۲+}$ می باشد که در این کاهش در تمام غلظت ها نسبت به گیاهک شاهد معنی دار می باشد که این نتایج در نمودار ۳ و جدول ۲ قابل مشاهده است.محاسبه مقدار قندهای احیا کننده درااندام هوایی نشان داد که بـا افزایش غلظت $Cd^{۲+}$ تا حد بحرانی ، مقـدار قندهای احیا کننده افزایش می یابد . در حالیکه در مقادیر ۵۰۰ میکرومولار کاهش غلظت قند در برگها دیده میشـود . در ریشـه ها با افزایش میزان یون مقدار قند کاهش می یابد (نمودار ۴).

محتـوای پروتئینی برگها در دو غلظت ۱۰ و ۵۰ میکرومولار یک رابطه مثبـت با مقدار یون نشـان داد که ایـن رابطه درغلظت هـای ۱۰۰و ۵۰۰ میکرون منفی بود .

مقدار پروتئین ریشه ها در غلظت های ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ افزایش یافت در صورتیکه در غلظت ۵۰۰ میکرومولار یون افزایشی دیده نشد(نمودار ۵).

بحث و نتیجه گیری

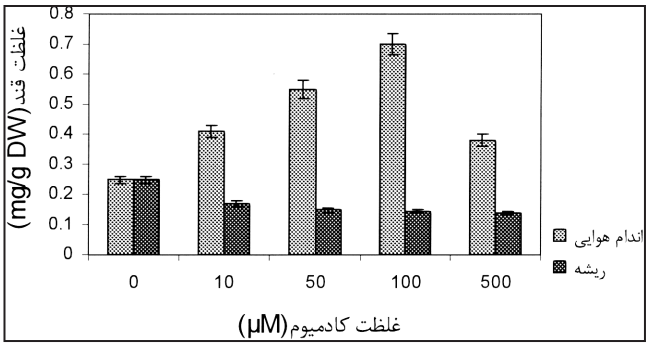
رشد طولی اندام در ارتباط با تقسیم سلول و نیز رشد طولی آن می باشد (۳۵). در حضـور یون کادمیوم رشـد طولی Rو S هر دو کاهش نشـان داد (نمودار ۱). یون کادمیوم تقسـیم سـلولهای منطقه مریستمی همچنین رشد سـلولهای منطقه رشـد سـلول را نیز متوقف می کند . از طرف دیگر تمایز زودرس و چوبی شدن دیواره سلولهای واقع در منطقه رشد طولی سلول می تواند از دلایل دیگر کاهش رشـد ریشه باشد که این اثر همراه با تغییر رنگ ریشه نیز خواهد بود(۱۲). مشاهدات حاصل از این تحقیق نیز حاکی از تغییر رنگ ریشـه بود و ریشـه ها ظاهر نرم و به رنگ قهوه ای بودند که با نتایج حاصـل از تحقیق Heal و Ormord در سـال ۱۹۸۲ مطابقت دارد. کاهش بیشتر رشـد در ریشه ها نسبت به اندام هوایی می تواند به علت تجمع یون بیش از حد تحمل سلولهای ریشه (۲۱) یا به علت سمیت زدایی داخل سلولی یون کادمیوم در اندامهای هوایی (۳) باشد .

کاهش در وزن تر و خشک اندامها و بویژه ریشه ها که در نمودار ۲ دیده می شود احتمالا همانطوریکه Schikler و Caspi گزارش کرده اند به علت اختلال در متابولیسم کلی سلولها می باشد (۲۶). همچنین گزارش شده است

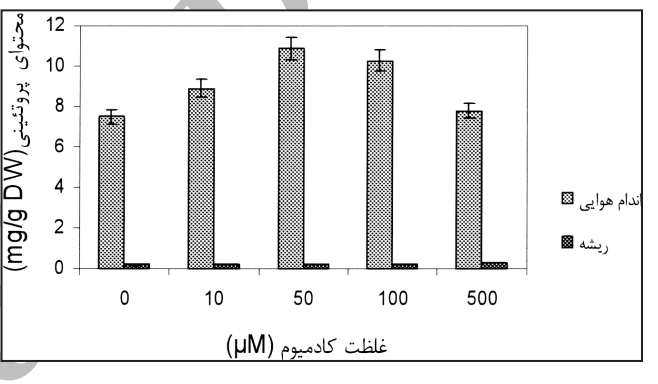
جدول ۲-داده های مربوط به مقادیر کلروفیل a . b و کلروفیل کل (اعداد شامل میانگین ± خطای استاندارد است $p \leq ۵٪$).

کلروفیل کل (mg/g FW)	کلروفیل b (mg/g FW)	کلروفیل a (mg/g FW)	
۶/۲±۰/۲۳	۱/۶±۰/۰۸	۴/۶±۰/۱۵۵	۰
۴/۱±۰/۲۸	۱/۰۵±۰/۰۵۸	۳/۱±۰/۲۲۴	۱۰
۴/۱±۰/۰۴۲	۱/۱۲±۰/۰۲۱	۳/۰±۰/۰۳۵	۵۰
۳/۲±۰/۰۶۵	۰/۸۷±۰/۰۳۰	۲/۳±۰/۰۱۳	۱۰۰
۲/۷±۰/۳۱	۰/۶۴±۰/۰۸۱	۲/۰±۰/۲۵	۵۰۰

Archive of SID
www.SID.ir



نمودار ۴: محتوای قندهای احیاکننده در تیمارهای یون کامیوم در برگ و اندام هوایی



نمودار ۵: محتوای پروتئین کل در تیمارهای متفاوت یون کادمیوم متفاوت در برگ ساقه و ریشه

این یون از طریق تشکیل پیوند با گروه های سولفیدریل پروتئین ها و آنزیم ها می تواند باعث اختلال در متابولیسم سلول گردد(۸). ویا از طریق تشکیل رادیکالهای آزاد اکسیژن به طور غیر مستقیم اثرات نامطلوبی بر متابولیسم سلول بگذارد(۲۶). نتایج حاصل از مطالعه دانشمندان نشان داده است که میزان پراکسیداسیون لیپیدها به علت افزایش مقدار پراکسید هیدروژن در سلول در حضور یون کادمیوم افزایش می یابد . این وضعیت باعث برهم خوردن تعادل آبی و تغذیه ای سلول شده که این یکی از مهمترین دلایل کاهش وزن گیاه می باشد (۳). همانطور که از نتایج مشاهده می شود این اختلال بیشتر در ریشه ها دیده می شود .

انتقال یون به اندام هوایی و در نهایت تجمع آن در سلولهای برگ بافت بروز علایم مورفولوژیک و فیزیولوژیک تنش یون در برگ می شود . که از شاخص ترین این علایم کلروزگی است (۱۵). که این علایم به وضوح در تیمار با کادمیوم در این تحقیق نیز مشاهده شد. گزارش شده این کلروزگی به علت بیوسنتز ناقص کلروفیل بوده (۲۴) و یا کادمیوم باعث احیای ناقص پروتوکلروفیل شده و با مهار آنزیم لوونیک سنتاز باعث کاهش مقدار کلروفیل می شود(۱۹) بنابراین محتوای کلروفیل برگ به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد . نتایج حاصل از این تحقیق نیز بیانگر کاهش چشمگیری در مقدار کلروفیل برگ می باشد(نمودار ۳) و با نتایج گزارش شده از دیگر محققان هم خوانی دارد (۱۹، ۲۴).

از طرف دیگر وجود کادمیوم در سلولهای برگ باعث کاهش میزان کاروتنوئیدها می شود که در این تحقیق هم کاملا این اثر مشاهده شد (نمودار ۳). بر هم کنش بین یون کادمیوم و یون منگنز در سلول می تواند دلیل احتمالی مهار انتقال الکترون در سطح کمپلکس شکست آب باشدکه در نهایت باعث کاهش محتوای رنگیزه های فتوسنتزی کلروفیل و کاروتنوئید می شود (۱۶). بسیاری از تحقیقات نشان داده است که با ورود کاتیون Cd^{+2} به سلولهای برگ سرعت تنفس کند شده همچنین تغییرات فراساختاری در اندامکهای سلول بوجود خواهد آمد (۳۴). به علاوه رفتار آنزیم های کلیدی چند مسیر متابولیک تغییر می کند. پیشنهاد شده است که وجود Cd^{+2} در سیتوسول سلولهای برگ باعث افزایش فعالیت آنزیمهای تجزیه کننده قند های غیر محلول و اسید اینورتاز و سوکروز سنتاز می شود (۳۴). بنابراین با اینکه فتوسنتز کاهش می یابد غلظت قندهای احیا کننده زیاد می شود که البته این افزایش در این تحقیق معنی دار نبود (نمودار ۴). احتمالا در ریشه به علت مصرف شدن قند در جهت سنتز پروتئینها و پلی پپتیدهایی از جمله فیتوشلاتین ها و گلوتاتیون غلظت قند کاهش می یابد.

همانطور که در نمودار ۵ دیده می شود با افزایش کاتیون $Cd2+$

جدول ۳- محتوای پروتئینی و قند در اندام هوایی و ریشه گیاهک کلزا

محتوای پروتئینی ریشه (mg/g FW)	محتوای پروتئینی اندام هوایی (mg/g FW)	محتوای قند اندام هوایی (mg/g DW)	محتوای قند اندام هوایی (mg/g FW)	غلظت کادمیوم (µM)
۰/۲۰±۰/۰۵۴	۰/۱±۷/۵	۰/۲۵±۰/۱	۰/۲۵±۰/۰۳۲	۰
۰/۲۲±۰/۰۸۴	۰/۰۹۹±۸/۹	۰/۱۷±۰/۰۸۶	۰/۴±۰/۰۴۲	۱۰
۰/۲۴±۰/۰۲۱	۰/۱±۱۰/۸۷	۰/۱۵±۰/۰۲۱	۰/۵۳±۰/۰۵۶	۵۰
۰/۲۵±۰/۰۱۵	۰/۱۵±۱۰/۲۵	۰/۱۴±۰/۰۷۴	۰/۶۷±۰/۰۱	۱۰۰
۰/۳۳±۰/۰۸۹	۷/۸±۰/۱۲	۰/۱۲±۰/۰۴۳	۰/۳۵±۰/۰۶۵	۵۰۰

(اعداد شامل میانگین خطای استاندارد است ٪ ۵ p).

www.SID.ir

، محتـوای پروتئینـی در غلظت هایی کمتر افزایش یافـت که احتمالا این افزایش همانطور که Feduic و Erdei گزارش کرده است می تواند به علت افزایش مقدار بعضی آنزیم ها از جمله آنزیم های تجزیه کننده قندها و یا به خاطر سنتز پروتئینها و پلی پپتیدهای درگیر در سیستم دفاعی سلول در برابر یون باشـد (۹). گزارشاتی مبنی بر افزایش پروتئینهایی مثل فیتوشلاتین ها وجود داردکه این پروتئین ها به دلیل داشـتن گروههای سولفیدریل موجود در سـاختمان آمینواسید سیستئین خود قادر به تله انداختن این کاتیون و در نتیجه کاهش خسـارت ناشی از اثر این فلز هستند (۲۶). گزارش شده است که افزایش میزان پروتئین می تواند به علت افزایش mRNA باشد که باعث افزایش مقدار کل پروتئین خواهد شد (۱۳). از طرفی نتایج دانشمندان نشان داده اسـت که در غلظت های بالای یون کادمیوم به علت از دسـت رفتن ساختمان پروتئینی و تغییر در پروتئین در اثر تنش اکسیداتیو میزان پروتئینها کاهش نشان می دهد (۱۰) که این نتیجه در غلظت ۵ در غلظت ۱۰۰و ۵۰۰ میکرومولار مشاهده می شود.

نتایج این بررسـی نشان می دهد که افزایش غلظت یون کادمیم حتی در غلظت های ۵۰ میکرومولار باعث اثرات برگشت ناپذیری بر گیاهک کلزا شده که این اثرات بوضوح قابل مشاهده است . در طول مدت بررسی انجام شـده این اثرات به میزان بسـیار کمی در غلظت ۱۰ میکرومولار یون د شد بنابراین احتمالاً این گیاهک در این مدت میتواند در این غلظت مقاومت نشـان دهد در حالیکه غلظت های بالاتر اثرات برگشـت ناپذیری بر رشـد گیاهک خواهد گذاشـت. البته باید توجه شـود که گیاهک صرفاً در معرض تک یون کادمیوم بوده و نباید نتایج حاصل از این تحقیق به گیاه جوانی که در خاک رشد می کند تعمیم داده شود . بنابراین لازم است تحقیق بیشتر در مورد گیاهانی که در خاک آلوده رشـد می نماید انجام شـود و مسایلی چون قدرت تبادل خاک و روابط سینرژیسـمی و آنتاگونیسـتی بین یونها در نظر گرفته شود .

منابع مورد استفاده

1- Alloway, B. J., 1995. Heavy metals in soils. 2 nd ed . Blackie Academic & Professional Publisher, London 368 p.

2- Balsberg Pahlsson, A. M., 1989. Toxicity of heavy metal (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. Water, Air, Soil Pollut. 47: 287-314.

3- Barcele J., Poschenrieederc. 1990. plant water relation as effected by heavy metal stress: A review, J. Plant Nutr. 13: 1-37.

4- Baszynski T. , 1986. Interference of cadmium in functioning of the photosynthetic apparatus in higher plants. Acta Society Botanica Poland. 55: 291 – 304.

5- Bazzaz, F. A. Rolfe G. L. and Carlson R. W., 1974. Effects of cadmium on photosynthesis and transpiration in excised leaves of corn and sunflower. Plant Physiology. 32: 373 – 376.

6- Breckle, S. W. and Kahle, H. 1992. Effects of toxic heavy metals (Cd, Pb) on growth and mineral nutrition of beech (*Fagus sylvatica L.*) Vegetation. 101: 43 – 53.

7- Braude, G. L. Nash A. M. wolf, W. J., Carr, R. L. Chaney, R. L., 1980. Cadmium and lead content of soybean products. J. food Sci. 45: 1187-1189.

8- Dabin, Marefante, E. Mousny, J. M. Mythenaeree 1978.Absorption, distribution and binding of cadmium ad zinc in irrigated rice plants. Plant and soil. 50: 329-341.

9-Fediuc, E., Laszlo Erdei. 2002. Physiological and biochemical aspects of cadmium toxicity and protective mechanisms induced in phragmites Australia and *Typha latifolia.* J. Plant Physiol. Accepted November 2002.

10- Gallego S. M., Bonavides M. P., Tomaro M. L., 1999. Effect of cadmium ion antioxidant defense system in sunflower contyledons. Biologia Plantarum. 42: 49-55.

11- Haag- Kerwer, A., Holger J. Schafer, Senta Heiss, Cornelia Walter and Thomas Rausch.1999; Journal of Experimental Botany . 50 (341) : 1827 – 1835.

12- Heale, E. L. and Ormrod, D. P., 1982. Effects of nickel and copper on Acerrubrum, *Cornus stolonifera, Lonicera tatarca* and *Pinus resinosa*. Can. J. Bot. 60: 2674 – 2681.

13- Hirt, H. Casari, G., Barta, A., 1989. Cadmium echanced gene expression in suspension culture cells of tobacco. Planta. 179: 414 – 426.

14- Kabata – Pendias, A., Pendias, H., 1992. Trace elements in soils and plants. 2. CRC press, Boca Raton, FL. ISBN 0-8493 – 6643. pp: 131 -142.

15- Kahle, H., 1993. Response of roots of trees to heavy metals. Environ Exp Bot. 33:99-119.

16- Lagriffoul, A., B. Mocquot, M. Mench and J. Vangronsveld, 1998. Cadmium toxicit effects on growth and chlorophyll contents and activities of stress related enzymes in young mayz plants (*Zea mays*). Plant and soil. 2000: 241 – 250.

17- Larsson, E. H., Bornman J. F., [illegible] H., 1998. Influence of uv – B Radiation and cadmium on chlorophyll flurescence *Brassica napus*. Journal of experimental botany . 49 – 1031 – 1039.

18- Lichtenthaler, H. K. 1994. Chlorophylls and carotenoids pigments of photosynthetic. Biol Membrance. Methods in enzymology 148: 350 – 382.

19-Llamas, A., Cornelia I. Ullrich and Ampro sanz , 2000. Cadmium effects on transmembrance electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oryza sativa*) roots. Plant and soil. 219 : 21-28.

20- Lowry, O. H., N. J. Rosebrough, A. L. Farr, R. J. Randall. 1951. protein measurement with the folin- phenol reagent. Journal of Biological Chemistry 193: 265-275.

21- Mclaughlin, M. J. M. J. Bell, G. C. Wright and G, D. Cozens, 2000. Uptake and partitioning of cadmium by cultivars of peanut (*Arachis hypogea L.*). Plant and soil. 222:

Archive of SID
www.SID.ir

on prolin accumulation and ribonuclease activity in rice seedlings, role of prolin as a possible enzyme protectant. Biol. Plant. 40: 121 – 130.
30-Shah, K., Dubey, R. S., 1998b. Cadmium elevated level of prolin, aminoacids and alter activity of proteolitic enzymes in germinating rice seeds. Acta Physiol. Plant. 20: 189-196.
31-Somogy, M., 1952. Notes on sugar dtermination. J. Biol. Chem. 195: 19-29.
32- Speiser, D. M., Abrahamsn, S. L., Banucles, G. qw DW., 1992. *Barassica Juncea* produces a phytochelatin-cadmium sulfide complex. Plant Physiology. 199: 817-821.
33-Van Assche, F., Clijsters, H., 1985. Inhibition of photosynthesis by heavy metals. Photosynthesis Research. 7: 31 -40.
34-Verma, S. and R. S. Dubey, 2001. Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of heir metabolism in rice. Biologia Plantarum. 1: 117- 123.
35- Woolhause, H. W., 1983. Toxicity and tolerance in the response of plants to metals . In Encyclopedia of plant Physiology, New series (O.L . Lange, P. S. Nobel, C. E. Osmond and H. Zeigler, eds), Vol. 12c, physiological plant ecology III, Responses to the chemical and biological environment. Pp: 245-300. Springer – Varlag. Berlin, ISBN 3-540- 10907-2.
51 -58.
22- Moya, J. L., Ros, R. and Picazo, J., 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. Photos Res. 36: 75-80.
23- Nellessen, J. E., Fletcher, J. S. 1993. Assessment of published literature on the uptake, accumulation and translocation of heavy metals by vascular plants. Chemosphere 9: 1669 – 1680.
24-Padmaja, K., Prasad, DDK, Prasad ARK, 1990. Inhibition of chlorophyll synthesis in *Phaseolus vulgaris* L. seedling by cadmium acetate. Photosynthetica. 24: 399-405.
25- Salt, D. E., Prince, R. C., Pickering, I. J., Raskin, I., 1995. Mechanisms of cd mobility and accumulation in India Mustard. Plant Physiology. 199: 816- 821.
26- Schickler, H., and Hadar caspi, 1999. Response of the genus Alyssum . Physiol plant. 105: 39-45.
27- Shah, K., Dubey, R. S., 1995. Effects of cadmium on RNA level as well as activity and molecular from of ribonuclease in growing rice seedlings . Plant Physiol. Biochem. 33: 577-584.
28- Shah, K., Dubey, R, S. 1998a . A 18 Kda cadmium inducible protein complex, its isolation and characterization from rice (*Oryza sativa L.*) seedlings. Plant Physiol. 152: 448-454.
29- Shah, K., Dubey, R. S., 1997 / 1998. Effects of cadmium

Archive of SID

www.SID.ir