مجله زارعت و اصلاح نباتات
جلد ۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱
صفحات ۱۰۰-۸۷

تأثیر سطوح مختلف مس و کادمیم بر رشد و نمو و ترکیب شیمیایی اسفناج

Effect of different rates of Cd and Cu on growth and chemical composition of spinach

لیلا رضاخانی[۱]، احمد گلچین[۲]، سعید شفیعی[۳]

چکیده

به منظور مطالعه تأثیر سطوح مختلف مس و کادمیم بر رشد و نمو و تجمع زیستی این عناصر در گیاه اسفناج یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت گلدانی با ۲۵ تیمار و در ۳ تکرار در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی استان زنجان به مرحله اجرا درآمد. در این طرح پنج سطح مس (صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم) از منبع سولفات مس و پنج سطح کادمیم (صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم) از منبع سولفات کادمیم مورد استفاده قرار گرفت. برای ایجاد سطوح مختلف آلودگی در یک خاک غیرآلوده، از سولفات مس و سولفات کادمیم استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش میزان مس قابل جذب خاک تا سطح ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک میزان بیوماس بخش هوایی اسفناج افزایش یافت، ولی در سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم، میزان بیوماس به طور معنی‌دار کاهش یافت. افزایش فرم قابل جذب کادمیم خاک تا سطح ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک باعث افزایش بیوماس بخش هوایی اسفناج گردید، ولی در غلظت‌های بالاتر این صفت کاهش یافت. با افزایش میزان مس قابل جذب خاک، غلظت مس در برگ‌های اسفناج افزایش یافت. غلظت کادمیم برگ نیز، با افزایش میزان مس خاک تا سطح ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک، افزایش و سپس در غلظت‌های بیشتر، کاهش یافت. با افزایش غلظت مس قابل جذب خاک، غلظت منگنز و روی در برگ اسفناج به دلیل رقابت یونی در جذب و اثر آنتاگونیستی بین مس و دو عنصر روی و منگنز کاهش یافت. غلظت آهن در برگ‌های اسفناج، با افزایش غلظت مس تا سطح ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک، افزایش و سپس با افزایش بیشتر غلظت مس، به طور معنی‌دار کاهش یافت. با افزایش غلظت کادمیم تا سطح ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک، غلظت کادمیم در برگ‌های اسفناج افزایش یافت و سپس در غلظت‌های بیشتر، کاهش یافت. با افزایش میزان کادمیم قابل جذب خاک، میزان مس، روی، منگنز و فسفر در برگ‌های اسفناج کاهش یافت، ولی میزان آهن، افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: اسفناج، کادمیم، مس، آلودگی خاک

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، گروه خاکشناسی، کرج، البرز، ایران
۲- دانشگاه زنجان، گروه خاکشناسی، زنجان، ایران
۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه زنجان، گروه خاکشناسی، زنجان، ایران

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

امروزه علاوه بر آلودگی‌های ناشی از سوخت مواد نفتی و صنعت، آلودگی خاک و آب با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که علاوه بر کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولیدات کشاورزی را دچار مخاطره می کند و سلامت انسان را نیز به مخاطره می‌اندازد (Kabata-Pendias, 2001). در میان فلزات سنگین، کادمیم، دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا ریشه گیاه، آن را جذب می‌کند و سمیت کادمیم برای گیاه تا ۲۰ برابر سایر فلزات سنگین می باشد. به طور کلی مهم‌ترین منابع تولید کادمیم در اراضی کشاورزی عبارتند از: کودهای فسفاتی، سولفات روی، کمپوست زباله و کارخانجات ذوب فلزات. اثرات سوء ناشی از جذب کادمیم اضافی در محصولات کشاورزی را می توان کاهش و توقف رشد ریشه، چوب پنبه‌ای شدن و صدمه دیدن ساختار داخلی و خارجی ریشه، کاهش هدایت هیدرولیکی آب در ریشه، تداخل با جذب و انتقال طبیعی عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل، کلروز برگ و رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای و اختلال در فعالیت‌های آنزیمی و به ویژه آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز بر شمرد (Alloway, 1990). دوام بلند مدت بیولوژیکی و باقی ماندن در خاک، سبب انباشته شدن این فلزات در زنجیره غذایی و در نتیجه تأثیرات منفی بالقوه برای سلامتی انسان می گردد. میزان دسترسی به این فلزات بستگی به نوع گیاه و میزان مورد نیاز آنها به عنوان ریز مغذی و قابلیت گیاهان برای تنظیم سوخت و ساز آنها از طریق ترشح اسیدهای آلی یا پروتونها به محیط ریشه دارد. علاوه بر آن، خصوصیات خاک بر میزان تحرک آنها و بنابراین تنظیم میزان آزادسازی آنها در محلول خاک مؤثر است (Ernest, 1996).کاهو، اسفناج، جعفری، کلم، گوجه و شلغم قادر به تجمع مقادیر بالای کادمیم بوده در حالیکه غده سیب زمینی، ذرت، بقولات و برنج مقادیر کمی از کادمیم را جذب می کنند (Alloway, 1995). بیکر و پروکتور (Baker and Proctor, 1990) نشان دادند که مقدار کلروفیل تابعی از غلظت کادمیم در بافت‌های گیاهی می‌باشد، لذا از غلظت کلروفیل به عنوان شاخصی جهت تعیین حد بحرانی کادمیم در گیاهان استفاده می‌گردد. حقیری (Haghiri, 1974) گزارش کرد که غلظت زیاد کادمیم در محیط رشد، جذب آهن به وسیله گیاه را مختل می‌نماید. سمیت کادمیم ممکن است باعث کمبود فسفر یا بروز مشکلات مربوط به انتقال منگنز در داخل گیاه گردد. معمولاً کادمیم در جذب و انتقال عناصری مانند کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم و همچنین آب در گیاه دخالت دارد. کادمیم بر فرآیندهای اصلی گیاهان نظیر فتوسنتز، تکثیر سلولی و جذب آب توسط ریشه‌های گیاهان اثر می گذارد (Das et al., 2000). الیور و همکاران (Oliver et al., 1994) نشان دادند که میزان کادمیم در دانه گندم رشد کرده در محیط خاکی با کمبود روی، با افزایش روی به محیط رشد گیاه کاهش می‌یابد. نوربخش (۱۳۸۵) در بررسی اثرات بافت و کادمیم خاک بر رشد گندم، کاهو و تربچه گزارش داد که غلظت بیشتر از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم سبب کاهش رشد گردید. همچنین تجمع کادمیم در کاهو بیشتر در اندام هوایی مشاهده شد. محمدی و همکاران (۱۳۸۵) نیز جذب روی و کادمیم را در تربچه و شاهی بررسی و مشاهده کردند با افزایش سطوح کادمیم در خاک، مقدار کادمیم در غده تربچه نیز افزایش معنی‌دار نشان داد، اما این افزایش سطح، در مورد روی معنی‌دار نبود. خداوردی لو (۱۳۸۵) در تحقیقی جذب کادمیم و سرب را در اسفناج و شاهی بررسی و میزان فلز جذب شده و مقادیر قابل پیش بینی جذب را بر اساس مدل‌های ریاضی بیان نمود و زمان لازم برای پالایش خاک آلوده به کادمیم و سرب را گزارش کرد.

سبزیجات یکی از اجزاء جیره غذایی انسان است که حاوی عناصر ضروری و مضر در محدوده وسیعی از غلظت‌ها می‌باشند، لذا سبزیجات آلوده یک تهدید برای سلامتی انسان به حساب می‌آیند (Yanqun, 2004). اسفناج متعلق به خانواده چغندر (Chenopodiacea) است. گیاهی یکساله و روز بلند است که پس از سبز شدن، تولید برگ‌های طوقه ای (Rosette)

Archive of SID

www.SID.ir

می‌کند. ریشه اصلی اسفناج عمیق است و می‌تواند تا عمق ۱۴۰ سانتیمتری در خاک نفوذ کند. اسفناج محصول نواحی نسبتاً سرد است و در آب وهوای خنک بهتر رشد می‌کند. به طور کلی اسفناج در مجاورت تابش زیاد آفتاب، دمای متوسط و هوای مرطوب، بهترین نتیجه را می‌دهد و در مجاورت گرمای زیاد به سرعت رشد می‌کند، ولی به زودی هم به گل و بذر می‌نشیند و در نتیجه مقدار محصول کاهش خواهد یافت. خاک‌های خیلی سبک و خیلی سنگین برای رشد و نمو گیاه اسفناج مناسب نیستند. بهترین خاک برای اسفناج حد واسط آن دو و اراضی نم‌دار و حاصلخیز است. این گیاه به زمین‌های آبگیر، خشک و pH خاک بسیار حساس است. مناسب ترین pH برای این گیاه بین ۶ تا ۷ است.

گیاه پالایی (Phytoremediation) فناوری استفاده از گیاهان برای پالایش آلودگی از محیط زیست است که روشی مؤثر، ارزان قیمت و دوستدار محیط زیست با قابلیت‌های قابل توجه برای استخراج، تثبیت، محبوس کردن یا سمیت زدایی آلاینده‌های آلی و غیرآلی می‌باشد. توانایی جذب فلز در این گونه‌ها عموماً ۱۰۰ برابر بیشتر از گونه‌های غیر بیش اندوز است. اصولاً گیاه مورد استفاده در گیاه پالایی باید دارای میزان تولید زیست توده بالا و مقاوم به سمیت فلزات و تجمع آنها در غلظت‌های بالا در اندام هوایی خود باشد (Yan-de et al, 2007). با توجه به این که گیاهان نقش مهمی را در انتقال فلزات سنگین در خاک‌های کشت شده به عهده دارند، در نتیجه می‌توانند راهی برای ورود سموم و آلاینده‌ها به چرخه غذایی باشند، لذا بررسی جذب فلزات سنگین توسط گیاهان و به خصوص سبزیجات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به طور کلی هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر کادمیم و مس بر رشد و نمو و تجمع زیستی این عناصر در گیاه اسفناج و کاهش میزان کادمیم در بافت‌های گیاهی و در نتیجه محصولات کشاورزی بوده است.

مواد و روش ها

برای مطالعه عکس العمل سطوح مختلف کادمیم و مس قابل جذب خاک بر رشد و نمو و تجمع این عناصر در گیاه اسفناج یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت گلدانی با ۲۵ تیمار و در ۳ تکرار در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی استان زنجان به مرحله اجرا درآمد. قبل از انتقال نمونه‌های خاک به گلخانه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها تعیین و میزان عناصر کم مصرف و فسفر آنها اندازه‌گیری گردید که نتایج این آزمایشات در جدول ۱و۲ آورده شده است. عامل کادمیم و مس هر کدام دارای پنج سطح، شامل سطوح صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک برای کادمیم و سطوح صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک برای مس بودند. برای ایجاد سطوح مختلف آلودگی کادمیم و مس، نمونه‌های مرکب لایه سطحی (۰-۲۰ سانتی متری) یک خاک غیرآلوده به طور مصنوعی تهیه شدند و با استفاده از سولفات کادمیم و سولفات مس آلوده گردیدند. برای این منظور مقدار لازم از نمک‌های ذکر شده که برای ایجاد سطوح آلودگی مشخص در ۳ کیلوگرم خاک لازم بودند، توزین و در آب حل گردیدند. سپس محلول تهیه شده به یک نمونه خاک غیرآلوده اسپری و پس از خشک شدن نمونه به درون گلدان‌های ۳ کیلویی ریخته شد و در آن بذر گیاه اسفناج کاشته شد. داخل هر گلدان فقط ۳ جوانه باقی ماند و بقیه جوانه‌ها حذف شدند تا شرایط برای تمام گلدانها یکسان باشد. در طول دوره رشد گیاه، تمام گلدانها با آب مقطر معمولی آبیاری شدند. بعد از گذشت حدود ۳ ماه از برگ و ساقه اسفناج برای اندازه‌گیری عناصر نمونه‌برداری شد. ابتدا نمونه‌ها با آب معمولی و سپس با آب مقطر در مدتی کوتاه (حدود ۲ دقیقه) شسته شدند و سپس در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و توزین شدند. نمونه‌ها کاملاً پودر شده و از الک ۰/۵ میلی متری عبور داده شدند. سپس مقدار ۰/۳ گرم از نمونه به روش هضم تر عصاره گیری و غلظت عناصر مختلف در عصاره به دست آمده به کمک دستگاه

Archive of SID

www.SID.ir

جذب اتمی اندازه گیری گردید. در این تحقیق وزن خشک بوته‌ها اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک، بوته‌ها در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و در نهایت بیوماس بخش هوایی اندازه‌گیری گردید.

پس از بدست آوردن داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای محاسبات آماری و تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزار MSTATC استفاده شد. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطوح یک درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن خشک بخش هوایی گیاه اسفناج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که غلظت کادمیم قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر وزن خشک بخش هوایی گیاه اسفناج دارد. با افزایش غلظت کادمیم خاک تا سطح ۲۰ میلی گرم درکیلوگرم، وزن خشک بخش هوایی افزایش یافت، ولی در سطوح ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، وزن خشک بخش هوایی کاهش یافت. بیشترین میزان وزن خشک بخش هوایی درسطح ۲۰ میلی گرم درکیلوگرم کادمیم مشاهده شد (نمودار ۱).

نتایج نشان می‌دهد که آلودگی شدید خاک با کادمیم، سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی درگیاه اسفناج می‌شود. از آنجا که کادمیم به عنوان عنصر سمی برای گیاه در نظرگرفته می‌شود، کاهش رشد گیاه در نتیجه سمیت کادمیم دور از انتظار نیست. سمیت کادمیم ناشی از اختلالاتی است که کادمیم در فعالیت آنزیمها ایجاد می‌کند. عناصر سنگین و به ویژه کادمیم با تأثیر بر میزان فتوسنتز و کاهش میزان کلروفیل درگیاه باعث کاهش عملکرد گیاه شده و اثرات منفی و مخرب را درگیاه به جای می‌گذارند (Jiang et al., 2001). در پژوهشی رجایی (۱۳۸۵) گزارش کرد که کادمیم، وزن تر و خشک اسفناج را کاهش داد. دهیری و همکاران (Deheri et al., 2007) نیز ذکر کردند که کاربرد کادمیم باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی اسفناج شد. تالاتام و همکاران (Talatam et al., 2009)، کاهش وزن تر و خشک گیاه اسفناج را با افزایش غلظت کادمیم گزارش کردند که می‌تواند بدلیل اثرات منفی کادمیم بر روی مکانیسم تولید انرژی در میتوکندری و کلروپلاست باشد. منساه و همکاران (Mensah et al., 2008)، نتایج مشابهی را در کاهو گزارش کردند. کاهش رشد برگ، می‌تواند ناشی از کاهش جذب آب توسط گیاه باشد، همچنین کادمیم، باعث کاهش فعالیت هورمون سیتوکنین می‌شود که تأثیر بسزایی در تکثیر سلول و رشد گیاه دارد (Mok, 1994).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که غلظت مس قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر وزن خشک بخش هوایی گیاه اسفناج دارد. با افزایش غلظت مس خاک تا سطح ۱۰ میلی‌گرم درکیلوگرم، وزن خشک بخش هوایی افزایش یافت، ولی در سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، میزان آن کاهش یافت. بیشترین میزان وزن خشک بخش هوایی از سطح ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مس بدست آمد (نمودار ۲). اسفناج از جمله گیاهان پرنیاز به مس می‌باشد و افزایش غلظت این عنصر در محیط ریشه تا جایی که باعث مسمومیت گیاه نشود، رشد و نمو را افزایش می‌دهد، ولی در غلظت‌های بالا به دلیل خاصیت فیتوتوکسیسیتی شدید آن و ممانعت از جذب عناصر کم مصرف دیگر مانند روی، آهن و منگنز باعث کاهش عملکرد و رشد گیاه می‌شود. ادهر و احمد (Athar and Ahmad., 2002) کاهش وزن خشک ریشه گندم بر اثر غلظت بالای مس خاک را تأیید کرده‌اند. ملکوتی (۱۳۸۲) گزارش کرد که میزان رشد نسبی و وزن خشک گیاهچه گندم با مصرف مس و افزایش شوری، کاهش می یابد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که اثر متقابل سطوح کادمیم و مس بر وزن خشک بخش هوایی گیاه اسفناج در سطح یک درصد معنی‌دار است. بیشترین مقدار ماده خشک از سطح ۱۰ میلی‌گرم درکیلوگرم مس و ۲۰ میلی‌گرم درکیلوگرم کادمیم وکمترین مقدار آن از سطح ۴۰ میلی‌گرم درکیلوگرم مس

Archive of SID

www.SID.ir

و ۸۰ میلی‌گرم درکیلوگرم کادمیم بدست آمد. به طورکلی افزایش غلظت مس وکادمیم موجب کاهش عملکرد گیاه اسفناج گردید (نمودار ۱و۲).

غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه اسفناج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که غلظت کادمیم قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری درسطح یک درصد برغلظت کادمیم بخش هوایی گیاه اسفناج دارد، به طوری که با افزایش غلظت کادمیم خاک تا سطح ۴۰ میلی گرم درکیلوگرم خاک، غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه اسفناج به طور معنی‌داری افزایش یافت، ولی در سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیم درکیلوگرم خاک، غلظت کادمیم بخش هوایی کاهش یافت (نمودار ۳). آلووی و همکاران (Alloway et al., 1990) دریافتند که میزان کل کادمیم خاک یکی از مهمترین عوامل مؤثر در میزان کادمیم گیاهان رشد کرده در خاک‌های آلوده می‌باشد. پتانسیل سمیت فلزات سنگین در محیط زیست، بستگی به غلظت آن در محلول خاک دارد، هر چه غلظت فلزات، در فاز محلول بیشتر باشد، جذب آنها توسط گیاه نیز بیشتر خواهد بود (Buffle, 1988). ییلدیز (Yildiz, 2005) به این نتیجه رسید که با افزایش کادمیم در محیط رشد گیاه گوجه فرنگی و ذرت، غلظت کادمیم در هر دو گیاه افزایش یافت. محمدی و همکاران (۱۳۸۵) گزارش کردند که با افزایش سطوح کادمیم در خاک، غلظت کادمیم در اندام هوایی تربچه افزایش معنی‌داری داشت و غلظت آن در شاهی بیش تر از تربچه بود. سوربک و همکاران (Sauerbeak et al., 1991) در هویج و کلم به نتایج مشابهی دست یافتند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که غلظت مس خاک، اثر معنی‌داری (درسطح یک درصد) بر غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه اسفناج دارد، به طوری که با افزایش سطح مس تا سطح ۱۰ میلی‌گرم درکیلوگرم، غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه به طور معنی‌داری افزایش یافت و بعد از آن تا غلظت ۴۰ میلی‌گرم درکیلوگرم مس، غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه کاهش یافت. بیشترین غلظت کادمیم گیاه، در سطح ۱۰ میلی گرم درکیلوگرم مس مشاهده شد (نمودار ۴). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که اثرات متقابل سطوح کادمیم و مس بر غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه اسفناج در سطح یک درصد معنی‌دار است. بیشترین غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه ازسطح ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم مس و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم و کمترین آن از سطح ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم مس و سطح صفر کادمیم به دست آمد (نمودار ۳و۴).

غلظت مس بخش هوایی گیاه اسفناج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که سطوح کادمیم قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت مس بخش هوایی گیاه اسفناج دارد، به طوری که با افزایش سطح کادمیم خاک، غلظت مس بخش هوایی گیاه به طور معنی داری کاهش یافت (نمودار ۵). رجایی و کریمیان (۱۳۸۵) نشان دادند که آلودگی خاک با کادمیم، وزن تر و خشک گیاه اسفناج و غلظت و جذب کل روی، آهن، منگنز و مس را کاهش داد.. آیدین و همکاران (Aydin et al., 2001)، نتایج مشابهی را در تربچه گزارش کردند. بنظر می‌رسد که در انتقال یونی، رقابت شدیدی بین کادمیم و مس وجود دارد (Liu et al.,1994). خان و خان (Khan and Khan., 1983)، کاهش غلظت عنصر مس درگیاه گوجه فرنگی را با افزایش غلظت کادمیم خاک گزارش کرده‌اند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که سطوح مس خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت مس بخش هوایی گیاه اسفناج دارد، به طوری که با افزایش سطح مس خاک، غلظت مس بخش هوایی گیاه به طور معنی‌داری افزایش یافت (نمودار ۶). سینگ و مایر (Sing and Myhr., 1988) گزارش نمودند که با افزایش غلظت عناصر سنگین در محیط کشت بر غلظت آنها درگیاه نیز افزوده می شود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس

Archive of SID

www.SID.ir

داده‌ها (جدول۳) نشان می دهد که اثر متقابل سطوح مختلف کادمیم و مس بر غلظت مس بخش هوایی گیاه اسفناج در سطح یک درصد معنی‌دار است. بالاترین غلظت مس بخش هوایی گیاه از سطح ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و صفر میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم و پایین ترین آن از سطح ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و سطح ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم به دست آمد (نمودار ۵و۶).

غلظت فسفر بخش هوایی گیاه اسفناج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که غلظت کادمیم قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت فسفر بخش هوایی گیاه اسفناج دارد، به طوری که با افزایش سطح کادمیم خاک، غلظت فسفر بخش هوایی گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت (نمودار ۷). از دلایل کاهش غلظت فسفر در بافت‌های گیاه با حضور کادمیم در محیط ریشه را می‌توان به تشکیل فسفات کادمیم در خاک و یا در بافت‌های گیاه مخصوصاً ریشه‌ها نسبت داد که از حلالیت کمی برخوردار است. سمیت کادمیم ممکن است باعث کمبود فسفر یا بروز مشکلات مربوط به انتقال فسفر در گیاه شود (Haghiri, 1974). جذب فسفر به صورت فعال صورت می گیرد، کادمیم با تأثیر منفی بر روی تولید ATP، که انرژی مورد نیاز برای جذب فعال فسفر را فراهم می کند، باعث کاهش جذب فسفر توسط گیاه می‌شود (Akay et al., 2007).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که سطوح مس قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت فسفر بخش هوایی گیاه اسفناج دارد، به طوری که با افزایش سطح مس قابل جذب خاک، غلظت فسفر بخش هوایی گیاه به طور معنی‌داری افزایش یافت، درحالی که درسطح ۴۰ میلی گرم درکیلوگرم مس، از غلظت فسفر گیاه کاسته شد، ولی همواره بیشتر از غلظت فسفر تیمار شاهد بود و بیشترین مقدار غلظت فسفر گیاه در سطح ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم مس مشاهده شد (نمودار ۸). در بسیاری از مطالعات گزارش شده است که افزایش غلظت بعضی از عناصر کم مصرف و فلزات سنگین مانند مس و کادمیم در خاک باعث کاهش غلظت فسفر در بافت‌های گیاه می شود که دلیل آن تشکیل فسفات‌های این عناصر در خاک و ریشه گزارش شده است. افزایش غلظت فسفر در اثر کاربرد مس را می توان به رقابت بین روی و مس نسبت داد. از آنجا که افزایش غلظت مس در خاک باعث کاهش غلظت روی در بافت‌ها می‌شود، در نتیجه غلظت فسفر در بافت‌ها که خاصیت آنتاگونیستی شدیدی با روی دارد، افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که اثر متقابل سطوح کادمیم و مس بر غلظت فسفر بخش هوایی گیاه اسفناج در سطح یک درصد معنی‌دار است. بیشترین غلظت فسفر بخش هوایی گیاه از سطح ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیم و کمترین غلظت آن از سطح ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و سطح ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم بدست آمد (نمودار ۷و۸). با توجه به این که مس اثر مثبت بر جذب فسفر و کادمیم اثر منفی بر جذب فسفر دارد، اما اثر متقابل آنها نشان دهنده برتری اثر کادمیم بر اثر مس می‌باشد و در واقع افزایش سطوح کادمیم به علت اختلالات تغذیه‌ای و رسوب فسفر به صورت فسفات کادمیم در خاک و ریشه عامل مؤثرتری بر کاهش غلظت فسفر در گیاه می‌باشد.

غلظت آهن بخش هوایی گیاه اسفناج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴) نشان می‌دهد که افزایش سطح کادمیم، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت آهن بخش هوایی گیاه اسفناج دارد، به طوری که با افزایش سطح کادمیم، غلظت آهن بخش هوایی گیاه به طور معنی‌داری افزایش یافت (نمودار۹). عبدالصبور (Abdel-Sabour et al., 1988)، بیان کرد که حضور کادمیم منجر به بروز مشکلات ناشی از انتقال روی و سایر عناصر کم مصرف در گیاه می‌شود. با توجه به نتایج فوق می‌توان چنین نتیجه گرفت که خاصیت آنتاگونیستی کادمیم با بعضی از عناصر کم مصرف بویژه روی در جذب، باعث این پدیده می‌شود. افزایش غلظت آهن در بافت‌ها می‌تواند بدلیل

Archive of SID

www.SID.ir

رقابت آهن و روی در جذب باشد. از آنجا که هم کادمیم و هم مس غلظت روی در بافت‌ها را کاهش داده‌اند، این امر می‌تواند باعث افزایش غلظت آهن در بافت‌ها شده باشد، از طرف دیگر غلظت‌های بالای مس و کادمیم میزان ماده خشک تولیدی را کاهش داده است و این امر هم می‌تواند باعث افزایش غلظت آهن به دلیل فاکتور رقت شده باشد. ونگ و همکاران (Wong et al., 1984)، کاهش غلظت آهن با افزایش غلظت کادمیم را ناشی از اثرات آنتاگونیستی این دو عنصر گزارش کردند و ایرانشاهی و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند که با مصرف کادمیم و روی، غلظت آهن در دانه گندم به میزان ۵۰/۰۷ درصد کاهش یافت که تا حدودی با نتایج بدست آمده در این تحقیق مغایرت دارد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴) نشان می‌دهد که غلظت مس قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت آهن بخش هوایی گیاه اسفناج دارد و با افزایش سطح مس خاک، غلظت آهن بخش هوایی گیاه به طور معنی‌داری افزایش یافت (نمودار ۱۰). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴) نشان می‌دهد که اثر متقابل سطوح کادمیم و مس بر غلظت آهن بخش هوایی گیاه اسفناج در سطح یک درصد معنی‌دار است. بالاترین غلظت آهن بخش هوایی گیاه از سطح ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیم و پایین ترین مقدار آن از سطح صفر میلی‌گرم در کیلوگرم مس و سطح ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم به دست آمد (نمودار ۹و۱۰).

غلظت روی بخش هوایی گیاه اسفناج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴) نشان می‌دهد که غلظت کادمیم قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت روی بخش هوایی گیاه دارد، به طوری که با افزایش سطح کادمیم خاک، غلظت روی بخش هوایی گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت (نمودار ۱۱). مک کنا و همکاران (Mackenna et al., 1993) عنوان کردند که اثر آنتاگونیستی روی و کادمیم در کاهو و اسفناج، به علت رقابت این دو فلز برای جذب می باشد. ییلدیز (Yildiz, 2005) نیز در تحقیقی عنوان کرد که با افزایش سطوح کادمیم، غلظت روی در دو گیاه گوجه فرنگی و ذرت کاهش یافت. کاهش غلظت روی بدنبال افزایش غلظت کادمیم، احتمالاً بدلیل شباهت شیمیایی این دو عنصر و رابطه آنتاگونیستی آنها با یکدیگر می باشد. (Root et al., 1975)

نیر و سینگ (Naier, and Singh., 1989)، کاهش غلظت روی با افزایش غلظت کادمیم را در گیاه ذرت گزارش کردند. نتایج مشابه توسط جورجیا و همکاران (Goergia et al., 1997) در گیاه نخود و فلفل گزارش شده است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴) نشان می‌دهد که غلظت مس قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت روی بخش هوایی گیاه دارد، به طوری که با افزایش سطح مس خاک، غلظت روی در بخش هوایی گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت (نمودار ۱۲). رحیمی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی نشان دادند که با افزایش روی، غلظت مس در اندام هوایی اسفناج افزایش یافت که با نتایج بدست آمده در این پژوهش هماهنگی ندارد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴) نشان می دهد که اثر متقابل سطوح مختلف کادمیم و مس بر غلظت روی بخش هوایی گیاه اسفناج در سطح یک درصد معنی‌دار است. بیشترین غلظت روی بخش هوایی گیاه از سطح صفر میلی‌گرم در کیلوگرم مس و صفر میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم (شاهد) و کمترین آن از سطح ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم مس و سطح ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیم بدست آمد (نمودار ۱۱و۱۲).

غلظت منگنز بخش هوایی گیاه اسفناج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴) نشان می‌دهد که غلظت کادمیم قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت منگنز بخش هوایی گیاه دارد، به طوری که با افزایش سطح کادمیم خاک، از غلظت منگنز بخش

Archive of SID

www.SID.ir

هوایی گیاه به طور معنی‌داری کاسته شد (نمودار۱۳). بر اساس گزارشات والش و بتون (Walsh and Beaton., 1973)، با افزایش غلظت کادمیم، غلظت منگنز در گوجه فرنگی و ذرت کاهش یافت. نتایج مشابه توسط زارکو (Zarko et al., 2003) در نخود گزارش شده است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴) نشان می‌دهد که غلظت مس قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت منگنز بخش هوایی گیاه دارد، به طوری که با افزایش سطح مس خاک، از غلظت منگنز بخش هوایی گیاه به طور معنی‌داری کاسته شد (نمودار۱۴). موسوی و رونقی (۱۳۸۶) نشان دادند که کاربرد منگنز سبب کاهش معنی‌دار غلظت و جذب مس در برگ لوبیا شد که نشان دهنده اثر بازدارنده کاربرد منگنز بر انتقال مس از ریشه به اندام‌های هوایی گیاه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴) نشان می‌دهد که اثر متقابل سطوح مختلف کادمیم و مس بر غلظت منگنز بخش هوایی گیاه اسفناج درسطح یک درصد معنی‌دار است. بیشترین غلظت منگنز بخش هوایی گیاه از سطح صفر میلی‌گرم در کیلوگرم مس و صفر میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم و کمترین مقدار آن از سطح ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و سطح ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم به دست آمد (نمودار ۱۳و۱۴).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical properties of soil

بافت (Texture)	آهک ($CaCO_3$) ٪	کربن آلی (Organic carbon) ٪	ماده آلی (Organic matter) ٪	رطوبت مزرعه (Field capacity) ٪	واکنش خاک (pH)	شوری (Electrical conductivity) ds/m
لومی،رسی (Clay Loam)	8.2	0.8	1.38	25	7.8	0.706

جدول ۲- مقدار عناصر اولیه خاک

Table 2- Primary concentration of elements in soil

آهن (Fe)	روی (Zn)	مس (Cu)	منگنز (Mn)	کادمیم (Cd)	فسفر (P)	پتاسیم (K)	نیتروژن (N)
mg/kg							٪
1.01	1.42	0.36	3.4	0.1	19	360	0.6

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر ماده خشک و غلظت عناصر غذایی اسفناج

Table 3- ANOVA results of treatments on shoot dry matter and nutrient concentrations in spinach

منابع تغییرات (Source of Variation)	درجه آزادی (Degrees of freedom)	میانگین مربعات (Mean squares)			
		وزن خشک (Dry matter)	غلظت کادمیم (Cd Concentration)	غلظت مس (Cu Concentration)	غلظت فسفر (P Concentration)
فاکتور A (مس) Factor A (Cu)	4	8.76**	1074.02**	64/30**	0.01**
فاکتور B (کادمیم) Factor B (Cd)	4	29.6**	18976.25**	382.89**	0.05**
اثر متقابل AB Interaction of AB (Cd)	16	6.3**	812.09**	26.81**	0.004**
خطا (Error)	50	0.34	29.72	1.84	0.001
C.V %	_	15.8	7.85	8.43	8.51

معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد (Significant at 1% probability level)

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر ماده خشک و غلظت عناصر غذایی اسفناج

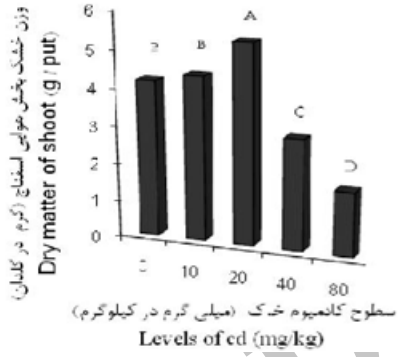
Table 4- ANOVA results of treatments on shoot dry matter and nutrient concentrations in spinach

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (Df)	میانگین مربعات (Mean squares)		
		غلظت آهن (Fe Concentration)	غلظت روی (Zn Concentration)	غلظت منگنز (Mn Concentration)
فاکتور A (مس) Factor A (Cu)	4	20661.58**	317.56**	911.61**
فاکتور B (کادمیم) Factor B (Cd)	4	27438.38**	3718.57**	15578.42**
اثر متقابل AB Interaction of AB (Cd)	16	16481.37**	145.58**	1343.54**
خطا (Error)	50	556.73	7.28	29.73
C.V %	_	9.42	7.69	9.23

معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد (Significant at 1% probability level)

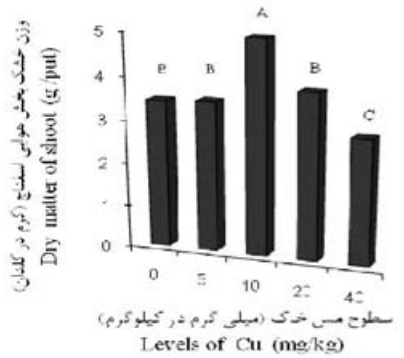
Archive of SID

www.SID.ir



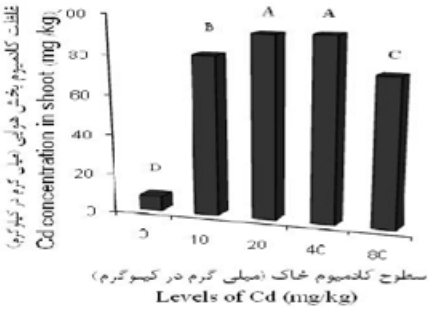
نمودار۱- تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر وزن خشک بخش هوایی گیاه اسفناج

Fig 1- Effect of different levels of Cd on dry matter of shoot spinach



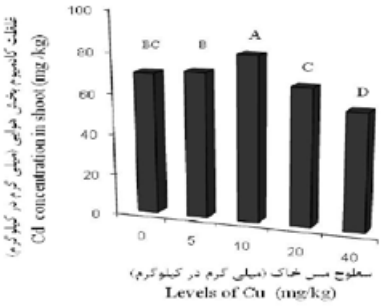
نمودار۲- تأثیر سطوح مختلف مس بر وزن خشک بخش هوایی گیاه اسفناج

Fig 2- Effect of different levels of Cu on dry matter of shoot spinach



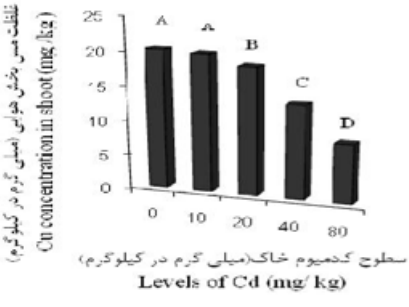
نمودار۳- تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه اسفناج

Fig 3- Effect of different levels of Cd on Cd concentration in shoot spinach



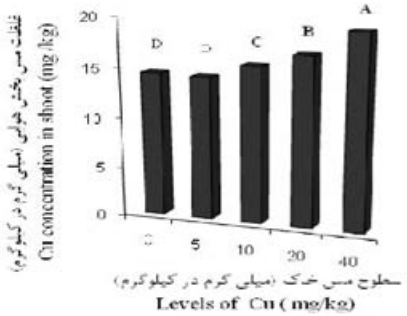
نمودار۴- تأثیر سطوح مختلف مس بر غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه اسفناج

Fig 4- Effect of different levels of Cu on Cd concentration in shoot spinach



نمودار۵- تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت مس بخش هوایی گیاه اسفناج

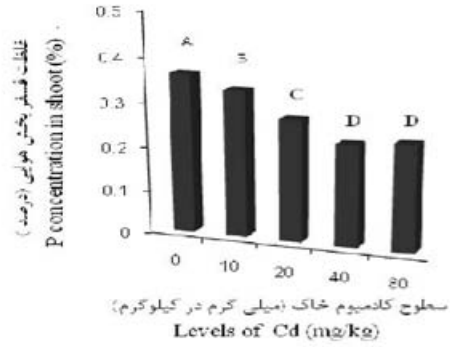
Fig 5- Effect of different levels of Cd on Cu concentration in shoot spinach



نمودار۶- تأثیر سطوح مختلف مس بر غلظت مس بخش هوایی گیاه اسفناج

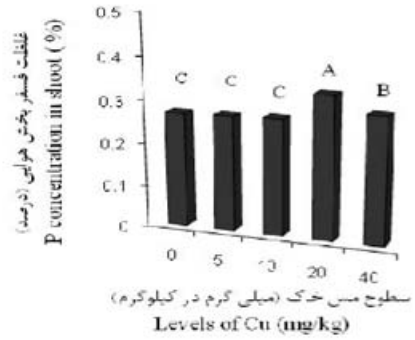
Fig 6- Effect of different levels of Cu on Cu concentration in shoot spinach

www.SID.ir



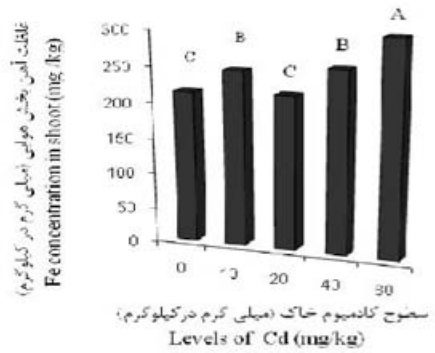
نمودار۷- تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت فسفر بخش هوایی گیاه اسفناج

Fig 7- Effect of different levels of Cd on P concentration in shoot spinach



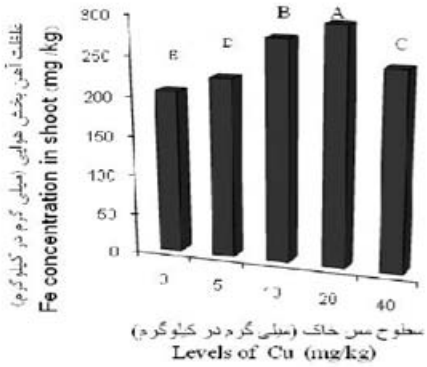
نمودار۸- تأثیر سطوح مختلف مس بر غلظت فسفر بخش هوایی گیاه اسفناج

Fig 8- Effect of different levels of Cu on P concentration in shoot spinach



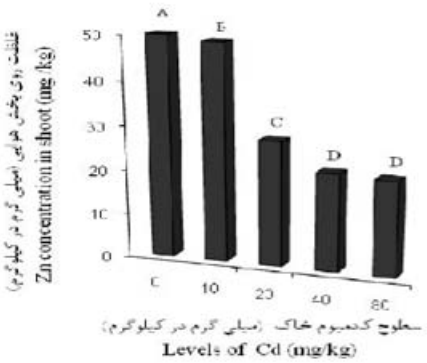
نمودار۹- تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت آهن بخش هوایی گیاه اسفناج

Fig 9- Effect of different levels of Cd on Fe concentration in shoot spinach



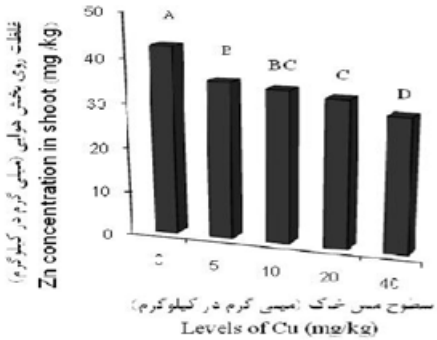
نمودار۱۰- تأثیر سطوح مختلف مس بر غلظت آهن بخش هوایی گیاه اسفناج

Fig 10- Effect of different levels of Cu on Fe concentration in shoot spinach



نمودار۱۱- تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت روی بخش هوایی گیاه اسفناج

Fig 11- Effect of different levels of Cd on Zn concentration in shoot spinach



نمودار۱۲- تأثیر سطوح مختلف مس بر غلظت روی بخش هوایی گیاه اسفناج

Fig 12- Effect of different levels of Cu on Zn concentration in shoot spinach

www.SID.ir

منابع References

ایرانشاهی، ز.، فتحی، ق.، سیادت، ع.، جعفری، س.، ابدال مشهدی، ع. ر. ۱۳۸۸. اثر سطوح مختلف کادمیم و روی بر جذب عناصر ریزمغذی در گندم. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک، گرگان، ایران.

خداوردی لو، ح. ۱۳۸۵. مدل سازی پالایش سبز خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم. پایان نامه دکتری خاکشناسی، گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

رجایی، م. ۱۳۸۵. تأثیر زمان، سطوح و منابع کادمیم و نیکل بر شکل‌های شیمیایی، رشد و جذب این دو عنصر توسط اسفناج. رساله دکتری. بخش خاکشناسی. دانشگاه شیراز.

رجایی، م.، کریمیان، ن. ع. ۱۳۸۵. اثر کادمیم اضافه شده و زمان خواباندن بر شکل‌های شیمیایی کادمیم، رشد و ترکیب شیمیایی اسفناج در دو بافت خاک. صفحات ۳۲۲-۳۲۱. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، ثواقبی، غ. ر.، انتشارات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

رحیمی، ط.، رونقی، ع.، قاسمی فسایی، ر. ۱۳۸۸. اثر کاربرد کادمیم و روی بر رشد و غلظت برخی عناصر گیاه اسفناج در یک خاک آهکی. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک، گرگان، ایران.

محمدی، م.، شیروانی، س.، فتوت، ا.، حق نیا، غ. ح. ۱۳۸۵. مقایسه جذب روی و کادمیم در تربچه و شاهی و بررسی اثرات متقابل آنها. صفحات ۳۱۸-۳۱۷. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، ثواقبی، غ. ر.، انتشارات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

ملکوتی، م. ج.، کشاورز، پ.، سعادت، س.، خلدبرین، ب. ۱۳۸۲. تغذیه گیاهان در شرایط شور. انتشارات سنا. چاپ اول. تهران، ایران.

موسوی، س. ع. ا.، رونقی، ع. م. ۱۳۸۶. اثر تیمارهای خاکی و برگ پاشی آهن و منگنز بر عملکرد ماده خشک و عناصر غذایی کم مصرف در لوبیا. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک، کرج، ایران.

نوربخش، ش. ۱۳۸۵. بررسی اثرات بافت و کادمیم خاک بر روی رشد چند گیاه. صفحات ۱۸۴-۱۸۳. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، ثواقبی، غ. ر.، انتشارات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

Abdel-Sabour, M. F., J. J: Mortvedt, and J. J. Keelson. 1988. Cadmium-Zinc interaction in plants and extractable cadmium and zinc fractions in soil. Soil Sci. 145(6): 426-431.

Akay, A., and K. Nourkan. 2007. Interaction between cadmium and zinc in barley grow under field conditions. Bangladesh J. Bot, 36: 13-19.

Alloway, B. J. 1990. Soil processes and the Behavior of Metals. Chap 2 in Alloway, B. J. (ed) Heavy Metals in Soils , Blackie Academic and Professional. Glasgow. 7-28.

Alloway, B. J. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional. New York. 122-147.

Athar, R., and M. Ahmad. 2002. Heavy metal toxicity: Effect on plant growth and metal uptake by wheat, and on free living Azotobacter. Water, Air, and Soil Pollution 138:165-180.

Aydin, H., and C.Coker. 2001. In vivo Interaction between Cadmium and Essential Trace Elements Copper and Zink in Rats. J Med Sci. 31;127-129.

Archive of SID
www.SID.ir

Baker, A. J. M., and J. Proctor. 1990. The influence of cadmium, copper, lead and zinc on the distribution and evolution of metallophytes in the British Isles. Plant sys. Evol. 173:91-108.

Buffle, J. 1988. Complexation Reactions in Aquatic Systems, an Analytical Approach, John Wiley and Sons, Chi Chester.

Das, P., R. Rout, and S. Samantaray. 2000. Studies on cadmium toxicity in plants: A review. Environ. Pollute, 98: 29-36

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.

Ernest, W. H. O. 1996. Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants. Applied Geochem. 11: 163-167.

Goergia, A., J. Angle, R. Chaney, and P. Van Berkum. 1997. Heavy metals in the environment: sewage sludge and heavy metal effects on nodulation and nitrogen fixation of vegetables. J Environ. Quall, 24: 1199-1204.

Haghiri, F. 1974. Plant uptake of cadmium as influenced by cation exchange capacity, organic matter, zinc and soil temperature. J. Environ. Quall. 3:180-183.

Jiang, W., D. Liu, and W. Hou, 2001. Hyperaccumlation of cadmium by roots, bulbs and shoots of garlic (Allium sativum L.). Biores, Teach.76: 9-13.

Kabata-Pendias, A. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Rotan, Florida, USA.143-157.

Khan, S., and N. S. Khan. 1983. Influence of lead and cadmium on the growth and nutrient concentration of tomato (Lycopersicon esculentum) and egg-plant (Solanummelongena). Plant Soil, 74: 387-394.

Liu, X., T. Jin, G. F. Nordberg, M. Sjstrm, and Y. Zhou. 1994. Influence of zinc and copper administration on metal disposition in rats with cadmium metallothioneinin ducednephrotoxicity. Toxicol Apple Pharmacol, 126: 84-90.

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.

Mensah, E., H. E. Allen., R. Shoji, S. N. Odai, and N. Keyi-Baffour. 2008. Cadmium and lead concentrations effects on yields of some vegetables due to uptake from irrigation water in Ghana. J. Agri Reaserch, 3(4): 243-251.

Mok, M. 1994. Cytolinins and plant development- An overview. In: Cytokinins: Chemistry, Activity, and Function. Eds. Mok, D., M. Mok. 155-166.

Naier, D., and A. Singh. 1989. Toxity of heavy metals (Zn. Cu, Cd, Pb) to vascular plants. A literature review. Water, Air and Soil Pull, 47: 287-319.

Oliver, D. P., R. Hannam, k. G. Tillre. N. S. Wilhelm. R. H. Merry. and G. D. Cozens. 1994. The effects of zinc fertilization on cadmium concentration in wheat grain. J. Environ. Quall. 23: 705-711.

Root, R. A., R. J. Miller, and D. E. Koppel. 1975. Uptake of cadmium-Its toxity and effect on the iron ratio in hydroponically grown corn. J. Environ. Quall. 4: 473-476.

Sauerbeak, D. R. 1991. Plant, element and soil properties governing plant uptake and availability of heavy metals

Archive of SID

www.SID.ir

derived from sewage sludge. Water Air Soil Pollut, 227: 57-58

Sing, B. R., and K. Myhr. 1988. Cadmium uptake by barley as affected by cadmium source and pH levels. Geoderma. 84: 185-194.

Talatam, S., and B. Parida. 2009. Crop growth as influenced by Zinc and organic matter in Cadmium-rich polluted soils. Available from: http: \\ scholarship. Org/ uc/ item 127783q. 04.13.2009.

Walsh. L. M., and J. D. Beaton. 1973. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, Inc. Madison. Wisconsin. USA.

Wong, M. K., G. K. Chuah, L. L. Koh, K. P. Ang, and C. S. Hew. 1984. The uptake of cadmium by Brassica chine sis and its effect on plant zinc and iron distribution. Environ Exp Bot, 24: 189-195.

Yan-de, J., H. Zhen-li., and Y. Xiao. 2007. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. J. Zhejiang Univ. Sci., 8(3): 197-207.

Yanqun. Z. 2004. Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyper accumulator choice in Lamping lead-zinc mine area, China.. Environment International 30:567-576.

Yildiz, N. 2005. Response of Tomato and Corn plants to increasing Cd levels in nutrient culture. Pak. J. Bot., 2005. 37(3): 593-599.

Zarko, S., Kevresan, and M. Novice. 2003. Effect of cadmium on content and distribution of some macro and micronutrients in tea plants differing in ages. Proc. Nat. Sci. Metical Srpska Novi Sad, 105: 15-23.

Archive of SID

www.SID.ir