اثر کلات EDTA و کود گاوی بر میزان جذب کادمیوم به وسیله گل همیشه بهار در یک خاک آلوده

حمید رضا مشایخی، امیر حسین بقائی[1] و مسعود گماریان

گروه باغبانی، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران؛ **hamidrezamashayekhi@yahoo.com**

گروه خاکشناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران؛ **a-baghaie@iau-arak.ac.ir**

گروه اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران؛ **m-gomarian@.iau-arak.ac.ir**

دریافت: **95/4/9** و پذیرش: **96/3/3**

چکیده

آلودگی خاک به کادمیم می‌تواند سبب کاهش تولیدات گیاهی و افزایش خطر استفاده از محصولات گیاهی آلوده به این فلز توسط انسان و حیوانات شود، این پژوهش با هدف بررسی اثر کی‌لیت EDTA بر میزان جذب کادمیوم در گل همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد مقادیر 0(C_0)، 25 (C_{25}) و 50 (C_{50}) مگاگرم در هکتار کود گاوی در یک خاک آلوده به کادمیوم با مقادیر 0(Cd_0)، 5 (Cd_5) و 10 (Cd_{10}) میلی گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و همچنین کاربرد دو سطح کی لیت EDTA در غلظت‌های 0(E_0) و 2/5 (E2.5) میلی‌مول بر کیلوگرم خاک بود. کاربرد 2/5 میلی مول‌کی لیت EDTA در خاک تیمارشده با 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی و آلوده به 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم به ترتیب باعث افزایش 25% و 41 درصدی در جذب کادمیوم شاخساره گیاه شد، همچنین کاربرد 2/5 میلی مول کی‌لیت EDTA باعث افزایش فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه و شاخساره گیاه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد 2/5 میلی مول کی‌لیت EDTA توانست با افزایش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک نقش مهمی در افزایش پالایش کادمیوم در خاک تیمار شده با مواد آلی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: قابلیت دسترسی کادمیوم، پالایش کادمیوم، مواد آلی، انباشت زیستی

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: گروه خاکشناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

آلودگی خاک بـه فلـزات سـنگین یکـی از مشـکلات اساسی زیست بوم است. عمده‌ترین منابع رهاسازی فلزات سنگین به خاک مربوط به فعالیت‌های صـنعتی اسـت کـه شامل معدن کاوی، ذوب فلزات، صنایع آبکاری، فلزکاری، مصرف سوخت و تولید انرژی، تخلیه فاضـلاب و انهـدام زباله، کاربرد آفت کش‌ها، کودها و لجن فاضلاب مصـرفی در بخش کشاورزی می‌باشد (تنهان و همکـاران، 2007). کادمیوم یکی از فلزات سنگین است کـه بطـور طبیعـی در خاک وجود دارد .این فلز غیر ضروری است و برای بیشتر ارگانیسم‌ها خیلی سمی اسـت. سـمیت آن 2 تـا 20 برابـر بالاتر از بسیاری دیگر از فلـزات سـنگین اسـت (گـوش و سینگ، 2005). متوسط نیمه عمر بیولـوژیکی کـادمیوم 18 سال است (گیسبرت و همکاران، 2003). کودهای فسفری از جمله منابع ورود کادمیوم به داخـل خـاک مـی‌باشـند (هوانـگ و همکـاران، 2004). فلـزات سـنگین در خـاک علاوه بر اینکه سبب کاهش رشد گیاه می‌شوند، می‌تواننـد همراه با حرکت آب در سطح یا داخل خاک حرکت کرده و به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد شوند و همـراه بـا آب شرب یا سـایر مـواد دیگـر بـه بـدن انسـان و دیگـر موجودات زنده وارد شوند و سبب بروز سمیت و بیماری شوند (ساها و همکاران، 2016) ، لـذا پـالایش و کـاهش خطرات ناشی از سمیت این ترکیبات خطرناک از محـیط زیست امری ضروری است.

از آنجا که پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین با استفاده از روش‌های مهندسی وسـایر روش‌هـای مرسـوم، بسیار پرهزینه و همراه با اثرات جانبی مضر بـرای محـیط زیست است، امروزه به روش گیاه پالایی به عنوان یـک فناوری نوظهور و مقرون بـه صـرفه جهـت پـالایش ایـن دسته از آلاینده‌های خاک توجه ویژه‌ای شده است، چراکه این روش نه تنها ارزان قیمت است بلکـه امکـان پـالایش برجا، حفظ خاک و جلـوگیری از فرسـایش و هـدررفت خاک و اسـتقرار فضـای سـبز در منطقـه نیـز وجـود دارد (سالت و همکاران، 1995)..

پـائین آوردن اسـیدیته خـاک و اسـتفاده از ترکیبـات کی‌لیت کننده دو راه حل اصـلی جهـت افـزایش قابلیـت جذب این عناصر می‌باشد، هر چنـد کـه کـاهش اسـیدیته خاک به دلیـل قـدرت بـافری بـالای خـاک بـه ویـژه در خاکهای مناطق مرکـزی ایـران کـاری دشـوار و پرهزینـه می‌باشد. روش دیگر استفاده از ترکیبات کـی‌لیـت کننـده نظیر EDTA به عنوان روش دیگری در افزایش سهم قابل جذب فلزات سنگین در خـاک بـوده مـی‌باشـد (نـواک و همکاران، 2006). بیش از 50 سال است که از EDTA و سایر کی لیت‌ها برای تغذیه گیاهان با عناصر کم مصـرف استفاده می‌شود (ما و همکاران، 2014). زمانی که EDTA به خاک اضافه می‌شود بخش بزرگی از فلـز کـل محلـول شده و در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. کی‌لیـت EDTA در مقایسه با دیگر ترکیبات شیمیایی، عمل انحلال فلـز را بـا کمترین اثر نامطلوب بر ویژگی های خاک انجام می‌دهـد (زهانگ و همکاران، 2014). با افزایش کـاربرد کـی‌لیـت EDTA قابلیت جذب فلزات سنگین در خاک دچار تغییر شده، هرچند که میزان این تغییر بستگی به عوامل مختلفی از جمله نوع خـاک، گیـاه و شـرایط فیزیکـی و شـیمیایی خاک دارد (ریورا و همکاران، 2016).

گیاه پالایی از دیدگاه های متفاوتی توسط پژوهشـگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهشی عربی و همکاران (1389)، اثـر افـزودن کـی لیـت طبیعـی اسـید سیتریک و کی لیت های مصنوعی HEDTA و EGTA در محلول کردن کادمیم در خاک‌هایی که به صورت مصنوعی آلوده شده‌اند و نیز توانایی آنها در افزایش پالایش گیـاهی کادمیوم را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داده که کی لیت‌های مصنوعی نسبت به اسید سیتریک که یک کی لیت طبیعی است حلالیت را بیشتر افـزایش مـی‌دهـد و در این میان، کی لیت مصنوعی HEDTA در استخراج بسـیار تواناتر بوده و در نتیجه باعث جذب بیشتر کادمیم می‌شود. در پژوهشی دیگر که با هـدف ارزیـابی کـارآیی EDTA و NTA در در افـزایش غلظـت سـرب محلـول در خـاک و مقایسه اثرات آنها بر مقدار جذب سرب توسط گیاه شاهی انجام گردید، نتایج نشان داد که استفاده از اسیدهای آمینو-پلی کربوکسیلیک موجب افزایش غلظت سرب محلـول در خاک و سپس جذب توسط ریشه و انتقال آن به شاخسـاره شاهی می‌شود و مصرف این ترکیبات باعث افزایش بازده و کاهش زمان آلودگی زدایی سرب از خـاک شـد و در ایـن رابطه تأثیر EDTA بیشـتر از NTA مـی‌باشـد (بابائیـان و همائی، 1389). تحقیقات انجام شده در خصوص ارزیابی ویژگی‌های مؤثر خاک بر وضعیت غلظت کادمیم در خاک نشان داد که ویژگی های ظرفیت تبادل کـاتیونی و مقـدار مواد آلی خاک نسبت به سایر ویژگی‌های خاک بـر میـزان حلالیت کادمیم خاک (کل و قابل جـذب) تـأثیر بیشـتری داشته و مواد آلی بر خلاف مقدار اندک، نقش مهمی را در حلالیـت کـادمیم در خـاک‌هـای مـورد مطالعـه دارنـد (جعفرنژادی و همکاران، 1391).

شهرستان اراک به عنوان یک قطـب صـنعتی، آلـودگی زیادی بـه فلـزات سـنگین از جملـه کـادمیوم داشـته کـه می‌تواند سلامت زنجیره غذایی برای انسان را مورد تهدید

Archive of SID

www.SID.ir

قرار دهد. با توجه به تحرک بالای کادمیوم نسبت به سایر فلزات سنگین نظیر سرب (اولیایی و شریفی، 1393)، بررسی میزان قابلیت دسترسی آن در خاک و گیاه اهمیت زیادی دارد. گیاه همیشه بهار به عنوان یک گیاه داروئی یکی از کشت های مرسوم در شهرستان اراک بوده و کاشت آن در زمین‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله کادمیوم می‌تواند سلامتی انسان را به خطر بیندازد. هر چند که تحقیقات زیادی در مورد اثر کی‌لیتهای آلی بر تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین صورت پذیرفته است (لی و همکاران، 2010؛ میقان و همکاران، 2011؛ کلاباس و همکاران، 2013) ولی با توجه به تغییر رویکرد کاربرد کودهای شیمیایی به سمت کودهای آلی، میزان و نوع ماده آلی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک هر منطقه می‌تواند میزان اثر بخشی کی‌لیتها از جمله EDTA را در خاک‌های الوده به فلز سنگین تحت تأثیر قرار دهد که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است، از سویی دیگر عملکرد گیاه نیز عاملی مؤثر در جهت تغییر میزان جذب کادمیوم توسط گیاه می‌باشد، لذا بررسی فاکتور جذب به جای غلظت می‌تواند عامل مؤثری در جهت تعیین میزان کادمیوم جذب شده به وسیله گیاه باشد. بدین منظور، این تحقیق با هدف بررسی اثربخشی کاربرد کی لیت EDTA بر مقدار جذب کادمیوم به وسیله گیاه همیشه بهار در یک خاک تیمار شده با کود گاوی و آلوده به کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش

این پژوهش در سال 1393 در گلخانه‌ای تحقیقاتی واقع در روستای کزاز از توابع شهرستان اراک با هدف بررسی اثر بخشی کی‌لیت EDTA بر جذب کادمیوم به وسیله گل همیشه بهار در یک خاک تیمار شده با کود گاوی انجام شد. به منظور بررسی اثر کاربرد کی لیت EDTA بر تغییر میزان جذب کادمیوم به وسیله گیاه همیشه بهار در یک خاک تیمار شده با کود گاوی و آلوده به کادمیوم، خاکی از عمق 30-0 سانتی متر با بافت نستاً سبک (جدول 1) از روستای پاکل واقع در اطراف شهرستان اراک با درصد کربن آلی نسبتاً کم انتخاب گردید.

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با 18 تیمار در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کاربرد کود گاوی در سه سطح 0(C_0)، 25 (C_{25}) و 50 (C_{50}) مگاگرم در هکتار، کادمیوم در سه سطح 0(Cd_0)، 5 (Cd_5) و 10 (Cd_{10}) میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک از منبع کلرید کادمیوم و همچنین کاربرد کی‌لیت EDTA در غلظت‌های 0(E_0) و 2/5 ($E_{2.5}$) میلی مول بر کیلوگرم خاک می‌باشد. جهت آلوده کردن خاک، ابتدا مقدار کادمیوم لازم تا رساندن به غلظت‌های مذکور بر اساس منبع کلریدکادمیوم محاسبه، در آب مقطر حل و بر روی خاک به صورت یکنواخت اسپری شد. قابل ذکر است که رطوبت نمونه‌ها در حدود 80 درصد ظرفیت زراعی مزرعه نگهداری و به مدت یک ماه (روانبخش و همکاران، 1390) در دمای C° 25-23 برای به تعادل رسیدن خاک و کادمیوم اسپری شده به آنها فرصت داده شد. در این مدت نمونه‌ها جهت به تعادل رسیدن مرتباً تر و خشک شدند. سپس کودگاوی در مقادیر 0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار با خاک آلوده مخلوط شد و به مدت یک ماه انکوبه شد تا مخلوط مذکور به تعادل برسد.

بذور گل همیشه بهار (*Calendula officinalis*) در جعبه های کشت نشاء کشت شد. زمانی که گیاهان به مرحله چهار برگی رسیدند گیاهانی هم اندازه (از لحاظ طول و وزن) انتخاب و به داخل گلدان‌های اصلی انتقال داده شد. در هر گلدان پنج بوته کشت شد که در نهایت به سه بوته تقلیل داده شد. آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر هر سه تا چهار روز یک‌بار (بسته به نیاز آبی گیاه) انجام شد. یک هفته به پایان دوره رشد گیاه (بناعراقی و همکاران، 2010) کی‌لیت EDTA در دو سطح 0(E_0) و 2/5 ($E_{2.5}$) میلی مول بر کیلوگرم خاک همراه با یک بار آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شد.

برداشت بوته‌های گیاه همیشه بهار 120 روز پس از کاشت انجام شد. ریشه و اندام هوایی از محل طوقه جدا، کاملاً شستشو داده شده و هر کدام جداگانه وزن و به داخل پاکت کاغذی منتقل گردید. نمونه‌ها به مدت 48 ساعت در دمای 65 درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار داده شد، سپس نمونه‌ها توسط آسیاب برقی به پودر تبدیل شده و در ظروف پلاستیکی نگه‌داری شد. سپس برای تعیین غلظت کادمیوم در نمونه های گیاهی از روش هضم با HNO_3 غلیظ و آب اکسیژنه 30 درصد کمک گرفته شد (بنتون و کیس، 1990).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 1- برخی ویژگی‌های خاک و کود گاوی مورد استفاده در این پژوهش

خاک			کود گاوی		
ویژگی	واحد	مقدار	ویژگی	واحد	مقدار
pH	-	7/6	pH(1:5)	-	7/8
قابلیت هدایت الکتریکی	دسی زیمنس بر متر	1/0	قابلیت هدایت الکتریکی (1:5)	دسی زیمنس بر متر	2
کربن آلی	درصد	0/2	کربن آلی	درصد	25
فسفر قابل استفاده	میلی گرم بر کیلوگرم	13	فسفر قابل استفاده	میلی‌گرم بر کیلوگرم	170
بافت خاک	-	لوم شنی	نیتروژن کل	درصد	1/1
کادمیوم کل	میلی گرم بر کیلوگرم	ND*	کادمیم کل	میلی گرم بر کیلوگرم	ND
کربنات کلسیم معادل	درصد	5	سرب کل	میلی‌گرم بر کیلوگرم	5
ظرفیت تبادل کاتیونی	سانتی مول بارمثبت بر کیلوگرم	11/3	روی کل	میلی‌گرم بر کیلوگرم	10

*ND : کادمیوم کل اولیه موجود در نمونه قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

همزمان با برداشت گیاه، از خاک گلدان‌های گیاه همیشه بهار نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک، پس از هواخشک شدن و کوبیدن، از الک 2 میلیمتری گذرانده و جهت تجزیه مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری pH و EC کود گاوی در عصاره 1:5 کود گاوی به آب و در مورد نمونه خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شده است (سعادت و بارانی مطلق، 1392). بافت خاک به روش هیدرومتری (گی و بادر، 1986) و جهت اندازه‌گیری مقدار کربن آلی خاک و کود از روش هضم‌تر استفاده شد (نلسن و سامرز، 1982). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش کلرید باریم اندازه‌گیری شد (رودز، 1982). شکل قابل جذب کادمیوم در نمونه‌های خاک به وسیله محلول DTPA 0/005 مولار در pH 7/2 اندازه‌گیری شد (لیندزی و نرول، 1978). مقدار کادمیوم کل موجود در خاک و نمونه‌های کودی با روش هضم با اسید فلوئوریک و تیزاب سلطانی (اسید نیتریک و اسید کلریدریک با نسبت 1 به 3) اندازه‌گیری شد (هوسنر،1996). قابل ذکر است که جهت اطمینان از روش انتخاب شده جهت اندازه‌گیری میزان کادمیوم کل موجود در نمونه‌ها، میزان کادمیوم کل کلیه نمونه‌ها قبل از شروع کشت گیاه اندازه‌گیری شده و نتایج حاکی از آن است که بیش از 90 درصد میزان کادمیوم اضافه‌شده به وسیله این روش قابل بازیابی می‌باشد. فسفر قابل دسترس موجود در نمونه‌های خاک به روش اولسن و همکاران (1954) عصاره‌گیری و با استفاده از روش رنگ سنجی تعیین شد (مرفی و ریلی، 1962). ضمناً فسفر کل موجود در نمونه کودی به روش هضم با اسید نیتریک و پرکلریک تعیین شد (اولسن و سامرز، 1982). مقدار کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید و تیتراسیون اسید اضافی با سود تعیین شد (نلسن،1982). مقدار نیتروژن کود گاوی به روش کجلدال (برمنر، 1996) اندازه‌گیری شد جهت بررسی اثر کارایی کاربرد کی لیت EDTA بر قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه همیشه بهار از فاکتور انباشت زیستی طبق رابطه ذیل کمک گرفته شد (زهانگ و همکاران، 2007).

$$\text{فاکتور انباشت زیستی ریشه یا شاخساره} = \frac{\text{غلظت کادمیوم در شاخساره یا ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم)}}{\text{غلظت کادمیوم در خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)}}$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم افزارSAS 9.3 انجام گرفت و مقایسه‌های میانگین ها با آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد انجام و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

اثرات کاربرد کودگاوی بر ویژگی‌های خاک

نتایج جدول 2حاکی از معنی‌دار بودن اثر ساده کاربرد کود گاوی بر pH خاک و درصد کربن آلی خاک می‌باشد. کاربرد 25 مگاگرم در هکتار کود گاوی باعث افزایش 0/2 واحدی اسیدیته خاک شد ، این در حالی است که اختلاف معنی‌داری در pH خاک همزمان با کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی مشاهده نشد (جدول 3). همچنین کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی به ترتیب باعث افزایش 0/4 و 0/7 درصدی کربن آلی خاک شده است. بقائی و همکاران (2010) در تحقیقی اثر کاربرد کود گاوی بر عملکرد ذرت مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کاربرد کود گاوی تأثیر معنی داری بر pH خاک نداشته است و دلیل احتمالی ان را گنجایش بافری خاک دانستند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 2- تجزیه واریانس اثرکاربرد کود گاوی، کی‌لیت و کادمیوم بر صفات اندازه‌گیری شده

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		pH	EC	درصد کربن آلی	ظرفیت تبادل کاتیونی	مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA	جذب کادمیوم	عملکرد وزن خشک شاخساره
بلوک	2	0/0190**	0/0043 ^{ns}	0/2835^{ns}	0/013*	0/1080^{ns}	6/1006^{ns}	1155/56^{ns}
کود گاوی	2	0/3424**	14/8200*	1/5410**	12/4211*	125/300**	46/5955*	6251851/17**
کی لیت	1	0/0001 ^{ns}	0/0816 *	0/0001^{ns}	0/0011^{ns}	32/280**	86/9630*	54/00**
کادمیوم	2	0/3668^{ns}	0/0650 *	1/2210^{ns}	0/01114 ns	445/687*	733/6412 *	197152/67*
کی لیت^{x} کود گاوی	2	0/0001 ^{ns}	0/0066 *	0/0005^{ns}	0/0012^{ns}	0/738**	9/2966*	104413/17*
کادمیوم^{x} کود گاوی	2	0/0857 ^{ns}	0/0052*	0/3852 ^{ns}	0/0052*	13/135*	13/8243*	413873/67*
کادمیوم ^{x}کی لیت2	4	0/0001^{ns}	0/0016 *	0/0003^{ns}	0/0012^{ns}	3/261**	22/6947*	105601/67**
کادمیوم ^{x}کی لیت^{x} کود گاوی	4	0/0001^{ns}	0/0016 **	0/00118^{ns}	0/0010^{ns}	0/437**	2/5817**	11234/67**
خطا	34	0/0059	0/0022	0/0048	0/00123	0/063	1/8621	106/93

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد می‌باشد.

جدول3- ویژگی‌های اندازه‌گیری خاک قبل و بعد از تیمار شدن با کود گاوی*

پارامتر اندازه‌گیری شده	واحد	فاقد کود گاوی	خاک تیمار شده با 25 مگا گرم در هکتار کود گاوی*	خاک تیمار شده با 50 مگا گرم در هکتار کود گاوی
pH	---	7/6^{a**}	7/8^{b}	7/9^{b}
کربن آلی	درصد	0/2^{a}	0/64^{b}	0/99^{c}
ظرفیت تبادل کاتیونی	سانتی مول(+) بر کیلوگرم خاک	11/3^{a}	12^{b}	13/2^{c}
نسبت کربن به نیتروژن	-	10^{a}	14^{b}	16^{c}

* تمامی ویژگی‌های خاک تیمار شده در پایان برداشت گیاه اندازه‌گیری شده است، ** میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح 5 درصد مقایسه شده‌اند. تفاوت هر دو میانگینی که در هر ردیف دارای یک حرف مشترک هستند معنی‌دار نیست.

کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی نسبت کربن به نیتروژن خاک را به ترتیب 4و 6 واحدی افزایش داد. همچنین اضافه کردن 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را از 11/3 در خاک شاهد به 12 و 13/2 سانتی مول بر کیلوگرم خاک افزایش داد (جدول3). شایان ذکر است که کاربرد کود گاوی با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک احتمالاً می‌تواند بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و گیاه مؤثر باشد. اصولاً کودهای دامی حاوی مقادیر زیادی مواد هوموسی است. اضافه شدن این ترکیب آلی به خاک می‌توان با تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی خاک قابلیت دسترسی کادمیوم را دچار تغییر کند (پینتو و همکاران، 2004) . مواد هوموسی دارای دارای تعدادی از ترکیبات نظیر COOH، OH فنولی، OH اینولیک، OH الکلی، کوئینن، هیدروکسی کوئینن، لاکتون و اتر می‌باشند و اتصال یون کادمیوم به مواد آلی مختلف سمیت این عنصر برای گیاهان را کاهش میدهد (اصغری پور و همکاران، 1394)، هر چند که نقش بخش معدنی کود نیز در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین نباید نادیده گرفته شود (شریفی و همکاران، 2010). باستا و همکاران (2005) نیز بار وابسته به pH را یکی از عوامل اصلی در تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین دانستند. این محققین گزارش کردند که با افزایش pH ویژگی‌های جذبی خاک افزایش یافته و قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک کاهش می‌یابد.

اثر برهمکنش کاربرد کود گاوی، کی لیت و کادمیوم بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک معنی دار شد (جدول 4)، به نحوی که کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در خاک آلوده به 10 میلی‌گرم کادمیوم و بدون کاربرد کلات EDTA به ترتیب باعث افزایش 1/3 و 1/7

Archive of SID

www.SID.ir

برابری در مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک شد (جدول 3). افزایش شوری خاک با افزودن تیمارهای آلی ممکن است به دلیل وجود املاح محلول نسبتاً فراوان در آنها باشد (خاو و همکاران، 2014).

جدول 4- اثر کود گاوی بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک در خاک آلوده به کادمیوم (دسی زیمنس بر متر)

تیمار	E_0Cd_0	E_0Cd_5	E_0Cd_{10}	$E_{2.5}Cd_0$	$E_{2.5}Cd_5$	$E_{2.5}Cd_{10}$
C_o	2/5[i*]	2/6[h]	2/6[h]	2/5[i]	2/6[h]	2/7[g]
C_{25}	3/2[f]	3/2[f]	3/3[e]	3/3[e]	3/3[e]	3/4[d]
C_{50}	4/3[c]	4/3[c]	4/4[b]	4/4[b]	4/4[b]	4/5[a]

C_0، C_{25} و C_{50} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی ، Cd_0، Cd_5 و Cd_{10} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک می‌باشد. E0 و E2.5 به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی‌مول کی‌لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می‌باشد، *اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند.

مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA

بیشترین مقدار کادمیوم قابل عصاره گیری با DTPA در خاک آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک همراه با 2/5 میلی‌مول کی‌لیت EDTA و فاقد کود گاوی ($C_0E_{2.5}Cd_{10}$) بود، این در حالی است که کمترین مقدار آن همزمان با کاربرد 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در خاک آلوده به 5 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم و فاقد کاربرد کی‌لیت EDTA مشاهده شد (جدول 5). مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک فاقد کاربرد کادمیوم (Cd_0) قابل اندازه‌گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

جدول 5- اثر کود گاوی، کی لیت و کادمیوم بر مقدار کادمیوم قابل عصاره گیری با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

تیمار	E_0Cd_0	E_0Cd_5	E_0Cd_{10}	$E_{2.5}Cd_0$	$E_{2.5}Cd_5$	$E_{2.5}Cd_{10}$
C_o	ND[**]	2/0[f*]	6/0[b]	ND	2/6[e]	8/5[a]
C_{25}	ND	1/1[i]	4/5[d]	ND	1/5[h]	5/4[c]
C_{50}	ND	0/7[k]	1/1[i]	ND	0/9[j]	1/7[g]

C_0، C_{25} و C_{50} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی ، Cd_0، Cd_5 و Cd_{10} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک می‌باشد. E_0 و $E_{2.5}$ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی‌مول کی لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می‌باشد. * اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند،[**]ND : قابل اندازه‌گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در خاک آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم و فاقد کاربرد کی‌لیت به ترتیب باعث کاهش 1/5 و 4/9 واحدی در مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA شد (جدول 5). سید اشرفی و همکاران (2011) در تحقیقی به نقش کاربرد کودهای آلی در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک پرداختند. نتایج تحقیق بقائی و همکاران (2011) نیز مبنی بر کاهش قابلیت دسترسی فلز سنگین در خاک تیمار شده با کود گاوی و لجن فاضلاب تأکیدی بر این ادعا است. هر چند که در دید اول کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک‌های حاوی ترکیبات آلی (هر چند اندک) امری مثبت به نظر می‌رسد، ولی بر اساس فرضیه بمب زمانی، با گذشت زمان و تجزیه شدن این ترکیبات، فلزات سنگین می‌توانند مجدداً آزاد و در خاک رها شوند (حسینیان رستمی و همکاران، 1392)، لذا بررسی استفاده از راهکارهایی نظیر کاربرد کی لیتهای مصنوعی که بتواند راندمان گیاه پالایی را در خاک‌های حاوی فلزات سنگین افزایش دهد امری ضروری به نظر می‌رسد، هر چند که عوامل متعددی از قبیل درصد کربن آلی موجود در اینگونه خاک‌ها می‌تواند بر میزان اثربخشی کاربرد این کی لیتها در جهت پالایش فلزات سنگین از خاک مؤثر باشد.

نتایج این پژوهش حاکی از آن است که در هر سطح

Archive of SID

www.SID.ir

کود گاوی، کاربرد 2/5 میلی مول کی‌لیت EDTA توانسته است باعث افزایش معنی‌داری در مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA شود. کاربرد 2/5 میلی مول کی‌لیت EDTA، در خاک فاقد کود گاوی و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم ($C_0E_{2.5}Cd_{10}$) سبب افزایش 2/5 واحدی در مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA شده است، این در حالی است که کاربرد این میزان کی لیت در خاک مشابهی با کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی نیز به ترتیب باعث افزایش0/9 و0/6 واحدی در مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA شده است (جدول 5). کاهش میزان اثربخشی کاربرد کی لیت در افزایش مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک تیمار شده با کود گاوی را احتمالاً می‌توان به دلیل اثر رقابتی کود و کی لیت بر میزان کادمیوم قابل دسترس در خاک نسبت داد، هر چند که نوع ماده آلی افزوده شده، ویژگی-های فیزیکو شیمیایی خاک و نوع منبع فلز سنگین می‌تواند عامل مهمی در میزان این اثربخشی باشد. نتایج تحقیق لیفادزی و کیرخام (2006) حاکی از کاهش راندمان اثر کاربرد کلات EDTA بر میزان فراهمی کادمیوم در خاک تیمار شده با کود آلی می‌باشد و دلیل آن را به نقش کاربرد کود آلی در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک دانستند. چن و ژیانگ دنگ (2004) در تحقیقی کاربرد کلات EDTA را عامل مؤثری در افزایش فراهمی کادمیوم در خاک دانستند، هر چند که در این تحقیق به نقش ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در تغییر فراهمی فلزسنگین اشاره‌ای نشده است.

جذب کادمیوم

بیشترین مقدار جذب کادمیوم در خاک فاقد کاربرد کود گاوی و کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA در خاک آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم مشاهده شد (جدول 6)، این در حالی است که کمترین عملکرد شاخساره گیاه نیز در این تیمار مشاهده شد (جدول 7). قابل ذکر است که کاربرد کی‌لیت EDTA در هفته پایانی رشد گیاه تأثیری معنی‌داری بر کاهش عملکرد گیاه نداشته است. صرفه‌نظر از تیمارهای فاقد دریافت کادمیوم (Cd_0)، کمترین مقدار آن در خاک تیمار شده با 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در خاک فاقد دریافت کی لیت و آلوده به 5 میلی گرم کادمیوم مشاهده شد (جدول 6). با توجه به اینکه غلظت کادمیوم شاخساره گیاه در تیمارهای فاقد کاربرد کادمیوم قابل اندازه‌گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود، مقدار جذب کادمیوم در این تیمارها محاسبه نگردیده است.

جدول 6- اثر کود گاوی، کی لیت و کادمیوم بر جذب کادمیوم شاخساره گیاه (گرم در هکتار)

$E_{2.5}Cd_{10}$	$E_{2.5}Cd_5$	$E_{2.5}Cd_0$	E_0Cd_{10}	E_0Cd_5	E_0Cd_0	تیمار
$18/0^{a}$	13/9b	0	$11/1^{cd}$	$8/3^{ef}$	0	C_o
$14/5^{b}$	$10/3^{cde}$	0	$11/6^{c}$	$8/8d^{ef}$	0	C_{25}
$10/3^{cde}$	$8/9^{def}$	0	$7/3^{fg}$	$5/9^{g}$	0	C_{50}

C_0، C_{25} و C_{50} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی ، Cd_0، Cd_5 و Cd_{10} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، E0 و E2.5 به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی‌مول کی لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می‌باشد.* اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند.

جدول 7- اثر کود گاوی، کی لیت و کادمیوم بر عملکرد شاخساره گیاه همیشه بهار (کیلوگرم در هکتار)

$E_{2.5}Cd_{10}$	$E_{2.5}Cd_5$	$E_{2.5}Cd_0$	E_0Cd_{10}	E_0Cd_5	E_0Cd_0	تیمار
$13881/0^{i}$	$13961/0^{h}$	$14001/0^{g}$	$13897/0^{i}$	$13975/0^{h}$	$14017/0^{g}$	C_o
$14582/0^{f}$	$14762/0^{d}$	$15312/0^{b}$	$14595/0^{f}$	$14776/0^{d}$	$15326/0^{b}$	C_{25}
$14733/0^{e}$	$14913/0^{c}$	$15463/0^{a}$	$14745/0^{e}$	$14928/0^{c}$	$15740/0^{a}$	C_{50}

C_0، C_{25} و C_{50} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی ، Cd_0، Cd_5 و Cd_{10} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، E0 و E2.5 به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی‌مول کی‌لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می‌باشد.* اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند.

کاربرد 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی همراه با 2/5 میلی‌مول کی‌لیت EDTA در خاک آلوده به 10 میلی‌گرم

Archive of SID

www.SID.ir

کادمیوم، کاهش معنی‌داری را در جذب کادمیوم نسبت به خاک بدون کاربرد کود نشان داد، این در حالی است که افزایش معنی‌داری در عملکرد شاخساره گیاه (جدول 7) و کاهش معنی‌داری در مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA (جدول 5) همزمان با کاربرد 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج مشاهده شده چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد کود گاوی با کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم خاک باعث افزایش معنی‌دار عملکرد شاخساره گیاه و کاهش جذب کادمیوم گیاه شده است. با وجود اینکه احتمالاً کاهش جذب کادمیوم توسط گیاه در خاک آلوده در دید اول به عنوان عامل مثبتی در حفظ محیط زیست در نظر گرفته می‌شود، ولی بر اساس فرضیه بمب زمانی (حسینیان رستمی و همکاران، 1392) زمانی که این ترکیبات آلی در خاک‌ها تجزیه شود، احتمالاً بخشی از فلزات تثبیت شده می تواند مجدداً در خاک رها شده و باعث آلودگی زیست محیطی شود، لذا استفاده کی‌لیت EDTA احتمالاً می‌تواند به عنوان راهکار مناسبی در جهت پالایش فلزات سنگین از خاک امری ضروری به نظر می‌رسد، بنابراین بررسی میزان جذب فلز کادمیوم در خاک‌های حاوی افزودنی‌های آلی بایستی مد نظر قرار گیرد.

در تمامی سطوح کود گاوی، کاربرد 2/5 میلی مول کی لیتEDTA توانست باعث افزایش جذب کادمیوم توسط شاخساره گیاه شود که دلیل این را می‌توان به نقش کاربرد کی لیت EDTA در افزایش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک (جدول 5) و به دنبال آن افزایش جذب کادمیوم توسط شاخساره گیاه دانست، این در حالی است که کاهش معنی‌داری در عملکرد گیاه همزمان با کاربرد کلات EDTA مشاهده نشده است. همانطور که در جدول6 مشاهده می شود، کاربرد 2/5 میلی مول کی لیتEDTA در خاک تیمار شده با 25 و 50 مگاگرم کود گاوی و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث افزایش 25 و 41 درصدی در جذب کادمیوم شده است. افزایش راندمان 16 درصدی در جذب کادمیوم در خاک تیمار شده با 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی را احتمالاً می‌توان به نقش مثبت کاربرد کودگاوی در افزایش عملکرد شاخساره گیاه و در نتیجه کاهش استرس گیاه به کادمیوم و جذب بیشتر کادمیوم دانست. فتاحی کیاسری و همکاران (1389) در تحقیقی به نقش مثبت کاربرد اسید سولفوریک و کی لیت EDTA بر افزایش جذب فلز سنگین توسط گیاه ذرت و پنبه اشاره کردند.

فاکتور انباشت زیستی

فاکتور انباشت زیستی شاخصی برای توانایی گیاه در تجمع یک فلز خاص نسبت به غلظت آن فلز در بستر خاک می‌باشد تغییر در میزان فاکتور تجمع زیستی به زیست توده هر گیاه و غلظت عنصر بستگی دارد. بر اساس فاکتور انباشت زیستی پتانسیل گونه گیاهی برای تثبیت و استخراج گیاهی مشخص می‌شود (جهانبخشی و همکاران، 1393). بیشترین فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه گیاه را می‌توان در خاک فاقد کاربرد کود گاوی و تیمار شده با 2/5 میلی مول کی لیت EDTA و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک مشاهده شد (جدول 8)، کمترین فاکتور انباشت زیستی ریشه گیاه مربوط به کاربرد 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی و فاقد کاربرد کی لیت EDTA در خاک آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بود. بخش معدنی و آلی موجود در کود گاوی احتمالاً توانسته است با افزایش ویژگی‌های جذبی خاک باعث کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و به دنبال آن کاهش فاکتور انباشت زیستی ریشه گیاه شود.

جدول 8- اثر کود گاوی، کی لیت و کادمیوم بر فاکتور انباشت زیستی ریشه کادمیوم

تیمار	E_0Cd_0	E_0Cd_5	E_0Cd_{10}	$E_{2.5}Cd_0$	$E_{2.5}Cd_5$	$E_{2.5}Cd_{10}$
C_o	----	0/63^{e}	0/92^{b}	----	0/66^{d}	0/97^{a}
C_{25}	----	0/36^{g}	0/66^{d}	----	0/43^{f}	0/71^{c}
C_{50}	----	0/22^{j}	0/19^{k}	----	0/32^{h}	0/26^{i}

C_0، C25 و C50 به ترتیب شامل کاربرد مقادیر0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی ، Cd_0، Cd_5 و Cd_{10} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، E0 و E2.5 به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی‌مول کی‌لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می باشد. * اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند،

در تمامی سطوح کود گاوی، کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA توانسته است افزایش معنی‌داری را در فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه گیاه نشان داد، به نحوی که کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA در خاک

Archive of SID

www.SID.ir

تیمارشده با 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث افزایش 0/05 و 0/07 واحدی در فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه گیاه شد.

افزایش کاربرد کود گاوی باعث کاهش فاکنور غلظت زیستی کادمیوم ریشه گیاه شد، به نحوی که کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در خاکی با 2/5 میلی مول کی لیت EDTA و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش0/26 و 0/71 واحدی در فاکتور انباشت زیستی کادمیوم در ریشه گیاه همیشه‌بهار شد، این در حالی است که نتایج مشابهی در مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA مشاهده شد و دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش بخش معدنی و آلی کود گاوی در افزایش مکان‌های جذبی خاک و کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک دانست (شومن و همکاران، 2002) . نتیجه کلی این بخش حاکی از آن است که هر چند افزایش کاربرد سطوح کود گاوی باعث کاهش فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه گیاه شده است، ولی کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA توانسته است نقش مؤثری در افزایش فاکتور انباشت زیستی کادمیوم در ریشه گیاه همیشه‌بهار داشته باشد.

نتایج جدول 9 حاکی از بیشترین فاکتور انباشت زیستی کادمیوم شاخساره گیاه در خاک فاقد کاربرد کود گاوی و تیمار شده با 2/5 میلی مول کی لیت EDTA و آلوده به پنج میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک می‌باشد ، این در حالی است که کمترین فاکتور انباشت زیستی کادمیوم در خاک فاقد کاربرد کی لیت EDTA و تیمار شده با 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی و آلوده به 5 میلی گرم کادمیوم مشاهده شد. قابل توجه است که همزمان با افزایش آلودگی خاک از پنج به ده میلی گرم کادمیوم در کیلو گرم خاک ($C_{50}E_0Cd_{10}$) تأثیر معنی‌داری در فاکتور انباشت زیستی کادمیوم شاخساره گیاه مشاهده نشد.

در تمامی سطوح کود گاوی، کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA باعث افزایش معنی‌دار فاکتور انباشت زیستی کادمیوم شاخساره گیاه شده است، به نحوی که کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA در خاک تیمار شده با 25 و 50 مگاگرم و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به ترتیب باعث افزایش معنی دار 0/04 و 0/06 واحدی در فاکتور انباشت زیستی کادمیوم گیاه شده است.

جدول 9- اثر کود گاوی، کی لیت و کادمیوم بر فاکتور انباشت زیستی شاخساره کادمیوم

تیمار	E_0Cd_0	E_0Cd_5	E_0Cd_{10}	$E_{2.5}Cd_0$	$E_{2.5}Cd_5$	$E_{2.5}Cd_{10}$
C_o	ND*	0/35[b]	0/30[c]	ND	0/42[a]	0/33[b]
C_{25}	ND	0/22[e]	0/26[d]	ND	0/27[d]	0/30[c]
C_{50}	ND	0/12[g]	0/10[g]	ND	0/18[f]	0/16[f]

C_0، C25 و C50 به ترتیب شامل کاربرد مقادیر0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی ، Cd_0، Cd_5 و Cd_{10} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، E0 و E2.5 به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی‌مول کی‌لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می‌باشد. ** اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند،* ND : قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

افزایش کاربرد کود گاوی باعث کاهش فاکتور انباشت زیستی شاخساره کادمیوم در این پژوهش شده است، به نحوی که کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در خاک تیمار شده با 2/5 میلی مول کی لیت EDTA و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش 0/03 و 0/17 واحدی در فاکتور انباشت زیستی کادمیوم شاخساره گیاه شده است. نتایج مشابه مشاهده شده در مورد کاهش فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه گیاه نیز تاکیدی بر این ادعا است. شریفی و همکاران (1389) در تحقیقی کاربرد اثر لجن فاضلاب کارخانه پلی اکریل اصفهان، کمپوست زباله شهری و کودگاوی بر رشد گیاه و غلظت کادمیوم در بافت‌های گیاهی ذرت، یونجه و گل جعفری مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که در هر سه گیاه مقدار فاکتور انباشت زیستی کادمیوم در تیمارهای کاربرد کود آلی بیشتر از تیمارهای فاقد کاربرد کود آلی بوده است و خطر انتقال کادمیوم از خاک به بخش‌های خوراکی گیاه در حضور کودها ی آلی کمتر است. هر چند که کاربرد کی لیت EDTA نقش مثبتی در افزایش پالایش کادمیوم در خاک توسط گیاه همیشه بهار داشته است، ولی نتایج جدول 8 و 9 حاکی از آن است که در تمامی تیمارها فاکتور انباشت زیستی ریشه و شاخساره کمتر از یک است و این حاکی از آن است که انتقال

Archive of SID

www.SID.ir

کادمیوم از خاک به ریشه و شاخساره دچار محدودیت شده است. لازم به ذکر است که به دلیل معنی‌دار نشدن مقایسات آماری در مورد اعداد فاکتور انتقال کادمیوم از ذکر اعداد این جدول خودداری شده است.

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد کود گاوی در این پژوهش احتمالاً توانسته است با کاهش استرس گیاه به فلز کادمیوم باعث افزایش زیست توده گیاه در خاک آلوده به کادمیوم شود. با توجه به تجزیه کودهای آلی طی گذر زمان و از سویی دیگر توزیع مجدد فلزات سنگین در خاک، گیاه‌پالایی خاک‌های تیمار شده با افزودنی‌های آلی و آلوده به فلزات سنگین امری ضروری به نظر می‌رسد که در این میان، شرایط فیزیکوشیمیایی خاک از قبیل درصد ماده الی خاک می‌تواند عامل مؤثری در جهت میزان اثربخشی کاربرد کلات EDTA بر میزان کادمیوم خارج شده از زمین و بالطبع جذب ان توسط گیاه باشد. همچنین با توجه به نقش عملکرد گیاه در میزان کادمیوم خارج شده از زمین، محاسبه میزان کادمیوم جذب شده توسط گیاه امری ضروری به نظر می‌رسد. کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA در خاک تیمار شده با 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم باعث افزایش معنی‌دار غلظت کادمیوم شاخساره گیاه شد. میزان جذب کادمیوم روند مثبت و معنی‌داری را با غلظت کادمیوم شاخساره گیاه نشان داد. همچنین نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA توانسته است با افزایش فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه و شاخساره گیاه باعث افزایش میزان جذب کادمیوم گیاه در جهت پالایش کادمیوم شود، هر چند که در این میان نوع و میزان کی لیت به کاربرده شده و اثر باقیمانده کاربرد کود آلی موجود در خاک می‌تواند به عنوان عامل مهمی در جهت تغییر راندمان پالایش فلز کادمیوم در خاک به حساب آید.

فهرست منابع:

1. اصغری پور، م. ر. و رحمانیان کوشکی، ب .1394. بررسی واکنش عدس به آلودگی کادمیوم ناشی از کمپوست زباله شهری و نمک کادمیوم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد19، شماره 71، صفحه: 358-349.
2. اولیایی، ح. ر. و شریفی، ع. 1393، تأثیر سطوح ورمی‌کمپوست بر قابلیت تحرک سرب و کادمیم در ستون‌های خاک، نشریه پژوهش‌های خاک، جلد28، شماره3، صفحه 542-531.
3. بابائیان، ا. و همایی، م. 1389. افزایش کارآیی استخراج سرب از خاک بوسیله شاهی با استفاده از اسیدهای آمینو پلی کربوکسیلیک .نشریه آب و خاک، جلد24، شماره 6، صفحه: 1150-1142.
4. جعفرنژادی، ع. ، همایی، م.، صیاد، غ. و بای بوردی، م. 1391. ارزیابی ویژگی های مؤثر خاک بر وضعیت غلظت کادمیم در خاک و بذر گندم در برخی خاک‌های آهکی خوزستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد19، شماره2، صفحه: 149-164.
5. جهانبخشی، ش.، رضایی، م. ر. و سیاری زهان، م. ح. 1393. مقایسه تأثیرگیاه پالایی شاهی و اسفناج درخاک های آلوده به کادمیوم و کروم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. جلد 18، شماره 70، صفحه: 12-1.
6. حسینیان رستمی، ق.، غلامعلی‌زاده آهنگر، ا. و لکزیان، ا. 1392. اثر زمان بر توزیع شکل‌های شیمیایی سرب در خاک آلوده، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 27، شماره 5، صفحه: 1066-1057.
7. سعادت، ک. و بارانی مطلق مجتبی، م. 1392. اثر زئولیت کلینوپتیلولیت طبیعی ایران بر جذب سرب و کادمیوم لجن فاضلاب کاربردی توسط ذرت (*Zea mays*. L) ، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ، جلد20، شماره4، صفحه:: 143-123.
8. شریفی، م.، افیونی، م. و خوشگفتارمنش، ا. م. 1389. تأثیر لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر رشد و عملکرد و جذب آهن، روی، منگنز و نیکل در گل جعفری. علوم و فنون کشت گلخانه‌ای، جلد اول، شماره2، صفحه: 43-53.

Archive of SID

www.SID.ir

9. فتاحی‌کیاسری، ا.، فتوت، ا.، آستارایی، ع. وحق نیا، غ. 1389. اثر اسید سولفوریک و EDTA بر گیاه پالایی سرب در خاک توسط سه گیاه آفتابگردان، ذرت و پنبه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد14، شماره 51، صفحه: 69-57.

10. روانبخش، م. ح.، فتوت، ا. و حق نیا، غ. 1390. اثر لجن فاضلاب، مقدار رس و زمان بر شکل‌های شیمیایی نیکل و کادمیم در چند خاک آهکی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 25، شماره 3، صفحه: 458-446.

11. عربی، ز.، همایی، م .و اسدی، م. ا. 1389. مقایسه آثار افزودن اسید سیتریک و کی لیت های مصنوعی بر افزایش پالایش گیاهی کادمیوم از خاک .مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد14، شماره54، صفحه: 95-85.

12. Baghaie, A., A. H. Khoshgoftarmanesh, M. Afyuni and R. Schulin. 2011. The role of organic and inorganic fractions of cow manure and biosolids on lead sorption. Soil Sci. Plant Nutr. 57: 11-18.

13. Baghaie, A. H., A. H. Khoshgoftarmanesh and M. Afyuni. 2010. Crop effects on lead fractionation in a soil treated with lead organic and inorganic sources. J. Residuals Sci. Tech. 7: 131-138.

14. Banaaraghi, N., M. Hoodaji and M. Afyuni. 2010. Use of EDTA and EDDS for enhanced ZeaMays' phytoextraction of heavy metals from a contaminated soil. J. Residuals Sci. Tech. 7: 139-145.

15. Basta, N.T., Ryan, J.A. and R.L Chaney. 2005. Trace element chemistry in residual treated soil: Key concepts and metal bioavailability. J. Environ. Qual., 34, 49-63.

16. Benton, J., and V.W. Case. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. P 389-428, In Westerman, R.L. (ed.). Soil testing and plant analysis. 3rd ed. Book series No. 3. SSSA J., Inc. Madison, WI., USA.

17. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-total. P. 1085-1122. In D. L. Sparks et al., (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 3 , 3rd Ed., Am. Soc. Agron., Madison. WI.

18. Clabeaux, B. L., D. A. Navarro, D. S. Aga and M. A. Bisson. 2013. Combined effects of cadmium and zinc on growth, tolerance, and metal accumulation in Chara australis and enhanced phytoextraction using EDTA. Ecotox. Environ. Safety 98: 236-243.

19. Chen , y. and L.Z. Xiangdong, 2004. Leaching and uptake of heavy metals by ten different species of plants during an EDTA-assisted phytoextraction process.Chemosphere 57, 187-196.

20. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. Methods of Soil Analysis. Klute, A. Madison, WI, ASA: 383-409.

21. Ghosh, M. and S.P. Singh , 2005. A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species, Environ. Pollut., 133: 365–371.

22. Gisbert, C., R. Ros., A. De Haro., D.J. Walker., M.P. Bernal, R. Serrano and J. Navarro-Avino, 2003. A plant genetically modified that accumulates Pb is especially promising for phytoremediation, Biochem. Biophys. Res. Commun., 303: 440–445.

23. Hossner, L.R. 1996. Dissolution for total elemental analysis. P 49-64, In Methods of soil analysis. Sparks, D.L., (ed.). ASA and SSSA. Madison, WI.

24. Huang, B., S. Kuo and R. Bembenek. 2004. Chloride salinity reduces cadmium accumulation by the Mediterranean halophyte species *Atriplex halimus* L. Environ. Exp. Bot., 65:142-152.

25. Li, J., Y. Sun, Y. Yin, R. Ji, J. Wu, X. Wang and H. Guo. 2010. Ethyl lactate-EDTA composite system enhances the remediation of the cadmium-contaminated soil by Autochthonous Willow (Salix x aureo-pendula CL 'J1011') in the lower reaches of the Yangtze River. J. Hazard Mater. 181: 673-678.

26. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.

Archive of SID

www.SID.ir

27. Liphadzi M., and M. Kirkham , 2006. Availability and plant uptake of heavy metals in EDTA-assisted phytoremediation of soil and composted biosolids. S. Afr. J. Bot., 72: 391-397.
28. Ma, R., H. Hou, K. Mai, A. S. Bharadwaj, F. Ji and W. Zhang. 2014. Comparative study on the bioavailability of chelated or inorganic zinc in diets containing tricalcium phosphate and phytate to turbot (Scophthalmus maximus). Aquaculture 420–421: 187-192.
29. Meighan, M. M., T. Fenus, E. Karey and J. MacNeil. 2011. The impact of EDTA on the rate of accumulation and root/shoot partitioning of cadmium in mature dwarf sunflowers. Chemosphere 83: 1539-1545.
30. Murphy, J. and H. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta. 27: 31-36.
31. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Methods of soil analysis. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. Madison, Wisconsin, USA, ASA**:** 539-580.
32. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. Methods of soil analysis. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. Madison, Wisconsin, USA, ASA**:** 181-197.
33. Nowack, B., R. Schulin and B. H. Robinson. 2006. Critical assessment of chelant-enhanced metal phytoextraction. Environ. Sci. Techno. 40: 225– 5232.
34. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, US Gov. Printing Office, Washington, DC.
35. Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. Methods of soil analysis. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. Madison, Wisconsin, USA, ASA**:** 403-431.
36. Pinto, A., A. Mota, A. De Varennes and F. Pinto. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. Sci. Total Environ. 326: 239-247.
37. Rhoades, J. D. 1982. Cation exchange capacity. Methods of soil analysis. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. Madison, Wisconsin, USA, ASA**:** 149-157.
38. Rivera, M. B., M. I. Giráldez and J. C. Fernández-Caliani. 2016. Assessing the environmental availability of heavy metals in geogenically contaminated soils of the Sierra de Aracena Natural Park (SW Spain). Is there a health risk? Sci. Total Environ. 560–561: 254-265.
39. Saha, N., M. Z. I. Mollah, M. F. Alam and M. Safiur Rahman. 2016. Seasonal investigation of heavy metals in marine fishes captured from the Bay of Bengal and the implications for human health risk assessment. Food Control 70: 110-118.
40. Salt, D. E., M. Blaylock, N. P. Kumar, V. Dushenkov, B. D. Ensley, I. Chet and I. Raskin. 1995. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Nat. Biotechnol. 13: 468-474.
41. Seyedashrafy, H., M. Majidian, A. H. Baghaie, A. H. Khoshgoftarmanesh and M. Gomarian. 2011. Influence of organic and inorganic zinc sources on zinc availability in soil and its uptake by barley. J. Residuals Sci. Tech. 8: 29-35.
42. Sharifi, M., M. Afyuni and A. Khoshgoftarmanesh. 2010. Effects of sewage sludge, animal manure, compost and cadmium chloride on cadmium accumulation in corn and alfalfa. J. Residuals Sci. Tech. 7: 219-225.
43. Shuman, L. M., S. Dudka and K. Das. 2002. Cadmium forms and plant availability in compost-amended soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33: 737–748.
44. Tanhan, P., M. Kruatrachue, P. Pokethitiyook and R. Chaiyarat. 2007. Uptake and accumulation of cadmium, lead and zinc by Siam weed [*Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson]. Chemosphere 68: 323–329.

Archive of SID

www.SID.ir

45. Zhang, T., H. Wei, X.-H. Yang, B. Xia, J.-M. Liu, C.-Y. Su and R.-L. Qiu. 2014. Influence of the selective EDTA derivative phenyldiaminetetraacetic acid on the speciation and extraction of heavy metals from a contaminated soil. Chemosphere 109: 1-6.
46. Zhao, Y., Z. Yan, J. Qin and Z. Xiao. 2014. Effects of long-term cattle manure application on soil properties and soil heavy metals in corn seed production in Northwest China. Environ. Sci. Pollut. Res. 21: 7586-7595.
47. Zhuang, P., Q. Yang, H. Wang and W. Shu. 2007. Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field. Water Air Soil Pollut. 184: 235-242.

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of EDTA Chelate and Cow Manure on Cd Uptake by Pot Marigold in a Polluted Soil

H. R. Mashayekhi, A. H. Baghaie[1] and M. Gomarian

Department of Horticulture, Saveh branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran;
E-mail: hamidrezamashayekhi@yahoo.com
Department of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran;
E-mail: a-baghaie@iau-arak.ac.ir
Department of Plant Breeding, Arak branch, Islamic Azad University, Arak, Iran;
E-mail: m-gomarian@.iau-arak.ac.ir

Received: June, 2016 and Accepted: May, 2017

Abstract

Any cadmium (Cd) contaminated soil might cause reduction in plants' yield and increase the hazard of Cd-contaminated plants consumption by both human and animals. The research aimed to investigate the effect of EDTA chelate on Cd uptake in pot marigold (*Calendula officinalis L.)*. A factorial experiment using randomized complete blocks was used in three replications. Treatments included application of 0(C0), 25(C25), and 50(C50) Mg ha^{-1} cow manure in a Cd polluted soil [0(Cd_0), 5(Cd_5), and 10 (Cd_{10}) mg Cd kg^{-1} soil] and two rates of EDTA chelate (0 and 2.5 mmol kg^{-1} soil). Applying 2.5 mmol EDTA chelate caused significant increase in shoot Cd uptake by 21% and 25% in a Cd polluted soil (10 mg Cd kg^{-1} soil) treated with 25 and 50 Mg ha^{-1} cow manure, respectively. Also, addition of 2.5 mmol EDTA chelate caused an increase in the root and shoot bio-concentration factor. The results of this experiment showed that applying 2.5 mmol EDTA would increase the Cd availability, which could be considered as a factor that plays an important role in Cd remediation in soils treated with organic amendments.

Keywords: Bio-concentration, Cadmium availability, Cd remediation, Organic amendments

[1]. Corresponding author: Department of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

Archive of SID

www.SID.ir