نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد یازدهم، شماره ۳(۴۳)، پاییز ۱۳۹۶، صفحه ۶۶۶-۶۵۳

ارزیابی سیستم‌های مختلف کشت بر میزان غلظت عنصر کادمیوم در مراحل رشدی گندم

خوشناز پاینده[1*]، علیرضا جعفرنژادی[1و2]، علی غلامی[1]، علیرضا شکوه‌فر[3] و ابراهیم پناه‌پور[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۱۰

چکیده

آلوده شدن خاک با فلزات سنگین موجب تجمع این عناصر در بافت‌های گیاهی و کاهش کمّی و کیفی محصولات کشاورزی شده و به این ترتیب سلامت انسان و دام را به خطر می‌اندازد. بقایای محصول قبلی و میزان مصرف کودهای شیمیایی مصرفی (خصوصاً کودهای فسفاته) از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر تجمع کادمیوم در بافت‌های گیاهان می‌باشد. تناوب کشت عامل مهم و تاثیرگذار دیگری بر قابلیت حل شدگی کادمیوم در خاک می‌باشد. این تحقیق با هدف ارزیابی اثرات سیستم‌های کشت و مراحل مختلف رشد بر غلظت کادمیوم گیاه زراعی گندم بر اساس آزمایش کرت‌های یک بار خرد شده در زمان و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی سال زراعی ۹۴-۹۳ در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی شاوور (استان خوزستان) اجرا شد. فاکتور اصلی شامل دو سیستم کشت (برنج-گندم، آیش-گندم) و فاکتور فرعی در برگیرنده مراحل رشد (پنجه‌دهی، گلدهی و رسیدگی) بودند. تفاوت غلظت کادمیوم دانه گندم دو سیستم کشت طبق آزمون T (T-Test) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و غلظت کادمیوم دانه در سیستم کشت برنج-گندم با میانگین ۰/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشتر از سیستم کشت آیش-گندم (۰/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود که بیشتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سیستم‌های کشت و مراحل مختلف رشد و نمو بر صفات غلظت کادمیوم ریشه و ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تجمع مقدار کادمیوم ریشه به میزان ۱/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ساقه به میزان ۰/۷۳ میلی‌گرم بر کیلـوگرم در سیستم کشت برنج-گندم در مقایسه با سیستم کشت آیش-گندم بیشتر بود. غلظت‌های کادمیوم تجمع یافته در ساقه یا در ریشه طی مراحل مختلف رشد گندم تفاوت معنی‌داری نداشتند اما در کل از روند افزایشی دارا بودند. به نظر می‌رسد این امر به دلیل عدم تغییر پذیری غلظت کادمیوم در بازه زمانی کاشت تا برداشت گندم است.

واژگان کلیدی: پایش کادمیوم، تناوب، دانه، گندم.

۱- گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. (* نگارنده‌ی مسئول) Khpayandeh@iauahvaz.ac.ir

۲- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۳- گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

مقدمه

مقدار فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گیاه بستگی زیادی به مقدار قابل استفاده آنها در خاک دارد. کادمیوم عنصری غیرضروری برای انجام فرآیندهای حیاتی متابولسیم و رشد و نمو گیاه می‌باشد و در طی مراحل مختلف رشد در گیاه تجمع می‌یابد (Chan and Hale, 2004). کادمیوم عنصر سمّی برای انسان و دام محسوب می‌شود و در برخی گیاهان جذب آن منجر به ایجاد آسیب‌هایی از جمله تخریب هسته، بازدارندگی فعالیت‌های بعضی آنزیم‌ها، سوختگی و زردی برگ‌ها، کاهش رشد ریشه و ساقه، کاهش جذب آب، کاهش مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها، ممانعت از بازشدن روزنه و... می‌گردد. گیاهان یکی از منابع مهم ورود کادمیوم به زنجیره غذایی می‌باشند، میزان جذب این عنصر به‌وسیله گیاهان، متفاوت بوده و به زیست فراهمی کادمیوم در خاک بستگی دارد (Yildiz, 2005). تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که از میان غلات، گندم به ویژه ارقام دوروم بیشتر از سایر غلات (چاودار، جو، یولاف) قادر به جذب کادمیوم است. جذب کادمیوم در ارقام گندم دوروم نسبت به نان تا حدی بیشتر است که احتمالاً به‌دلیل وجود پیوندهای آپوپلاستیک در ریشه این گیاهان است. یا به دلیل انتقال بیشتر آن توسط آوندهای آبکش مرتبط باشد. به‌علاوه، میزان کادمیوم در بذر گندم دوروم نسبت به گندم نان بیشتر است. علت این افزایش، ممکن است به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی بین گندم‌های نان و دوروم باشد (Li *et al.*, 2011). ملکوتی و همکاران (Malakoti *et al.*, 2004) گزارش نمودند که استفاده ممتد از کودهای فسفاته که میزان کادمیوم در آنها بالاتر از حد مجاز می‌باشد، باعث افزایش میزان کادمیوم در خاک و اندام‌های گیاهی می‌شود. علایم عمومی ناشی از جذب مقادیر زیاد کادمیوم در گیاه، کاهش و توقف رشد ریشه و چوب پنبه‌ای شدن ساختمان آن، کاهش هدایت هیدرولیکی آب در ریشه، تداخل با جذب و انتقال طبیعی عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل و اختلال در فعالیت‌های آنزیمی دخیل در فتوسنتز می‌باشند (Bhardwaj *et al.*, 2009). جذب فلزات سنگین توسط گیاه نیز به دو صورت جذب فعال و غیرفعال می‌باشد. عوامل خاکی و گیاهی متعددی بر قابلیت جذب کادمیوم توسط گیاه تاثیر دارند و از مهمترین آنها می‌توان از میزان کادمیوم کل خاک، منشا کادمیوم خاک، pH، قدرت اکسیداسیون و احیا، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان و نوع رس و گونه یا رقم گیاهی نام برد (Singh *et al.*, 2011). عناصر کادمیوم و روی از نظر ساختار شیمیایی بسیار شبیه هستند ولی برخلاف روی، عنصر کادمیوم برای انسان و حیوانات سمی است، که علت اصلی آن عنصر احتمالاً میل شدید ترکیبی آن با گروه های تیول می‌باشد (Veselov *et al.*, 2003). در یک بررسی انجام شده روی کاهو و اسفناج، مصرف عنصر روی، تجمع کادمیوم را در برگ‌های جوان کاهش داد ولی در برگ‌های مسن تاثیری نداشت، به نظر می‌رسد روی با انتقال کادمیوم از ریشه به برگ‌های جوان تداخل می‌نماید و نگهداری کادمیوم جذب شده در ریشه را بهبود می‌بخشد. برخی محققین گزارش دادند که با مصرف عنصر روی، غلظت عنصر کادمیوم در محصول دانه گندم نوع دوروم کاهش یافت. عنصر کادمیوم در خاک از تحرک بسیار بالایی برخوردار است و در صورت حضور در محیط ریشه به راحتی جذب گیاه گندم شده و به اندام‌های هوایی انتقال می‌یابد (Sohrabi Yourtchi and Bayat, 2013).

تجمع و توزیع کادمیوم در گیاه با توجه به گونه، رقم و شرایط رشـدی و حضور سایر عناصر متفاوت است. در ایران گزارش‌هایی دال بر تجمع کادمیوم در برخی محصـولات زراعی به‌ویژه برنج و سیب‌زمینی 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 به‌طور معمول کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Saadat *et al*., 2012; Baqori and Rahmani, 2007). بازدارندگی جوانه‌زنی از جمله اثرات شناخته شده فلزات سنگین است. بین بازدارندگی جوانه‌زنی بذر و غلظت کادمیوم، همبستگی خطی وجود دارد. 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، چرخه کلوین و واکنش‌های نوری فتوسنتز اختلال ایجاد می‌کند. کادمیوم به دلیل تحرک بالا در خاک و جذب آسان آن توسط گیاه به راحتی وارد زنجیره غذایی انسان می‌شود (Greger and Lofstedt, 2004). کاهش میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در اثر کادمیوم توسط برخی از پژوهشگران گزارش شده است (Bahmani *et al*., 2012). گندم، کشت غالب در استان خوزستان بوده و کشاورزان از کودهای فسفاتی حاوی مقادیر زیاد کادمیوم (۱۷۰- ۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) به صورتی بی‌رویه استفاده می‌کنند، بنابراین انتظار می‌رود که مقدار کادمیوم قابل دسترس گیاه افزایش یافته و در نتیجه مقدار جذب کادمیوم به وسیله گیاه زیاد می‌گردد (Khoshgoftarmanesh and Chaney, 2002). افزایش کادمیوم خاک از کود فسفاته با مصرف ۵۰ کیلوگرم کود فسفاته به ازای هر هکتار مقدار ۰/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در سـال برآورد گردیـده است. بالاترین رقم اندازه‌گیری شده کادمیوم در سنگ‌های فسفاته ۱۷۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم سنگ فسفاته است، وقتی میزان کادمیوم در خاک زراعی به حدود ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم برسد، رشد و عملکرد محصول به‌طور محسوس کاهش می‌یابد. افزایش کادمیوم خاک از کود فسفاته با مصرف ۵۰ کیلوگرم کود فسفاته به ازای هر هکتار مقدار ۰/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در سال برآورد گردیده است (Malakoti *et al*., 2004). در سال‌های اخیر (از سال ۹۲) استاندارد کیفی کودهای فسفاته به همت موسسه تحقیقات خاک و آب اجرا و در کلیه کودهای فسفاته وارداتی و سولفات روی تولید داخل، غلظت این آلاینده‌ها کنترل و حد مجاز کادمیوم حداکثر ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است. منطقه شاوور در مرکز استان خوزستان (جنوب غرب ایران) از جمله مناطقی است که دو سیستم کشت برنج-گندم و آیش–گندم در آن متداول و ارزیابی‌های اولیه حاکی از مصرف زیاد کودهای فسفردار در آن می‌باشد. با توجه به مصرف چندین دهه کودهای فسفاتی با غلظت‌های غیرمجاز کادمیوم و آلودگی خاک‌ها در این مدت، توجه و بررسی خاک‌های زراعی ضرورت حیاتی دارد، لذا نظر به اهمیت غلظت کادمیوم در گیاه گندم به‌عنوان غذای غالب مردم ایران و رتبه نخست استان خوزستان در تولید محصول گندم تحقیق حاضر به‌منظور بررسی ارتباط میان سیستم‌های کشت (برنج-گندم و آیش-گندم) و مراحل مختلف رشد اعم از پنجه‌زنی، گلدهی و

رسیدگی بر محتوای کادمیوم گیاه گندم اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق جهت بررسی غلظت کادمیوم در گیاه گندم در دو سیستم کشت غالب استان خوزستان در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شاوور با استفاده از کرت‌های خرد شده در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۴-۹۳ انجام شد. دو سیستم کشت مرسوم برنج-گندم و آیش-گندم به‌عنوان فاکتور اصلی و مراحل مختلف رشد و نمو (پنجه‌زنی، گلدهی و رسیدگی) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. رقم گندم مورد استفاده چمران و رقم برنج کشت شده چمپا بود. ایستگاه تحقیقاتی شاوور در ۷۰ کیلومتری شمال شهرستان اهواز با موقعیت جغرافیایی " ۳۳ '۲۷ °۴۸ طول شرقی و " ۳۷ '۱۱ °۳۲ عرض شمالی در استان خوزستان قرار دارد. میانگین بارندگی، درجه حرارت، تبخیر سالیانه در منطقه به‌ترتیب ۲۴۰ میلی‌متر، ۲۲ درجه سلسیوس و ۳۰۰۰ میلی‌متر است. در هر مزرعه (اعم از سیستم کشت برنج- گندم یا آیش- گندم) هر کدام از کرت‌ها شامل چهار خط کاشت، به طول پنج متر بودند. عملیات تهیه زمین شامل دیسک، شخم به عمق۳۰ سانتی‌متر، دو دیسک عمود بر هم جهت خرد و نرم شدن کلوخه‌های ناشی از شخم و در نهایت استفاده از ماله برای تسطیح بود. پس از عملیات تهیه زمین، تکمیل حاصلخیزی خاک بر اساس نتایج آزمون خاک انجام شد. برای این منظور کود نیتروژن‌دار از منبع اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار که یک سوم میزان کود قبل از کاشت به‌صورت پایه و یک سوم در انتهای پنجه‌زنی و مابقی در هنگام ظهور سنبله مصرف گردید. کود فسفر، از منبع سوپر فسفات تریپل تهیه و به میزان ۵۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار و کود پتاس از منبع سولفات پتاس به میزان ۶۰ کیلوگرم K_2O در هکتار محاسبه، توزین و در کرت‌ها به صورت پایه، قبل از کاشت مصرف گردیدند. بذر مورد نیاز بر اساس وزن هزار دانه ارقام و تعداد ۴۰۰ دانه در متر مربع محاسبه و منظور گردید. عملیات کاشت در نیمه آبان ماه انجام شد. جهت کنترل علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ به‌ترتیب از علف‌کش‌های دوپلوسان سوپر (۰/۶ ماده مؤثره) و تاپیک (۰/۸ درصد ماده مؤثره) به میزان ۲/۵ و یک لیتر در هکتار در انتهای پنجه‌زنی و قبل از کود سرک استفاده شد.

برای اندازه‌گیری غلظت عنصر کادمیوم در گیاه گندم ابتدا دانه‌های گیاه گندم ۳ مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند، این کار به منظور حذف خاک و آلودگی و گرد و غبار انجام می‌شود. سپس دانه ها در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و به مدت ۷۲ ساعت در آون خشک شده و در ادامه با استفاده از هاون کوبیده و به صورت ذرات ریز پودر درآمدند. همین روند در مورد اندام ساقه و ریشه نیز انجام گردید. در ادامه نمونه‌های پودر شده هر کدام از اندام‌های گیاه در پاکت کاغذی ریخته و تا زمان اندازه‌گیری در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. برای تعیین غلظت کادمیوم در نمونه‌های تهیه شده از بافت‌های مختلف گیاه (اعم از دانه، ساقه و ریشه) به روش هضم تر (۷۰ درصد اسید نیتریک، اسید پرکلریک و اسید سولفوریک) هضم و پس از عصاره‌گیری و به حجم رساندن، نمونه‌های آماده شده با دستگاه کوره گرافیکی (Model: Perkin Elmer 600) اندازه‌گیری شدند (Soltanpour, 1991).

متغیرهای میانگین، واریانس، حداکثر، کشیدگی، چولگی و خطای استاندارد مربوط به

صفات اندازه‌گیری شده با نرم‌افزار Minitab محاسبه شدند. تجزیه واریانس صفات و مقایسات میانگین در سطح پنج درصد با آزمون دانکن به وسیله نرم‌افزار SAS (Ver.8) انجام شد. مقایسه میزان کادمیوم بذر محصول گندم در دو سیستم کشت (برنج گندم و آیش-گندم) با آزمون T-Test به‌وسیله نرم‌افزار Minitab (Ver.14) در سطح یک درصد انجام شد. خصوصیات خاک اراضی تحت آزمایش در جدول ۱ و ۲ درج گردیده است.

نتایج و بحث

غلظت کادمیوم بذر

تفاوت بین میانگین غلظت کادمیوم بذر سیستم‌های کشت برنج-گندم و آیش-گندم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود به‌طوری‌که، تناوب برنج-گندم (۰/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از سطح میانگین بالاتری در مقایسه با سیستم کشت آیش-گندم (۰/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برخوردار بود (جدول ۳). میانگین غلظت کادمیوم دانه در هر دو سیستم کشت مورد بررسی (برنج-گندم و آیش-گندم) از سطح استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بالاتر بود (Anonymous, 2017). در همین راستا جعفرنژادی (Jafanejadi, 2010) گزارش داد یکی از دلایل بیشتر بودن غلظت کادمیوم بذر در مناطق شرقی استان خوزستان، رقم گندم کشت شده است چرا که در این مناطق، گندم دوروم رقم غالب در بیشتر مزارع است. نتایج تحقیق ولی‌نژاد و همکاران (Valinejad *et al*., 2010) نشان داد میانگین غلظت کادمیوم در دانه برنج در ۱۱٪ برنج تولید شده در مناطق مورد بررسی بیشتر از میانگین حد مجاز کادمیوم در غلات (۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. در استان فارس، ۴٪ و در استان اصفهان در حدود ۱۲٪ از دانه‌های برنج دارای غلظت بیشتر از حد مجاز کادمیوم بودند. علت این امر را می‌توان به مصرف بالای لجن فاضلاب، کمپوست و همچنین مصرف بیش از حد کودهای فسفره غیراستاندارد مربوط دانست. در اروپا حد مجاز عنصر کادمیوم در دانه گندم ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بذر تعیین شده است (Toth *et al*., 2016). سازمان خوار و بار کشاورزی (FAO) و سازمان بهداشت جهانی (WHO) حد مجاز ورود کادمیوم به بدن انسان را روزانه ۷۰ میکروگرم تعیین کرده‌اند. انجمن بزرگسالان آمریکا، ۲۰ درصد این مقدار (Garcia-Esquinas *et al*., 2015) و در اروپا بین ۳۰ تا ۴۰ درصد مقدار فوق را به‌عنوان حد مجاز تعیین نموده‌اند (Anonymous, 2012). خوش‌گفتارمنش و چانی (Khoshgoftarmanesh and Chaney, 2007) گزارش نمودند که با مصرف سولفات روی علاوه بر افزایش غلظت روی در دانه گندم از میزان غلظت کادمیوم دانه کاسته می‌شود. ولی‌زاده و همکاران (Valizadeh *et al*., 2012) گزارش کردند که کودهای وارداتی ایران دارای آلودگی کادمیوم می‌باشند و در نتیجه کیفیت پایینی برای کشاورزی دارند. همچنین، گزارش‌ها نشان می‌دهد که در برخی مناطق برنج‌کاری کشور میزان کادمیوم دانه برنج بیش از حد مجاز است. وجود تغییرات طولانی مدت در سیستم‌های کشت محصولات کشاورزی بر میزان کادمیوم قابل دسترس برای گیاهان موثر است. بالاترین میزان کادمیوم در بذر گندم در تناوب با بقولات و کمترین غلظت در تناوب با غلات به‌دست می‌آید. همچنین، در مناطقی که عملیات زیاد خاک‌ورزی در هنگام کاشت گندم انجام می‌شود، غلظت کادمیوم بذر گندم نسبت به روش‌های کاشت سنتی و کم خاک‌ورزی بیشتر است (Kirkham,

2006). گرنت و شپرد (Grant and Sheppard, 2008) گزارش دادند در خاک‌هایی با کمبود متوسط تا شدید روی، مصرف سطوح کم روی موجب کاهش غلظت کادمیوم در دانه گندم رشد یافته می‌شود ولی سطوح بالاتر روی اثر معنی‌داری بر غلظت کادمیوم دانه ندارد. در این بررسی با گذشت زمان تاثیر مصرف روی بر کاهش غلظت کادمیوم دانه تنزل می‌یابد. اثرات باقیمانده روی نیز بر کاهش غلظت کادمیوم دانه موثر است. میچل و همکاران (Mitchell *et al*., 2000) نیز گزارش دادند با مصرف کادمیوم، غلظت کادمیوم دانه افزایش یافت. اثر کاهندگی روی بر غلظت کادمیوم دانه ممکن است به اثر بازدارندگی روی بر انتقال کادمیوم از کاه به دانه و اثر رقابتی روی بر جذب کادمیوم مربوط باشد. در پژوهشی برای تعیین رابطه‌ی بین غلظت کادمیوم بذر، ویژگی‌های شیمیایی خاک و واریته برنج، مشخص شد که حدود ۸۰ درصد انباشت کادمیوم در بذر با کادمیوم کل و کربن آلی خاک ارتباط دارد (Karimi and Bahmanyar, 2013). در پژوهشی، وجود کادمیوم باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد کل و کل میزان پروتئین دانه گندم گردید، ولی با مصرف عنصر روی ویژگی‌های کمّی و کیفی گندم افزایش یافت (Gray *et al*., 2001).

غلظت کادمیوم در ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر سیستم کشت بر میزان غلظت کادمیوم در ساقه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر مراحل رشد و تاثیر متقابل سیستم‌های کشت و مراحل رشد بر صفت تجمع کادمیوم ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۴). سیستم کشت گندم پس از برنج دارای مقادیر بالاتری از کادمیوم ساقه (۰/۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با سیستم کشت گندم پس از آیش (۰/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۱). غلظت کادمیوم ساقه بسته به گونه گیاه و اندام‌ها یا بافت‌ها در همان گیاه متفاوت است، تفاوت در غلظت کادمیوم فقط مربوط به گونه گیاه نمی‌باشد، بلکه با نوع رقم، سن برگ و مرحله رشدی گیاه نیز ارتباط دارد (Karami *et al*., 2007). کادمیوم در عرض غشا، از طریق کانال‌ها یا ناقل‌های کاتیون‌های دو ظرفیتی، جذب سلول‌های گیاه می‌شود. این عنصر از طریق پوست ریشه جذب و سپس از طریق سیم‌پلاستی یا آپوپلاستی وارد آوند چوبی شده و با چندین لیگاند مثل اسیدهای آلی با فیتوکلاتین‌ها ترکیب می‌شود (Daryaee *et al*., 2014). کادمیوم با تعادل آبی گیاه برهمکنش دارد و از باز شدن روزنه‌ها جلوگیری می‌کند و با کاهش میزان تعرق و مقدار نسبی آب برگ می‌تواند موجب تنش در گیاهان شود، همچنین جذب زیاد کادمیوم توسط گیاهان از فرایندهای فیزیولوژیکی مثل تنفس، فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن و تغذیه معدنی (در جذب و تجمع عناصر غذایی) جلوگیری کرده لذا باعث رشد ضعیف و کاهش بیوماس گیاه می‌شود (Vergine *et al*., 2017).

تجمع کادمیوم در ریشه

اثر سیستم کشت بر تجمع کادمیوم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). سیستم کشت برنج-گندم مقدار بالاتری از غلظت کادمیوم ریشه (۱/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) دارا بود و در مقابل سیستم کاشت آیش-گندم (۰/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در سطح پایین‌تر قرار گرفت (شکل ۲). ماسونی و همکاران (Masoni *et al*., 2005) گزارش کردند تجمع کادمیوم در ریشه‌ها در اثر کاربرد لجن فاضلاب بیشتر از اندام هوایی است. انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی بسیار

محدود است و فقط حدود ۳٪ از آن از ریشه به اندام هوایی انتقال می‌یابد. کادمیومی که به‌وسیله گیاه جذب می‌شود به‌طور عمده درون ریشه باقی می‌ماند و انتقال آن به اندام‌های هوایی کم است. کوبو و همکاران (Kubo *et al*., 2008) بیان نمودند، اگرچه کادمیوم در خاک خیلی محلول نیست، اما عمدتاً به‌وسیله تارهای کشنده جذب و به میزان قابل توجهی در دیواره‌های سلولی ریشه ذخیره می‌شود. گریگر و لاندبرگ (Greger and Landberg, 2008) بیان نمودند تجمع بیشتر فلزات کروم، مس، سرب و روی در ریشه نسبت به اندام هوایی نشان‌دهنده مکانیسم تحمل گیاه گندم در غلظت‌های بالای این فلزات در خاک می‌باشد، از سوی دیگر با توجه به تجمع فلزات سنگین مانند کادمیوم در ریشه گیاهان، کاربرد ترکیباتی که شامل مقادیری از فلزات سنگین می‌باشد (مانند لجن فاضلاب و کود فسفاته) در کشت گیاهانی که از ریشه آنها در تغذیه استفاده می‌گردد، توصیه نمی‌گردد. تاورنچایست و پولپراسرت (Thawornchaisit and Polprasert, 2009) تجمع بیشتر فلزات سنگین در ریشه‌ها را به کمپلکس شدن این فلزات با گروه‌های سولفیدرل نسبت دادند که مانع از انتقال فلزات به اندام هوایی می‌شود، تجمع بیشتر کادمیوم در ریشه (در مقایسه با اندام هوایی) می‌تواند به عنوان یک نکته مثبت تلقی گردد، زیرا این امر احتمالاً مانعی برای انتقال بیشتر آن به دانه و چرخه غذایی انسان است. در مقادیر کم کادمیوم میزان این عنصر در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی است 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 می‌یابد که حکایت از عدم توانایی گیاهچه‌های ارقام گندم در ممانعت از انتقال به اندام‌های فوقانی است (Arduini *et al*., 2014). رودا و همکاران (Rodda *et al*., 2011) گزارش دادند که سه مرحله مختلف در جذب و انتقال کادمیوم از محلول خاک به گیاه وجود دارد و در اولین مرحله که در عرض چند ساعت عرضه کادمیوم به وقوع می‌پیوندد این عنصر بر رشد و متابولیسم ریشه تاثیر می‌گذارد.

نتیجه‌گیری کلی

میان مراحل مختلف رشد از نظر صفت غلظت کادمیوم در ساقه و ریشه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما در کل روند تجمع کادمیوم افزایشی بود. بررسی میانگین تجمع غلظت کادمیوم در دانه، ساقه و ریشه نشان‌دهنده مکانیسم مقابله گیاه گندم با انتقال عنصر کادمیوم و تجمع بیشتر این عنصر به‌ترتیب در ریشه، ساقه و دانه است، هر چند این مکانیسم گیاه در تجمع کادمیوم مطلوب تلقی می‌شود، اما از آنجا که گندم جزو گیاهان پالاینده خاک محسوب نمی‌شود و محصول دانه آن جهت تغذیه مستقیم انسان مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و با توجه استانداردهای موجود و آستانه ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌عنوان حداکثر سقف مجاز مقدار تجمع کادمیوم در بذر گندم، لزوم مدیریت عوامل افزاینده عنصر کادمیوم همچون کودهای فسفاته، لجن همراه فاضلاب (جهت آبیاری مزارع) و حجم بقایای گیاهی در سیستم‌های کشت امری مهم تلقی می‌شود.

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه با سیستم کشت برنج- گندم محل آزمایش (عمق ۳۰-۰)

Table 1- Soil properties of experiment site of rice-wheat cropping system (depth: 0-30cm)

شوری خاک EC ($ds.m^{-1}$)	غلظت کادمیوم Cadmium $mg.kg^{-1}$	اسیدیته pH	وزن مخصوص ظاهری P_b^* ($g.cm^3$)	کربن آلی OC (%)	غلظت فسفر P	غلظت پتاسیم K	غلظت اهن Fe	غلظت مس Cu	غلظت منگنز Mn	غلظت روی Zn
					($mg.kg^{-1}$)					
2.8	1.54	7.8	1.35	0.7	10.9	239	9.6	1.3	8.5	0.6

جدول ۲- خصوصیات خاک مزرعه با سیستم کشت آیش- گندم محل آزمایش (عمق ۳۰-۰)

Table 2- Soil properties of experiment site of fallow-wheat cropping system (depth: 0-30cm)

شوری خاک EC ($ds.m^{-1}$)	غلظت کادمیوم Cadmium $mg.kg^{-1}$	اسیدیته pH	وزن مخصوص ظاهری P_b^* ($g.cm^3$)	کربن آلی OC (%)	غلظت فسفر P	غلظت پتاسیم K	غلظت اهن Fe	غلظت مس Cu	غلظت منگنز Mn	غلظت روی Zn
					($mg.kg^{-1}$)					
2.95	1.46	7.93	1.34	0.62	10.7	220	9.3	1.3	8.5	0.55

جدول ۳- نتایج آزمون T-test برای مقایسه غلظت کادمیوم بذر سیستم های مختلف کشت

Table 3- T-test result for compare concentration of seed cadmium in different planting system

تیمار Treatment	تعداد مشاهدات Number of observation	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	t
سیستم کشت برنج-گندم Rice-Wheat Sys.	3	0.31	0.01528	-5.00^*
سیستم کشت آیش-گندم Fallow-wheat Sys.	3	0.27	0.0100	

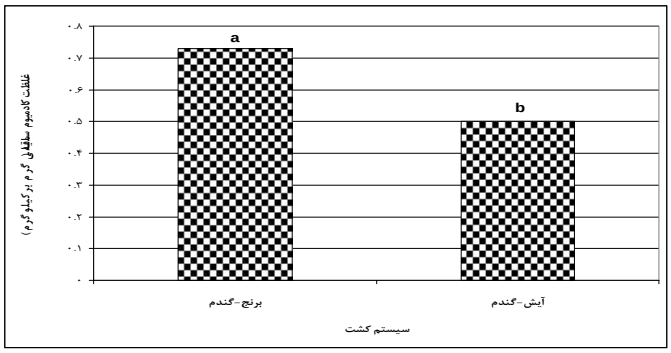
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده

Table 4- Summary result of analysis of variance measured traits

منابع تغییرات S.O.V		درجه آزادی df.	غلظت کادمیوم ریشه Root cadmium concentration	غلظت کادمیوم ساقه Stem cadmium concentration
Replication	تکرار	2	0.00015*	0.00027*
Cropping system	سیستم کشت	1	0.3528**	0.2403**
Error 1	خطای ۱	2	0.0016	0.00073
Growth stage	مراحل رشد	۲	0.0053^{ns}	0.0064^{ns}
Growth stage×Cropping system	سیستم کشت × مراحل رشد	2	0.0010^{ns}	0.0005^{ns}
Growth stage×Relication	بلوک × مراحل رشد	4	0.0000055^{ns}	0.00015^{ns}
Error 2	خطای ۲	4	0.000066	0.00055
C.V	ضریب تغییرات	-	14.73	19.35

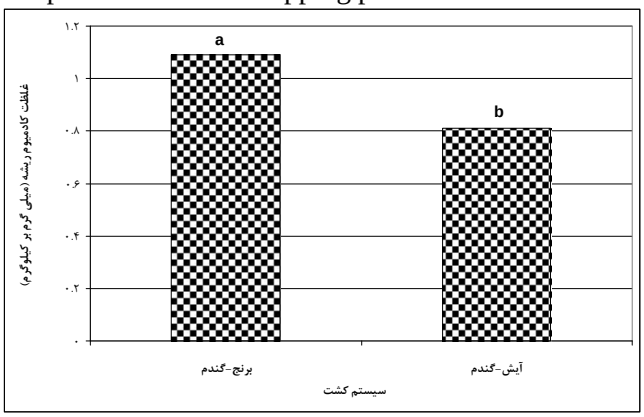
*، ** و ^{ns}= به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵، ۱ درصد و غیر معنی دار

ns, ** and * : non significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سیستم کشت بر غلظت کادمیوم ساقه

Figure 1- Mean comparison effect of cropping pattern on stem cadmium concentration



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سیستم کشت بر غلظت کادمیوم ریشه

Figure 2- Mean comparison effect of cropping pattern on root cadmium concentration

References منابع مورد استفاده

- .Anonymous. 2017. Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum. World Health Organization (WHO) Publication. Pp: 631. ISBN: 978-92-4-154995-0.
- Anonymous. 2012. Cadmium dietary exposure in the European population. *European Food Safety Authority Journal*. 10(1): 1-37.
- Arduini, I., A. Masoni, M. Mariotti, S. Pampana, and L. Ercoli. 2014. Cadmium uptake and translocation in durum wheat varieties differing in grain-Cd accumulation. *Journal of Plant and Soil Environment*. 60(1): 43–49.
- Bahmani, R., M.R. Bihamta, D. Habibi, P. Forozes, and S. Ahmadvand. 2012. Effect of cadmium chloride on growth parameters of different bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agriculture and Biological Science*. 7(1): 152-160.
- Baqori, A., and H. Rahmani. 2007. Evaluation long time effect of phousphorus fertilizer on soil and plant cadmium concentration at Bran region of Isfahan. 10th congress of Iran soil science. September. Karaj. Iran. (In Persian).
- Bhardwaj, P., A.K. Chaturved, and P. Prasad. 2009. Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiological and biochemical attributes of *Phaselous vulgaris* L. *Journal of Nature and Science*. 7(8): 63-75.
- Chan, D.Y., and B.A. Hale. 2004. Differential accumulation of Cd in durum wheat cultivars: Uptake and retranslocation as sources of variation. *Journal of Experimental Botany*. 55: 2571–2579.
- Daryaee, F., B. Keramat, and M.J. Arvin. 2014. Effect of selenium spraying on physiological and morphological traits of wheat variety (Kavir and Roshan) under cadmium stress. *Journal of Plant Process and Function*. 3(10): 112-131. (In Persian).
- Garcia-Esquinas, E., A. Navas-Acien, B. Perez Gomez, and F. Rodriguez Artalejo. 2015. Association of lead and cadmium exposure with frailty in US older adults. *Journal of Environmental Research*. 137: 424-431.
- Grant, C.A., and S.C. Sheppard. 2008. Fertilizer impacts on cadmium availability in agricultural soils and crops. *Journal of Human, Ecology and Risk Assessment*. 14: 210-228.
- Gray, C.W., R.G. McLaren, and A.H.C. Roberts. 2001. Cadmium concentrations in some New Zealand wheat grain. *Journal of Crop Horticulture Science*. 29: 125-136.
- Greger, M., and M. Lofstedt. 2004. Comparison of uptake and distribution of cadmium in different cultivars of bread and durum wheat. *Journal of Crop Science*. 44: 501–507.
- Greger, M., and T. Landberg. 2008. Role of rhizosphere mechanisms in Cd uptake by various wheat cultivars. *Journal of Plant and Soil*. 312: 195–205.

- Jafarnejadi, A.R. 2010. Modeling trend of cadmium accumulation in soil of wheat field. Ph.D. thesis. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University. 120 pp. (In Persian).
- Karami, K., Y. Rezaee, M. Afyoni, and H. Shariatmadari. 2007. Accumulation effect and residual sludge on concentration cadmium and lead in soil and plant wheat field. *Science and Methode of Agriculture and Natural Resource Journal*. 11(1): 225-235. (In Persian).
- Karimi, F., and A. Bahmanyar. 2013. Residual effect of compost on concentration of cadmium in soil and plant of rice field. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 3(1): 199-213. (In Persian).
- Khoshgoftarmanesh, A.H., and R.L. Chaney. 2007. Preceding crop affects grain cadmium and zinc of wheat grown in saline soils of central Iran. *Journal of Environmental Quality*. 36: 1132-1136.
- Kirkham, M.B. 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. *Journal of Geoderma*. 137: 19-32.
- Kubo, K., Y. Watanabe, A. Oyanagi, S. Kaneko, M. Chono, H. Matsunaka, M. Seki, and M. Fujita. 2008. Cadmium concentration in grains of Japanese wheat cultivars: Genotypic difference and relationship with agronomic characteristics. *Journal of Plant Production Science*. 11: 243–249.
- Li, X., N. Ziadi, G. Belanger, Z. Cai, and H. Xu. 2011. Cadmium accumulation in wheat grain as affected by mineral N fertilizer and soil characteristics. *Canadian Journal of Soil Science*. 91(4): 521-531.
- Malakoti, M.J., A. Baybordi, and S.J. Tabatabaee. 2004. Optimum use of fertilizer to improve quality and reduced pollutant in vegetable production. Iran Agriculture Ministry. 338 pp. (In Persian).
- Masoni A., L. Ercoli, L. Lulli, and I. Arduini. 2005. Variety effect on grain-Cd accumulation in durum wheat. In: Giuliani M.M., Gatta G. (eds.): Proceedings of XXXVI Meeting of the Italian Society of Agronomy, 20–22 September, OLOCAP, Foggia. 336–337.
- Mitchell, L.G., C.A. Grant, and G.J. Racz. 2000. Effect of nitrogen application on concentration of cadmium and nutrient ions in soil solution and in durum wheat. *Canadian Journal of Soil Science*. 80: 107-115.
- Rodda, M.S., G. Li, and R.J. Reid. 2011. The timing of grain Cd accumulation in rice plants: The relative importance of remobilization within the plant and root Cd uptake post-flowering. *Journal of Plant and Soil*. 347: 105–114.
- Saadat, K., M. Barani Motlagh, E. Dordipour, and A. Ghasemnezhad. 2012. Influence of sewage sludge on some soil properties, yield and concentration of lead and cadmium in roots and shoots of Maize. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 2(2): 27-48. (In Persian).

- Singh, B.R., S.K. Gupta, H. Azaizeh, S. Shilev, D. Sudre, W.Y. Song, E. Martinoia, and M. Mench. 2011. Safety of food crops on land contaminated with trace elements. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 91: 1349–1366.
- Sohrabi Yourtchi, M., and H.R. Bayat. 2013. Effect of cadmium toxicity on growth, cadmium accumulation and macronutrient content of durum wheat. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 6(15): 1099-1103.
- Soltanpour, P.N. 1991. Determination of nutrient availability and element toxicity by AB-DTPA soil test and ICPS. *Journal of Advance, Soil Science.* 16: 165-190.
- Thawornchaisit, U., and C. Polprasert. 2009. Evaluation phosphate fertilizers for stabilization of cadmium in highly contaminated soils. *Journal of Hazard Material*. 165: 1109-1113.
- Toth, G., T. Hermann, M.R. Da Silva, and L. Montanarella. 2016. Heavy metals in agricultural soils of the European union with implications for food safety. *International Journal of Environment*. 88: 299-309.
- Valinegajad, M., M.J. Malakoti, M.H. Davodi, N. Saadati, N. Saadati, M.R. Ramezanpor, M. Mahmodi, and M. Mohamadian. 2010. Determination critical limit of zinc and evaluation rice reaction to zinc sulphate in rice field. Special letter about optimium use of fertilizer. *Journal of Soil and Water Institute*. 14: 63-71. (In Persian).
- Valizadeh, F., A. Rayhani tabar, N.A. Najafi, and Sh. Avestan. 2012. Effect of dual use cadmium and zinc on growth characteristics of rice. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 3(43): 195-205. (In Persian).
- Vergine, M., A. Aprile, E. Sabella, A. Genga, M. Siciliano, P. Rampino, M. Salvatore Lenucci, A. Luvisi, and L. De Bellis. 2017. Cadmium Concentration in Grains of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. durum). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 65(30): 6240–6246.
- Veselov, D., G. Kudoyarova, M. Symonyan, and S. Veselov. 2003. Effect of cadmium on ion uptake, transpiration and cytokinin content in wheat seedlings. *Bulgarian Journal of Plant Physiology.* Special Issue. 353-359.
- Yildiz, N. 2005. Response of tomato and corn to increasing Cd in nutrient culture. *Pakistan Journal of Botany*. 37(3): 593-599.

Evaluating the Various Cropping Systems on Cd Concentrations of Different Growth Stages of Wheat

Khoshnaz Payandeh[1*], Alireza Jafarnejadi[1,2], Ali Gholami[1], Alireza Shokohfar[3], and Ebrahim Panahpor[1]

Received: February 2016 , Revised: 21 August 2017, Accepted: 1 November 2017

Abstract

Soil contamination with heavy metals would accumulate these elements in plant tissues and decrease qualitaty and quantity of agricultural producs and thus endanger human and animal healths. Previous crop residues and rates of fertilizers applications (especially phosphorus fertilizer) are the most important effective factors on accumulation of cadmium in crop tissues. Another influential factor affecting soil shrinkage is crop rotation which induces the solubility of cadmium. This research was aimed to assess the effects of conventional cropping system on cadmium concentrations in wheat at its different growth stages by using a split plot in time experiment based on completely randomized block design with three replications in the 2014-2015 growing season in Shavoor Agricultural Research Station (Khuzestan province). Main plot consisted of cropping system (rice-wheat, fallow-wheat) and sub plot of growth stages at three levels (tillering, flowering and ripening). Different wheat seed cadmium concentrations due to two cropping systems were different significantly at 1% probability level. Cadmium concentration in the seeds at rice-wheat cropping system (0.31 $mg.kg^{-1}$) was higher than fallow-wheat system (0.27 $mg.kg^{-1}$) which is higher than World Health Organization standards. Result of analysis of variance showed that the effect of cropping systems and different growth stages of wheat on root and stem cadmium concentrations were significant at 1% probability level. Rice-wheat cropping system resulted in higher cadmium concentration in root (1.09 $mg.kg^{-1}$) and stem (0.73 $mg.kg^{-1}$) compared to that of the fallow-wheat cropping system. Accumulation of cadmium in stem or root at different growth stages of wheat were not significant but it was totally additive, because range of variation of cadmium concentration from planting to harvest was low.

Key words: Cadmium concentration, Rotation, Seed, Wheat.

1- Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran.
3- Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
**** Corresponding Author:*** *Khpayandeh@iauahvaz.ac.ir*