اثر کادمیوم روی برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک گندم در مرحله گیاهچه‌ای

بابک صارمی راد[۱]، عزت‌اله اسفندیاری[۲،*]، مجید شکرپور[۳]، امید سفالیان[۱]، آرمن آوانس[۴] و سید بهمن موسوی[۵]

[۱] اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات

[۲] مراغه، دانشگاه مراغه، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات

[۳] کرج، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، گروه علوم باغبانی

[۴] مراغه، دانشگاه مراغه، دانشکده علوم پایه، گروه شیمی

[۵] مراغه، دانشگاه مراغه، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۱۴

چکیده

کادمیوم به عنوان یک عنصر فلزی سنگین، نقش مهمی در آلودگی محیط و ایجاد سمیت و تنش در موجودات زنده ایفا می‌کند. به‌منظور بررسی اثر کادمیوم بر رشد و نمو گندم، پنج رقم گندم نان و دوروم به روش هیدروپونیک در مقادیر مختلف کادمیوم مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کادمیوم در کلیه صفات بجز شاخص تحمل وزن خشک ریشه و طول ریشه معنی‌دار بود. میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ارقام گندم با قرار گرفتن در معرض کادمیوم افزایش یافت. ارقام دوروم تجمع بیشتری نسبت به ارقام گندم نان نشان دادند. کادمیوم سبب کاهش بیومس (وزن خشک کل)، وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه گیاهچه‌های گندم گردید. در این بین میزان تولید ماده خشک کل و اندام‌هوایی در مقایسه با ریشه حساسیت بیشتری به کادمیوم نشان داد. ویژگی‌های فیزیولوژیک شامل هدایت روزنه‌ای، میزان کلروفیل و Fv/Fm نیز با افزایش کادمیوم دارای روند کاهشی بود. درمجموع، نتایج مطالعه حاضر حکایت از تأثیر کادمیوم بر کلیه فرایندهای رشدی گندم و نیز تفاوت قابل ملاحظه ژنوتیپ‌های گندم در سطح بین و درون گونه داشت.

واژه‌های کلیدی: گندم دوروم، شاخص تحمل، کادمیوم، گندم نان.

[*] نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۱-۳۷۲۷۳۰۶۸، پست الکترونیکی: esfand1977@yahoo.com

مقدمه

کادمیوم ازجمله فلزات سنگین می‌باشد که امروزه به عنوان یک عامل مهم آلوده کننده محیط، با سمیت بسیار بالا برای حیوانات و گیاهان به‌شمار می‌آید. این عنصر در اثر استفاده از فاضلاب کارخانه‌های صنعتی و شهری (۵) به همراه مصرف بی‌رویه حشره‌کش‌ها (۶) و مقادیر بالای کودهای شیمیایی به ویژه فسفاته (۳) در زمین‌های زراعی در حال افزایش است. کادمیوم عنصری غیر ضروری برای انجام فرایندهای حیاتی متابولیسم و رشد و نمو گیاه می‌باشد (۵ و ۱۰). این عنصر در خاک از تحرک بالایی برخوردار است و در صورت حضور در محیط ریشه به راحتی جذب گیاه شده و به اندام‌های هوایی گیاه انتقال می‌یابد (۲۶). گونه‌ها و ارقام گیاهی به میزان زیادی از نظر توانایی جذب، تجمع و تحمل کادمیوم متفاوت هستند (۲۲). براساس میزان کادمیوم در گیاهانی که به صورت تجاری کشت می‌شوند،

آفتابگردان، کتان، برنج و گندم دوروم به‌عنوان تجمع‌کنندگان کادمیوم شناسایی شده‌اند و اغلب بیش از ۰/۱ میلی‌گرم کادمیوم به ازای یک کیلوگرم ماده خشک دارا هستند (۲۱). در ایران گزارش‌هایی دال بر تجمع کادمیوم در برخی محصولات زراعی به‌ویژه برنج و سیب زمینی وجود دارد. در بادام‌زمینی، پوشش دانه (تستا) ده برابر کادمیوم بیشتری نسبت به خود دانه دارد. مقدار کادمیوم در گندم بهاره، جو، یولاف و ذرت به طور معمول کمتر از $mgkg^{-1}$ ۰/۱ است (۲۴). تجمع و توزیع کادمیوم در گیاه با توجه به گونه، رقم و شرایط رشدی و حضور سایر عناصر متفاوت است (۱۶).

سمیت کادمیوم در گیاه ناشی از واکنش این عنصر با گروه سولفیدریل موجود در ساختار آنزیم‌ها و پروتئین‌هاست (۸). بعلاوه اینکه مقادیر بالای کادمیوم به دلیل ایجاد اختلالات متابولیسمی، تولید انواع اکسیژن فعال را در سلول افزایش داده و منجر به وقوع تنش اکسیداتیو در گیاه می‌گردد (۱۴). همچنین کادمیوم سبب پیچش برگی، کلروزه و نکروزه شدن برگ‌ها، قرمز و قهوه‌ای شدن حاشیه برگ‌ها، کاهش سطح برگ، کاهش ماده خشک کل، قهوه‌ای شدن ریشه و کاهش رشد گیاه می‌شود (۸). بازدارندگی جوانه‌زنی ازجمله اثرات شناخته شده فلزات سنگین است. بین بازدارندگی جوانه‌زنی بذر و غلظت کادمیوم، رابطه همبستگی خطی وجود دارد (۱۲). کاهش قدرت جوانه‌زنی ممکن است در ارتباط با اثرات منفی کادمیوم بر جذب و حرکت آب باشد. از طرفی کادمیوم بر فرایندهای فیزیولوژیک و متابولیک گیاه مانند تنفس، فتوسنتز، روابط آبی گیاه و تبادلات گازی روزنه‌ها اثر منفی دارد. همچنین این عنصر در مسیر بیوسنتز کلروفیل، اجزای چرخه کالوین و واکنش‌های نوری فتوسنتز اختلال ایجاد می‌کند (۱۴).

کادمیوم به دلیل تحرک بالا در خاک و جذب آسان آن توسط گیاه به راحتی وارد زنجیره غذایی انسان می‌گردد. نیمه عمر بالای این عنصر در بدن انسان (۱۰ تا ۳۰ سال) سبب شده تا کادمیوم مستعدترین فلز برای تجمع در بدن باشد (۴). به همین دلیل این عنصر برای انسان فوق‌العاده سمی است. علاوه بر موارد یاد شده، کادمیوم با کاهش رشد و نمو و عملکرد گیاهان ازجمله گندم همانند دیگر تنش‌های محیطی می‌تواند امنیت غذایی انسان را به خطر بیندازد. مطالب فوق حکایت از اهمیت مطالعه در خصوص رفتار و پاسخ ارقام و ژنوتیپ‌های گندم به عنصر سمی کادمیوم دارد. بنابراین در این پژوهش ۵ رقم گندم (۳ رقم گندم نان و ۲ رقم گندم دوروم) انتخاب و اثر مقادیر متفاوت کادمیوم روی رشد با استفاده از برخی پارامترهای ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روشها

به‌منظور بررسی اثرات کادمیوم بر رشد و واکنش‌های فیزیولوژیک و زراعی گندم، سه رقم گندم نان (آرتا، کوهدشت و گاسکوژن) و دو رقم گندم دوروم (PGS و PG-1252) در مقادیر مختلف این عنصر (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲ و ۵ میلی‌مولار) به روش هیدروپونیک کشت و در مرحله گیاهچه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور جوانه‌زنی یکنواخت و داشتن گیاهچه‌های همسان، بذرهای هم‌وزن ارقام گندم انتخاب و با محلول ۱۰٪ هیپوکلریت سدیم به مدت ۲۰ دقیقه ضدعفونی شدند. بعد از سپری شدن این مدت بذرها چندین دفعه با آب مقطر شسته شد. سپس بذرهای ضدعفونی شده به پتری‌دیش‌های ۹ سانتی‌متری انتقال و در ژرمیناتور در دمای ۱± ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت ۵ ±۶۵ درصد جوانه‌دار شدند. بذرهای جوانه‌دار شده در گلدان‌های به ابعاد ۲۷×۳۷ سانتیمتر و عمق ۳۰ سانتیمتر به‌ترتیب در فاصله ردیف و بین بوته ۱۰ و ۵ سانتیمتر نشا شدند. گلدان‌های حاوی پرلیت و ورمیکولیت (نسبت ۲:۱ حجمی-حجمی) نشا شدند. گلدان‌های محتوی گیاهچه‌های گندم هفته اول با آب معمولی یک روز در میان آبیاری شد. با اتمام اندوخته

بذرها از محلول غذایی با pH حدود ۵/۵ استفاده گردید. ترکیب عناصر غذایی مورد استفاده در طول دوره رشد شامل عناصر پرمصرف ($Ca(NO_3)_2$، KNO_3، $MgSO_4$، KH_2PO_4 به‌ترتیب در مقادیر ۲/۵، ۳، ۱/۵ و ۰/۱۷ میلی‌مولار) و کم مصرف ($FeSO_4$، H_3BO_3، $MnSO_4$، $ZnSO_4$، $CuSO_4$، H_2MoO_4 به‌ترتیب در مقادیر ۵۰، ۲۳، ۵، ۰/۴، ۰/۲ و ۰/۱ میکرومولار) بود (۱۳). بعد از رسیدن گیاهچه‌های گندم به مرحله ۴-۳ برگی به محلول غذایی مقادیر ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲ و ۵ میلی‌مولار کلرید کادمیوم اضافه شد. اعمال تیمارهای مذکور به مدت ۲۴ روز ادامه یافت. از محلول غذایی نیز به عنوان شاهد استفاده گردید.

اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل و میزان کلروفیل: پس از گذشت ۲۴ روز از اعمال تیمارهای مختلف کادمیوم، برگ سوم هر بوته انتخاب و پارامترهای هدایت روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل و میزان کلروفیل به روش زیر سنجش شد.

میزان کلروفیل براساس قرائت دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD-502 Plus ساخت شرکت Konica Minolta) اندازه‌گیری شد. این دستگاه به طور خودکار با اندازه‌گیری طیف جذبی در محدوده نور آبی (۵۰۰-۴۰۰ نانومتر) و در محدوده نور قرمز (۶۰۰-۵۰۰ نانومتر) میزان کلروفیل را به صورت غیر تخریبی تعیین می‌کند. به‌منظور کاهش خطا برای هر تکرار ۳ بار قرائت انجام شد و از میانگین آنها به‌عنوان اندازه‌گیری مربوط به هر تکرار استفاده شد.

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیلa از دستگاه قابل حمل فلورومتر (OS-30p ساخت شرکت OPTI-SCIENCES) استفاده شد. به این منظور با استفاده از گیره‌های مخصوص دستگاه قسمت میانی برگ‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی کامل قرار گرفتند تا تمامی ناقل‌های موجود در زنجیر انتقال الکترون کلروپلاستی به فرم اکسید خود در آید که اصطلاحاً به آن باز شدن زنجیر انتقال الکترون کلروپلاستی اطلاق می‌گردد. بعد از گذشت زمان یاد شده نوری با شدت ۳۰۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع در ثانیه به مدت ۴ ثانیه بر روی برگ‌ها تابانده شده و میزان کارایی حداکثر فتوسیستم II اندازه‌گیری بدست آمد.

هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پورومتر برگ (ساخت شرکت Decagon آمریکا) مورد سنجش قرار گرفت. هدایت روزنه‌ای تابعی از تراکم، اندازه و درجه باز شدن روزنه‌هاست. دستگاه پورومتر برگ، هدایت روزنه‌ای را از طریق قرار دادن هدایت یک برگ در مجموعه‌هایی با دو عنصر با هدایت مشخص و مقایسه میزان رطوبت بین آنها اندازه‌گیری می‌کند. به این منظور برگ طوری داخل گیره دستگاه قرار داده شد که سطح زیرین آن مقابل حس-گر قرار گیرد. لازم به ذکر است، به‌منظور تأمین یکنواختی شرایط اندازه‌گیری، کلیه اندازه‌گیری‌ها در یک زمان مشخص در طول روز یعنی ساعت ۱۱ صبح انجام شد.

اندازه‌گیری میزان کادمیوم موجود در اندام هوایی و ریشه: اندام هوایی و ریشه نمونه‌های گیاهی خشک شده به‌منظور تعیین میزان کادمیوم ابتدا پودر شد و بعد از آن با استفاده از ترکیب HNO_3-$HClO_4$ هضم گردید. محلول حاصل گرم شد تا بخارات اسیدی از آن خارج شود. سپس حجم محلول به ۲۵ میلی‌لیتر رسید و از کاغذ صافی عبور داده شد. غلظت کادمیوم محلول با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AA-6300 ساخت شرکت SHIMADZU) مورد سنجش قرار گرفت (۱). برای تعیین میزان تجمع کادمیوم در اندام‌ها، باید به این مسأله توجه داشت که بذرهای مورد استفاده در آزمایش ممکن است حاوی مقادیر کمی کادمیوم باقیمانده از گیاه پایه مادری باشند که طی جوانه‌زنی و رشد در اندام‌هوایی و ریشه گیاهچه توزیع شده است. از این‌رو به‌منظور جلوگیری از اشتباه ناشی از این مقادیر اولیه در مقایسه سطوح تیماری کادمیوم، از انحراف میانگین تیمارهای کادمیوم نسبت به شاهد در مورد صفات میزان تجمع کادمیوم ریشه و اندام هوایی استفاده شد.

جدول۱- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در ارقام گندم مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کادمیوم اندام هوایی	کادمیوم ریشه	کادمیوم ریشه/اندام هوایی		شاخص تحمل وزن خشک اندام هوایی	شاخص تحمل وزن خشک ریشه	شاخص تحمل طول اندام هوایی	شاخص تحمل طول ریشه
رقم	۴+	۰/۴۰۲**	۰/۶۳۸**	۲۰/۴۶۱*	۴	۰/۰۰۵	۰/۷۵۷	۰/۰۳۹۹*	۰/۱۱۲۳*
کادمیوم	۴	۵۶/۸۹۲**	۲/۹۶۱**	۷/۲۳۴	۴	۰/۰۳۳۴**	۰/۴۰۵	۰/۰۲۲**	۰/۰۳۲
رقم×کادمیوم	۱۶	۰/۳۷۳**	۰/۰۵۶**	۶/۱۱۵	۱۶	۰/۰۰۴	۰/۰۶۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶
خطا	۴۶	۰/۰۱۸	۰/۰۱۹	۵/۷۳۷	۲۵	۰/۰۰۶	۰/۲۹۰	۰/۰۰۲	۰/۰۳۹

**،* به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

+ تفاوت در درجه آزادی خطا ناشی از تفاوت در تعداد نمونه‌ها در اندازه‌گیری‌های مختلف است.

ادامه جدول ۱-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		هدایت روزنه‌ای	Fv/Fm	کلروفیل	بیوماس
رقم	۴	۲۶۲۱/۰۴۷۷*	۰/۰۰۰۸**	۲۳/۵۲۰	۰/۰۱۱۷**
کادمیوم	۵	۱۳۲۴۸/۸۲۷**	۰/۰۰۶۷۸**	۳۸۲/۳۰۸۳**	۰/۰۴۴۴**
رقم×کادمیوم	۲۰	۱۰۰۳/۷۹۲	۰/۰۰۰۱۰	۴/۶۷۶	۰/۰۰۰۶**
خطا	۳۰	۶۴۶/۷۱۷	۰/۰۰۰۱۲	۱۱/۷۷۴	۰/۰۰۰۱۷

اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با رشد گیاه: وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه پس از خشک شدن نمونه‌های گیاهی در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت ثبت شد. به‌منظور تعیین تأثیر تیمارهای کادمیوم بر وزن خشک و طول اندام هوایی و ریشه و ممانعت از تأثیر بنیه اولیه گیاهچه‌ها در تعیین این کمیت‌ها، از شاخص تحمل که از طریق نسبت میانگین صفت مورد نظر در تیمار کادمیوم به میانگین آن در تیمار شاهد بدست آمد، استفاده شد (۱۱).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه واریانس داده‌های آزمایش به صورت کرتهای خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. قبل از تجزیه واریانس آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش کولموگروف و اسمیرنوف (۲۸) برای کلیه صفات انجام گردید. مقایسه میانگین به روش LSD در سطح ۵ درصد برای اثرهای معنی‌دار در جدول تجزیه واریانس صورت گرفت. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS v.16 انجام شد.

نتایج

تجزیه واریانس صفات براساس طرح کرت‌های خرد شده نشان داد که در کلیه صفات اثر خطای اصلی و نیز اثر متقابل بلوک در رقم معنی‌دار نبود. از این‌رو، با ادغام خطای اصلی و خطای فرعی، آزمایش به صورت فاکتوریل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کادمیوم در کلیه صفات مورد بررسی به جز شاخص تحمل وزن خشک و طول ریشه معنی‌دار بود. به‌طوری‌که به غیر از میزان کلروفیل و شاخص تحمل وزن خشک ریشه و اندام هوایی، سایر صفات تفاوت قابل ملاحظه‌ای در بین ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه داشتند (جدول۱).

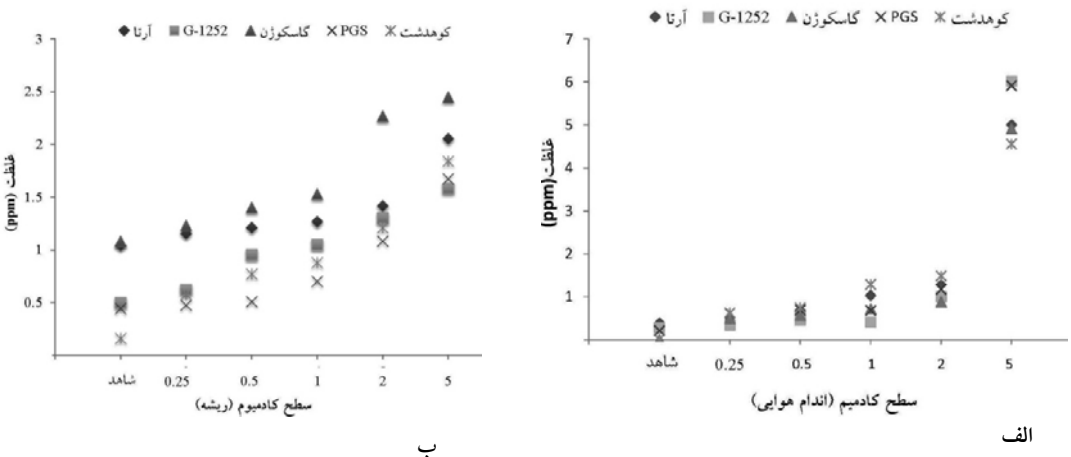
اثر متقابل ژنوتیپ در کادمیوم برای صفات بیوماس کل، میزان تجمع کادمیوم ریشه و اندام هوایی معنی‌دار بود، به عبارت دیگر روند تغییرات ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف کادمیوم برای صفات مذکور متفاوت بود (جدول۱).

مقادیر میانگین صفات نشان داد که میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ارقام گندم با قرار گرفتن در معرض کادمیوم افزایش یافت (شکل ۱). روند تغییرات این عنصر در اندام هوایی کلیه ژنوتیپ‌ها تا غلظت ۲ میلی‌مولار کند بوده ولی در مقدار ۵ میلی‌مولار میزان کادمیوم با شیب تندی افزایش یافت. در سطح ۵ میلی‌مولار، بیشترین و کمترین میزان تجمع کادمیوم به‌ترتیب در PGS و PG-1252 که هر دو از ارقام گندم دوروم بودند مشاهده شد. این در حالیست که در سطوح کمتر کادمیوم، روند ژنوتیپ‌ها کاملاً متفاوت بود، به نحوی که ارقام گندم نان به‌ویژه رقم کوهدشت تجمع بیشتری نسبت به ارقام دوروم داشت. در ریشه تجمع کادمیوم با افزایش میزان کادمیوم در محیط با شیب یکنواختی به‌طور خطی افزایش یافت.

جدول۲- مدل‌های رگرسیونی تجمع کادمیوم در ارقام گندم مورد مطالعه (y) در مقادیر مختلف کادمیوم در اندام هوایی و ریشه (x)

x	y	معادله رگرسیون	R^2
ریشه	کوهدشت	Y=0.2979x-0.1373	۰/۹۳۸۳
	PGS	Y=0.2323x-0.0029	۰/۸۱۴۳
	گاسکوژن	Y=0.2881x+0.6523	۰/۹۰۹۶
	PG-1252	Y=0.2161x+0.2455	۰/۹۸۳۷
	آرتا	Y=0.1687x+0.7676	۰/۷۵۵۲
اندام هوایی	کوهدشت	$Y=0.2251x^2-0.837x+0.9672$	۰/۸۸۴۶
	PGS	$Y=0.417x^2-2.0563x+2.4227$	۰/۸۳۵۳
	گاسکوژن	$Y=0.3221x^2-1.516x+1.6836$	۰/۸۱۸۲
	PG-1252	$Y=0.476x^2-2.456x+2.7968$	۰/۸۵۰۵
	آرتا	$Y=0.3269x^2-1.5528x+1.9601$	۰/۸۷۲۳

حداکثر تجمع این عنصر در ژنوتیپ PGS در کلیه سطوح بجز سطح ۲ میلی‌مولار دیده شد (شکل۱-ب). در سطح ۲ میلی‌مولار رقم گاسکوژن تفاوت معنی‌داری با PGS نداشت. اما به‌طور کلی ارقام دوروم تجمع بیشتری نسبت به ارقام گندم نان نشان داد (شکل ۱).



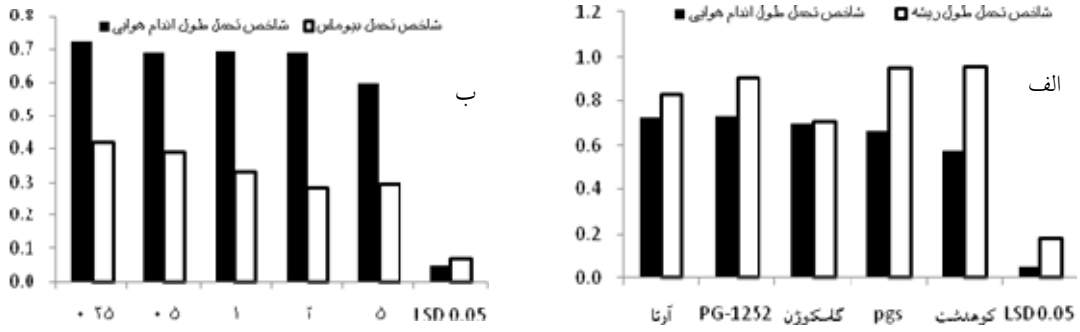
شکل۱- اثر مقادیر مختلف کادمیوم بر تجمع آن در اندام هوایی (الف) و ریشه (ب) در ارقام گندم مورد مطالعه

شاخص تحمل طول ریشه و طول اندام هوایی دارای روند متفاوتی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود (شکل ۲-الف). رقم گاسکوژن دارای کمترین طول ریشه و کوهدشت به همراه ارقام دوروم دارای بیشترین طول ریشه بود. در حالی که از نظر طول اندام هوایی رقم کوهدشت کمترین طول ریشه را به خود اختصاص داد. اما گاسکوژن تفاوت معنی‌داری با ارقام دوروم نداشت. شاخص تحمل طول و وزن خشک اندام هوایی با افزایش میزان کادمیوم کاهش یافت (شکل ۲-ب). البته در مورد شاخص طول اندام هوایی تنها در سطح ۵ میلی‌مولار کاهش معنی‌داری نسبت به سطوح دیگر کادمیوم دیده شد، درحالی که شاخص وزن خشک اندام هوایی در سطوح ۱، ۲ و ۵ میلی‌مولار کادمیوم کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند (شکل ۲-الف).

هدایت روزنه‌ای در مقادیر بالاتر از ۰/۲۵ میلی‌مولار کادمیوم کاهش یافت و شدت افت آن با افزایش غلظت کادمیوم شدیدتر شد. نتایج حاصل نشان داد که میزان این پارامتر در مقادیر ۰/۵، ۱، ۲ و ۵ میلی‌مولار به ترتیب به ۷۱/۸۵، ۴۶/۳۹، ۲۶/۹۹ و ۱۰/۷۶ درصد شاهد رسید (شکل۳).

میزان کلروفیل اندام هوایی ارقام گندم به کادمیوم حساس بوده و با حضور آن کاهش یافت. طبق نتایج حاصل کلیه تیمارهای کادمیوم دارای تفاوت معنی‌دار و کمتر از شاهد بودند. با افزایش کادمیوم میزان کلروفیل نیز دارای سیر نزولی بود. به طوری که میزان کلروفیل در مقدار ۵ میلی‌مولار کادمیوم به ۴۶/۵۸ درصد شاهد افت نمود (شکل۳).

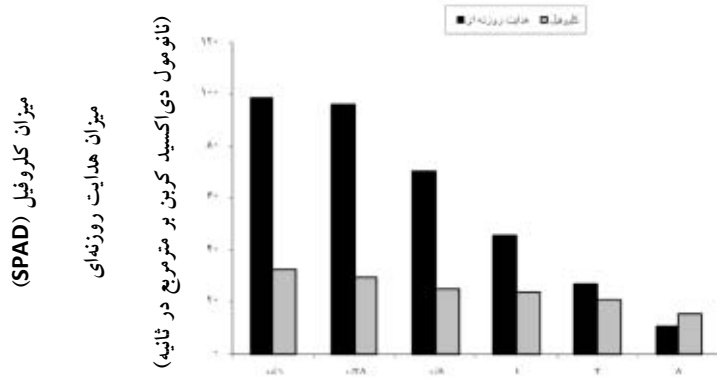
حداکثر کارآیی فتوسیستم II به‌حضور کادمیوم در محیط حساس بوده و با اضافه شدن آن به محیط بطور معنی‌داری کاهش یافت. به نحوی که با افزایش میزان این عنصر کاهش این شاخص نیز بیشتر بود (شکل۴). همچنین نتایج نشان داد که بین ارقام نیز از نظر این شاخص تفاوت وجود داشته و ارقام کوهدشت و PGS کمترین و گاسکوژن بیشترین میزان Fv/Fm را به خود اختصاص دادند (شکل۴).



شکل۲ –میانگین شاخص تحمل طول ریشه (LSD5%=0.183)و اندام هوایی (LSD5%=0.049)در ژنوتیپ‌های مختلف گندم (الف) و شاخص تحمل بیوماس (LSD5%=0.022)و طول اندام هوایی (LSD5%=0.049)در سطوح مختلف کادمیوم (ب)

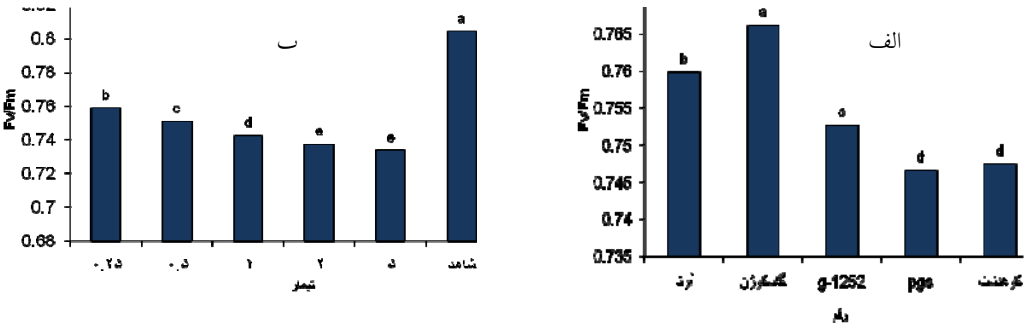
بحث

افزایش و تجمع کادمیوم در تمامی بخش‌های گیاهان مورد مطالعه با زیادتر شدن میزان این عنصر در محیط ریشه توسط ایزدیار و یارقلی (۱۷)، عشقی ملایری (۷)، لیو و همکاران (۱۹) و لوزانو و همکاران (۲۰) گزارش شده‌است. همچنین نتایج تحقیقات نشان داده‌است که در بیشتر گیاهان میزان انباشت کادمیوم در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی است.



شکل۳– میانگین میزان کلروفیل (LSD5%=5.79) و هدایت روزنه‌ای (LSD5%=42.97) در سطوح مختلف کادمیوم

برخی از پژوهشگران معتقدند که به دلیل سمیت کادمیوم برای سیتوسول در فرم آزاد، سلول‌های گیاهی تلاش می‌کنند با استفاده از راهکارهایی نظیر اتصال آن به دیواره سلولی (۱۵)، ذخیره نمودن در واکوئل (۲۰) و شلاته نمودن توسط فیتوشلاتین (۱۵) این عنصر را در ریشه تثبیت نموده و بدین شکل از سمیت آن بکاهند. برآیند این عمل انتقال کم کادمیوم به بخش‌های فوقانی خواهد بود. در این پژوهش نیز در مقادیر کم کادمیوم میزان این عنصر در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی بود (شکل ۱). اما با بیشتر شدن میزان این عنصر در محیط مقدار بیشتری از کادمیوم به اندام‌های هوایی انتقال یافته و میزان بیشتری از این عنصر در بخش‌های فوقانی گیاهچه‌های گندم تجمع یافت (شکل ۱) که حکایت از عدم توانایی گیاهچه‌های ارقام گندم در ممانعت از انتقال به اندام‌های فوقانی داشت.



شکل۴- میانگین شاخص Fv/Fm در ژنوتیپ‌های مختلف گندم (الف) و در سطوح مختلف کادمیوم (ب)

در این پژوهش کادمیوم سبب کاهش طول ریشه (شکل ۲- الف) گردید. کاهش طول ریشه در اثر کادمیوم توسط علومی و منوچهری (۸) در گیاه کلزا گزارش شده‌است. رشد ریشه و افزایش طول آن حاصل انجام تقسیمات سلولی و رشد سلول‌های به وجود آمده است. امروزه مشخص شده است که یون کادمیوم از تقسیم سلولی و رشد سلول‌های حاصل از آن در ناحیه مریستمی جلوگیری می‌کند. همچنین کادمیوم تمایز زودرس و چوبی شدن دیواره سلول‌های واقع در منطقه رشد طولی ریشه را تحریک نموده و از رشد آن ممانعت می‌نماید (۳۱). بعلاوه اینکه بسیاری از محققان گزارش کرده‌اند که در اثر تجمع کادمیوم میزان کاهش رشد ریشه به مراتب بیش از اندام‌های هوایی گیاه است (۸، ۳۲). آنها دلیل این امر را تجمع بیشتر کادمیوم در سلول‌های ریشه عنوان کرده‌اند که در این تحقیق نتایج مشابهی به دست آمد.

افزایش کادمیوم به محیط ریشه کاهش میزان ماده خشک ریشه، اندام‌های هوایی و کل گیاهچه‌های ارقام مورد مطالعه گندم را در پی داشت (شکل۲). کاهش ماده خشک کل توسط برخی از محققان (۷، ۸ و ۳۲) گزارش شده‌است. تولید ماده خشک و رشد و نمو گیاه حاصل اجرای فرایند فتوسنتز و تثبیت دی‌اکسید کربن است (۶). اجرای این فرایند زمینه لازم را برای تولید سایر بیومولکول‌های مورد نیاز سلول نظیر پروتئین‌ها، لیپیدها و ویتامین‌ها فراهم می‌کند (۲). کاهش میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در اثر کادمیوم توسط برخی از پژوهشگران (۱۸،۲۵ و ۳۰) گزارش شده است که در این پژوهش نیز کاهش هدایت روزنه‌ای با افزایش میزان کادمیوم حاصل گردید (شکل ۳). کاهش هدایت روزنه‌ای میزان دسترسی سلول‌های فتوسنتز کننده را به دی‌اکسید کربن، به‌عنوان فاکتور اصلی اجرای فتوسنتز کاهش می‌دهد که برآیند آن عدم تأمین متابولیت‌های مورد نیاز برای رشد و نمو سلول‌های گیاهی است. بعلاوه اینکه اختلال در اجرای فرایند تنفس و تثبیت نیتروژن از دیگر اثرات منفی کادمیوم است که می‌تواند منجر به کاهش تولید ماده خشک گردد. فرایند تنفس علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز سلول، اسکلت کربنی لازم برای تولید سایر بیومولکول‌های حیاتی سلول را تأمین می‌کند (۲). افزون بر این، تثبیت نیتروژن منجر به تولید آمونیوم و نیترات شده که در نهایت به کمک آنزیم های ترانس آمیناسیون، گروه آمین لازم برای تبدیل اسیدهای α-ستنی به اسیدهای آمینه را فراهم می‌آورد. کادمیوم مانع از فعالیت آنزیم نیتروژناز شده و به این ترتیب تثبیت نیتروژن را کاهش می‌دهد. بنابراین اختلال در اجرای این فرایند مانع تأمین کافی و به‌موقع بیومولکول‌های حیاتی سلول خواهد شد که برآیند آن کاهش وزن خشک گیاه است. همچنین کادمیوم با ایجاد اختلالات تغذیه‌ای و برهم زدن تعادل آبی گیاه کاهش وزن خشک را سبب می‌گردد. از طرفی کادمیوم سبب یکسری تغییرات در ساختار اندامک‌های داخل سلول می‌شود. در همین راستا مینویی و همکاران (۹) در مطالعه‌ای بر روی گیاه گندمی گزارش کرده‌اند که تعداد کلروپلاست و تیلاکوئیدهای

موجود در آن در مقادیر ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم در مقایسه با شاهد کاهش یافته است. در حالی‌که ساختار بقیه اندامک‌ها تغییر چندانی نداشته است. اما در مقادیر بالاتر از این میزان، ساختار اندامک‌ها غیرطبیعی شده و تغییر نشان می‌دهند که خود نیز می‌تواند دلیل محکمی بر کاهش تولید ماده خشک به‌شمار آید. همچنین یانگ و همکاران (۳۲) کاهش جذب کلسیم را در اثر افزایش میزان کادمیوم در محیط گزارش کرده‌اند که با توجه به نقش‌های فیزیولوژیک کلسیم در سلول‌های گیاهی می‌تواند از دیگر دلایل کاهش رشد گیاه و تولید ماده خشک محسوب شود.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کادمیوم سبب کاهش میزان کلروفیل (شکل۳) و حداکثر کارایی فتوسیستم II (شکل ۴) گردید. کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش کادمیوم توسط دیگر محققان نیز گزارش شده‌است (۵،۸، ۲۳ و ۲۷). کاهش میزان این رنگیزه ممکن است ناشی از کاهش جذب آهن و منیزیم در حضور کادمیوم باشد. کاهش جذب منیزیم توسط شریعتی و یحیی‌ابدی (۲۷) و یانگ و همکاران (۳۲) و افت جذب آهن توسط یانگ و همکاران (۳۲) در اثر تنش کادمیوم گزارش شده‌است. منیزیم عنصری است که در ساختار کلروفیل شرکت می‌کند. کاهش میزان این عنصر در اثر تنش کادمیوم سبب تجمع پروتوپورفیرین IX در سلول‌های اندام هوایی می‌گردد. این متابولیت برای سلول سمی بوده و تجمع آن افزایش تولید انواع اکسیژن فعال و اکسیداسیون کلروفیل را در پی خواهد داشت (۱۱). آهن علاوه بر شرکت در ساختار آنزیم‌های دخیل در مکانیسم‌های دفاعی سلول، در مسیر بیوسنتز کلروفیل دخیل بوده و کاهش آن میزان این رنگیزه را کم می‌کند. بعلاوه اینکه کادمیوم ممکن است با مهار سنتز δ- آمینولوولنیک اسید و مهار تشکیل پروتوکلروفیلاید ردوکتاز سبب کاهش رنگیزه کلروفیل گردد (۲۰). کاهش حداکثر کارایی فتوسیستم II در اثر کادمیوم توسط واسیلوف و همکاران (۲۹) نیز گزارش شده‌است.

براساس نتایج حاصل از این پژوهش، به‌عنوان نتیجه نهایی، می‌توان اظهار داشت که کادمیوم سبب بروز یکسری تغییرات فیزیولوژیک نظیر کاهش کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و حداکثر کارایی فتوسیستم II می‌گردد. بعلاوه اینکه برآیند این عوامل سبب کاهش رشد و نمو گیاه و تولید ماده خشک خواهد شد. میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ارقام گندم با قرار گرفتن در معرض کادمیوم افزایش یافت. ارقام دوروم تجمع بیشتری نسبت به ارقام گندم نان نشان داد. در سطح ۵ میلی‌مولار، بیشترین و کمترین میزان تجمع کادمیوم به‌ترتیب در PGS و PG-1252 که هر دو از ارقام گندم دوروم بودند، مشاهده شد. این در حالیست که در سطوح کمتر کادمیوم، روند ژنوتیپ‌ها کاملاً متفاوت بود، به نحوی که ارقام گندم نان به ویژه رقم کوهدشت تجمع بیشتری نسبت به ارقام دوروم داشتند. البته در ریشه تجمع کادمیوم با افزایش میزان کادمیوم در محیط با شیب یکنواختی به‌طور خطی افزایش یافت. به‌طوری‌که حداکثر تجمع این عنصر در ژنوتیپ PGS در کلیه سطوح به جز سطح ۲ میلی‌مولار دیده شد.

منابع

۱- آقابراتی، ا.، حسینی، س.م.، اسماعیلی، ع.، مارالیان، ح. ۱۳۸۸. اثر آبیاری با فاضلاب شهری بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، تجمع عناصر غذایی و کادمیوم در درختان زیتون. مجله علوم محیطی، جلد ششم، ص ۱۰-۱ .

۲- اسفندیاری، ع.، محبوب، س.، شکاری، ف. ۱۳۸۸. اصول فیزیولوژی گیاهی (جلد اول). انتشارات عمیدی، تبریز.

۳- بغوری، ا.، رحمانی، ح. ۱۳۸۶. بررسی تاثیر دراز مدت کودهای فسفره بر میزان کادمیوم خاک و گیاه در منطقه بران اصفهان. دهمین کنگره علوم خاک ایران. ۶-۴ شهریورماه، کرج، ایران.

۴- پورمقدس، ح.، جوادی، ا.، اسلامیه، ر. ۱۳۸۱. بررسی مقدار فلزات سمی کادمیوم، کروم، سرب و جیوه در رب گوجه فرنگی در

شهر اصفهان. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان، جلد نهم، ص ۴۶-۴۰

۵- سلطانی، ف.، قربانلی، م.ل.، منوچهری کلانتری، خ. ۱۳۸۵. اثر کادمیوم بر مقدار رنگیزه های فتوسنتزی، قندها و مالون دآلدئید در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.). مجله زیست شناسی ایران، جلد۱۹، ص۱۴۷-۱۳۶

۶- شکاری، ف.، شکاری، ف.، اسفندیاری، ع. ۱۳۸۹. فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه مراغه.

۷- عشقی ملایری، ب. ۱۳۸۳. بررسی تفاوت اثر نیترات و کلرور کادمیوم بر رشد بوته‌ها و جذب و ذخیره‌سازی کادمیوم و اندام هوایی گوجه‌فرنگی در محیط هیدروپونیک. مجله محیط شناسی، جلد ۳۵، ص ۸۸-۸۵

۸- علومی، ح.، منوچهری کلانتری، خ. ۱۳۸۲. مطالعه اثر کادمیوم کلرید بر پارامترهای رشد، محتوای کلروفیل، کاروتنوئیدها، محتوی قند و پروتئین در گیاهک کلزا. پژوهش و سازندگی، جلد ۵۹، ص ۸۰-۷۴

۹- مینویی، س.، مینایی تهرانی، د.، سمیعی، ک.، فریور، ش. ۱۳۸۷. مطالعه تغییرات ماکروسکوپی و میکروسکوپی تأثیر فلز کادمیوم بر گیاه گندمی (*Chlorophytumcomosum*). مجله زیست شناسی ایران، جلد۲۱، ص ۷۴۷-۷۳۷.

10- Balsberg, P.M. 1989. Toxicity of heavy metal (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. Water, Air, & Soil Pollution, 47: 287-314.

11- Belimov, A., Safronova, V., Tsyganov, V. 2003. Genetic variability in tolerance to cadmium and accumulation of heavymetals in pea (*Pisum sativum* L.). Euphytica, 131: 25–35.

12- Cheng, Y., Zhou, Q.X. 2002. Ecological toxicity of relative X3-B red dye and cadmium acting on wheat (*Triticum aestivum*). Journal of Environmental Sciences, 14: 136-140

13- Esfandiari, E., Shokrpour, M., Alavikia, S. 2010. Effect of Mg deficiency on antioxidant enzymes activities and lipid peroxidation. Journal of Agricultural Science, 3: 131-136.

14- Goncalvez, J., Beker, A., Cargnelutti, D., Tabaldi, L., Pereira, L., Battisti, V., Spanevello, R., Morsch, V., Nicoloso, F., Schetinger, M. 2007. Cadmium toxicity causes oxidative stress and induces response of the antioxidant system in cucumber seedling. Brazilian Journal Plant Physiology, 19: 223-232.

15- Gong, J., David, A., Julian, I. 2003. Long-distance root-to-shoot transport of phytochelatins and cadmium in Arabidopsis. PNAS, 100: 10118-10123.

16- Herren, T., Feller, U. 1997. Transport of cadmium via xylem and phloem in maturing wheat shoots: Comparison with the translocation of zinc, strontium and rubidium. Annals of Botany, 80: 623–628.

17- Izadiyar, M.H., Yargholi, B. 2010. Study of Cadmium Absorption and Accumulation in Different Parts of Four Forages. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Science, 9: 231-238.

18- Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G., Popova, L. 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. Journal of Plant Physiology, 165: 920-931.

19- Liu, D.H., Wang, J., Zou, H., Jiang, L.S. 2006. Uptake and accumulation of cadmium and some nutrient ions by roots and shoots of maize (*Zea mays* L.). Pakistan Journal of Botany, 38: 701-709.

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

21- McLaughlin, M.J., Bell, M.J, Wright, G.C., Cozens, G.D. 2000. Uptake and partitioning of cadmium by cultivars of peanut (*Arachis hypogaea* L.).Plant and Soil, 222: 51-58

22- Miller, J.F., Green, C.E., Li, Y.M., Chaney, R.L. 2006. Registration of three low cadmium (HA 448, HA 449, and RHA 450) confection sunflower genetic stocks. Crop Science, 46: 489–90.

23- Murugesan, A., Maheswari, S., Bagirath, G. 2008. Biosorbtion of cadmium by live and immobilized cells of Spirulina Platensis. International Journal Environment Research, 2: 307-312.

24- Oliver, D.P., Gartrell, J.W., Tiller, K.G., Correll, R., Cozens, G.D.,Youngberg, B.L. 1995. Differential responses of australian wheat cultivars to cadmium concentration in wheat grain. Australian Journal of Agricultural Research, 46: 873–886.

25- Popova, L., Maslenkova, L., Yordanova, R., Krantev, A., Azalai, G., Janda, T. 2008. Salicylic acid protects photosynthesis against cadmium toxicity in pea plants. Gen Applied Plant Physiology, 34: 133-148.

26- Sanita, L., Gabbrielli, R. 1999. Response to cadmium in higher plants- review. Environmental and Experimental Botany, 41:105-130.

27- Shariati, M., Yahyaabadi, S. 2006. The effects of different concentrations of cadmium on the growth rate and beta-carotene synthesis in unicellular green Algae dunaliellasalina. Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A, 30: 57-63.

28- Steel, R.G.D., Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. McGraw-Hill Publishing Company.

29- Vassilev, A., Iordanov, I., Chakalova, E., Kerin, V. 1995. Effect of cadmium stress on growth and photosynthesis of young barley (*H. vulgare* L.) plants. Bulgarian Journal Plant Physiology, 21: 12–21.

30- Wahid, A., Ghani, A., Javed, F. 2008. Effect of cadmium on photosynthesis, nutrition and growth of mungbean. Agronomy for Sustainable Development, 28: 273-280.

Cadmium effects on some morphological and physiological parameters in wheat at seedling stage

Saremi Rad B.[1], Esfandiari E.A.[2], Shokrpour M.[3], Sofalian O.[1], Avanes A.[4], Mousavi S.B.[5]

[1] Plant Breeding Dept., Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I.R. of Iran

[2] Agronomy and Plant Breeding Dept., College of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, I.R. of Iran

[3] Horticultural Sciences Dept., College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. of Iran

[4] Analytical Chemistry Dept., College of Science, University of Maragheh, Maragheh, I.R. of Iran

[5] Plant Science College of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, I.R. of Iran

Abstract

Cadmium as a heavy metal plays an important role in environmental pollution and making toxicity and stress in living organisms. In order to evaluate the effect of cadmium on the growth of wheat, five durum and bread wheat varieties were studied under five different cadmium doses in hydroponic media. Analysis of variance showed that the effect of cadmium was significant for all the measured parameters except the biomass and root length tolerance index. Cadmium accumulation in shoots and roots of the wheat varieties was increased by exposure to cadmium. The varieties of durum wheat had more accumulation than bread wheat varieties. Cadmium caused to decrease in the total dry weight (biomass), shoots and roots of wheat seedlings. The rate of total dry matter production and shoots were more sensitive to the presence of cadmium than roots. The physiological parameters including stomatal conductivity, chlorophyll content and Fv/Fm had decline trend along to increasing cadmium. Overall, the results of this study suggested that the all growth and development processes of wheat were influenced by cadmium; also there was considerable difference among wheat genotypes at inter- and intra-specific level.

Key words: cadmium, durum, tolerance index, wheat