اثر سمیت کادمیم بر جذب نیتروژن و فسفر و برخی از ویژگی‌های رویشی شاخساره هفت رقم برنج

صدیقه صفرزاده شیرازی[۱*]، عبدالمجید رونقی[۱]، نجفعلی کریمیان[۱]، جعفر یثربی[۱] و یحیی امام[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۸)

چکیده

کادمیم از مهمترین فلزات سمی می‌باشد که به‌وسیله گیاهان جذب شده و آثار زیانباری بر رشد گیاه و جذب عناصر غذایی دارد. به منظور بررسی اثر سمیت کادمیم بر برخی از ویژگی‌های رویشی و جذب نیتروژن، فسفر و کادمیم در شاخساره ارقام برنج، آزمایشی گلخانه‌ای شامل سه سطح کادمیم (صفر، ۴۵ و ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، هفت رقم برنج (قصرالدشتی، خزر، عنبربو، دشت، حسنی، طارم و کادوس)، به صورت طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که افزودن کادمیم اثر منفی بر برخی از ویژگی‌های رویشی ارقام برنج داشت. به طوری‌که افزودن ۹۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک به ترتیب سبب کاهش ۶۴/۷، ۶۵/۸، ۶۵/۶، ۳۵/۴، ۱۳/۳، ۸۸ و ۴۰ درصدی میانگین رشد نسبی، وزن تر و خشک، ارتفاع شاخساره، تعداد پنجه اصلی و فرعی و تعداد کل پنجه‌های هفت رقم برنج نسبت به تیمار شاهد شد. ارقام حسنی و قصرالدشتی دارای بیشترین وزن تر و خشک، ارتفاع و رشد نسبی (RGR) و ارقام خزر و طارم دارای کمترین مقدار این ویژگی‌ها نسبت به سایر ارقام بودند. با افزودن کادمیم به خاک، جذب نیتروژن و فسفر کاهش ولی جذب کادمیم در شاخساره ارقام برنج افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت. بیشترین مقدار جذب نیتروژن و فسفر در رقم حسنی و کمترین مقدار آنها در رقم خزر مشاهده شد. از آنجایی که در تحقیق حاضر رقم حسنی در بیشتر ویژگی‌های رویشی بررسی شده نسبت به سایر ارقام برتری داشت، می‌تواند به عنوان رقم مقاوم و رقم خزر به عنوان رقم حساس نسبت به سمیت کادمیم معرفی شوند.

واژه‌های کلیدی: ارقام برنج، رشد رویشی، عناصر غذایی، سمیت کادمیم

مقدمه

کادمیم یکی از مهمترین فلزات سنگین است که به علت تجمع در گیاه، سمیت زیاد برای انسان و دام، حلالیت زیاد در آب و تحرک در خاک به عنوان آلاینده‌ای بسیار مهم شناخته شده است (۲۱ و ۳۵). کودهای فسفاته و لجن فاضلاب از مهمترین منابع کادمیم در خاک‌ها به شمار می‌روند (۲۵). کاباتا پندیاس و پندیاس (۲۵) اظهار کردند که سمیت کادمیم در گیاه به‌طور کلی شامل اختلال در سوخت و ساز عناصر کم مصرف، اختلال در فعالیت‌هایی مانند فتوسنتز، تثبیت دی‌اکسید کربن، تعرق و نیز تغییر نفوذپذیری غشای سلولی می‌باشد. از طرف دیگر، اثر کادمیم بر رشد و ویژگی‌های رشدی گیاه به عنوان شاخصی برای سمیت آن مطرح می‌باشد (۱۱). هم‌چنین سمیت این

۱. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: r_safar2000@yahoo.com

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.9.7]

عنصر مربوط به برهمکنش آن با عناصر غذایی و ایجاد اختلال در جذب آنها به‌وسیله گیاهان می‌باشد (۵۴). کاهش وزن خشک گیاهان مختلف مانند برنج (۲۷)، جو (۴۷) و ذرت (۲) در سطوح مختلف کادمیم گزارش شده است. واسیلف و همکاران (۴۹) گزارش کردند که کادمیم سبب کاهش رشد نسبی اندام هوایی جو شده و در تیمار ۴۲ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک کاهش ۵۰ درصدی رشد نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. واسیلف و یوردانوف (۴۸) اثر کادمیم بر کاهش رشد نسبی چغندرقند و گندم را گزارش نمودند. ابوکاسم و همکاران (۵) نشان دادند که با کاربرد ۱۰ میکرومولار کادمیم در محلول غذایی، میزان رشد نسبی گندم ۲۰ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف کادمیم کاهش یافت. کادمیم ممکن است با ایجاد تغییر در نفوذپذیری غشا در جذب سایر عناصر غذایی مشکل ایجاد کرده و منجر به تغییر غلظت عناصر در گیاهان شود (۴۱).

فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه بوده و نقش مهمی در ساختمان مولکول‌های زیستی و انتقال انرژی ایفا می‌کند و تحت عنوان عنصر پر مصرف طبقه بندی می‌شود و در اغلب گیاهان در غلظتی بین ۰/۱ تا ۰/۴ درصد وجود دارد (۱۳، ۱۴ و ۱۹). برهمکنش فسفر و کادمیم در نتیجه تأثیری است که فسفر بر جذب کادمیم به‌وسیله گیاه دارد و این تأثیر به هر دو صورت افزایش و کاهش جذب گزارش شده است. این واکنش در منطقه ریشه گیاهان رخ داده و در گیاهان مختلف متفاوت است. به نظر می‌رسد که برهمکنش بین کادمیم و فسفر مشابه رابطه‌ای باشد که بین فسفر و روی وجود دارد (۲۵). دهری و همکاران (۱۲) نشان دادند که کاربرد فسفر در خاک سبب کاهش غلظت کادمیم در گیاه اسفناج شده است. آنان پیشنهاد کردند که کاربرد فسفر در خاک می‌تواند سبب کاهش سمیت کادمیم در گیاهان شود. گادبولد و هاترمن (۱۸) گزارش کردند که سمیت کادمیم ممکن است سبب بروز کمبود فسفر در گیاه شود. جیانگ و همکاران (۲۴) نشان دادند که با افزایش سطوح کادمیم در خاک، غلظت فسفر در شاخساره گیاه افزایش یافت.

نیتروژن نیز یکی دیگر از عناصر غذایی پر مصرف گیاه است. کادمیم به دلیل آسیب زدن به جمعیت میکروبی خاک و اختلال در فرایند معدنی شدن نیتروژن می‌تواند آثار منفی بر جذب نیتروژن در گیاه داشته باشد (۳ و ۱۵). حسن دار و میشرا (۲۰) نشان دادند که افزودن ۲۵ تا ۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک سبب کاهش معدنی شدن نیتروژن آلی و زیست-توده میکروبی در خاک شد.

فرایند جذب و تجمع فلزات در گیاهان مختلف به میزان کل این فلزات در خاک بستگی نداشته و اثر متقابل خصوصیات خاک و عوامل گیاهی مانند گونه و رقم گیاه تعیین کننده قابلیت استفاده، سمیت و تجمع فلزات در گیاهان می‌باشد (۳۷). در تأمین مواد غذایی مورد نیاز بشر، غلات بیش از سایر گیاهان نقش داشته و در این راستا برنج پس از گندم مهمترین منبع غذایی انسان به شمار می‌رود و غذای عمده بیش از نصف مردم کره زمین را تشکیل می‌دهد (۱). در ایران در مورد اثر سمیت کادمیم بر جذب عناصر غذایی در ارقام مختلف برنج مطالعات کمی صورت گرفته است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر سطوح مختلف کادمیم بر برخی از ویژگی‌های رویشی مانند وزن تر و خشک، رشد نسبی، تعداد پنجه، ارتفاع شاخساره و جذب عناصر کادمیم، نیتروژن و فسفر در شاخساره هفت رقم برنج انجام شد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق، خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری از زیرگروه کوی اساتید (Typic Xerorthents) دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، جمع آوری شد. نمونه خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری به آزمایشگاه منتقل و بعضی از ویژگی‌های آن شامل بافت خاک (۱۷)، پ- هاش (۴۶)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۴۵)، کربنات کلسیم معادل (۳۰)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (۳۸)، ماده آلی (۳۳)، کادمیم (۲۶)، فسفر (۵۰) و نیتروژن کل (۷) آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). به منظور بررسی اثر سمیت کادمیم بر برخی از

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.9.7]

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

ویژگی اندازه‌گیری شده	واحد	مقدار
بافت خاک	–	لوم
شن	٪	۲۹
رس	٪	۲۱
پ– هاش	–	۷/۵۵
ظرفیت تبادل کاتیونی	$cmol_c$ /kg	۱۲/۶
کربنات کلسیم معادل	٪	۴۴/۶
قابلیت هدایت الکتریکی	dS/m	۰/۷۹
ماده آلی	٪	۰/۵
فسفر	mg/kg	۷/۵
نیتروژن کل	٪	۰/۰۷
کادمیم	mg/kg	۰/۳۷

ویژگی‌های رویشی و جذب عناصر کادمیم، نیتروژن و فسفر در شاخساره ارقام مختلف برنج (*Oryza sativa* L.)، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل ۷×۳ و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه سطح کادمیم (صفر، ۴۵ و ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) از منبع سولفات کادمیم و هفت رقم برنج (قصرالدشتی، خزر، عنبربو، دشت، حسنی، طارم و کادوس) بودند. آزمایش در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز به مدت ۸ هفته (از ۴ تیر ماه تا ۲۹ شهریور ماه ۱۳۸۸) انجام شد. مقدار ۴ کیلوگرم خاک به گلدان‌های پلاستیکی منتقل شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، نیتروژن از منبع اوره و در دو نوبت (قبل از کشت و چهار هفته بعد از کشت)، فسفر به صورت مونو کلسیم فسفات، آهن از منبع سکوسترین آهن و روی، مس و منگنز از منبع سولفات آنها به ترتیب به مقدار ۱۵۰ (۷۵ و ۷۵)، ۲۵، ۵، ۵، ۵، و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک برای جلوگیری از ایجاد کمبود احتمالی به گلدان‌ها افزوده شد. نمونه‌های خاک پس از اعمال تیمار کادمیم به خوبی مخلوط شدند. ده عدد بذر برنج هر رقم در عمق حدود ۳ سانتی‌متری سطح خاک هر گلدان کاشته شد و پس از دو هفته دانهال‌ها در هر گلدان به ۵ عدد تنک شدند. در طول مدت زمان آزمایش گلدان‌ها در شرایط غرقابی نگه داشته شدند. پس از اتمام مرحله رویشی (۸ هفته پس از کاشت)، ارتفاع گیاهان و تعداد پنجه فرعی و اصلی گیاه اندازه‌گیری شد. سپس شاخساره گیاهان برداشت شده و اندام‌های گیاه با آب معمولی و سپس آب مقطر شسته و در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت، تا رسیدن به وزن ثابت، خشک شدند. پس از تعیین وزن خشک، مقدار رشد نسبی (RGR) در هر رقم با استفاده از فرمول زیر تعیین شد:

۱۰۰× (وزن خشک در تیماری با حداکثر رشد/ وزن خشک شاخساره در هر تیمار) = رشد نسبی (درصد)

سپس یک گرم از هر نمونه گیاهی پودر شده و در کوره الکتریکی و در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر گردید. عنصرکادمیم به‌وسیله اسید کلریدریک ۱ نرمال عصاره‌گیری و با دستگاه جذب اتمی (مدل Shimadzu AA-670) خوانده شد (۹). نیتروژن نمونه‌های گیاهی با روش کلدال (۷) و فسفر با استفاده از روش رنگ سنجی (روش زرد مولیبدات وانادات)، با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (۹). داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ صورت گرفت.

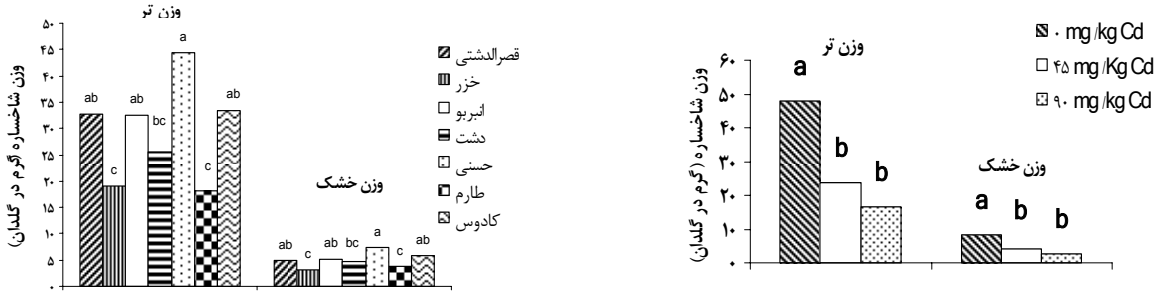
[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.9.7]

جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مربوط به اثر کادمیم بر ویژگی‌های رویشی شاخساره ارقام مختلف برنج

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر	وزن خشک	ارتفاع	تعداد پنجه کل
سطح کادمیم	۲	۵۷۸۴/۲**	۱۷/۹**	۳۰۸۴/۱**	۲۰۰۶/۳**
رقم برنج	۶	۷۶۴/۶**	۱۶۲/۸**	۶۱۱۷/۲**	۴۹۰/۹**
کادمیم × رقم برنج	۱۲	۱۷۱/۵ns	۴/۹ns	۲۴۸ns	۱۹۴/۳**
خطا	۴۲	۱۴۲	۳/۶	۱۶۷	۶۸/۵

** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن



ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (الف)

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (ب)

شکل ۱. اثر سطوح مختلف کادمیم بر میانگین وزن تر و خشک (گرم در گلدان) شاخساره هفت رقم برنج

* در هر بخش، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند طبق آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتایج و بحث

اثر کادمیم بر برخی از شاخص‌های رویشی ارقام برنج

وزن تر و خشک شاخساره

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف کادمیم و ارقام برنج بر برخی از ویژگی‌های رویشی شامل وزن تر، وزن خشک، ارتفاع شاخساره و تعداد پنجه کل در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده اما اثر متقابل سطح کادمیم و رقم بر این ویژگی‌ها بجز تعداد پنجه کل معنی‌دار نبوده است (جدول ۲). بنابراین تنها آثار اصلی شامل میانگین سطوح کادمیم و ارقام مختلف برنج بررسی گردید.

مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سطوح مختلف کادمیم بر میانگین وزن تر و خشک شاخساره ارقام مختلف برنج در شکل ۱ نشان داده شده است. با افزایش سطح کادمیم، میانگین وزن تر و خشک شاخساره ارقام برنج نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت. کاربرد ۴۵ و ۹۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، میانگین وزن تر گیاهان را به ترتیب ۵۱ و ۶۵/۸ درصد و میانگین وزن خشک را به ترتیب ۵۰ و ۶۵/۶ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. بین سطوح ۴۵ و ۹۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱- الف). میانگین وزن تر و خشک شاخساره ارقام مختلف برنج تحت تأثیر سطح کادمیم تفاوت معنی‌داری نشان دادند (شکل ۱- ب).

رقم حسنی بیشترین و ارقام خزر و طارم کمترین وزن تر و خشک را نسبت به بقیه ارقام داشتند. تأثیر کمتر سمیت کادمیم بر وزن تر و خشک شاخساره رقم حسنی نشان دهنده تحمل بیشتر این رقم به سمیت کادمیم می‌باشد. وو و همکاران (۵۱)

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.9.7]

جدول ۳. اثر سطوح مختلف کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بر میانگین رشد نسبی شاخساره، ارتفاع، تعداد پنجه اصلی و فرعی و تعداد کل پنجه ارقام برنج

	تیمار	رشد نسبی شاخساره (درصد)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد پنجه اصلی	تعداد پنجه فرعی	تعداد پنجه کل
سطوح کادمیم (هر عدد میانگین هفت رقم برنج است)	۰	۷۹/۱ a*	۹۶a	۳۰a	۱۷ a	۴۷a
	۴۵	۴۰/۵b	۷۴b	۲۸ ab	۴ b	۳۲b
	۹۰	۲۷/۹c	۶۲c	۲۶ b	۲ b	۲۸b
ارقام برنج (هر عدد میانگین سه سطح کادمیم است)	قصرالدشتی	۵۴/۶۴a	۱۰۷a	۳۰ a	۸ b	۳۸ b
	خزر	۵۱/۷۴ab	۵۷c	۲۹ ab	۱ c	۳۰ bc
	عنبربو	۴۰/۳۰ab	۷۹b	۲۵ b	۷ bc	۳۲ bc
	دشت	۳۴/۷۶c	۶۹bc	۲۷ ab	۱۰ b	۳۷ bc
	حسنی	۵۶/۷۸a	۹۷a	۳۰ a	۴ bc	۳۴ bc
	طارم	۵۲/۲۷ab	۶۶bc	۲۸ ab	۰ c	۲۸ c
	کادوس	۵۳/۵۸a	۶۵c	۲۷ ab	۲۳ a	۵۰ a

* در هر ویژگی رویشی اندازه‌گیری شده، میانگین‌های سطوح کادمیم یا ارقام برنج که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

مشاهده کردند که افزایش سطح کادمیم در کشت محلول از صفر به ۵ میکرومولار سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع و وزن تر گیاه جو شد. لیو و همکاران (۲۷) نشان دادند که کاربرد ۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، وزن خشک شاخساره دو رقم برنج را کاهش داد. هو و همکاران (۲۳) نشان دادند که کاربرد ۵۰ میکرومولار کادمیم سبب کاهش ۳۶/۷ درصدی وزن خشک دانهال‌های برنج نسبت به تیمار شاهد شد. تریاکیوگلو و همکاران (۴۷) گزارش کردند که افزایش سطح کادمیم از صفر تا ۱۲۰ میکرومولار به محلول غذایی سبب کاهش وزن ریشه و شاخساره دو رقم جو شد. تاجی و گلچین (۲) نشان دادند که با افزایش سطح کادمیم از صفر تا ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، وزن تر و خشک شاخساره گیاه ذرت کاهش یافت. کاهش رشد شاخساره گیاهان در نتیجه سمیت کادمیم می‌تواند به دلیل از دست رفتن اتساع سلولی و کاهش طویل شدن سلول‌ها باشد (۴۳).

رشد نسبی

کاربرد کادمیم سبب کاهش معنی‌دار RGR (میانگین رشد نسبی) ارقام برنج شد (جدول ۳). به طوری که افزودن ۴۵ و ۹۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک به ترتیب سبب کاهش ۵۰ و ۶۴/۷ درصدی رشد نسبی نسبت به تیمار شاهد شد. از نظر رشد نسبی شاخساره، بیشترین رشد نسبی به ترتیب در ارقام حسنی، قصرالدشتی، کادوس، طارم، خزر، عنبربو و دشت مشاهده شد. بین ارقام حسنی، قصرالدشتی و کادوس تفاوت معنی‌داری از نظر رشد نسبی شاخساره مشاهده نشد (جدول ۳). بنابراین ارقام حسنی، قصرالدشتی و کادوس از نظر رشد نسبی مقاومتر از سایر ارقام نسبت به سمیت کادمیم بودند. واسیلف و یوردانوف (۴۸) اثر کادمیم بر کاهش رشد نسبی چغندرقند و گندم را گزارش نمودند. ابوکاسم و همکاران (۵) نشان دادند که با کاربرد ۱۰ میکرومولار کادمیم، میزان رشد نسبی گندم ۲۰٪ کاهش یافت.

ارتفاع گیاه

داده‌های جدول ۳ اثر اصلی مصرف کادمیم بر میانگین ارتفاع گیاه را نشان می‌دهد. با کاربرد کادمیم، میانگین ارتفاع ارقام برنج کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت. به طوری

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.9.7]

جدول ۴. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مربوط به اثر کادمیم بر جذب برخی عناصر در ارقام برنج

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		جذب کادمیم	جذب فسفر	جذب نیتروژن
سطح کادمیم	۲	۰/۰۰۲**	۶۸۵۶/۵**	۰/۱۱**
رقم برنج	۶	۰/۰۰۳**	۹۶۵/۶**	۰/۰۱*
کادمیم × رقم برنج	۱۲	۰/۰۰۱**	۲۵۵/۵^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}
خطا	۴۲	۰/۰۰۰۱	۱۵۵/۱	۰/۰۰۴

** و * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن

که افزودن ۴۵ و ۹۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک به ترتیب سبب کاهش ۲۳ و ۳۵/۴ درصدی ارتفاع گیاهان نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین ارتفاع در ارقام قصرالدشتی و حسنی و کمترین ارتفاع در رقم خزر دیده شد. تریاکیوگلو و همکاران (۴۷) کاهش ارتفاع شاخساره دو رقم جو را در اثر کاربرد کادمیم گزارش کردند. شانکر و همکاران (۴۴) بیان کردند که انتقال عناصر سمی به بخش‌های هوایی گیاه، به دلیل ایجاد اختلال در سوخت و ساز سلولی، ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهد.

تعداد پنجه

افزودن کادمیم به خاک سبب کاهش معنی‌دار تعداد پنجه‌های اصلی، فرعی و مجموع کل پنجه‌ها در ارقام برنج شده است (جدول ۳). اما تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۴۵ و ۹۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک مشاهده نشد. کاربرد ۹۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک به ترتیب سبب کاهش ۱۳/۳، ۸۸ و ۴۰ درصدی تعداد پنجه اصلی، پنجه فرعی و کل پنجه‌های گیاهان نسبت به تیمار شاهد شد. در تحقیق حاضر، رقم کادوس و رقم طارم به ترتیب در مقایسه با سایر ارقام دارای بیشترین و کمترین تعداد پنجه کل بودند.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، ارقام حسنی و قصرالدشتی دارای بیشترین وزن تر و خشک، ارتفاع و رشد نسبی، و ارقام خزر و طارم دارای کمترین مقدار این ویژگی‌ها نسبت به سایر ارقام بودند (شکل۱ و جدول ۳). به نظر می‌رسد که ارقام حسنی و قصرالدشتی نسبت به سمیت کادمیم مقاوم‌تر می‌باشند.

اثر کادمیم بر جذب نیتروژن، فسفر و کادمیم شاخساره ارقام برنج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افزودن کادمیم به خاک اثر معنی‌داری بر جذب عناصر کادمیم، نیتروژن، و فسفر در ارقام برنج داشت (جدول ۴).

با افزایش سطح کادمیم، میانگین جذب کادمیم در ارقام برنج افزایش معنی‌داری نشان داد. اما بین دو سطح کادمیم کاربردی (۴۵ و ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). کین و همکاران (۳۶) مشاهده کردند که در غلظت‌های ۰/۱ تا ۵ میکرومولار کادمیم در محلول غذایی (کشت هیدروپونیک)، افزایش غلظت کادمیم در شاخساره و ریشه دو رقم برنج مشاهده شد. هم‌چنین افزایش غلظت کادمیم در شاخساره ذرت (۲ و ۳۴) و ریشه و شاخساره دو رقم جو (۴۷)، در اثر کاربرد سطوح مختلف کادمیم گزارش شده است.

طبق نتایج تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری ($P\leq$ ۰/۰۱) بین ارقام برنج از نظر جذب کادمیم مشاهده شد (جدول ۴). ریشه ارقام مختلف برنج توانایی رداکس متفاوتی دارند. بنابراین محیط ریزوسفری متفاوتی ایجاد کرده و در نتیجه مقادیر متفاوتی از عناصر غذایی، به ویژه در شرایط غرقابی، جذب می‌کنند (۲۸ و ۲۹). تفاوت در جذب کادمیم در بین ارقام مختلف برنج نشان می‌دهد که مقاومت ارقام برنج به سمیت کادمیم می‌تواند به عنوان روشی مناسب برای تولید برنج در

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.9.7]

جدول ۵. اثر سطوح مختلف کادمیم بر جذب کادمیم (mg/pot) شاخساره ارقام برنج

ارقام برنج	سطح کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)			
	۰	۴۵	۹۰	میانگین
قصرالدشتی	۰/۰۱۵cd	۰/۰۱۶cd	۰/۰۲۳cd	۰/۰۱۸ CD
خزر	۰/۰۱۲cd	۰/۰۱۲cd	۰/۰۱۲cd	۰/۰۱۲ D
عنبربو	۰/۰۲۷cd	۰/۰۲۹cd	۰/۰۲۸cd	۰/۰۲۸ BC
دشت	۰/۰۱۱cd	۰/۰۱۹cd	۰/۰۱۷cd	۰/۰۱۶ CD
حسنی	۰/۰۱۸cd	۰/۰۸۵a	۰/۰۷۸a	۰/۰۶۰ A
طارم	۰/۰۰۳d	۰/۰۱۹cd	۰/۰۱۳cd	۰/۰۱۲ D
کادوس	۰/۰۰۶d	۰/۰۵۲b	۰/۰۳۷bc	۰/۰۳۲ B
میانگین	۰/۰۱۳ B	۰/۰۳۳ A	۰/۰۳۰ A	

* میانگین‌هایی که در هر ستون یا ردیف در یک حرف بزرگ و یا میانگین‌هایی که در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، طبق آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

خاک‌هایی با مقدار کادمیم زیاد به‌کار رود. میانگین جذب کادمیم در رقم حسنی بیشترین و در ارقام خزر و طارم کمترین مقدار را نسبت به سایر ارقام داشت (جدول ۵). با توجه به ویژگی‌های رویشی، علی‌رغم جذب زیاد کادمیم، رقم حسنی در بین ارقام مورد مطالعه می‌تواند به عنوان رقم مقاوم به سمیت کادمیم معرفی شود. به نظر می‌رسد که دلیل اصلی مقاومت به سمیت کادمیم در رقم حسنی تحمل گیاه به غلظت زیاد کادمیم در اندام هوایی و مقاومت سوخت و سازی آن نسبت به این عنصر باشد. تحقیقات نشان داده است که گیاهان فرایندهای متفاوتی از جمله جلوگیری از تجمع عناصر در گیاه، سمیت-زدایی عناصر سمی در سلول و مقاومت سوخت و سازی نسبت به عناصر سمی برای مقابله با سمیت کادمیم دارند (۱۰ و ۴۰). ارنست و همکاران (۱۶) سازوکار تحمل به کادمیم در گیاهانی که دارای رشد مناسب بوده ولی مقدار تجمع کادمیم در آنها زیاد است را به کمپلکس شدن کادمیم با اسیدهای آلی و ترکیبات غیر آلی و در نتیجه جلوگیری از ورود آن به قسمت‌های حساس سوخت و ساز سلولی نسبت داده‌اند. وو و همکاران (۵۲) نشان دادند که برخی از ارقام جو به سمیت کادمیم مقاوم بوده و علی‌رغم غلظت زیاد کادمیم در شاخساره و ریشه آنها از رشد مناسبی برخوردار بودند.

کادمیم ممکن است با ایجاد تغییر در نفوذپذیری غشا، در جذب سایر عناصر غذایی نیز مشکل ایجاد کرده و منجربه تغییر غلظت عناصر در گیاهان شود (۴۱). بر اساس نتایج تجزیه واریانس، سطوح کادمیم و ارقام برنج بر جذب نیتروژن و فسفر اثر معنی‌داری داشتند، ولی برهمکنش آنها بر جذب این دو عنصر معنی‌دار نبود (جدول ۴). با افزایش سطح کادمیم، جذب نیتروژن شاخساره ارقام برنج کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت (جدول ۶)، که به دلیل کاهش وزن خشک گیاه در اثر کاربرد کادمیم می‌باشد (شکل ۱). کادمیم می‌تواند بر جذب عناصر غذایی در گیاه اثر منفی داشته باشد. جذب و سوخت و ساز عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن و فسفر در گیاهان تحت تأثیر شرایط تنش‌زا مانند کمبود آب، شوری و سمیت فلزات سنگین کاهش می‌یابد (۱۳ و ۴۲). کادمیم به علت آسیب رسانی به جمعیت میکروبی خاک و در نتیجه اختلال در فرایند معدنی شدن، آثار منفی بر جذب نیتروژن در گیاه دارد (۳ و ۱۵). هرناندز و همکاران (۲۲) کاهش غلظت و جذب نیترات در شاخساره نخود فرنگی آلوده به کادمیم را به کاهش فعالیت نیترات ریداکتاز در شاخساره گیاه نسبت دادند.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.9.7]

جدول ۶. اثر سطوح مختلف کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بر جذب نیتروژن و فسفر شاخساره ارقام برنج

	تیمار	جذب نیتروژن (g/pot)	جذب فسفر (mg/pot)
سطوح کادمیم	۰	۰/۲۱۶a	۵۲/۰۳a
(هر عدد میانگین هفت رقم	۴۵	۰/۰۹۹b	۲۶/۹۳b
برنج است)	۹۰	۰/۰۸۲b	۱۶/۹۶c
	قصرالدشتی	۰/۱۲۱ ab	۲۴/۷۳ bc
ارقام برنج	خزر	۰/۰۷۹ b	۲۲/۳۰ c
(هر عدد میانگین سه سطح	عنبربو	۰/۱۵۷ a	۳۳/۸۰ bc
کادمیم است)	دشت	۰/۱۳۹ ab	۲۸/۵۷ bc
	حسنی	۰/۱۶۴ a	۵۲/۴۲ a
	طارم	۰/۱۰۴ ab	۲۵/۴۰ bc
	کادوس	۰/۱۶۴ a	۳۶/۶۱ b

* در هر ستون، میانگین‌های سطوح کادمیم یا ارقام برنج که دارای یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

حسن دار و میشرا (۲۰) نشان دادند که افزودن ۲۵ تا ۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک سبب کاهش معدنی شدن نیتروژن و زیست‌توده میکروبی در خاک شد.

در بین ارقام مطالعه شده، ارقام حسنی، کادوس، عنبربو، دشت، قصرالدشتی، طارم و خزر به ترتیب دارای بیشترین جذب نیتروژن در شاخساره بودند (جدول ۶).

کاربرد ۹۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک سبب کاهش ۶۷/۵ درصدی میانگین جذب فسفر در شاخساره ارقام برنج شد (جدول ۵). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برهمکنش منفی بین کادمیم و فسفر وجود دارد. بیشترین مقدار جذب فسفر در رقم حسنی و کمترین مقدار آن در رقم خزر مشاهده شد (جدول ۶).

نتایج متفاوت و ضد و نقیضی در مورد اثر کادمیم بر جذب فسفر گزارش شده است. بر طبق نتایج یانگ و همکاران (۵۳)، افزودن کادمیم به محیط رشد کلم، چاودار، ذرت و شبدر سفید، کاهش عملکرد و افزایش تجمع فسفر را به دنبال داشته است. جیانگ و همکاران (۲۴) نشان دادند که با افزایش سطح کادمیم در خاک، غلظت فسفر و نیتروژن در شاخساره گیاه افزایش یافت. برون و دایتس (۸) تغییری در مقدار فسفر و پتاسیم جو تحت تنش کادمیم مشاهده نکردند. ابوالکاشم و کاوایی (۶) بیان کردند که کادمیم و فسفر با یکدیگر برهمکنش منفی داشته و سمیت کادمیم سبب کاهش غلظت و تجمع فسفر در ریشه و شاخساره گیاهان شد. کاباتا پندیاس و پندیاس (۲۵) و گادبولد و هاترمن (۱۸) عنوان کردند که سمیت کادمیم می‌تواند سبب کاهش جذب فسفر به‌وسیله گیاه شود. ناروال و همکاران (۳۲) کاهش جذب عناصر نیتروژن و فسفر در ریشه ذرت را در حضور کادمیم گزارش نمودند. نتایج برخی پژوهشگران نشان می‌دهد که عناصر سمی مانند کادمیم بر فعالیت‌های میکروبی خاک تأثیر منفی داشته، سبب غیر فعال شدن آنها شده و در نهایت منجربه مختل شدن چرخه عناصر غذایی می‌شوند (۳۱ و ۳۹). شاه و دوبی (۴۲) اظهار داشتند که غلظت ۵۰۰ میکرومولار کادمیم در محلول غذایی سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی شده و در نتیجه سبب کاهش ۶۸ تا ۷۷ درصدی جذب فسفات در شاخساره دو رقم برنج شد. نتایج آنان نشان داد که کادمیم از طریق ایجاد اختلال در متابولیسم فسفر در برنج، منجربه بازدارندگی فعالیت آنزیم‌های فسفاتی شده و در نتیجه مقدار فسفر در گیاه را تحت

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.9.7]

تأثیر قرار داده و با کاهش مقدار فسفر در گیاه سبب کاهش رشد برنج شده است. دیانی و رئیسی (۴) کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و اوره‌آز را در حضور سطوح ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک گزارش نمودند. بر طبق گزارش آنان، کاهش فعالیت آنزیمی در خاک‌های آلوده به کادمیم سبب مختل شدن چرخه عناصر غذایی، به ویژه فسفر و نیتروژن، می‌شود.

نتیجه‌گیری

نگرانی‌های زیادی در مورد تولید محصولات سالم (با غلظت کمتر از حد بحرانی کادمیم) در اراضی کشاورزی آلوده به کادمیم وجود دارد. انتخاب ارقامی از یک گیاه که مقاوم به سمیت این عنصر بوده، رشد بیشتر و جذب کادمیم کمتری در اندام‌های مصرفی به‌وسیله انسان داشته باشند، می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر برای مقابله با سمیت کادمیم به کار رود.

کاهش رشد گیاه به‌وسیله کادمیم به عنوان شاخصی برای سمیت آن مطرح می‌باشد. کاربرد کادمیم سبب کاهش رشد نسبی، وزن تر و خشک، ارتفاع و تعداد پنجه اصلی و فرعی در ارقام برنج شد. ارقام مطالعه شده برنج توانایی متفاوتی در تجمع کادمیم در شاخساره داشته و از بین ارقام ارزیابی شده، در رقم حسنی مقدار بیشتری کادمیم در شاخساره تجمع یافت. به نظر می‌رسد که مقاومت به سمیت کادمیم (رشد نسبی و ویژگی‌های رویشی بهتر) در این رقم می‌تواند به دلیل توانایی آن در سازگار شدن با تجمع کادمیم در بافت‌های خود باشد. گیاهان فرایندهای متفاوتی، از جمله جلوگیری از تجمع عناصر در گیاه، سمیت زدایی عناصر سمی در سلول و مقاومت سوخت و سازی نسبت به عناصر سمی، برای مقابله با سمیت کادمیم دارند (۱۰ و ۳۸). بنابراین احتمال دارد که رقم حسنی به دلیل سمیت زدایی کادمیم در سلول‌ها و مقاومت سوخت و سازی نسبت به کادمیم دارای مقاومت بیشتری نسبت به سمیت این عنصر باشد.

در تحقیق حاضر، کادمیم سبب کاهش جذب فسفر و نیتروژن در ارقام برنج شد. بیشترین مقدار جذب فسفر و نیتروژن در رقم حسنی و کمترین مقدار آنها در رقم خزر مشاهده شد.

مقاومت نسبت به سمیت کادمیم تنها تابعی از یک ویژگی گیاهی نیست. بلکه برآیندی از بیشتر ویژگی‌های مهم گیاهی، شرایط و مقدار عناصر غذایی در گیاه است. بنابراین ارقامی که در مقادیر زیاد کادمیم رشد بهتری دارند می‌توانند در شرایط تنش مناسب باشند. نتایج اولیه نشان داد که رقم حسنی در بیشتر ویژگی‌های گیاهی نسبت به سایر ارقام برتری نشان داد. بنابراین در مرحله رشد رویشی می‌تواند به عنوان رقم مقاوم و رقم خزر به عنوان رقم حساس نسبت به سمیت کادمیم معرفی شود. البته پیشنهاد می‌شود که مقاومت این ارقام در مرحله زایشی نیز مطالعه و مقدار تجمع کادمیم در دانه ارقام مختلف برنج اندازه‌گیری شود تا بتوان رقمی را انتخاب نمود که دارای عملکرد بیشتر و غلظت کمتر از حد بحرانی کادمیم در دانه باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کلیه مسئولین و کارکنان محترم بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز به دلیل فراهم نمودن امکانات لازم برای انجام این تحقیق، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. امام، ی. ۱۳۸۲. زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شیراز، شیراز.

۲. تاجی، ه. و ا. گلچین. ۱۳۸۹. بررسی سطوح مختلف کادمیم و گوگرد بر عملکرد و غلظت کادمیم و برخی از عناصر کم مصرف در برگ و ریشه ذرت (*Zea Mays* L.) در شرایط گلخانه‌ای. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۴: ۲۳-۳۲.

۳. دیانی، ل. و ف. رئیسی. ۱۳۸۵ الف. اثر سطوح مختلف کادمیم بر پویایی نیتروژن در یک خاک مرتعی. مجموعه مقالات همایش

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.9.7]

خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، صفحات ۱۱۱-۱۱۲.

۴. دیانی، ل. و ف. رئیسی. ۱۳۸۵ب. فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و اوره‌آز در یک خاک آلوده به کادمیم. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، صفحات ۱۱۳-۱۱۴.

5. Abo-Kassem, E., A. Sharaf-El-Din, J. Rozema and E. Foda. 1995. Synergistic effects of cadmium and NaCl on the growth, photosynthesis, and ion content in wheat plants. Biologia Plantarum. 37: 241-249.
6. Abul Kashem, M. D. and S. Kawai. 2007. Alleviation of cadmium phytotoxicity by magnesium in Japanese mustard spinach. Soil Sci. Plant Nutr. 53: 246-251.
7. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen total. PP. 1085-1122. *In*: Klute, A., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed., ASA, Madison, WI.
8. Brune, A. and K. J. Dietz. 1995. A comparative analysis of element composition of roots and leaves of barley seedlings grown in the presence of toxic cadmium, molybdenum, nickel, and zinc concentrations. J. Plant Nutr. 18: 853-868.
9. Chapman, H. D. and D. F. Pratt. 1961. Methods of Analysis for Soil, Plant, and Water. Univ. of Calif., Div. of Agric. Sci., 60 p.
10. Cobbett, C. S. 2000. Phytochelation biosynthesis and function in heavy-metal detoxification: Current opinion. Plant Biol. 3: 211-216.
11. Cohen, C. K., T. C. Fox and D. F. Garvin. 1998. The role of iron deficiency stress in stimulating heavy metal transport in plants. Plant Physiol. 116: 1063-1072.
12. Dheri, G. S., M. S. Brar and S. S. Malhi. 2007. Influence of phosphorus application on growth and cadmium uptake of spinach in two cadmium-contaminated soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 170: 495-499.
13. Dubey, R. S. and K. N. Sharma. 1989. Acid and alkaline phosphatase in rice seedlings growing under salinity stress. Indian J. Plant Physiol. 32: 217-233.
14. Dubey, R. S. and K. N. Sharma. 1990. Behaviour of phosphatase in germinating rice seeds in relation to salt tolerance. Plant Physiol. Biochem. 28: 17-26.
15. Dusek, L. 1995. The effect of cadmium on the activity of nitrifying populations in two different grassland soils. Plant Soil. 177: 45-53.
16. Ernst, W. H. O., J. A. C. Verkleij and H. Schat. 1992. Metal tolerance in plants. Acta Bot. Neerl. 41: 229-248.
17. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis, hydrometer method. PP. 383-411. *In*: Klute, A., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part II, ASA, Madison, WI.
18. Godbold, D. L. and A. Huttermann. 1985. Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation of *Picea abies* (Karst.) seedlings, and the significance of these metals to forest die-back. Environ. Pollut. Series A: Ecological and Biological. 38: 375-381.
19. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th Ed., Pearson Education Inc., Upper Saddle River, NJ.
20. Hassan Dar, G. and M. M. Mishra. 1994. Influence of cadmium on carbon and nitrogen mineralization in sewage sludge amended soils. Environ. Pollut. 84: 285-290.
21. He, Z. L., H. P. Xu, Y. M. Zhu, X. E. Yang and G. C. Chen. 2005. Adsorption-desorption characteristics of cadmium in variable charge soils. J. Environ. Sci. Health. 40: 805-822.
22. Hernandez, L. E., A. Garate and R. Carpena-Ruiz. 1997. Effects of cadmium on the uptake, distribution and assimilation of nitrate in *Pisum sativum*. Plant Soil. 189: 97-106.
23. Hu, Y., Y. Ge, C. Zhang, T. Ju and W. Cheng. 2009. Cadmium toxicity and translocation in rice seedlings are reduced by hydrogen peroxide pretreatment. Plant Growth Regul. 59: 51-61.
24. Jiang, X. J., Y. M. Luo, Q. Liu, S. L. Liu and Q. G. Zhao. 2004. Effects of cadmium on nutrient uptake and translocation by Indian Mustard. Environ. Geochem. Health. 26: 319-324.
25. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. Cadmium. PP. 143-157. *In*: Kabata-Pendias, A. and H. Pendias (Eds.), Trace Elements in Soils and Plants, 3rd Ed., CRC Press, Boca Raton, FL.
26. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
27. Liu, J., C. Cao, M. Wong, Z. Zhang and Y. Chai. 2010. Variations between rice cultivars in iron and manganese plaque on roots and the relation with plant cadmium uptake. J. Environ. Sci. 22: 1067-1072.
28. Liu, M. C., H. F. Li, L. J. Xia and L. S. Yang. 2000. Differences of cadmium uptake by rice genotypes and relationship between the iron oxide plaque and cadmium uptake. Acta Sci. Circumst. 20: 592-596.
29. Liu, M. C., H. F. Li, L. J. Xia and L. S. Yang. 2001. Effect of Fe, Mn coating formed on roots on Cd uptake by rice varieties. Acta Ecol. Sinica. 21: 598-602.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.9.7]

30. Loppert R. H. and D. L. Suarez 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. *In*: Klute, A., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed., ASA, Madison, WI.
31. Lorenz, N., T. Hintemann, T. Karmarewa, A. Katayama, T. Yasuta, P. Marshner and E. Kandeler. 2006. Response of microbial activity and microbial community composition in soil to long term arsenic and cadmium exposure. Soil Biol. Biochem. 38: 1430-1437.
32. Narval, R., P. M. Singh and M. Singh. 1993. Effect of cadmium and zinc application on quality of maize. Indian J. Plant Physiol. 36: 170-173.
33. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. PP. 961-1010. *In*:. Klute, A., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed., ASA, Madison, WI.
34. Perriguey, J., T. Sterckeman and J. L. Morel. 2008. Effect of rhizosphere and plant-related factors on the cadmium uptake by maize (*Zea mays* L.). Environ. Exp. Bot. 63: 333-341.
35. Pinto, A. P., A. M. Mota, A. de Varennes and F. C. Pinto. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper, and iron by sorghum plants. Sci. The Total Environ. 326: 239-247.
36. Qin, D., M. X. Chen, R. Zhou, Z. Y. Chao, Z. W. Zhu, G. S. H. Shao and G. M. Wang. 2009. Cd toxicity and accumulation in rice plants vary with soil nitrogen status and their genotypic difference can be partly attributed to nitrogen uptake capacity. Rice Sci. 16: 283-291.
37. Ramos, I., E. Esteban, J. J. Lucena and A. Garate. 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plant of *Lactuca* sp. Cd-Mn interaction. Plant Sci. 162: 761-767.
38. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-436. *In*: Sparks, D. L., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed., ASA, Madison, WI.
39. Roy, S., P. Bhattacharyya and A. K. Gosh. 2004. Influence of toxic metals on activity of acid and alkaline phosphate enzymes in metal contaminated landfill soils. Aust. J. Soil Res. 42: 339-344.
40. Sanita di Toppi, L. and R. Gabrielli. 1999. Response to cadmium in higher plants. Environ. Exp. Bot. 41: 105-130.
41. Sarwar, N., S. S. Saifullah Malhi, M. H. Zia, A. Naeem, S. Bibia and G. Farida. 2010. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. J. Sci. Food Agric. 90: 925-937.
42. Shah, K. and R. S. Dubey. 1998. Cadmium suppresses phosphate level and inhibits the activity of phosphatases in growing rice seedlings. J. Agron. Crop Sci. 180: 223-231.
43. Shah, F. R., N. Ahmad, K. R. Masood and D. M. Zahid. 2008. The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (*Dalbergia Sisso* ROXB) seedlings. Pak. J. Bot. 40: 1341-1348.
44. Shanker, A. K., C. Cervantes, H. Loza-Tavera and S. Avudainayagam. 2005. Chromium toxicity in plants. Environ. Intl. 31: 739-753.
45. Sumner, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. PP. 1201-1229. *In*: Klute, A., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed., ASA, Madison, WI.
46. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. *In*: Klute, A., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed., ASA, Madison, WI.
47. Tiryakioglu, M., S. Eker, F. Ozkutlu, S. Husted and I. Cakmak. 2006. Antioxidant defense system and cadmium uptake in barley genotypes differing in cadmium tolerance. J. Trace Elem. Med. Biol. 20: 181-189.
48. Vassilev, A. and I. Yordanov. 1997. Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium-treated plants: A review. Plant Physiol. 23: 114-133.
49. Vassilev, A., F. C. Lidon, M. D. C. Matos, J. C. Ramalho and I. Yordanov. 2002. Phytosynthetic performance and content of some nutrients in cadmium- and copper-treated barely plants. J. Plant Nutr. 25: 2343-2360.
50. Watanabe, F. S. and S. R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts from soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 677-678.
51. Wu, F., J. Dong, Y. Cai, F. Chen and G. Zhang. 2007. Differences in Mn uptake and subcellular distribution in different barley genotypes as a response to Cd toxicity. Sci. The Total Environ. 385: 228-234.
52. Wu, F., G. Zhang, P. Dominy, H. Wu and D. M. L. Bachir. 2007. Differences in yield components and kernel Cd accumulation in response to Cd toxicity in four barley genotypes. Chemosphere. 70: 83-92.
53. Yang, M. J., X. Y. Lin and X. E. Yang. 1998. Impact of Cd on growth and nutrient accumulation of different plant species. Chinese J. Applied Ecol. 9: 89-94.
54. Zhang, G. P., M. Fukami and H. Sekimoto. 2002. Influence of cadmium on mineral concentrations and yield components in wheat genotypes differing in Cd tolerance at seedling stage. Field Crop Res. 77: 93-98.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.1.9.7]