نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره اول، ۱۳۹۳
http://ejsms.gau.ac.ir

مقایسه کارآیی برخی پارامترها در افزایش قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه پالایی توسط شاهی *(Lepidum Sativum)*

*شیرین جهانبخشی[۱]، محمدرضا رضایی[۲] و محمدحسن سیاری‌زهان[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، [۲]استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند،
[۳]استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۳۱

چکیده

گیاه‌پالایی یکی از روش‌های آلودگی‌زدایی خاک است که از گیاهان سبز برای از بین بردن آلودگی خاک‌ها استفاده می‌شود. میزان کم دستیابی فلزات سنگین در خاک‌ها، کارایی گیاه را برای گیاه‌پالایی با محدودیت مواجه می‌کند. بنابراین در این پژوهش به‌منظور افزایش قابلیت دسترسی فلز سنگین کادمیوم در گیاه شاهی، از چهار متغیر کود گاوی، کود کمپوست، کود اوره و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین با سه سطح مختلف در خاک آلوده به کادمیوم (۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با استفاده از نمک کلرید کادمیوم ($CdCl_2.H_2O$) آلوده شده بود، استفاده شد. غلظت کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد و برای طراحی آزمایش‌ها از روش تاگوچی استفاده شد. نتایج نشان داد که کود گاوی، کود اوره، باکتری‌های مقاوم و کمپوست به‌ترتیب اهمیّت در غلظت کادمیوم در اندام هوایی گیاه شاهی و فاز محلول خاک تأثیر معنی‌داری نشان دادند. همچنین نتایج نشان داد که شرایط بهینه برای جذب کادمیوم توسط اندام هوایی در تیمارهای کود گاوی ۴۰ گرم بر کیلوگرم، کود اوره ۰/۰۵ گرم بر کیلوگرم، تلقیح باکتری‌های CC_3, CC_4, CC_5 و کود کمپوست ۱۰ گرم بر کیلوگرم و در فاز محلول خاک، در تیمارهای کود گاوی ۱۰ گرم بر کیلوگرم، کود اوره ۰/۱۵ گرم بر کیلوگرم، تلقیح

*مسئول مکاتبه: jahanbakhshish@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

باکتری‌های CC_1, CC_2 و کود کمپوست ۲۰ گرم بر کیلوگرم اتفاق افتاد. بنابراین با توجه به نتایج، کود گاوی بیشترین سهم را در بالابردن کارایی گیاه‌پالایی در گیاه شاهی داشته است.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های مقاوم، کادمیوم، روش تاگوچی، گیاه‌پالایی

مقدمه

یکی از مشکلات جدی زیست‌محیطی، آلودگی خاک با فلزات سنگین می‌باشد و بر سلامتی انسان و زمین‌های زراعی تأثیرات منفی بر جا می‌گذارد (نایس و همکاران، ۲۰۱۱). کادمیوم از فلزات سنگین موجود در خاک می‌باشد. غلظت بالای کادمیوم در زنجیره غذایی برای انسان خطرناک است و باعث بیماری‌های کلیوی و کبدی، مشکلات استخوانی و بیمارهای عصبی می‌شود (شریفی و همکاران، ۲۰۱۰). سازمان بهداشت جهانی (WHO) حداکثر میزان روزانه قابل تحمل کادمیوم در بدن انسان را ٦٠ ppb تعیین کرده است.

حد استاندارد کادمیوم در مواد غذایی ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم توصیه شده است (سوربک، ۱۹۹۱). حداکثر مقدار مجاز کادمیوم در گیاه جهت مصرف انسان نباید از ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم تجاوز کند. در این صورت خاک‌ها نباید بیش از ۱/۵ تا ۲ میلی‌گرم برکیلوگرم این عنصر را دارا بوده که این مقدار در خاک‌های شنی کمتر می‌باشد (تالین و رزلت، ۱۹۹۷). گیاهان ابزار ارزشمندی برای احیای خاک‌های آلوده از طریق گیاه پالایی می‌باشند. این تکنولوژی باعث افزایش کیفیت خاک، اصلاح مجدّد آن و استقرار دوباره فعالیّت‌های زیستی می‌شود (رحمانیان و همکاران، ۲۰۱۱). زیست فراهمی کادمیوم در خاک به‌ویژه خاک‌های آهکی و جوان در مناطق خشک و نیمه‌خشک اندک است و بنابراین افزودن برخی مواد می‌تواند زیست‌فراهمی و جذب آن توسط گیاهان را تغییر دهد (خداوردی‌لو و صمدی، ۲۰۱۱). بررسی پتانسیل دستیابی زیستی فلزات و جذب آن‌ها توسط گیاهان به چند علّت دارای اهمیّت می‌باشد. اول این‌که این فرآیند، سریع و کم‌هزینه است و پتانسیل خطر انتقال فلزات به محصولات زراعی رشد یافته در خاک‌های غنی از فلزات سنگین را مورد بررسی قرار می‌دهد. و همچنین از همبستگی بین میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین و جذب آن‌ها در گیاه می‌توان برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تکنیک‌های متفاوت گیاه‌پالایی که به‌عنوان یکی از استراتژی‌های مؤثر در پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین است استفاده کرد (کامنو و واندرلیلی، ۲۰۰۰). میزان کم دستیابی زیستی فلزات

Archive of SID

www.SID.ir

سنگین در خاک‌ها، کارایی گیاه‌پالایی را با محدودیت مواجه می‌کند (نایس و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین در این پژوهش به‌منظور افزایش قابلیت دسترسی فلز سنگین، از چهار متغیر کود گاوی، کود کمپوست، کود اوره و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین با سه سطح مختلف در خاک آلوده به کادمیوم (۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که با نمک کلریدکادمیوم ($CdCl_2.H_2O$) آلوده شده بود، استفاده شد. طراحی آزمایش‌ها با استفاده از روش تاگوچی صورت گرفت. روش تاگوچی، یک روش طراحی قوی است که با استفاده از طرح فاکتوریل جزیی، پارامترهای زیادی را با تعداد آزمایش‌های محدودی مورد بررسی قرار می‌دهد. اصل اساسی و بنیادی روش تاگوچی بهبود بخشیدن به کیفیت محصول با کاهش دادن عوامل ایجاد کننده ناپایداری، بدون حذف نمودن آن عوامل می‌باشد (خسلا و همکاران، ۲۰۰۶). از روش تاگوچی جهت بررسی امکان‌پذیری تکنیک زیست درمانی- در محل به‌منظور کاهش آلودگی اراضی پالایشگاه شیراز (مولا و طاهری‌ابهری، ۲۰۰۴)، بهینه‌سازی حذف زیستی ۲ و ۴ و ۶ تری نیترو تولوئن (TNT) از خاک آلوده در مقیاس آزمایشگاهی (رضایی و همکاران، ۲۰۰۹)، بهینه‌سازی شرایط و محیط کشت باکتری زانتوموناس آمپستریس (صالحین و شاه‌حسینی، ۲۰۰۵) و حذف کروم (VI) (اسدی‌حبیب و همکاران، ۲۰۱۱) استفاده شده است.

کاربرد کودهای آلی (کمپوست و کود گاوی) در خاک‌های سنگین می‌تواند دانه‌بندی، تخلخل، نفوذپذیری و تهویه را بهبود بخشد و در خاک‌های شنی به نگهداری آب و موادغذایی کمک می‌کند (ابوشارر، ۱۹۹۶). مطالعات مختلف نشان داده است که ضایعات آلی مانند، کمپوست زباله و کود گاوی به‌علت وجود مواد آلی زیاد به‌صورت کلات‌های آلی درآمده و باعث افزایش حلالیت و قابلیت جذب این عناصر در خاک می‌شوند (رضوی توسی، ۲۰۰۰). نتایج مطالعات خدیوی بروجنی (۲۰۰۷) نیز نشان داد که کاربرد کودهای آلی سبب افزایش روی قابل جذب در خاک می‌شود که علت این پدیده، تجمع زیاد روی در حضور کودهای آلی در شکل‌های محلول یونی و کمپلکس‌های آلی محلول و تبادلی می‌باشد. پژوهش‌های کالا و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان داد که غلظت مس در اندام هوایی رزماری با کاربرد کمپوست افزایش یافت. در پژوهش دیگری پژوهش‌گران به‌این نتیجه رسیدند که کاربردکودهای سولفات آمونیوم و فسفات آمونیوم با کاهش pH دستیابی زیستی کادمیوم را افزایش می‌دهد (سرور و همکاران، ۲۰۱۰). پژوهش‌های پژوهشگران بیانگر آن است که کارایی گیاه‌پالایی تحت تأثیر زیست فراهمی فلزات سنگین در خاک قرار دارد و باکتری‌ها می‌توانند فلزات سنگین را به‌صورت قابل جذب در اختیار ریشه قرار دهند (یان- د و همکاران، ۲۰۰۷). شنگ و زیا (۲۰۰۶) با

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده از زاد مایه باکتری‌های مقاوم به کادمیوم، رشد گیاه کلزا و جذب کادمیوم را بررسی نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد کاربرد زادمایه سبب افزایش رشد کلزا و بالا رفتن جذب کادمیوم گردید. در پژوهش دیگری در هند، گزارش شد که باکتری‌های جدا شده از خاک مربوط به جنس‌های اینترو باکتر و سودوموناس برای پالایش فاضلاب کارخانه‌ها از فلزات کادمیوم، روی، نیکل و سرب با موفقیّت آزمایش شد (انصاری و مالیک، ٢٠٠٧). در بررسی سمیت کادمیوم در گیاه، تنها توجه به توزیع کادمیوم در بافت‌های گیاهی کافی نیست، بلکه تجمع کادمیوم در قسمتی از گیاه که توسط انسان و دام مصرف می‌شود، اهمیّت بیشتری دارد که باید مورد توجه قرار گیرد بنابراین در گیاه شاهی غلظت کادمیوم در اندام هوایی که بخش خوراکی این گیاه است مورد بررسی قرار گرفت. از این‌رو هدف اصلی از این پژوهش، افزایش کارایی گیاه‌پالایی با بررسی تأثیر کود کمپوست، کود گاوی، کود اوره و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین (کادمیوم- کروم) بر قابلیت دسترسی کادمیوم و تجمع آن در اندام هوایی گیاه شاهی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، به‌صورت کشت گلدانی در قالب طراحی آزمایش‌ها به روش تاگوچی و با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ١٣٩٠ انجام شد. نمونه‌های خاک مورد استفاده در این طرح، از عمق صفر تا ٣٠ سانتی‌متری خاک‌های منطقه (از مزرعه دانشکده کشاورزی بیرجند) به‌طور تصادفی تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از نمونه‌برداری، pH عصاره اشباع خاک با استفاده از pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به‌وسیله هدایت‌سنج (رودز، ١٩٨٢)، میزان موادآلی با استفاده از روش والکلی بلک (نلسون و سومر، ١٩٨٦)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم نرمال در عصاره اشباع (لیندسی و نورول، ١٩٧٨)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (کو، ١٩٩٦)، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال (برمر، ١٩٩٦) و تعیین بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری (گی و بودر، ١٩٨٦) انجام شد. خاک در دمای اتاق خشک شد و از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شد (سیاری‌زهان و همکاران، ٢٠٠٩). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ١ آمده است. از کادمیوم (٥٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با استفاده از نمک کلریدکادمیوم ($CdCl_2.H_2O$) و چهار تیمار شامل کود گاوی، کودکمپوست، کود اوره و تلقیح باکتری‌های خالص شده مقاوم به فلزات سنگین (Cd-Cr) در سه سطح (جدول ٣) استفاده شد. باکتری‌های خالص شده مقاوم به فلزات کادمیوم و

Archive of SID

www.SID.ir

کروم پس از انجام مراحل جداسازی، خالص‌سازی و شناسایی در آزمایشگاه به خاک آلوده به کادمیوم اضافه شدند که خصوصیات آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است (جهانبخشی و همکاران، ۲۰۱۱). وزن خاک برای کاشت در هر گلدان، یک کیلوگرم در نظر گرفته شد. از گونه شاهی به‌منظور کاهش غلظت فلز کادمیوم استفاده شد (جهانبخشی، ۲۰۱۱) و آبیاری گلدان‌ها تا حد رطوبت ظرفیت مزرعه با استفاده از روش وزنی با آب مقطر انجام شد. بعد از سپری نمودن طول دوره رشد (حدود چهار هفته)، اندام‌های هوایی شاهی برداشت و با آب مقطر شستشو داده شد. نمونه‌ها، به‌مدت ٤٨ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا خشک شوند. سپس وزن خشک اندام‌های هوایی ثبت شد. اندام‌های هوایی، به‌وسیله هاون چینی کوبیده و آسیاب شد. به‌منظور هضم شیمیایی نمونه‌ها، از اسید نیتریک (HNO_3) ٦٥ درصد و اسیدپرکلریک ($HCLO_4$) ۷۰ تا ۷۲ درصد به نسبت ۵ به ۱/۵ استفاده شد و نمونه‌ها روی حمام شن با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. حرارت دادن تا زمانی‌که رنگ نمونه‌ها زلال و شفاف شدند ادامه یافت (ابراهیم پور و مشریفا، ۲۰۰۸). پس از هضم، نمونه‌ها در هوای محیط قرار داده شدند تا سرد شوند (باناساوی و همکاران، ۲۰۰۹). سپس نمونه‌ها، با آب دو بار تقطیر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد و کاغذ صافی واتمن ۹۰ میلی‌متر صاف گردید سرانجام قرائت عصاره‌های آماده شده برای سنجش میزان فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی شعله[1] انجام شد.

برای تهیه عصاره از فاز محلول خاک، خاک هر گلدان که تحت کشت شاهی قرار گرفته بود به‌طورکامل با هم مخلوط و یکنواخت گردید. سپس از همگن شدن خاک ۲۵۰ گرم از آن برداشته و در داخل استوانه مدرج ریخته شد که در انتهای استوانه مدرج یک منفذ تعبیه شده بود. برای تهیه عصاره محلول صاف و عاری از هر نوع ناخالصی در انتهای استوانه مدرج از کاغذ صافی واتمن ۹۰ میلی‌متر استفاده گردید. عصاره‌گیری فلز کادمیوم به کمک آب مقطر انجام پذیرفت. نمونه‌ها به محض آماده شدن در داخل یخچال نگهداری شدند، سپس سنجش میزان فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی صورت گرفت.

طراحی آزمایش‌ها: اولین قدم در روش تاگوچی، شناسایی فاکتور و یا متغیرهای مختلف است که دارای ویژگی یا ویژگی‌های برجسته‌ای می‌باشند. در این روش برای طراحی و اجرای آزمایش‌ها مجموعه‌ای از جداول را با عنوان آرایه متعامد تهیه کرده است. آرایه متعامد ماتریکسی با سطر و

1- Aa 6300 shimadzu japan

Archive of SID

www.SID.ir

ستون‌های منظم است که هر سطر بیانگر سطوح متغیرهای موجود در هر ردیف و هر ستون بیانگر سطوح خاص برای یک متغیر است. استفاده از این جدول‌ها، طراحی آزمایش‌ها را خیلی آسان و موثق می‌کند و به مشخص نمودن حداقل تعداد آزمایش‌ها کمک می‌کند.

نتایج

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از استفاده نمودن تیمارها در جدول ١ آورده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های یان- د و همکاران (٢٠٠٧) مقاومت به چند فلز در باکتری‌ها دارای اثر بیشتری از مقاومت به یک فلز است به‌همین علت از باکتری‌های خالص شده مقاوم به کادمیوم و کروم استفاده شد. خصوصیات باکتری‌های خالص شده مقاوم به فلزات کادمیوم و کروم پس از انجام مراحل جداسازی، خالص‌سازی و شناسایی در جدول ٢ درج شده است. همچنین کود کمپوست، کود گاوی و کود اوره از نظر دارا بودن کادمیوم مورد آزمون قرار گرفتند، نتایج به‌دست آمده، عدم وجود این عنصر را نشان داد.

جدول ١- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه
٧/٥	pH	لومی- شنی	کلاس بافت خاک
٠/٠٤	نیتروژن کل (درصد)	١٢	درصد رس
١٠	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	٥٦	درصد شن
٢٥٠	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	٣٢	درصد سیلت
٠/٠٢	Cd در فاز محلول خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	٠/٤	درصد مواد آلی
٣/٢	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	١٥	درصد ظرفیت زراعی

جدول ٢- مشخصات باکتری‌های خالص شده مقاوم به کروم و کادمیوم.

شماره میکروب	واکنش گرم	مرفولوژی	حالت کلونی	رنگ کلونی	اندازه کلونی
CC_1	منفی	کوکوباسیل	نرم	سفید متمایل به کرم	نقطه‌ای
CC_2	منفی	کوکسی	نرم	سفید متمایل به کرم	نقطه‌ای
CC_3	منفی	کوکسی	نرم	سفید متمایل به کرم	نقطه‌ای
CC_4	منفی	کوکسی	نرم	سفید متمایل به کرم	نقطه‌ای
CC_5	مثبت	کوکوباسیل	نرم	سفید متمایل به کرم	نقطه‌ای

Archive of SID

www.SID.ir

در این مطالعه، به‌منظور بالا بردن کارایی فرآیند گیاه‌پالایی (بهینه‌سازی) و افزایش قابلیت دسترسی کادمیوم، چهار متغیر کود گاوی، کود اوره، کود کمپوست و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین در سه سطح مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). چون چهار متغیر کود گاوی، کود اوره، کود کمپوست و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین در سه سطح آزمایش می‌شوند، بنابراین بهترین آرایه برای این منظور L_9 است (جدول ٤). در این آزمایش‌ها ترتیب انجام آزمایش‌ها به‌طور اتفاقی تعریف شده تا شرایط متفاوت بر نتیجه هر آزمایش مؤثر نباشد. لازم به ذکر است که برای هر آزمایش ۳ تکرار در نظر گرفته شد.

جدول ۳- متغیرها و سطوح تغییر آن‌ها برای یک کیلوگرم خاک آلوده.

متغیرها	سطح تغییر		
	۱	۲	۳
کود کمپوست	۱۰ (گرم)	۲۰ (گرم)	٤۰ (گرم)
باکتری‌های مقاوم	-	CC_1, CC_2	CC_3, CC_4, CC_5
کود اوره	۰/۵ (گرم)	۰/۱ (گرم)	۰/۱۵ (گرم)
کود گاوی	۱۰ (گرم)	۲۰ (گرم)	٤۰ (گرم)

جدول ٤- آرایه متعامد ($L_9(3^4)$) برای فرآیند بهینه‌سازی گیاه پالایی خاک آلوده به کادمیوم.

شماره آزمایش	متغیرها و سطوح تغییر آن‌ها				پاسخ (اندام هوایی) (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پاسخ (فاز محلول خاک) (میلی‌گرم بر لیتر)
	کود کمپوست	باکتری‌های مقاوم	کود اوره	کود گاوی		
۱	۱	۱	۱	۱	۳۲٤/۳٤	۱٤/۸٦
۲	۱	۲	۲	۲	۳۳۰/٤۵	۱۵/۳
۳	۱	۳	۳	۳	۳۲۵/۲۵	۱۲/٦
٤	۲	۱	۲	۳	۳٤۵/۱٦	۱۳/۱۳
۵	۲	۲	۳	۱	۲۵٦	۲۰/۱۳
٦	۲	۳	۱	۲	۳٦۷/٤۵	۱۱/۷
۷	۳	۱	۳	۲	۳۲۹/٦	۱٦/۱۳
۸	۳	۲	۱	۳	۳۳۱/۹	۹/٤
۹	۳	۳	۲	۱	۳۱۳/۳۷	۱۸/۲

www.SID.ir

پس از انجام آزمایش‌ها مطابق آرایه متعامد، باید تجزیه و تحلیل نتایج انجام شود. تجزیه و تحلیل به‌منظور دستیابی به یک یا چند هدف انجام می‌شود. ١- تعیین شرایط بهینه برای رسیدن به مقدار بهینه کیفیت هدف ٢- تخمین سهم هر یک از متغیرها و ٣- تخمین پاسخ در شرایط بهینه. پاسخ هر آزمایش با محاسبه میانگین پاسخ هر متغیر در هر سطح به‌دست می‌آید (جدول ٥ و ٦) و از روی آن نمودارهای خطی پاسخ رسم می‌گردد (نمودار شکل ١ و ٢).

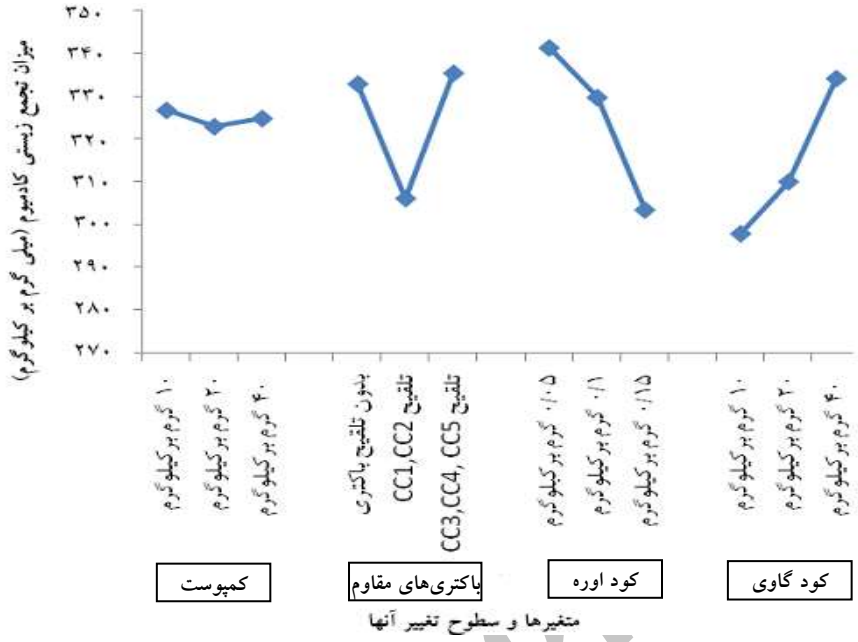
جدول ٥- میانگین پاسخ هر متغیر در سطوح مختلف در اندام هوایی شاهی میلی‌گرم بر کیلوگرم (جدول پاسخ).

متغیر	سطح ١	سطح ٢	سطح ٣
کود کمپوست	٣٢٦/٦٨	٣٢٢/٨٧	٣٢٤/٧٧
باکتری‌های مقاوم	٣٣٢/٨٥	٣٠٦/١١	٣٣٥/٣٥
کود اوره	٣٤١/٢٣	٣٢٩/٦٦	٣٠٣/٤٣
کود گاوی	٢٩٧/٩٠	٣١٠	٣٣٤/١٠

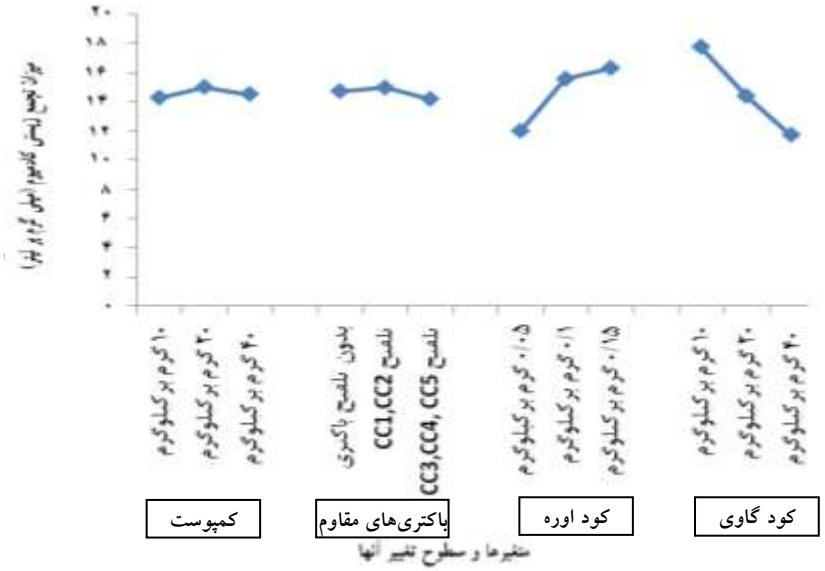
جدول ٦- میانگین پاسخ هر متغیر در سطوح مختلف فاز محلول خاک میلی‌گرم بر لیتر (جدول پاسخ).

متغیرها	سطح ١	سطح ٢	سطح ٣
کود کمپوست	١٤/٢٥	١٤/٩٨	١٤/٥
باکتری‌های مقاوم	١٤/٧٠	١٤/٩٤	١٤/١٦
کود اوره	١١/٩٨	١٥/٥٤	١٦/٢٨
کود گاوی	١٧/٧٣	١٤/٣٧	١١/٧١

www.SID.ir



شکل ۱- آثار اصلی متغیرها در تجمع زیستی کادمیوم در اندام هوایی شاهی (میلی‌گرم بر کیلوگرم).



شکل ۲- آثار اصلی متغیرها در فاز محلول خاک (میلی‌گرم بر لیتر).

www.SID.ir

در این پژوهش سطح بهینه سطحی است که بیشترین میزان را داشته باشد. با توجه به جدول پاسخ و نمودار پاسخ، سطح بهینه هر متغیر را می‌توان نتیجه گرفت. جدول ٧ و ٨ آنالیز واریانس نتایج به‌دست آمده را نشان می‌دهد. برای تعیین شرایط بهینه با توجه به نمودار تأثیر متغیرها و جدول ANOVA تمام متغیرها با تأثیر معنی‌دار در سطوحی انتخاب می‌شوند که متغیر پاسخ در بالاترین مقدار باشد. شرایط بهینه و مقدار غلظت کادمیوم در نقطه بهینه در جدول ٩ نشان داده شده است.

جدول ٧- آنالیز واریانس حاصل از فرآیند گیاه پالایی در اندام هوایی شاهی.

متغیرها	درجه آزادی	مجموع مربعات	واریانس	نسبت واریانس	جمع خالص مربعات	درصد سهم
	f	S	V	F	S'	P
کود کمپوست	٢	٢١/٧٦	١٠/٨٨	٠/٠٢	ناچیز	٠/٣٢
باکتری‌های مقاوم	٢	١٥٧٦/٠٩	٧٨٨/٠٤	١/٨٤	٧٠٥/٦٩	٢١/٨٩
کود اوره	٢	٢٢٤٩/٨٦	١١٢٤/٩٣	٢/٥٨	١٣٧٩/٤٦	٣١/٢٥
کود گاوی	٢	٣٣٥٠/٧٩	١٦٧٥/٣٩	٣/٨٤	٢٤٨٠/٣٩	٤٦/٥٤
خطا	١٨	٠	٤٣٥/٢	١	.....	٠
کل	٢٦	٧١٩٨/٥	.....	.....	٣٤٨١/٦	١٠٠

جدول ٨- آنالیز واریانس حاصل از فرآیند گیاه پالایی در فاز محلول خاک.

متغیرها	درجه آزادی	مجموع مربعات	واریانس	نسبت واریانس	جمع خالص مربعات	درصد سهم
	f	S	V	F	S'	P
کود کمپوست	٢	٠/٨	٠/٤	٤٠	٠/٧٨	٠/٩١
باکتری‌های مقاوم	٢	٠/٩٤	٠/٤٧	٤٧	٠/٩٢	١/٠٧
کود اوره	٢	٣١/٦٨	١٥/٨٤	١٥٨٤	٣١/٦٦	٣٦
کود گاوی	٢	٥٤/٥٨	٢٧/٢٩	٢٧٢٩	٥٤/٥٦	٦٢/٠١
خطا	١٨	٠/٠٢	٠/٠١	١	.....	٠/٠١
کل	٢٦	٨٨/٠٢	.....	.....	٠/١	١٠٠

www.SID.ir

جدول ۹- شرایط بهینه و مقدار غلظت کادمیوم در نقطه بهینه (جدول یاسخ).

متغیرها	اندام هوایی شاهی میلی‌گرم بر کیلوگرم	فاز محلول خاک میلی‌گرم بر لیتر
	سطح- میزان بهینه	میزان بهینه- سطح
کود کمپوست	۱-۳۲۶/۶۸	۲-۱۷/۹۸
باکتری‌های مقاوم	۳-۳۳۵/۳۵	۲-۱٤/۹٤
کود اوره	۱-۳٤۱/۲۳	۳-۱٦/۲۸
کود گاوی	۳-۳۳٤/۱۰	۱-۱۷/۷۳

نتایج به‌دست آمده از میزان غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک و اندام هوایی شاهی نشان داد که گیاه شاهی از پتانسیل خوبی برای جذب کادمیوم برخودار است. به نحوی‌که با آلوده نمودن خاک به فلز کادمیوم میزان غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک و متعاقباً در اندام هوایی در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد. به‌همین ترتیب هنگامی‌که به خاک آلوده به کادمیوم کود گاوی، کود کمپوست، کود اوره و باکتری‌های مقاوم اضافه شد میزان غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک و اندام هوایی گیاه به‌طور قابل توجه و چشمگیری افزایش نشان داد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- روند تغییرات میزان غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک و اندام هوایی شاهی در بهینه‌ترین سطح.

	شاهد	نمونه آلوده به کادمیوم بدون کود و باکتری	کود گاوی	کود اوره	کود کمپوست	باکتری‌های مقاوم
فاز محلول میلی‌گرم بر لیتر	۰/۰۲	۰/۰۹	۱۷/۷۳	۱٦/۲۸	۱٤/۹۸	۱٤/۹٤
اندام هوایی میلی‌گرم بر کیلوگرم	۳۰	۱٦۷/۳۳	۳۳٤/۱۰	۳٤۱/۲۳	۳۲٦/٦۸	۳۳٥/۳٥

بحث و نتیجه‌گیری

در جدول یک خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قبل از اضافه کردن کادمیوم و اعمال تیمارها درج شده است. نتایج تجزیه خاک نشان داد که خاک موردنظر دارای بافت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مناسبی برای استفاده در کشت گلدانی گیاه شاهی بود.

Archive of SID

www.SID.ir

از نمودار تأثیر متغیرها و جدول ANOVA می‌توان نتایج زیر را استنباط کرد:

نتایج به‌دست آمده از جدول ٥ و شکل ١ نشان داده است که شرایط بهینه با این خصوصیت که هر چه کیفیت هدف بالاتر باشد بهتر است، کود کمپوست (٢)، کود گاوی (١)، کود اوره (٣)، تلقیح باکتری‌های (CC_1, CC_2) می‌باشد. بنابراین ترکیب متغیرهای یاد شده شرایط بهینه را برای غلظت کادمیوم در اندام هوایی شاهی ارایه می‌دهد. با توجه به کارایی فرایند در شرایط بهینه (Yopt=٣٧١/٢٧) چون با شرایط بهینه یکی از آزمایش‌ها مطابقت ندارد پس باید با انجام آزمایش تأیید کننده ارزیابی شود زیرا در روش تاگوچی تعداد کمی از ترکیب‌های ممکن بین متغیرها آزمایش می‌شود.

نتایج به‌دست آمده از جدول ٦ و شکل ٢ نشان داد که ترکیب کود کمپوست (١)، کود گاوی (٣)، کود اوره (١)، تلقیح باکتری‌های (CC_3, CC_4, CC_5) بهترین پاسخ و در نتیجه شرایط بهینه را برای غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک می‌باشد. این شرایط، همان شرایط آزمایشی موجود در اجرای پنجم آرایه است. نتیجه به‌دست آمده از کارایی فرآیند در شرایط بهینه (Yopt=١٣/٢٠) همان نتیجه‌ای است که در آزمایش پنجم به‌دست آمده است.

آخرین ستون در جدول ANOVA درصد سهم متغیرها را نشان می‌دهد. در این پژوهش با توجه به جدول ٨ سهم کود گاوی بالاترین سهم یعنی ٤٦/٥٤ درصد، کود اوره، ٣١/٢٥ درصد، باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین ٢١/٨٩ درصد بوده و کود کمپوست نیز اهمیّت چندانی را در بین متغیرهای مربوط به بهینه‌سازی غلظت کادمیوم در اندام هوایی شاهی نداشته است. بنابراین به‌ترتیب اهمیّت می‌توان پارامترهای مؤثر بر فرآیند گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به کادمیوم توسط گیاه شاهی را به‌صورت زیر خلاصه نمود.

کود کمپوست < باکتری‌های مقاوم < کود اوره < کود گاوی

با توجه به‌نتایج به‌دست آمده در جدول ٩ مشخص می‌شود، سهم کود گاوی بالاترین سهم یعنی ٦٢/٠١ درصد، کود اوره، ٣٦ درصد، باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین و کود کمپوست سهم تقریباً یکسانی را در بین متغیرهای مربوط به بهینه‌سازی غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک داشته است که می‌توان این پارامترها را براساس میزان تأثیرگذاری و اهمیّت به‌صورت زیر خلاصه نمود.

کودکمپوست = باکتری‌های مقاوم < کود اوره < کودگاوی

Archive of SID

www.SID.ir

میزان غلظت کادمیوم در اندام هوایی شاهی با کاهش سطح کمپوست و کود اوره و با افزایش سطح کود گاوی و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین افزایش نشان داد.

میزان غلظت کادمیوم در فاز محلول خاک با افزایش سطح اوره، کاهش سطح کود گاوی و سطوح میانه کود کمپوست و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین افزایش نشان داد.

با توجه به شرایط بهینه و مقدار غلظت کادمیوم در نقطه بهینه (جدول ۹) چهار متغیر مذکور به‌میزان نزدیک و متشابهی غلظت کادمیوم در اندام هوایی و فاز محلول خاک را افزایش داده‌اند.

عوامل مختلفی بر غلظت کادمیوم در گیاه تأثیر دارند، از جمله این عوامل می‌توان به غلظت کادمیوم در خاک و کودهای آلی، پاسخ خاک، نوع گیاه، شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اشاره کرد. اگر غلظت کادمیوم خاک افزایش یابد، احتمال آلودگی زنجیره غذایی به‌این عنصر وجود دارد (لی و همکاران، ۲۰۰۹).

در اغلب اوقات نشان داده شده که اضافه نمودن اصلاح کننده‌های آلی به خاک ظرفیت تبادل کاتیونی را افزایش می‌دهد. بنابراین باعث جذب فلزات یا شبه فلزات می‌شود (بلان و همکاران، ۲۰۱۰). دلکاستیو و همکاران (۱۹۹۳) ملاحظه کردند که حلالیت روی و کادمیوم، در خاک لومیِ تیمارشده با کود حیوانی، تا حدود ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد. آن‌ها دلیل افزایش حلالیت و جذب عناصر سنگین را به کاهش pH خاک در اثر نیترات‌سازی، افزایش قدرت یونی و مواد آلی محلول ذکر کردند. از طرفی ایجاد کمپلکس فلزات مذکور با مواد آلی را می‌توان از دیگر دلایل دانست که همین امر می‌تواند دلیلی بر افزایش توان جذب نیز باشد که نتایج این بررسی با این پژوهش مطابقت دارد.

به‌کار بردن کودهای طبیعی (کمپوست و ورمی کمپوست) در خاک‌ها به افزایش تحرک فلزات از طریق تشکیل کمپلکس‌های محلول فلز- موادآلی کمک می‌کند. تجمع فلزات سنگین در اندام‌های هوایی گیاهان، به مقدار قابل جذب آن‌ها در خاک بستگی دارد (میرلز و همکاران، ۲۰۰٤).

کاوه و همکاران (۲۰۱۱) اثر کمپوست و کود گاوی را برمقدار سرب موجود در اندام هوایی رزماری مورد بررسی قرار دادند و به‌این نتیجه رسیدند که غلظت سرب در گیاه با افزایش سطح کود، روند افزایشی می‌گیرد که نتایج این بررسی با این پژوهش مطابقت دارد.

افزایش کارایی استخراج و تثبیت گیاهی فلزات سنگین توسط باکتری‌ها در مطالعات متعدد گزارش شده است (هی و همکاران، ۲۰۰۹). مکانیسم‌هایی که میکروارگانیسم بر روی فلزات سنگین انجام می‌دهند شامل جذب زیستی (جذب فلز توسط سطح سلول به کمک مکانیسم‌های فیزیکوشیمیایی)،

Archive of SID

www.SID.ir

تصفیه زیستی (تحرک فلزات سنگین از طریق ترشح اسیدهای آلی یا واکنش‌های متیلاسیون)، معدنی کردن زیستی (عدم تحرک فلزات سنگین از طریق تشکیل سولفیدهای غیرمحلول یا ترکیبات پلیمر)، تجمع درون سلولی و انتقال آنزیم کاتالاز (واکنش‌های اکسیداسیون) می‌باشد (لیود، ٢٠٠٢). میکروارگانیسم‌های خاک بر روی تحرک فلزات سنگین و دستیابی زیستی آن‌ها در گیاهان تأثیر می‌گذارند به‌عنوان مثال در حضور باکتری‌های ریزوسفری جذب نیکل در *Alyssum murale* افزایش نشان داد (ابو- شناب و همکاران، ٢٠٠٣).

مکانیسم‌های غیرمستقیم ریزو باکتریا شامل جلوگیری از فعالیّت پاتوژن‌های گیاهی است که از رشد و نمو گیاه ممانعت به‌عمل می‌آورند. در حالی‌که مکانیسم‌های مستقیم شامل تثبیت نیتروژن، سنتز سیدروفور که باعث محلول شدن و یا جداشدن آهن از خاک می‌شود، تولید هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها که باعث افزایش رشد گیاه می‌شود و حل کردن مواد معدنی نظیر فسفات‌ها می‌باشند (یان- د و همکاران، ٢٠٠٧). ریزوسفر واسطه مهمی برای خاک و گیاه است و نقش مهمی در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین دارد. جمعیّت‌های میکروبی موجود در ریزوسفر بر تحرک و دستیابی زیستی فلزات سنگین به گیاهان از طریق انتشار عوامل کلات کننده، اسیدی کردن، حل کردن فسفات‌ها و تغییر در اکسیداسیون تأثیر می‌گذارد بنابراین پتانسیل فرآیند گیاه‌پالایی را افزایش می‌دهند (نایس و همکاران، ٢٠١١).

بیکر و بروکس (١٩٨٩) بیان کردند که در گیاهان بیش تجمع‌دهنده، غلظت فلز کادمیوم در اندام‌های هوایی باید بیشتر از ١٠٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک باشد. بنابراین براساس نتایج جدول ٥ گیاه شاهی از نظر تجمع کادمیوم در اندام هوایی جز گیاهان بیش تجمع‌دهنده می‌باشد و به‌عنوان گیاهی که پتانسیل مناسبی در حذف کادمیوم از محیط دارد معرفی می‌گردد. لذا براساس این نتایج می‌توان دریافت که گونه شاهی در جذب کادمیوم موجود در خاک می‌تواند فعال باشد و در کاهش غلظت این عنصر در خاک مثمرالثمر واقع شود. بر این اساس در مناطقی که هدف از کاشت شاهی مصرف خوراکی آن است بایستی به توان جذب بالای کادمیوم در بافت این گیاه توجه ویژه گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

1.Abou-Shanab, R.A., Angle, J.S., Delorme, T.A., Chaney, R.L., Van Berkum, P., Moawad, H., Ghanem, K., and Ghozlan, H.A. 2003. Rhizobacterial effects on nickel extraction from soil and uptake by Alyssum murale. J. New Phytologist. 158: 1.219–224.

2.Abusharer, T.M. 1996. Modification of hydraulic properties of a semiarid soil in relation to seasonal application of sewage sludge and electrolyte producing compounds. J. Soil Technology. 9: 1-13.

3.Ansari, M.I., and Malik, A. 2007. Biosorption of nickel and cadmium by metal resistant bacterial isilates from agricultural soil irrigated with industrial wastewater. J. Bioresource Technology. 98: 3149-3153.

4.Assadi Habib, M., Alavi Moghaddam, S.M.R., Arami, M., and Hashemi, S.H. 2011. Optimization of electric coagulation process to removal of chromium (VI) with Taguchi method. Isfahan, J. Water and Wastewater. 4: 2-8.

5.Bahnasawy, M., Khidr, A.A., and Dheina, N. 2009. Seasonal Variations of Heavy Metals Concentrations in Mullet, *Mugil Cephalus* and *Liza Ramada* (Mugilidae) from Lake Manzala, Egypt. J. Applied Sciences Research. 5: 7.845-852.

6.Baker, A.J.M., and Brooks, R.R. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements and review of their distribution, Ecology and Phytochemistry. J. Biorecovery. 1: 81-126.

7.Bolan, N., Navid, R., Choppala, G., Park, J., Mora, M.L., Budianta, D., and Panneerselvam, P. 2010. Solute interactions in soils in relation to the bioavailability and environmental remediation of heavy metals and metalloids. J. Pedologist. 53: 1-18.

8.Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. P. 1085-1122. In Sparks, D.L. et al., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

9.Cala, V., Cases, M.A., and Walter, I. 2005. Biomass production and heavy metal content of Rosmarinus officinalis grown on organic wasteamended soil. J. Arid Environments. 62: 401-412.

10.Del Castilho, P., Chardon, W.J., and Salomoms, W. 1993. Influence Of cattle-manure slurry application on Solubility Of Cd, Cu and Zn in a manured acidic soil, loamy-sand soil. J. Environmental Quality. 11: 413-431.

11.Ebrahimpour, M., and Mushrifah, I. 2008. Heavy metal concentrations (Cd, Cu and Pb) in five aquatic plant species in Tasik Chini, Malaysia. J. Environmental Geology. 54: 689-698.

12.Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. In klute (Editor) Methods of soil analysis Part 2nd ed. Agron. Monger. 9. ASA and SSSA. Madison, WI. Pp: 383-409.

13.He, L.Y., Chen, Z.J., Ren, G.D., Zhang, Y.F., Qian, M., and Sheng, X.F. 2009. Increased Cadmium and lead uptake of a cadmium hyperaccumulator tomato by cadmium-resistant bacteria. J. Ecotoxicology and Environmental Safety. 72: 5.1343-1348.

Archive of SID

www.SID.ir

14.Jahanbakhshi, Sh. 2011. Evaluation of phytoremediation of heavy metal in contaminated soil by *Spinacia Oleracea* and *Lepidium Sativum*. M.Sc. Thesis. Factually of Agriculture, Birjand University. Iran.
15.Jahanbakhshi, Sh., Rezaei, M.R., and Sayyari-Zohan, M.H. 2011. Isolation and identity of resistant microorganisms to heavy metals in order to improvement of Phytoremediation process. first congress of monitoring technologies in environment. Tehran, Iran.
16.Kamnev, A.A., and Van Der Lelie, D. 2000. Chemical and Biological Parameters as Tools to Evaluate and Improve Heavy Metal Phytoremediation. J. Plenum Publishing Corporation. 20: 239-258.
17.Kaveh, S., Fekri, M., Mahmoodabadi, M., and Boromand, N. 2011. Evolution the effect of different amounts of municipal solid waste, compost and cow manure on a dry weight and heavy metals in (*Rosmarinus Officinalis L.*). Shahrekord, J. Plant Protection. 11-18.
18.Khadivi Borougeny, A. 2007. Effect of organic fertilizers on the chemical forms of heavy metals in the soil and absorption of them by wheat. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Isfahan University. Iran.
19.Khodaverdiloo, H., and Samadi, A. 2011. Batch equilibrium study on sorption, desorption, and immobilization of cadmium in some semiarid-zone soils as affected by soil properties. J. Soil Research. 49: 5.444-454.
20.Khosla, A., Kumar, S., and Aggarwalk, K. 2006. Identification of strategy parameters for particle swarm optimizer through Taguchi method, J. Zhejiang University Science. 7: 12.1989-1994.
21.Kuo, S. 1996. Phosphorus. P. 869-920. In Sparks, D.L. et al., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
22.Li, N.Y., Li, Z.A., Zhuang, P., Zou, B., and Mc Bride, M. 2009. Cadmium uptake from soil by maize whit intercrops. J. Water, Air and Soil Pollution. 199: 45-56.
23.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America J. 42: 421-428.
24.Lioyd, J.R. 2002. Bioremediation of metals: The application of microorganisms that make and break minerals. J. Microbiology Today. 29: 67-69.
25.Mireles, A., Soils, C., Andrade, E., Lagunas-Solar, M., Pia, C., and Flocchini, R.G. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico City. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 219–200: 187–190.
26.Mola, D., and Taheri Abhari, E. 2004. Study the feasibility of biological treatment in situe technique to reduce contaminated lands of Shiraz refinery using the Taguchi method. The first conference of prevention the loss of national resources. Tehran, Iran.

Archive of SID

www.SID.ir

27.Naees, M., Qurban, A., Shahbaz, M., and Fawad, A. 2011. Role of rhizobacteria in phytoremediation of heavy metals: An overview. International Research. J. Plant Science. 2: 8.220-232.
28.Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: A.L. Page et al (Editor). Methods of soil analysis. Part 2. 2nded. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison, WI. Pp: 539-577.
29.Rahmanian, M., Khodaverdiloo, H., Rezaei Danesh, Y., and Rasouli Sadaghiani, M. 2011. Effects of heavy metal resistant soil microbes inoculation and soil Cd concentration on growth and metal uptake of millet, couch grass and alfalfa. J. Microbiology Research. 5: 4.403-410.
30.Razavi Toosi, A. 2000. Interaction effects of compost, compost leachate and Mn on growth and chemical composition of spinach and rice seedling. M.Sc. Thesis. Factually of Agriculture, Shiraz University. Iran.
31.Rezaei, M.R., Abdoli, M.A., Karbasy, A.R., and Baghvand, A. 2009. Optimization of bioremediation of 2, 4, 6 Three Nitrou Toluene (TNT) from contaminated soil in lab-scale with Taguchi statistical method. Third specialty conference of environmental engineering. Tehran, Iran.
32.Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. In: A.L. Page (Editor). Methods of soil analysis. Part 2. 2nded. Agron. monoger. 9. ASA and SSSA. Madison, WI. Pp: 167-179.
33.Salehin, H., and Shah Hosseini, S.H. 2005, Optimization of conditions and Medium of *Xanthomonas Mpstrys* bacteria. Fourth national biotechnology congress islamic republic of Iran. Kerman, Iran.
34.Sarwar, N., Saifullah Malhi, S.S., Zia, M.H., Naeem, A., Bibi, S., and Farid, G. 2010. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. J. The Science of Food and Agriculture. 90: 925–937.
35.Saurbeck, D.R. 1991. Uptake and Availability of Heavy Metals. J. Water, Air and Soil pollution. 57-58: 227-237.
36.Sayyari-Zahan, M.H., Sadana, U.S., Steingrobe, B., and Claassen, N. 2009. Manganese efficiency and maganese-uptake kinetics of raya (*Brassica juncea*), wheat (*Triticum aestivum*), and oat (*Avena sativa*) grown in nutrient solution and soil. J. Plant Nutrition and Soil Science. 172: 425-434.
37.Sharifi, M., Afuni, M., and Khoshgoftarmannesh, A.M. 2010. Effect of cow manure, sewage sludge and cadmium chloride on uptake of cadmium in shoots of maize. Isfahan, J. Water and Wastewater. 4: 98-103.
38.Sheng, X.F., and Xia, J.J. 2006. Improvement of rape (*Brassica Napus*) plant growth and cadmium uptake by cadmium-resistant bacteria. J. Chemosphere. 64: 1036–1042.
39.Tallinn, D., and Rosselot, K.S. 1997. Pollution Prevention for Chemical Processes- John Wiley and Sons. Pp: 258 –277.
40.Yan-de, J., Zhen-li, H., and Xiao, Y. 2007. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. J. Zhejiang University Science. 8: 3.192-207.

Archive of SID

www.SID.ir

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 4(1), 2014
http://ejsms.gau.ac.ir

Comparison of the efficiency of some parameters in increasing of cadmium availability to improve phytoremediation process in *Lepidum Sativum*

***Sh. Jahanbakhshi[1], M.R. Rezaei[2] and M.H. Sayyari Zahan[3]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Environmental, University of Birjand,
[2]Assistant Prof., Dept. of Environmental, University of Birjand,
[3]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Birjand
Received: 08/05/2012 ; Accepted: 05/21/2013

Abstract

Phytoremediation is one the methods to decontaminate soil which uses green plants to remove of soil pollutants. Low availability of soil heavy metals limits plant efficiency for phytoremediation. Therefore, in order to increase the availability of cadmium (Cd) by *Lepidum Sativum*, an experiment was conducted in four variables including: cow manure, compost, urea fertilizer and resistant bacteria into heavy metals with three different levels in soils which is contaminated with cadmium using 50 mg kg^{-1} as cadmium chloride ($CdCl_2.H_2O$). Cadmium concentration was analyzed by Atomic absorption and Taguchi method has been used in this experiment. Results showed that cow manure, urea fertilizer, Cd- resistant bacteria and compost in the order of importance had a significant effect on the cadmium shoot concentration of *Lepidum Sativum* and Cd soil solution concentration as well. Also results indicated that optimum Cd uptake by the shoots was observed in treatments of 40 g kg^{-1} of cow manure, 0.05 g kg^{-1} of urea fertilizer, inoculates of three types of bacteria (CC_3, CC_4, CC_5) and 10 g kg^{-1} of compost fertilizer and in the soil solution resulted to: 10 g kg^{-1} of cow manure, 0.15g kg^{-1} of urea fertilizer, inoculates of two types of bacteria (CC_1, CC_2) and 20 g kg^{-1} of compost fertilizer. So, according to the results, cow manure had the most contribution to increase phytoremediation efficiency in *Lepidum Sativum*.

Keywords: Cadmium, Phytoremediation, Resistant Bacteria, Taguchi method

* Corresponding Authors; Email: jahanbakhshish@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir