

اثر مصرف توام کادمیوم و روی در خاک آهکی بر پاسخ‌های گیاه گندم

غلامرضا ثواقبی^۱، محمد معز اردلان^۲ و محمدجعفر ملکوتی^۳

۱، ۲، استادیار و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

۳، استاد، نشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش مقاله ۸۰/۹/۲۱

خلاصه

کادمیوم (Cd) در تغذیه گیاه عنصر سمی است و در تغذیه انسان و دام نیز یک آلاینده محسوب می‌شود و غلظت زیاد آن در بخش‌های خوراکی گیاهان مانند دانه گندم و برنج برای سلامتی افراد جامعه بسیار خطرناک است. حداکثر غلظت مجاز کادمیوم در دانه گندم ۰/۱۲-۰/۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. برای بررسی اثرات مصرف توام کادمیوم و روی در یک خاک آهکی منطقه کرج بر پاسخ‌های گیاه گندم، آزمایش گلخانه‌ای انجام شد. در یک آزمایش فاکتوریل و در طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در هر تیمار، پنج سطح کادمیوم (صفر، ۲/۵، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و چهار سطح روی (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) به گلدانها اضافه شد و بذر گندم رقم مهدوی کشت گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مصرف کادمیوم به طور معنی‌داری ($P < 0/01$) عملکرد دانه، کاه و عملکرد کل را کاهش ولی مصرف روی به طور معنی‌دار ($P < 0/01$) آنها را افزایش داد. مصرف کادمیوم به تنهایی موجب ۵۴/۲۶ درصد کاهش عملکرد دانه شد در حالیکه با مصرف روی این کاهش عملکرد به ۱۴/۴۲ درصد رسید. اثرات برهمکنش کادمیوم و روی نیز به طور منفی معنی‌دار شد. کادمیوم غلظت و جذب کادمیوم توسط دانه و کاه و جذب کل آن را افزایش ولی مصرف روی آنها را کاهش داد. غلظت کادمیوم در کاه بیشتر از دانه ولی در مورد غلظت روی برعکس بود. مصرف روی جذب کل کادمیوم را از ۲۶/۱۲ میکروگرم در گلدان در Zn_0 به ۱۱/۲۶ میکروگرم در گلدان در Zn_3 کاهش داد. غلظت آهن، منگنز و مس در دانه نیز با مصرف کادمیوم و روی کاهش یافت. برای کاهش غلظت کادمیوم در دانه گندم، مصرف کود روی، مصرف کود فسفر صرفاً بر اساس آزمون خاک و انتخاب ارقام گندم با پتانسیل تجمع کمتر کادمیوم در دانه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کادمیوم، روی، آهن، منگنز، مس، غلظت، جذب، دانه و عملکرد.

مقدمه

بین فلزات سنگین کادمیوم دارای اهمیت ویژه‌ای است زیرا به راحتی توسط سیستم ریشه گیاه جذب شده و سمیت آن برای گیاه ۲۰-۲ برابر سایر فلزات سنگین می‌باشد. آلووی (۱۹۹۰) گزارش داد که اکثر خاکهای غیر آلوده دارای کادمیوم کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشند. در اراضی کشاورزی کادمیوم موجود در کودهای فسفوری یکی از منابع عمده آلودگی خاک با این عنصر سمی است.

آلودگی خاک با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است و با انتقال این عناصر سمی از طریق تولیدات گیاهی به انسان، سلامتی افراد جامعه به خطر می‌افتد. علاوه بر آن آلوده شدن خاک و آب با فلزات سنگین پایداری تولیدات کشاورزی را دچار مخاطره می‌سازد و ممکن است موجب کاهش عملکرد و کیفیت محصول شود. در

نقش کودهای فسفوری در آلودگی خاک با کادمیوم و سمیت آن در گیاه در تحقیقات متعددی گزارش شده است (۱، ۷، ۸).

عوامل خاکی و گیاهی متعددی بر قابلیت جذب کادمیوم توسط گیاه تاثیر دارند و از مهمترین آنها می‌توان از میزان کل کادمیوم، منشأ کادمیوم، خاک، pH، قدرت اکسیداسیون و احیاء (redox)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، میزان و نوع رس، گونه یا رقم گیاهی نام برد (۳). جذب فلزات سنگین توسط گیاه نیز به دو صورت جذب فعال و غیر فعال می‌باشد. مارچیل و همکاران (۱۹۹۶) 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. طبق گزارش‌های منگل و کرکی (۱۹۸۷) میزان معمول کادمیوم در گیاه ۱-۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است و مقدار زیادی از کادمیوم جذب شده در مواضع تبدیلی ریشه نگهداری می‌شود. منچ و همکاران (۱۹۹۷) با بررسی خود بر روی نمونه‌های خاک و گیاه گندم در فرانسه گزارش می‌دهند که غلظت کادمیوم در دانه، متأثر از غلظت کل کادمیوم در خاک نیست ولی با کادمیوم عصاره‌گیری شده با کلسیم نترات یک دهم مولار و به میزان کمتر با pH و CEC خاک همبستگی دارند. آنها بیشترین غلظت کادمیوم در دانه را در گیاهانی که دچار کمبود روی و مس در اندام هوایی بودند اندازه‌گیری کردند در این بررسی فاکتور غلظت CF^1 (غلظت کادمیوم در گیاه به غلظت آن در خاک) از ۰/۱ تا یک متغیر بود.

طبق گزارش چودری و همکاران (۱۹۹۴)، ۱۸-۱۲ درصد کادمیوم بخش هوایی غلات به دانه منتقل می‌شود. ونزل و همکاران (۱۹۹۶) گزارش دادند که بین ارقام مختلف گندم از نظر تجمع کادمیوم ممکن است تا ۲/۵ برابر تفاوت وجود داشته باشد. آنها انتخاب ارقام گندم با پتانسیل تجمع کم کادمیوم و تنظیم وضعیت شیمیایی خاک را برای کاهش جذب کادمیوم و ورود آن به زنجیره غذایی انسان را موثر دانستند.

منگل و کرکی (۱۹۸۷) گزارش دادند که کادمیوم و روی از نظر شیمیایی بهم شبیه بوده و کادمیوم جذب و وظایف متابولیسمی روی را در گیاه تقلید نموده ولی بر خلاف روی این

عنصر برای گیاهان، حیوانات و انسان سمی است. گزارشهای گوپتا و پوتالیا (۱۹۹۰) نیز حاکی از آن است که با افزایش سطوح کادمیوم مصرفی، غلظت این عنصر در دانه افزایش ولی با مصرف روی غلظت کادمیوم در دانه کاهش می‌یابد. اثر کاهندگی روی بر غلظت کادمیوم دانه ممکن است مربوط به اثر رقت^۲، اثر رقابتی^۳ روی بر جذب کادمیوم یا اثر بازدارندگی^۴ روی بر انتقال کادمیوم در گیاه باشد.

اولیور و همکاران (۱۹۹۳) نیز گزارش می‌دهند که در خاکهای 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 تأثیر مصرف روی بر کاهش غلظت کادمیوم دانه تنزل می‌کند. اثرات باقیمانده روی نیز بر کاهش غلظت کادمیوم دانه موثر است.

با توجه به اثرات سوء کادمیوم در تغذیه گیاه، حیوان و انسان این پژوهش به منظور مطالعه اثرات مصرف توام روی و کادمیوم بر پاسخ‌های گیاه گندم در یک خاک آهکی به اجراء در آمد. تا امکان مصرف کود سولفات روی در خاکهای آلوده با کادمیوم به منظور کاهش اثرات سوء این عنصر بر گیاه ارزیابی شود.

مواد و روشها

این بررسی در یک خاک آهکی منطقه کرج و در شرایط گلخانه اجراء شد. در یک آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار چهار سطح روی (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و پنج سطح کادمیوم (صفر، ۲/۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بر روی گندم رقم مهدوی اعمال گردید. برای هر گلدان سه کیلوگرم خاک توزین و در کیسه‌های نایلونی ریخته شد. پس از اعمال تیمارها و مصرف سایر عناصر غذایی با توجه به نتایج آزمون خاک، خاک گلدان‌ها کاملاً مخلوط گردید. و در هر گلدان ۷ بذر گندم رقم مهدوی پس از بهاره کردن کشت گردید. آبیاری گلدانها با آب

2. Dilution effect

3. Competitive effect

4. inhibitory effect

1. Concentration factor

جدول ۱- نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت

خصر صیت	% شن	% سیلیت	% رس	% رطوبت اشباع	ظرفیت مزرعه (%)	نقطه پژمردگی (%)	هدایت الکتریکی دسی ریمنس بر متر	واکنش گل اشباع	مواد خشی شونده (%)
مقدار	۳۶/۸	۳۴/۷	۲۸/۵	۳۸	۱۹/۸	۱۰/۲	۱/۱	۷/۷	۷/۵
خصر صیت	% کربن آلی	% نیتروژن کل	فسفر قابل	پتاسیم قابل	آهن قابل	منگنز قابل	روی قابل	مس قابل	کادمیوم قابل
مقدار	۰/۴۵	۰/۰۵	۹/۵	۱۶۵	۳/۵	۵/۸	۰/۵۲	۰/۶۰	۰/۰۸

* روش اولسن - سهل گرم در غده گرم ** روش آمونیوم استات - میلی گرم در کیلوگرم *** عناصر کم مصرف و کادمیوم با روش DTPA - میلی گرم در کیلوگرم

Fine Loamy, Mixed, Thermic, Haplocalcids

طبقه‌بندی می‌شود.

در جدول ۲ اثرات مصرف توام روی و کادمیوم بر عملکرد کل آورده شده است، که از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شد. با مصرف کادمیوم عملکرد دانه با ۵۴ درصد کاهش از ۶/۸۰ گرم در گلدان در Cd_0 به ۳/۱۱ گرم در گلدان در Cd_4 رسید با مصرف روی درصد کاهش محصول ناشی از کادمیوم از ۵۴ به ۱۴ درصد تنزل نمود. بنابراین با مصرف روی می‌توان تا حدود زیادی اثرات سوء کادمیوم بر کاهش عملکرد را خشی نمود. بالاترین عملکرد دانه ۷/۱۱ گرم از تیمار Cd_0Zn_2 به دست آمد تیمار Cd_0Zn_3 در مقایسه با آن عملکرد را کاهش داد (۷/۰۶ گرم). این مطلب بیانگر آن است که حتی روی نیز که به عنوان یک عنصر ضروری کم مصرف است در غلظت‌های زیاد و با مصرف بیش از اندازه می‌تواند موجب کاهش عملکرد شود. عملکرد کل نیز از ۱۵/۷۳ در Cd_0 به ۷/۴۴ گرم در Cd_4 رسید. کمترین میزان عملکرد کل از تیمار Cd_4Zn_0 به دست آمد (۱/۸۴ گرم در گلدان). چوچ و همکاران (۱۹۸۹) نیز گزارش دادند که با مصرف روی عملکرد دانه گندم به طور معنی‌دار افزایش ولی با مصرف کادمیوم، کاهش یافت. اثر کاهندگی کادمیوم بر عملکرد دانه در غیاب روی شدیدتر بود به طوری که با مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم به تنهایی عملکرد ۹۶ درصد کاهش یافت ولی با مصرف ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی این کاهش عملکرد ۶۴ درصد بود. بخشی از کاهش عملکرد دانه ناشی از کادمیوم زیاد به دلیل اثرات سمی کادمیوم در گیاه و بخشی از آن مربوط به عدم تعادل یونی می‌شود.

مقتر بر اساس رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) انجام شد. در طول دوره رشد شرایط گلخانه از نظر نور و دما کنترل شده بود. پس از برداشت محصول و توزین آن برای تعیین عملکرد نمونه‌های کاه و دانه برای تجزیه و اندازه‌گیری غلظت عناصر آسیاب گردید و از هر نمونه یک گرم توزین و در کوره الکتریکی خاکستر شد. عصاره‌گیری با اضافه نمودن ۱۰ میلی‌لیتر کلریدریک اسید دو مولار و عبور دادن محلول از کاغذ صافی واتمن ۴۲ انجام گرفت. در عصاره‌های به دست آمده غلظت عناصر روی، کادمیوم، آهن، منگنز و مس با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. میزان جذب کادمیوم و روی توسط دانه و کاه از حاصلضرب غلظت آنها در عملکرد به دست آمده و مجموع آنها جذب کل هر عنصر را در گلدان مشخص نمود. نتایج و داده‌های به دست آمده به عنوان پاسخ‌های گیاهی با نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. گروه‌بندی میانگین‌ها به روش آزمون دانکن و با محاسبه LSD انجام شد. ضرایب همبستگی ساده صفات مورد بررسی نیز محاسبه گردید.

نتایج و بحث

در جدول ۱ نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی آورده شده است. این خاک از نظر بافت متوسط، فاقد مشکل شوری یا قلیائیت با مواد آلی کم و خاکی آهکی می‌باشد. و از نظر روی و کادمیوم قابل استفاده نیز در سطح پائین بوده و برای اعمال تیمارها مناسب به نظر می‌رسد. کانیهای غالب این خاک کلریت و ایلیت بوده و مقدار ناچیزی کانی مونت موریلونیت نیز در آن مشاهده شد. مواد مادری این خاک شامل رسوبات آبرفتی رودخانه کرج است. خاک مورد استفاده Xeric

روی بر غلظت کادمیوم دانه ممکن است به اثر رقت، اثر بازدارندگی روی بر انتقال کادمیوم از کاه به دانه و اثر رقابتی روی بر جذب کادمیوم مربوط باشد. چودری و همکاران (۱۹۹۴) نیز گزارش دادند که با مصرف روی، غلظت کادمیوم در دو رقم گندم دوروم کاهش یافت.

جدول ۳- اثرات مصرف کادمیوم و روی بر غلظت کادمیوم دانه و کاه (میلی گرم در کیلوگرم)

سطوح کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	سطوح روی (میلی گرم در کیلوگرم خاک)			
	۰	۱۰	۲۰	۴۰
غلظت کادمیوم در دانه (میلی گرم در کیلوگرم)				
۰	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
۲/۵	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸
۵	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴
۱۰	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۲
۲۰	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۱
میانگین	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵
LSD/۱	۰/۰۱۸ = کادمیوم			
غلظت کادمیوم در کاه (میلی گرم در کیلوگرم)				
۰	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳
۲/۵	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶
۵	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲
۱۰	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۰
۲۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰
میانگین	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵
LSD/۱	۰/۰۲۰ = کادمیوم			

* میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی دار در سطح یک درصد می باشند.

در جدول ۴ اثرات کادمیوم و روی بر جذب کادمیوم توسط دانه، کاه و جذب کل توسط گیاه همراه با گروه بندی میانگین ها آورده شده است. همانطوریکه داده ها نشان می دهد جذب کادمیوم تحت تاثیر معنی دار اثرات اصلی و بر همکنش کادمیوم و روی قرار گرفته است. با مصرف کادمیوم جذب کادمیوم توسط دانه تا سطح Cd_3 (۱۰ میلی گرم در کیلوگرم) افزایش ولی در سطح Cd_4 (۲۰ میلی گرم در کیلوگرم) کاهش نشان می دهد. این کاهش در جذب را می توان ناشی از تاثیر سوء کادمیوم بر عملکرد و نقصان تولید دانه در این تیمار دانست. بنابراین با وجود افزایش غلظت کادمیوم جذب کادمیوم در این تیمار کاهش نشان میدهد. جذب کل کادمیوم نیز روندی افزایشی تا Cd_2 ولی سپس کاهشی دارد. با مصرف روی جذب کل کادمیوم از Zn_0 در Zn_{12} به Zn_{29} میکروگرم در گلدان در Zn_3 کاهش نشان داد. بنابراین می توان با مصرف روی جذب کادمیوم

مارچپول و همکاران (۱۹۹۶) علایم عمومی ناشی از جذب مقادیر زیاد کادمیوم در گیاه را کاهش و توقف رشد ریشه و چوب پنبه ای شدن ساختمان آن، کاهش هدایت هیدرولیکی آب در ریشه، تداخل با جذب و انتقال طبیعی عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل و اختلال در فعالیت های آنزیمی دخیل در فتوسنتز عنوان کرده اند.

جدول ۲- اثرات مصرف کادمیوم و روی بر عملکرد دانه و عملکرد کل *

سطح کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم)	سطوح روی (میلی گرم در کیلوگرم)			
	۰	۱۰	۲۰	۴۰
عملکرد دانه (گرم در گلدان)				
۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰
۲/۵	۵/۶۳	۵/۶۳	۵/۶۳	۵/۶۳
۵	۴/۷۷	۴/۷۷	۴/۷۷	۴/۷۷
۱۰	۴/۳۵	۴/۳۵	۴/۳۵	۴/۳۵
۲۰	۳/۱۱	۳/۱۱	۳/۱۱	۳/۱۱
میانگین	۴/۹۳	۴/۹۳	۴/۹۳	۴/۹۳
LSD/۱	۰/۰۲۷ = کادمیوم			
عملکرد کل (گرم در گلدان)				
۰	۱۵/۷۳	۱۵/۷۳	۱۵/۷۳	۱۵/۷۳
۲/۵	۱۳/۰۷	۱۳/۰۷	۱۳/۰۷	۱۳/۰۷
۵	۱۱/۱۳	۱۱/۱۳	۱۱/۱۳	۱۱/۱۳
۱۰	۱۰/۱۷	۱۰/۱۷	۱۰/۱۷	۱۰/۱۷
۲۰	۷/۴۴	۷/۴۴	۷/۴۴	۷/۴۴
میانگین	۱۱/۵۱	۱۱/۵۱	۱۱/۵۱	۱۱/۵۱
LSD/۱	۰/۰۳۹ = کادمیوم			

* میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی دار در سطح یک درصد می باشند.

جدول ۳ اثرات کادمیوم و روی را بر غلظت کادمیوم دانه و کاه همراه با گروه بندی میانگین ها نشان می دهد. اثرات اصلی و بر همکنش کادمیوم و روی بر غلظت کادمیوم دانه و کاه در سطح یک درصد معنی دار شد. با مصرف کادمیوم، غلظت آن در دانه و کاه افزایش ولی با مصرف روی کاهش یافت. در این بررسی میانگین غلظت کادمیوم در دانه $1/15$ میلی گرم در کیلوگرم و در کاه $3/80$ میلی گرم در کیلوگرم بود به عبارت دیگر میانگین غلظت کادمیوم در کاه $3/3$ برابر غلظت آن در دانه بود. بالاترین غلظت کادمیوم در دانه و کاه در تیمار Cd_4Zn_0 به دست آمد. گوپتا و پوتالیا (۱۹۹۰) نیز گزارش دادند که با مصرف کادمیوم، غلظت کادمیوم دانه افزایش ولی با مصرف روی غلظت کادمیوم دانه کاهش یافت. اثر کاهندگی

جدول ۵- اثرات مصرف کادمیوم و روی بر غلظت روی دانه و کاه

سطح کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	سطح روی (میلی گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	۰	۱۰	۲۰	
	غلظت روی دانه (میلی گرم در کیلوگرم)			
۰	۱۸/۰۰K	۲۵/۲۰G	۳۷/۰۰C	۴۶/۳۳A
۲/۵	۱۷/۸۰KL	۳۲/۲۰I	۳۱/۰۰E	۳۸/۱۳B
۵	۲۰/۳۳LM	۱۷/۰۰J	۲۷/۱۶F	۳۲/۰۰D
۱۰	۱۴/۲۰N	۱۸/۴۹K	۳۲/۲۰I	۲۴/۳۶H
۲۰	۱۷/۴۰O	۱۶/۰۰M	۲۰/۳۳J	۲۴/۰۰E
میانگین	۱۵/۸۴D	۲۰/۷۴C	۲۷/۸۱B	۳۲/۲۸A
LSD/۱	۰/۴۳۱ = کادمیوم ۰/۳۳۵ = روی ۰/۸۶۲ = روی × کادمیوم			
	غلظت روی کاه (میلی گرم در کیلوگرم)			
۰	۱۴/۱۳۱	۲۰/۱۶E	۳۰/۰۰B	۳۴/۱۶A
۲/۵	۱۲/۲۶J	۱۸/۳۳F	۲۵/۲۰C	۳۰/۴۰B
۵	۱۱/۲۹K	۱۵/۳۰H	۲۱/۰۰D	۲۱/۰۰D
۱۰	۱۰/۲۰L	۱۲/۸۰J	۱۸/۰۰F	۱۹/۷۴E
۲۰	۹/۹۳L	۱۲/۲۰J	۱۵/۰۰H	۱۶/۸۲G
میانگین	۱۱/۶۰D	۱۵/۷۱C	۲۱/۹۸B	۲۵/۵۷A
LSD/۱	۰/۳۵۹ = کادمیوم ۰/۳۲۱ = روی ۰/۷۱۸ = روی × کادمیوم			

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی دار در سطح یک درصد می‌باشند.

جدول ۶- اثرات مصرف کادمیوم و روی بر جذب روی توسط دانه، کاه و جذب کل توسط گیاه

سطح کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	سطح روی (میلی گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	۰	۱۰	۲۰	
	جذب کادمیوم توسط دانه (میکروگرم در گلدان)			
۰	۱۱۲/۴۹J	۱۷۰/۷۷E	۲۹۳/۳۱B	۳۱۷/۱۰A
۲/۵	۵۵/۵۳M	۱۳۰/۸۴H	۲۱۲/۰۱C	۲۳۳/۸۸B
۵	۴۷/۸۰N	۹۲/۱۸۵	۱۵۹/۲۱F	۱۹۱/۳۶D
۱۰	۲۶/۱۷O	۷۷/۱۸L	۱۳۰/۴۵H	۱۳۹/۲۹G
۲۰	۱۷/۰۰P	۴۵/۲۶N	۷۸/۰۹L	۱۱۹/۸۱I
میانگین	۴۹/۵۵D	۱۰۳/۳۷C	۱۶۱/۸۲B	۲۰۸/۲۶A
LSD/۱	۲/۳۳ = کادمیوم ۲/۰۸ = روی ۴/۶۶ = روی × کادمیوم			
	جذب روی توسط کاه (میکروگرم در گلدان)			
۰	۱۱۶/۵۰J	۱۷۹/۸۷F	۲۸۰/۲۰B	۳۳۷/۵۵A
۲/۵	۵۲/۸۵N	۱۳۷/۴۶I	۲۲۹/۴۶D	۲۳۳/۱۹C
۵	۴۲/۰۳O	۹۲/۷۱K	۱۶۰/۳۳G	۱۹۱/۵۴E
۱۰	۲۶/۱۱P	۷۰/۸۱M	۱۳۵/۶۶I	۱۴۹/۴۲H
۲۰	۱۲/۷۴Q	۴۹/۲۲O	۸۱/۰۱L	۱۲۱/۱۰J
میانگین	۵۰/۴۵D	۱۰۵/۳۳C	۱۷۶/۸۵B	۲۱۴/۹۶A
LSD/۱	۲/۸۰ = کادمیوم ۲/۵۰ = روی ۵/۶۰ = روی × کادمیوم			
	جذب کل کادمیوم گیاه (میکروگرم در گلدان)			
۰	۲۲۹/۴۳J	۳۵۰/۷۴E	۵۴۳/۵۱B	۶۶۶/۶۶A
۲/۵	۱۰۹/۴۸N	۲۶۸/۲۸H	۴۲۸/۴۷C	۵۳۷/۰۸B
۵	۹۰/۸۳O	۱۸۵/۴۴K	۳۲۰/۱۹F	۳۸۵/۰D
۱۰	۵۲/۳۸P	۱۴۸/۰۱M	۲۶۶/۱۱H	۲۸۷/۲۱G
۲۰	۱۹/۶۵Q	۸۹/۹۱O	۱۵۹/۱۰K	۲۴۰/۷۹I
میانگین	۱۰۰/۲۵D	۲۰۸/۵۱C	۳۴۵/۴۸B	۴۲۳/۰۳A
LSD/۱	۳/۵۴ = کادمیوم ۳/۱۷ = روی ۱۰/۲۶ = روی × کادمیوم			

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی دار در سطح یک درصد می‌باشند.

کاهش یافت. میانگین غلظت روی دانه در Zn_0 برابر $15/88$ و در Zn_3 به $32/62$ میلی‌گرم در کیلوگرم رسید. افزایش غلظت روی دانه بر اثر مصرف کود روی در تحقیقات متعددی گزارش

توسط گیاه را کاهش داد. در این بررسی $17/3$ درصد کل کادمیوم جذب شده در اندام هوایی در دانه و بقیه در کاه و کلس ذخیره شده‌اند. نتایج به دست آمده با یافته‌های چودری و همکاران (۱۹۹۴) مطابقت دارد. در یک بررسی انجام شده بر روی کاه و اسفناج، مصرف 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 اما در غلظت‌های بالاتر روی در محلول، روی با کادمیوم در جذب توسط ریشه تداخل می‌نماید (۶). با توجه به مکانیسم‌های مختلف رقابت کادمیوم و روی، اثر نهایی افزایش روی در سیستم خاک، گیاه بسته به غلظت نسبی کادمیوم و روی، خصوصیات خاک و گیاه متفاوت می‌باشد.

جدول ۴- اثرات مصرف کادمیوم و روی بر جذب کادمیوم توسط دانه، کاه و جذب کل توسط گیاه

سطح کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	سطح روی (میلی گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	۰	۱۰	۲۰	
	جذب کادمیوم توسط دانه (میکروگرم در گلدان)			
۰	۰/۱۴k	۰/۱۳k	۰/۱۴k	۰/۱۴E
۲/۵	۵/۴۵D	۴/۹۶E	۳/۳۲G	۴/۸۱C
۵	۶/۵B	۶/۵B	۲/۱۸GH	۴/۸۵B
۱۰	۷/۴C	۷/۳۸A	۳/۳۶F	۵/۰۸A
۲۰	۲/۹۱I	۵/۵۷D	۳/۳۴F	۳/۸۱D
میانگین	۴/۲۶B	۴/۲۸A	۲/۸۲C	۳/۵۲
LSD/۱	۰/۰۸۷ = کادمیوم ۰/۱۷۸ = روی ۰/۱۷۵ = روی × کادمیوم			
	جذب کادمیوم توسط کاه (میکروگرم در گلدان)			
۰	۰/۲۵P	۰/۲۶P	۰/۱۹P	۰/۱۲E
۲/۵	۳۱/۱۶D	۲۶/۹۴F	۱۳/۳۱M	۱۹/۳۳C
۵	۳۴/۵۹B	۳۵/۰۶A	۱۶/۹۶I	۲۴/۸۴A
۱۰	۲۷/۵۲E	۳۲/۰۰C	۱۸/۵۵H	۲۲/۹۵B
۲۰	۱۵/۸۲J	۱۵/۳۳K	۱۴/۳۱L	۱۷/۱۴D
میانگین	۱۵/۸۶B	۲۳/۶۸A	۱۲/۸۷C	۱۶/۸۹
LSD/۱	۰/۱۸۱ = کادمیوم ۰/۱۶۲ = روی ۰/۳۳۲ = روی × کادمیوم			
	جذب کل کادمیوم گیاه (میکروگرم در گلدان)			
۰	۰/۳۹P	۰/۳۹P	۰/۳۳P	۰/۳۶E
۲/۵	۳۶/۱۴C	۳۱/۰۰E	۱۷/۹۶L	۲۲/۱۷C
۵	۴۱/۳۲A	۴۱/۷۴A	۲۰/۱۴H	۲۹/۹۸A
۱۰	۳۳/۶D	۴۰/۰۳B	۲۱/۳۵G	۲۸/۰۴B
۲۰	۱۸/۵۲J	۲۸/۹۲F	۱۹/۰۷I	۲۰/۸۷D
میانگین	۲۲/۱۲B	۲۸/۵۹A	۱۵/۰۰C	۲۰/۴۳
LSD/۱	۰/۲۱۴ = کادمیوم ۰/۱۹۲ = روی ۰/۴۲۹ = روی × کادمیوم			

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی دار در سطح یک درصد می‌باشند.

جدول ۵ و ۶ اثرات کادمیوم و روی بر غلظت و جذب روی دانه و کاه و جذب کل همراه با گروه‌بندی میانگین نشان می‌دهد با مصرف کادمیوم غلظت روی دانه $43/31$ درصد

شده است (۲). میانگین غلظت روی در Cd_0 برابر $31/63G$ و در Cd_4 $17/93$ میلی گرم در کیلوگرم شد.

جدول ۷- اثرات مصرف کادمیوم و روی بر غلظت آهن، منگنز و مس دانه

سطوح کادمیوم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	سطوح روی (میلی گرم در کیلوگرم خاک)			
	۰	۱۰	۲۰	۴۰
میانگین	۷۷/۶۶A	۷۱/۲۰BC	۷۱/۰۰GH	۶۷/۴۰K
۲/۵	۷۱/۳۳BC	۷۲/۶۶DE	۷۱/۰۰GH	۶۶/۳۳L
۵	۷۷/۰۰AB	۷۲/۰۰EF	۷۰/۳۳HI	۶۵/۱۰M
۱۰	۷۵/۳۳C	۷۲/۰۰FG	۶۹/۳۳JI	۶۱/۰۰N
۲۰	۷۴/۰۰DE	۷۱/۶۶G	۶۹/۰۰J	۶۱/۳۳O
میانگین	۷۷/۰۶A	۷۲/۹۰G	۷۰/۱۳C	۶۵/۰۳D
LSD/۱	۰/۵۱۱ = کادمیوم	۰/۴۵۷ = روی	۱/۰۲۳ = روی × کادمیوم	
میانگین	۳۷/۶۶C	۳۷/۰۰CD	۳۴/۳۳F	۳۲/۶۶G
۲/۵	۳۸/۴۰B	۳۷/۳۳CD	۳۴/۶۶F	۳۲/۰۰G
۵	۳۷/۶۶C	۳۷/۰۰CD	۳۴/۰۰F	۳۲/۵۰G
۱۰	۳۷/۰۰AB	۳۶/۹۰D	۳۴/۱۶F	۳۱/۰۰H
۲۰	۳۷/۰۰E	۳۴/۶۶F	۳۴/۰۰F	۲۹/۶۶I
میانگین	۳۷/۰۶A	۳۷/۳۳B	۳۴/۳۳C	۳۱/۵۶D
LSD/۱	۰/۳۴۶ = کادمیوم	۰/۲۴۹ = روی	۰/۶۹۳ = روی × کادمیوم	
میانگین	۸۲/۰۰BC	۸۲/۰۰BC	۸۲/۰۰BC	۷۲/۰۰I
۲/۵	۸۳/۰۰AB	۸۲/۰۰BC	۷۱/۴FG	۷۱/۳HI
۵	۸۴/۰۰A	۸۲/۰۰BC	۷۳GH	۷۱/۲JK
۱۰	۸۲/۳BC	۸۱/۰C	۷۳GHI	۷۰/۲K
۲۰	۷۸/۰D	۷۸/۳E	۷۲/۰I	۶۷/۴L
میانگین	۸۱/۸A	۸۰/۶B	۷۶C	۷۰/۰D
LSD/۱	۰/۰۷۵ = کادمیوم	۰/۰۶۷ = روی	۰/۱۵۰ = روی × کادمیوم	

* میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی دار در سطح یک درصد می باشند.

است. با مصرف کادمیوم و روی غلظت آهن دانه کاهش نشان داد ولی تاثیر کادمیوم بر غلظت منگنز و مس دانه این روند را نشان نداد و اثر کاهندگی آن در سطح Cd_4 مشاهده گردید ولی با مصرف روی غلظت منگنز و مس دانه به طور معنی دار کاهش نشان داد. به طور کلی کادمیوم در جذب و انتقال طبیعی عناصر غذایی در گیاه تداخل ایجاد می کند و بخشی از اثرات سوء آن در گیاه مربوط به برهم زدن تعادل عناصر غذایی و تداخل در جذب عناصر ضروری است. جلیل و همکاران (۱۹۹۴) گزارش دادند که مصرف کادمیوم، غلظت کادمیوم را در ریشه و اندام هوایی افزایش داد اما غلظت پتاسیم، روی و منگنز در ریشه و اندام هوایی کاهش یافت. ولی غلظت آهن تحت تاثیر قرار نگرفت. برهمکنش منفی بین روی و آهن در خاکهای مختلف گزارش شده است (۱۴، ۱۵). مصرف مداوم کود سولفات روی به منظور رفع کمبود این عنصر موجب کاهش جذب آهن در گیاه می شود. اثر ضدیت بین روی و آهن مربوط به اثر رقابتی این دو عنصر در محل جذب است ولی در مطالعات انجام شده در کشت محلول مشاهده شد که با افزایش غلظت آهن، انتقال روی در گیاه کاهش یافت. برهمکنش منفی بین روی - منگنز و روی - مس نیز گزارش شده است (۱۵).

جدول ۸، ضرایب همبستگی ساده صفات مورد بررسی را نشان می دهد. همانطوریکه ملاحظه می شود همبستگی بین عملکرد و غلظت کادمیوم دانه منفی و در سطح یک درصد

در جدول ۷ اثرات مصرف کادمیوم و روی بر غلظت آهن، منگنز و مس دانه همراه با گروه بندی میانگین ها آورده شده

جدول ۸- ضرایب همبستگی ساده صفات مورد بررسی

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
X_1 عملکرد کل	۰/۷۰**														
X_2 غلظت Cd دانه	-۰/۶۰**	۰/۸۰**													
X_3 جذب Cd دانه	-۰/۷۰**	۰/۹۷**	۰/۹۶**												
X_4 غلظت Cd کاه	-۰/۶۰**	۰/۹۰**	۰/۹۸**	۰/۸۵**											
X_5 جذب Cd کاه	-۰/۶۰**	۰/۸۰**	۰/۹۸**	۰/۸۵**	۰/۸۰**										
X_6 جذب کل Cd	-۰/۶۰**	۰/۸۰**	۰/۹۸**	۰/۸۵**	۰/۸۰**	۰/۸۰**									
X_7 غلظت Zn دانه	۰/۶۸**	۰/۸۰**	۰/۹۹**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**								
X_8 جذب Zn دانه	۰/۷۰**	۰/۸۰**	۰/۹۹**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**							
X_9 غلظت Zn کاه	۰/۶۸**	۰/۸۰**	۰/۹۹**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**						
X_{10} جذب Zn کاه	۰/۷۰**	۰/۸۰**	۰/۹۹**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**					
X_{11} جذب کل Zn	۰/۷۰**	۰/۸۰**	۰/۹۹**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۰**				
X_{12} غلظت Fe دانه	۰/۱۰**	۰/۹۴**	۰/۹۶**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**			
X_{13} غلظت Fe کاه	۰/۳۰**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**		
X_{14} غلظت Na کاه	۰/۱۰**														
X_{15} روتین دانه															

** NS، * به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و غیر معنی دار

زیادی اثرات سوء کادمیوم را بر پاسخ‌های گیاهی کاهش داد البته با توجه به تاثیر خصوصیات خاک و گیاه بر نوع برهمکنش کادمیوم و روی بررسیهای بیشتری در این زمینه ضروری است و با توجه به تاثیر شوری و غلظت زیاد کلر در محلول خاک یا آب آبیاری بر افزایش جذب کادمیوم توسط گیاه بررسی در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. شناسایی ارقام و گونه‌های گیاهی با پتانسیل تجمع کم کادمیوم برای کاشت در خاک‌های آلوده امری اجتناب‌ناپذیر و موثر می‌باشد.

سپاسگزاری

اعتبار مالی این پژوهش از سوی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران تامین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود. همچنین از کلیه عزیزانی که به هر نحو در اجرای این تحقیق همکاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نماییم.

معنی‌دار است. غلظت و جذب روی و کادمیوم دانه نیز همبستگی منفی و معنی‌داری نشان می‌دهند که ناشی از برهمکنش منفی بین آنهاست. همبستگی بین غلظت جذب کادمیوم دانه و درصد پروتئین نیز منفی و در سطح یک درصد معنی‌دار شد و این امر نشان می‌دهد با جذب کادمیوم و تجمع آن در دانه درصد پروتئین که یک عامل مهم کیفیت می‌باشد کاهش نشان می‌دهد. کادمیوم درصد پروتئین دانه را از طریق کاهش جذب نیترات و همچنین فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز (NR) کاهش می‌دهد. بنابراین در شرایط غلظت زیاد کادمیوم علاوه بر کاهش جذب نیترات، احیای آن در گیاه و سنتز پروتئین نیز دچار اختلال می‌گردد.

با توجه به نتایج به دست آمده در این بررسی برهمکنش منفی بین کادمیوم و روی مشاهده گردید. بنابراین در خاک‌های آلوده به کادمیوم می‌توان با مصرف کود سولفات روی تا حدود

مراجع مورد استفاده

۱. کریمیان، ن. ۱۳۷۷. پیامدهای زیاده‌روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفوری. مجله خاک و آب. ج ۱۲، شماره ۴، ص ۱۴-۱، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۲. ملکوتی، م. ج. و م. لطف‌اللهی. ۱۳۷۸. نقش روی در افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی و بهبود سلامتی جامعه. سازمان تات وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.
3. Alloway, B. J. 1990. Heavy metals in soils. Blakie and Sons Ltd. London.
4. Chaudery, M., L. D. Bailey and C. A. Grant. 1994. Effect of zinc on cadmium concentration in the tissue of durum wheat. *Can. J. of Plant Sci.* 74: 549-552.
5. Chuch, L., M. Saharan and K. Singh. 1989. Effect of Zinc and Cadmium on the yield and nutrient composition of wheat in a typic torripsament. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 37: 408-411.
6. Grant, C. A., L. D. Bailey, M. J. Mclaughlin and B. R. Singh. 1999. Management factors which influence cadmium concentrations in crops. PP. 157-198. In: M. J. Mclaughlin and B. R. Singh. *Cadmium in soils and plants.* Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
7. Gupta, V. and B. Potallia. 1990. Zinc – cadmium interaction in wheat. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 48: 452-457.
8. He, Q. B. and B. R. Singh. 1994a. Crop uptake of Cd from phosphate fertilizers. I. Yield and Cd content. *J. Water, Air, Soil Pollut.* 74: 251-265.
9. Jalil, A., F. Selles and J. Clarke. 1994. Effect of cadmium on growth and uptake of cadmium and other elements by durum wheat. *J. of Plant Nutr.* 17: 1983-1858.
10. Marchiol., L., L. Leita, M. Martin, A. Peressotti and G. Zerbi. 1996. Physiological responses of two soybean cultivars to cadmium, *J. of Environ. Qual.* 25: 562-566.
11. Mench, M., D. Baize and B. Mosquot. 1997. Cadmium availability to wheat in five soil series from the Yonne district, Burgundy, France. *J. of Environ. Qual.* 26: 93-103.
12. Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1987. Principles of Plant nutrition. 4th ed. International Potash Institute, Bern. Switzerland.
13. Oliver, D., Tiller, R. Merry and J. Schultz. 1993. The effect of crop rotations and tillage practices on cadmium concentration in wheat grain. *Australian. J. of Agricultural Research.* 44: 1221-1234.

14. Safaya, N. M. 1976. Phosphorus- Zinc interaction in relation to absorption rates of phosphorus, Zinc, copper manganese and iron in corn. *Soil Sci. Soc. Amer, J.* 40: 719-722.
15. Tandon, H. L. S. 1992. Management of nutrient interactions in agriculture. Fertilizer Development and Consulation Organization, New Delhi, India.
16. Wenzel, W., W. Blum, F. Jakwer, K. Roth and I. Vladeva. 1996. Effects of soil properties and cultivar on cadmium accumulation in wheat grain. *Z. Pflanzenernahr Bodenk*, 159: 609-614.

Effects of Combined Application of Cadmium and Zinc in Calcareous Soil on Responses of Wheat Plant

GH. SAVAGHEBI¹, M. M. ARDALAN² AND M. J. MALEKOUTI³

1,2, Assistant and Associate Professors, Faculty of Agriculture, University of Tehran

3, Professor, Tarbiat Modarres University

Accepted Dec. 12, 2001

SUMMARY

Cadmium (Cd) is a toxic element in plant nutrition and considered as a contaminant of food and feed. High levels of Cd in edible parts of crops such as wheat and rice grain are very dangerous as regards public health. Maximum tolerance level concentration (MPC) of Cd in wheat grain is 0.10-0.12 mgkg⁻¹. A greenhouse experiment was carried out to examine the effects of combined application of Cd and Zn on responses of wheat plant on a calcareous soil of Karaj. In a factorial experiment with randomized complete block design (RCBD) and three replicates per treatment, five levels of Cd (0, 2.5, 5, 10 and 20 mgkg⁻¹) and four levels of Zn (0, 10, 20 and 40 mgkg⁻¹) were added to the pot, then seeds of Mahdavi variety of wheat (*Triticum aestivum* L.) planted. The ANOVA results showed that Cd application significantly (P<0.01) decreased grain, straw, and total yield but Zn application increased these parameters significantly (P< 0.01). Application of Cd alone decreased the grain yield by 54.26%. while with Zn application the decrease in yield was 14.42%. The effects of Cd×Zn interaction were negatively significant. Cd increased the Cd concentration and uptake by grain and straw as well as total uptake but Zn application decreased the above parameters. Cd concentration in straw was higher than that in grain, but in the case of Zn it was vice versa. Applications of Zn decreased total uptake of Cd from 26.12 µgpot⁻¹ in Zn0 to 11.26 µgpot⁻¹ in Zn3. Concentrations of Fe, Mn and Cu in grain were decreased when Cd and Zn were applied. For reduction of Cd concentration in wheat grain, application of Zn and P fertilizers, only on the basis of soil test, and a selection of wheat varieties with lower potential of Cd accumulation in grain are recommended.

Key words: Cadmium, Zinc, Iron, Manganese, Copper, Concentration, Uptake, Grain and yield.