اثر کاربرد فسفر بر کاهش سمیت کادمیم در گیاه اسفناج در یک خاک آهکی

طیبه رحیمی* و عبدالمجید رونقی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۵/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۳/۱)

چکیده

آلوده شدن خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین یک خطر جدی می‌باشد که از هر دو دیدگاه کشاورزی و زیست محیطی حائز اهمیت است. از بین عناصر سنگین، کادمیم به دلیل تحرک و زیست فراهمی زیاد آن در خاک و سمیت آن برای انسان و گیاهان، حتی در غلظت‌های پایین، اهمیت زیادی دارد. برخلاف کادمیم، فسفر عنصری ضروری برای رشد گیاه است. به منظور بررسی اثر کاربرد کادمیم، فسفر و برهمکنش آنها بر رشد و ترکیب شیمیایی اسفناج در یک خاک آهکی آزمایشی در شرایط گلخانه در یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح کادمیم (۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک به صورت سولفات کادمیم) و چهار سطح فسفر (۰، ۲۰، ۴۰ و۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به صورت منو کلسیم فسفات) در سه تکرار بود. نتایج نشان داد که مصرف ۴۰ میلی‌گرم کادمیم به طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی اسفناج را ۴۷ درصد کاهش داد ولی مصرف فسفر اثر سوء کادمیم بر وزن خشک را به‌طور معنی‌داری تعدیل نمود. هم‌چنین مصرف فسفر، غلظت کادمیم را به طور معنی‌داری(۷۸ درصد) در اندام هوایی گیاه کاهش داد. با افزایش سطوح کاربردی کادمیم غلظت این عنصر در اندام هوایی اسفناج افزایش یافت. مصرف ۴۰ میلی‌گرم کادمیم، غلظت فسفر اندام هوایی را ۲۱/۵ درصد کاهش داد. غلظت روی، منگنز، کلسیم و نیتروژن در اندام هوایی اسفناج تحت تأثیر کاربرد فسفر به طور معنی‌داری کاهش یافت ولی غلظت سدیم افزایش یافت. کاربرد کادمیم، کاهش غلظت روی اما افزایش غلظت کلسیم، سدیم و نیتروژن را در اندام هوایی گیاه، به دنبال داشت. نتایج اولیه نشان داد که برای کاهش غلظت و اثر سوء کادمیم بر رشد گیاه اسفناج، کاربرد فسفر در خاک‌های با کمبود این عنصر، احتمالاً می‌تواند مؤثر باشد که مؤید برهمکنش منفی بین این دو عنصر است. قبل از هر گونه توصیه کودی نتایج این پژوهش بایستی در شرایط مزرعه نیز تأیید گردد.

واژه‌های کلیدی: کادمیم، فسفر، اسفناج، خاک آهکی

۱. به ترتیب کارشناس‌ارشد و استاد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

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

مقدمه

امروزه آلودگی محیطزیست به عنوان یکی از مباحث بسیار مهم در زندگی بشر مطرح است. این پدیده با تخریب منابع طبیعی، روز به روز سبب ایجاد محدودیت بیشتر برای ساکنان کره زمین می‌شود. گر چه امکان آلودگی محیطزیست از طریق برخی فرآیندهای طبیعی وجود دارد ولی می‌تواند ناشی از برخورد غیرمسئولانه انسان با محیطزیست و استفاده نادرست از منابع پایه نیز باشد. از جمله فعالیت‌های بشری استفاده از سوخت‌های فسیلی، فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، فرآیندهای استخراج و ذوب فلزات و وارد نمودن پسماندها به محیط خاک می‌باشد که به طور فزاینده‌ای به آلودگی محیط زیست دامن زده و سبب حادتر شدن این مشکل شده است. پس از آب و هوا، خاک به عنوان سومین جزء اصلی محیطزیست، نقش حیاتی در تأمین جایگاه موجودات زنده از جمله گیاهان خشکی‌زی دارد. ورود آلاینده‌ها و تجمع آنها در خاک دارای آثار مخربی است که از رشد طبیعی گیاهان به عنوان اصلی‌ترین عضو زنجیره حیات جلوگیری کرده و صدمات جبران ناپذیری بر این اکوسیستم و سایر اکوسیستم‌های مرتبط به آن وارد می‌کند.

یکی از مسائل زیست‌محیطی، آلوده شدن خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین است. متأسفانه به دلیل ورود انواع پسماندهای صنعتی و ضایعات کارخانه‌های مختلف، میزان ورود این فلزات به خاک رو به افزایش است (۱ و ۶). از بین عناصر سنگین، کادمیم به دلیل تحرک و زیست فراهمی زیاد آن در خاک و سمیت آن حتی در غلظت‌های پایین اهمیت بیشتری دارد (۱۲). به طور کلی سمیت کادمیم سبب ایجاد اختلال در متابولیسم عناصر کم مصرف، اختلال در تثبیت دی اکسید کربن و تعرق، کاهش و جلوگیری از فتوسنتز و همچنین کاهش نفوذپذیری دیواره سلولی می‌شود (۱۶). برخلاف کادمیم فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد و تکثیر گیاهان می‌باشد و برای ذخیره‌سازی و انتقال انرژی، حفاظت و انتقال کدهای ژنتیکی بکار می‌رود و جزء ترکیبات ساختمانی سلول‌ها و بسیاری از ترکیبات بیوشیمیایی می‌باشد(۱۵). ساندالیو و همکاران(۲۵) بیان کردند که در گیاه نخود مصرف کادمیم باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک برگ‌ها، کلروفیل، سرعت فتوسنتز و تعرق می‌شود، کاهش وزن خشک برگ‌ها به موازات کاهش سطح برگ می‌باشد و همچنین غلظت عناصر در گیاه نیز تحت تأثیر کادمیم قرارمی‌گیرند.آنان به غیر از کاهش عملکرد نشانه دیگری از سمیت کادمیم که قابل رویت باشد، در گیاه مشاهده نکردند. آزویدو و همکاران (۳) بیان کردند که کاربرد کادمیم سبب کاهش رشد آفتابگردان و کاهش تعداد و اندازه برگ‌ها و همچنین ایجاد کلروز(سبزی زردی) و نکروز (بافت مردگی) در برگ‌ها شده است. فسفر می‌تواند حلالیت فلزات را کاهش داده و انتقال فلزات سنگین را از خاک‌های آلوده به آب‌های سطحی و زیرزمینی کاهش دهد (۱۱).

برای مثال فسفر با کادمیم رسوب پایدار فسفات کادمیم ($Cd_3(PO_4)_2$) با ضریب ثابت حلالیت $۲/۵۳ \times ۱۰^{-۳۳}$ تشکیل می‌دهد که باعث کاهش اثرهای مضر کادمیم می‌شود (۱۴). دهیری و همکاران (۱۳) گزارش کردند که کاربرد فسفر باعث کاهش غلظت کادمیم در اندام هوایی اسفناج شده است و این کاهش غلظت در خاک شنی بیشتر ازخاک رسی بوده است. آنان همچنین گزارش کردند که فسفر باعث کاهش فراهمی کادمیم در خاک می‌شود زیرا سبب غیرمتحرک شدن آن در خاک می‌شود. بنابراین فسفر می‌تواند سمیت کادمیم را در خاک کاهش دهد. ساجاوان و همکاران (۲۴) نیز مطالعه‌ای مشابه انجام دادند و نتیجه این مطالعات نشان داد که در همه سطوح کادمیم مصرفی افزودن فسفر سبب کاهش سمیت کادمیم در گیاه سویا شده است. همچنین افزایش فسفر در تمام سطوح باعث کاهش غلظت کادمیم در اندام هوایی و ریشه سویا شده است و بیان کردند که این نتایج ممکن است بیانگر یک رابطه برهمکنش منفی بین فسفر و کادمیم باشد. بولان و همکاران (۷) گزارش کردند که با افزایش سطح فسفات افزوده شده به خاک غلظت کادمیم در بافت‌های اسفناج کاهش یافت همچنین فسفر باعث کاهش غلظت کادمیم تبادلی و محلول در خاک شد. بنابراین فسفر اثرات سوء کادمیم را کاهش می‌دهد که به

غیرمتحرک کردن کادمیم توسط فسفر نسبت داده می‌شود، کادمیم با اضافه کردن KH_2PO_4 به صورت($Cd(OH)_2$) و ($Cd_3(PO_4)_2$) رسوب می‌کند. بوگس و همکاران (۵) ذکر کردند که کاربرد فسفر باعث کاهش غلظت کادمیم در گیاه ذرت شده است. پنوار و همکاران (۲۳) نیز بیان کردند که غلظت کادمیم در گیاه لوبیا در حضور فسفر، کمتر از غلظت آن در غیاب فسفر می‌باشد. با افزایش سطوح فسفر در خاک غلظت کادمیم در گیاه لوبیا کاهش یافت. آنان بیان کردند که این نتایج نشان‌دهنده برهمکنش منفی بین این دو عنصر است.

مواد و روش‌ها

برای انجام این آزمایش، خاک کافی از افق سطحی سری چیتگر با نام علمی(Fine-loamy,carbonatic, thermic,Typic Calcixerepts) واقع در حومه سروستان استان فارس تهیه شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه از جمله بافت به روش هیدرومتری (۸)، ماده آلی به روش اکسایش مرطوب (۲۲)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت‌سنج الکتریکی، پ‌هاش در خمیر اشباع به وسیله پ‌هاش متر، کربنات کلسیم معادل (۲۰)، نیتروژن کل به روش میکروکلدال (۹) و فسفر قابل استفاده (۲۹)، روی، کادمیم، آهن و منگنز (۱۹) اندازه‌گیری و نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد و تیمارها شامل: چهار سطح کادمیم (۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک به صورت سولفات کادمیم) و چهار سطح فسفر (۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به صورت منو کلسیم فسفات) روی گیاه اسفناج رقم (*Viroflay*) اعمال گردید. نیتروژن، آهن، روی، منگنز و مس براساس نتایج آزمون خاک به صورت محلول به ترتیب از منابع اوره، کلات آهن (Fe-EDDHA) و سولفات‌های روی، منگنز و مس به تمام گلدان‌ها به صورت یکنواخت اضافه شد. نیتروژن مورد نیاز به دو قسمت تقسیم، نیمی از نیتروژن در ابتدای کشت همراه با سایر عناصر غذایی و مابقی در اواسط فصل رشد به گلدان‌ها افزوده شد. ابتدا نمونه سه کیلوگرمی خاک در کیسه‌های پلاستیکی ریخته و پس از مخلوط نمودن با تیمارهای کودی داخل گلدان برگردانده شد. تعداد ۱۵عدد بذر اسفناج (*Spinosa oleracea*) در عمق حدود یک سانتی‌متری کاشته شد. بعد از جوانه‌زنی و استقرار گیاهان تعداد آنها در هر گلدان به ۴ بوته که به طور یکنواخت در سطح گلدان قرار گرفته، کاهش داده شد و در طول دوره رشد به مدت ۸ هفته روزانه گلدان‌های حاوی گیاهچه‌های اسفناج توسط آب مقطر در حد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای(FC) نگهداری شدند. پس از برداشت گیاهان، نمونه‌ها در آون و در دمای ۶۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و پس از توزین توسط آسیاب برقی پودر شدند. یک گرم ماده خشک گیاهی در کوره الکتریکی دردمای۵۵۰ درجه سلسیوس به صورت خاکستر در آورده و خاکستر حاصله در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال حل شد. پس از صاف نمودن با کاغذ صافی حجم نهایی محلول با استفاده از آب مقطر به حجم۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. غلظت عناصر کادمیم، روی، منگنز، کلسیم و منیزیم در این عصاره توسط دستگاه جذب اتمی، غلظت سدیم توسط دستگاه فلیم فتومتر، غلظت فسفر به روش زرد وانادات و غلظت نیتروژن کل به روش میکرو کلدال اندازه‌گیری شد. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار MSTATC تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر کاربرد کادمیم و فسفر و برهمکنش آنها بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج، معنی‌دار می‌باشد. فسفر وزن خشک اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است به‌طوری که با افزودن۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم فسفر میانگین وزن خشک نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۰/۷، ۱۳/۸ و ۱۵/۴ برابر شده است. با توجه به نقش مثبت فسفر در تغذیه گیاه و با توجه به اینکه فسفر خاک مورد مطالعه

جدول ۱. برخی خصوصیات خاک مورد مطالعه

بافت	CCE (٪)	pH	EC_e (dSm^{-1})	OM (٪)	Zn	Cd	Mn $mgkg^{-1}$	P	Fe	Cu	N (٪)
لوم سیلتی	۶۳	۷/۴	۰/۴۶	۱/۲۱	۰/۵۴	۰/۰۶	۴/۴	۷/۷	۳/۸	۱/۲	۰/۰۴

جدول ۲. اثر کاربرد کادمیم و فسفر بر وزن خشک، غلظت فسفر و غلظت کادمیم در اندام هوایی اسفناج

سطوح کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	سطوح فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				میانگین
	۰	۲۰	۴۰	۸۰	
	وزن خشک (گرم در گلدان)				
۵	۰/۴i*	۵/۳^{ef}	۵/۷^{de}	۷/۲^{ab}	۴/ ۷^{B}
۱۰	۰/۸^{i}	۶^{cde}	۶/۵^{bcd}	۷/۶^{a}	۵/۲A
۲۰	۰/۲^{i}	۴/۵^{g}	۵/۸^{cde}	۶/۷^{bc}	۴/۳^{C}
۴۰	۰/۲^{i}	۳/۱^{h}	۵/۶^{e}	۴/۸^{fg}	۳/۴^{D}
میانگین	۰/۴^{D}	۴/۷^{C}	۵/۹^{B}	۶/۶^{A}	
	غلظت فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
۵	۹۹۷/۵g*	۲۰۹۵^{ef}	۳۶۱۵/۴^{b}	۴۴۰۵/۱ ^{a}	۲۷۷۸/۲^{A}
۱۰	۱۱۸۷^{g}	۲۲۶۴^{ef}	۳۰۰۰^{c}	۴۴۵۷/۲ ^{a}	۲۷۲۷^{A}
۲۰	۱۳۲۰^{g}	۲۱۲۵/۲^{ef}	۲۹۱۱^{cd}	۴۲۱۳/۳^{a}	۲۶۴۲/۱^{A}
۴۰	۱۳۶۲/۵^{g}	۱۸۷۱^{f}	۲۴۹۹/۱^{de}	۲۹۹۲^{c}	۲۱۸۱/۱^{B}
میانگین	۱۲۱۷/۲^{D}	۲۰۸۹^{C}	۳۰۰۶/۱^{B}	۴۰۱۷/۱^{A}	
	غلظت کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
۵	۱۲۲/۱d*	۳۵/۱	۲۹^{hi}	۱۹^{i}	۵۱/۳^{D}
۱۰	۱۵۳/۷^{c}	۵۰/۵^{g}	۳۳^{h}	۲۰^{i}	۶۴/۳^{C}
۲۰	۱۶۵/۲^{b}	۷۶/۳^{e}	۶۰/۱^{fg}	۳۵^{h}	۸۴/۱^{B}
۴۰	۱۸۶/۳^{a}	۱۱۸/۷^{d}	۸۶/۲^{e}	۶۴/۷^{f}	۱۱۴^{A}
میانگین	۱۵۶/۸^{A}	۷۰/۱^{B}	۵۲/۱^{C}	۳۴/۷^{D}	

*: در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک بزرگ یا کوچک در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

کمتر از حد بحرانی می‌باشد این نتایج منطقی می‌باشد. اما مصرف کادمیم، میانگین وزن خشک اندام هوایی را کاهش داده است. بین سطوح کادمیم از نظر تأثیر بر وزن خشک، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک میانگین وزن خشک را ۴۷ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داده است ولی با افزودن ۸۰ میلی‌گرم فسفر به ۳۳ درصد کاهش پیدا کرده، بنابراین فسفر در تعدیل اثر سوء کادمیم بر وزن خشک تأثیر مثبت داشته است.

دهیری و همکاران(۱۳) نشان دادند که افزودن فسفر به خاک باعث افزایش وزن خشک اسفناج به میزان ۳۴ درصد در یک خاک لومی رسی و ۴۵ درصد در یک خاک شنی، شده است. بیشنای و همکاران (۴) گزارش کردند که کاربرد ۹۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد دانه و تعداد نیام در گیاه سویا شده است. بولان و همکاران (۷) گزارش کردند که بین غلظت کادمیم محلول خاک و وزن خشک اسفناج رابطه معکوس وجود دارد. ادهیکاری و همکاران (۲) گزارش کردند که با افزایش مقدار کادمیم محلول، عملکرد گیاه برنج کاهش یافت. با افزایش فسفر مصرفی میانگین غلظت آن در اندام هوایی اسفناج زیاد شده است (جدول ۲). غلظت فسفر از تیمار شاهد به سطح ۸۰ میلی‌گرم فسفر از ۱۲۱۷/۲ به ۴۰۱۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، معادل ۲۳۰ درصد افزایش یافته است. اما کاربرد کادمیم باعث کاهش معنی‌دار میانگین غلظت فسفر اندام هوایی اسفناج شد. افزودن۴۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک باعث کاهش ۲۱/۵ درصدی در میانگین غلظت فسفر نسبت به تیمار شاهد شده است. کاربرد سطوح مختلف کادمیم در تیمار بدون فسفر، سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی اسفناج و در نتیجه سبب افزایش غلظت فسفر در گیاه شده است هرچند این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. برهمکنش کادمیم و فسفر بر غلظت فسفر معنی‌دار بود(جدول ۲). ژانگ و همکاران (۳۰) گزارش کردند که کادمیم باعث کاهش غلظت فسفر ریشه و اندام هوایی گندم شد. شاه و دوبی (۲۶) دریافتند که کاربرد ۵۰۰ میکرومولار کادمیم در محیط کشت باعث کاهش ۶۸ تا ۷۷ درصدی غلظت فسفات در اندام هوایی و ۵۶ تا ۶۶ درصدی در ریشه دو رقم برنج شد. آنان عنوان کردند که کادمیم از فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در برنج جلوگیری می‌کند. همان طور که انتظار می‌رفت با افزایش کادمیم مصرفی غلظت آن در اندام هوایی زیادتر شده است (جدول ۲). افزودن ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم نسبت به تیمار شاهد به ترتیب میانگین غلظت کادمیم را ۲۵/۵ و۶۴ درصد افزایش داده است اما افزودن فسفر به طور معنی‌داری باعث کاهش غلظت کادمیم در گیاه اسفناج شده است. به طور مثال ۸۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک میانگین غلظت کادمیم اندام هوایی را ۷۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داده است. دهیری و همکاران (۱۳) گزارش کردند که کاربرد فسفر باعث کاهش غلظت کادمیم در اندام هوایی اسفناج شده است و این کاهش غلظت در خاک شنی بیشتر ازخاک رسی بوده است. آنان هم‌چنین گزارش کردند که کاربرد فسفر سبب کاهش غلظت کادمیم در خاک می‌شود زیرا رسوب پایدار فسفات کادمیم ($Cd_3(PO_4)_2$) در خاک تشکیل می‌شود که سبب غیرمتحرک شدن کادمیم در خاک می‌شود. بنابراین فسفر می‌تواند سمیت کادمیم را در خاک کاهش دهد. ساجاوان و همکاران (۲۴) نیز مطالعه‌ای مشابه انجام دادند نتایج آنان نشان داد که در همه سطوح کادمیم مصرفی افزودن فسفر سبب کاهش سمیت کادمیم در گیاه سویا شده است. هم‌چنین افزایش فسفر در تمام سطوح باعث کاهش غلظت کادمیم در اندام هوایی و ریشه سویا شده است آنان بیان کردند که این نتایج ممکن است بیانگر یک رابطه برهمکنش منفی بین فسفر و کادمیم باشد. مطابق با داده‌های جدول‌های ۳ و ۴ میانگین غلظت روی، نیتروژن، منگنز، کلسیم، منیزیم و سدیم در اندام هوایی اسفناج تحت تأثیر کاربرد فسفر و کادمیم و برهمکنش آنها واقع شده است.

فسفر مصرفی باعث کاهش میانگین غلظت روی اندام هوایی شده است (جدول ۳). کاربرد۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد، غلظت روی اندام هوایی را

جدول ۳. اثر کاربرد کادمیم و فسفر بر غلظت روی، نیتروژن و منگنز اندام هوایی اسفناج

سطوح کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	سطوح فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				میانگین
	۰	۲۰	۴۰	۸۰	
	غلظت روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
۵	۲۳۱/۵^{a}	۱۳۴/۵^{bc}	۱۲۷/۵^{bc}	۷۷/۸^{de}	۱۴۲/۸^{A}
۱۰	۲۱۷/۶^{a}	۱۱۲^{bcd}	۱۰۲/۴^{cde}	۷۸/۶^{de}	۱۲۷/۷^{A}
۲۰	۱۴۹^{b}	۱۲۵/۱^{bc}	۷۷/۷^{de}	۷۸/۳^{de}	۱۰۷/۵^{B}
۴۰	۱۲۸/۲^{bc}	۷۵/۱^{de}	۶۷^{de}	۶۱/۳^{e}	۸۲/۹^{C}
میانگین	۱۸۱/۶^{A}	۱۱۱/۷^{B}	۹۳/۶^{BC}	۷۴/۰۱^{C}	
	غلظت نیتروژن (درصد)				
۵	۵^{bc}*	۴/۷^{defg}	۴/۸^{cdef}	۴/۱^{hi}	۴/۷^{C}
۱۰	۵/۳^{ab}	۴/۴^{gh}	۴/۵^{efg}	۴^{i}	۴/۵^{C}
۲۰	۵/۳^{ab}	۴/۸^{cdef}	۴/۷^{cdef}	۴/۵^{fg}	۴/۸^{B}
۴۰	۵/۵^{a}	۴/۹^{cd}	۴/۶^{efg}	۴/۸^{cde}	۵^{A}
میانگین	۵/۳^{A}	۴/۷^{B}	۴/۶^{B}	۴/۴^{C}	
	غلظت منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
۵	۳۳/۸^{bcd}	۳۸/۴^{bc}	۳۳/۴^{bcd}	۲۹/۴^{de}	۳۳/۸^{A}
۱۰	۳۴/۲^{bcd}	۳۹/۷^{b}	۳۰/۹^{cde}	۳۰/۱^{de}	۳۳/۸^{A}
۲۰	۴۷/۳^{a}	۳۱/۴^{cde}	۳۴/۵^{bcd}	۳۳^{bcd}	۳۶/۵^{A}
۴۰	۵۲/۹^{a}	۲۴//۱^{e}	۲۸/۶^{de}	۳۲/۵^{bcd}	۳۴/۵^{A}
میانگین	۴۲^{A}	۳۳/۴^{B}	۳۱/ ۸^{B}	۳۱/۳^{B}	

*: در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک بزرگ یا کوچک در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۴. اثر کاربرد کادمیم و فسفر بر غلظت کلسیم، منیزیم و سدیم اندام هوایی اسفناج

سطوح کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	سطوح فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				میانگین
	۰	۲۰	۴۰	۸۰	
	غلظت کلسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
۵	۲۸۴۳^{c}	۱۷۸۰^{d}	۱۱۴۵^{d}	۱۴۵۹^{d}	۱۸۸۳^{C}
۱۰	۲۶۶۹^{c}	۱۲۵۹^{d}	۱۲۰۰^{d}	۱۱۷۲/۱^{d}	۱۵۷۵^{C}
۲۰	۴۲۲۸^{b}	۱۵۸۴/۲^{d}	۱۸۲۹^{d}	۱۵۴۳^{d}	۲۳۹۴^{B}
۴۰	۶۵۰۰^{a}	۲۵۸۶/۱^{c}	۲۸۹۲^{c}	۲۵۴۶/۴^{c}	۳۶۳۱/۱^{A}
میانگین	۴۱۶۰^{A}	۱۸۰۲/۱^{B}	۱۸۴۳^{B}	۱۶۷۸/۱^{B}	
	غلظت منیزیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
۵	۳۷۵۲^{ef}	۷۱۰۰^{abc}	۶۲۳۳/۳$^{b-d}$	۲۸۵۲^{cd}	۵۷۲۸/۱^{B}
۱۰	۳۸۷۵^{ef}	۶۶۱۷^{abc}	۶۵۵۰^{abc}	۵۴۳۳/۳$^{c-e}$	۵۶۱۹/۱^{B}
۲۰	۴۷۲۵/۱^{def}	۷۳۲۵^{abc}	۸۰۲۵^{ab}	۷۲۳۳/۳$^{a-c}$	۶۷۸۷/۱^{A}
۴۰	۲۹۶۶^{f}	۶۹۹۲^{abc}	۸۳۸۸^{a}	۶۰۱۷^{cd}	۶۰۹۰^{AB}
میانگین	۳۷۸۰^{C}	۷۰۰۸^{A}	۷۲۹۹/۱ ^{A}	۶۱۲۷/۱^{B}	
	غلظت سدیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
۵	۴۲۴/۱^{h}	۱۱۴۲/۲$^{d-g}$	۲۵۷۵^{bc}	۳۰۷۴^{abc}	۱۸۰۴/۱^{BC}
۱۰	۳۷۹/۱^{h}	۱۵۶۸^{def}	۳۲۶۸/۴^{ab}	۲۷۰۲/۲$^{a-c}$	۱۹۷۹/۱^{AB}
۲۰	۷۲۴/۶^{gh}	۱۸۱۰^{d}	۲۹۷۷^{abc}	۳۳۵۲/۱^{a}	۲۲۱۶/۲^{A}
۴۰	۹۱۵/۲^{fgh}	۱۶۹۹/۲^{de}	۲۵۴۴/۱^{c}	۱۰۷۲^{efgh}	۱۵۵۸/۱^{C}
میانگین	۶۱۰/۸^{C}	۱۵۵۵/۱^{B}	۲۸۴۱/۱^{A}	۲۵۵۰/۱^{A}	

*: در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک بزرگ یا کوچک در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

۵۹ درصد کاهش داده است. اثر منفی فسفر بر غلظت روی اندام هوایی را می‌توان به پدیده اثر رقت ناشی از افزایش وزن خشک در اثر مصرف فسفر نسبت داد. لی و همکارن (۱۸) گزارش کردند که در گیاه جو، غلظت روی با افزایش فسفر مصرفی به طور معنی‌داری کاهش یافت. میانگین غلظت منگنز، کلسیم و نیتروژن نیز در اثر کاربرد فسفر به طورمعنی‌داری کاهش یافته است (جدول ۳ و ۴). کاربرد ۸۰ میلی‌گرم فسفر نسبت به تیمار شاهد، میانگین غلظت منگنز، کلسیم و نیتروژن اندام هوایی را به ترتیب معادل ۲۵/۶، ۶۰ و ۱۷ درصد کاهش داده است. میانگین غلظت منیزیم با افزایش سطوح فسفر تا سطح ۴۰ میلی‌گرم افزایش یافته ولی در سطح ۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک، کاهش معنی داری را نشان داد. کاربرد فسفر باعث افزایش غلظت سدیم اندام هوایی اسفناج شد. کاربرد ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد، میانگین غلظت سدیم اندام هوایی را ۳/۶۵ برابر افزایش داده است.

بروهی و همکاران(۱۰) گزارش کردند که در گیاه برنج مصرف۱۵۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار نسبت به سطح شاهد باعث کاهش غلظت منگنز در دانه از ۴۲ پی پی ام به۳۷ پی پی ام شده است و غلظت نیتروژن نیز در سطح نامبرده از ۱/۱۲ درصد به ۰/۹۸ درصد کاهش یافته است. یوشیرو و یاماموتا(۲۸) گزارش کردند که کاربرد فسفر باعث کاهش غلظت کلسیم شده است. میانگین غلظت روی با کاربرد کادمیم کاهش یافته است. سطوح۲۰ و۴۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد به ترتیب کاهش ۲۴/۷ و ۴۲ درصدی در میانگین غلظت روی در اندام هوایی اسفناج را سبب شده‌اند ولی غلظت منگنز تحت تأثیر کاربرد کادمیم قرار نگرفت. افزودن کادمیم سبب افزایش غلظت کلسیم، منیزیم و نیتروژن اندام هوایی اسفناج شد. افزودن کادمیم غلظت سدیم را تا سطح ۲۰ میلی‌گرم افزایش اما در سطح بالاتر به طور معنی‌داری کاهش داد. کاربرد ۴۰ میلی‌گرم کادمیم نسبت به تیمار شاهد به ترتیب غلظت کلسیم و نیتروژن را ۹۳ و ۶/۴ درصد افزایش داده است و مصرف۲۰ میلی‌گرم کادمیم غلظت سدیم را ۲۳ درصد افزایش داده است. مکنا و همکاران(۲۱) عنوان کردند که در کاهو و اسفناج اثر منفی روی و کادمیم بر جذب یکدیگر به علت رقابت این دو فلز برای جذب می‌باشد. رجایی (۱) گزارش کرد که آلودگی خاک با کادمیم از منبع کمپوست یا از منبع نمک معدنی این عنصر باعث کاهش غلظت روی در گیاه اسفناج شده است. کورسان و همکارن (۱۷) گزارش کردند که با افزایش کادمیم مقدار نیترات اندام هوایی کاهش یافت. وازیلف و همکاران(۲۷) گزارش کردند که کادمیم تا سطح ۲۰ میلی‌گرم غلظت کلسیم را افزایش داده است ولی در سطح ۴۲ میلی‌گرم غلظت کلسیم را کاهش داده است.

با توجه به نتایج به دست آمده، افزودن کادمیم به خاک سبب افزایش غلظت آن در اندام هوایی اسفناج، کاهش وزن خشک، کاهش غلظت فسفر و کاهش غلظت روی اندام هوایی اسفناج شده است. هم‌چنین کادمیم میزان جذب کل فسفر و روی را توسط گیاه اسفناج کاهش داده است بنابراین کاربرد کادمیم در جذب این عناصر توسط گیاه اختلال ایجاد کرده است. اما مصرف فسفر، غلظت کادمیم اندام هوایی را کاهش داده و اثر سوء کادمیم بر وزن خشک و غلظت کادمیم را تعدیل کرده است. با مصرف فسفر، جذب کل کادمیم توسط گیاه اسفناج به دلیل افزایش وزن خشک گیاه، افزایش یافت. بنابراین اثر منفی فسفر بر غلظت کادمیم اندام هوایی، می‌تواند مربوط به اثر رقت (افزایش وزن خشک در اثر مصرف فسفر) یا کاهش فراهمی کادمیم به دلیل تشکیل رسوب فسفات کادمیم در خاک باشد. این نتایج حاکی از وجود برهمکنش منفی بین کادمیم و فسفر بر وزن خشک، غلظت کادمیم، غلظت فسفر در گیاه اسفناج است. بنابراین در خاک‌های آلوده به کادمیم که از لحاظ فسفر کمبود دارند، کاربرد کودهای فسفری براساس نتایج آزمون خاک، می‌تواند آثار سوء کادمیم بر رشد اسفناج را کاهش دهد. هر چند قبل از هرگونه توصیه کودی نتایج این پژوهش بایستی در شرایط مزرعه نیز تأیید شود.

منابع مورد استفاده

۱. رجائی، م. ۱۳۸۵. تأثیر زمان، سطوح و منابع کادمیم و نیکل بر شکل‌های شیمیایی، رشد و جذب این دو عنصر توسط اسفناج. رساله دکتری علوم خاک، دانشگاه شیراز.

2. Adhikari, T., T. O. Elisha, Y. Libal and M. Shenker. 2006. Effect of cadmium and iron on rice (*Oryza Sativa* L.) plant in chelator-buffered nutrient solution. J. Plant Nutr. 29: 1919 – 1940.
3. Azevedo, H., C. Gomes, L. Pinto, J. Fernandes, S. Loureiro and C. Santos. 2005. Cadmium effects on sunflower growth and photosynthesis. J. Plant Nutr. 28: 2211-2220.
4. Bishnoi, U. R., G. Kaur and M. H. Khan. 2007. Calcium, phosphorus, and harvest stages effects soybean seed production and quality. J. Plant Nutr. 30: 2119 – 2127.
5. Boggess, S. J., J. Hassett and D. E. Koeppe. 1970. Effect of soil phosphorus fertility level on the uptake of cadmium by maize. Environ. Pollut. 15: 265-270.
6. Bohert, H. J., D. E. Nelson and R. G. Jensen. 1999. Adaptation to environmetal stresses. Plant Cell 7: 1099-1111.
7. Bolan, N. S., D. C. Adriano, P. Duraisamy. A. Mani and K. Arulmozhiselvan. 2003. Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. I- Effect of phosphate addition. Plant Soil 250: 83-94.
8. Bouyoucos, C. J. 1962. Hydrometer method for making particle size analysis of soils. Agron. J. 15: 462-465.
9. Bremner, J. M. 1996. Total nitrogen. PP. 1085-1122. *In:* D. L. Sparks *et al*.(Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, SSSA, ASA, Madison, WI.
10. Brohi, A. R., M. R. Karaman, A. Aktas and E. Savasli. 1998. Effect of nitrogen and phosphorus fertilization on the yield and nutrient status of rice crop grown on artificial saltation soil from the Kelkit river. J. Agric. Forestry 22: 585-592.
11. Cotter-Howells, J. and S. Capron. 1996. Remediation of contaminated land by formation of heavy metal phosphate. Appl. Geochem. 11: 335- 342.
12. Das, P., S. Samantaray and G. R. Rout. 1997. Root Studies on cadmium toxicity in plants: A review. Environ. Pollut. 98: 29-36.
13. Deheri, 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.
14. Hettiarachchi, G. M. and G. M. Pierzynski 1999. Effect of phosphorus and other amendments on soil cadmium, lead, and zinc bioavailability, In : Proc. Extended Abstr., 5th Int. Conf. on the Biogeochem. Trace Elements (ICBTE), Vienna, 11-15 july, 1999. Int. Soc. For Trace Element Res., Vienna, pp. 514-515.
15. Hopkins, B. and J. Ellsworth. 2003. Phosphorus nutrition in potato production. Idaho Potato Conf. 22-23.
16. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. Trace Element in Soils and Plants. 3rd ed., CRC Press. Boca Raton, FL.
17. Keversan, S., N. Petrovic, M. Popovic and J. Kandrac. 2001. Nitrogen and protein metabolism in young pea plants as affected by different concentrations of nickel, cadmium,lead, and molybdenum. J. Plant Nutr. 24: 1633-1644.
18. Li, H. Y., Y. G. Zhu, S. E. Smith and F. A. Smith. 2003. Phosphorus-zinc interactions in two barley cultivars differing in phosphorus and zinc efficiencies. J. Plant Nutr. 26: 1085 – 1099.
19. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 421-428.
20. Loppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437- 474. *In:* D. L.Sparks *et al*. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3 , SSSA, ASA, Madison, WI.
21. Mackenna, I. M., R. L. Chaney and F. M. Williams. 1993. The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach. Environ. Pollut. 79: 113-120.
22. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. PP. 961-1010. *In:* D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. 3rd ed., SSSA, ASA Madison, WI.
23. Panwar, B. S., J. P. Sing and R. D. Laura. 1999. Cadmium uptake by cowpea and mungbean as affected by cadmium and phosphorus application. Water Air Soil Pollut. 112: 163-169.
24. Sajawan, K. S., S. Paramasivam, J. P. Richardson and A. K. Alva. 2002. Phosphorus alleviation of cadmium phytotixicity. J. Plant Nutr. 25: 2027-2034.
25. Sandalio, L. M., H. C. Dalurzo, M. Gómez, M. C. Romero-Puertas and L. A. del Río. 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. J. Exp. Bot. 52: 2115-2126.
26. Shah, K. and R. S. Dubey. 1998. Cadmium suppresses phosphate level and inhibits the activity of phosphatases in growing rice seedlings. J. Agric. Crop Sci. 180: 223 – 231.
27. Vassilev, A., C. F. Lidon, M. D. C. Matos, J. C. Ramalho and I. Yordanov. 2002. Phytosynthetic performance and content of some nutrients in cadmium-and copper- treated barley plants. J. Plant Nutr. 25: 2343-2360.

28. Ushiro, T. and N. Yamamota. 1996. The effect of high amounts of soil phosphorus on the early growth and the metabolism of organic components of some horticultural crops on the Masa Soil. Bull. Hiroshima Agric.Res.
29. Watanabe, F. S. and S. R. Olsen . 1965. Test of an ascorbic acid methods for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts from soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: 677-678.
30. Zhang, G., M. Fukami and H. Sekimoto. 2000. Genotypic differences in effects of cadmium on growth and nutrient composition in wheat. J. Plant Nutr. 23: 1337-1350.

Influence of Phosphorus on the Reduction of Cadmium Phytotoxicity in Spinach Grown on a Calcareous Soil

T. Rahimi* and A. Ronaghi[1]

(Received : Aug. 11-2010 ; Accepted : May 21-2011)

Abstract

Contamination of agricultural soils by heavy metals is a serious threat from both agricultural and environmental standpoints. Among heavy metals, cadmium (Cd) toxicity for humans and plants is of great concern due to its high mobility and phytoavailability in soil even at low concentrations. Opposite to Cd, Phosphorus (P) is an essential nutrient for plant growth. A greenhouse experiment was carried out in a completely randomized design to examine the influence of Cd, P and their interaction on the growth and chemical composition of spinach grown on a calcareous soil. Treatments consisted of four Cd levels (5, 10, 20 and 40 mg/kg soil as cadmium sulfate) and four P levels (0, 20, 40 and 80 mg/kg soil as mono-calcium phosphate) in three replicates. The results indicated that 40 mg Cd significantly decreased spinach dry weight by 47% but P application decreased detrimental effect of Cd on spinach dry weight. Also, phosphorus application significantly decreased Cd concentration in spinach aerial parts by 78%. Increasing Cd levels increased concentration of this element in spinach shoots. Addition of 40 mg Cd decreased P concentration by 21.5% in aerial parts. Zinc (Zn), manganese (Mn), calcium (Ca), and nitrogen (N) concentration significantly decreased with P application but increased concentration of sodium (Na). Cadmium application decreased Zn concentration but increased Ca, Na and N concentrations in spinach. Our tentative conclusion is that P application in P-deficient soils is probably effective in decreasing Cd concentration and the detrimental effect of Cd on spinach growth, indicating a negative interaction between these elements. Prior to any fertilizer recommendation, the results of this experiment should be verified under field conditions.

Keywords: Cadmium, Phosphorus, Spinach, Calcareous soil.

1. MSc. and Prof. of Soil Sci. College of Agric., Shiraz Univ., Shiraz, Iran.
*: Corresponding Author, Email: tayebe_rahimi@yahoo.com