نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیستم، شماره چهارم، ۱۳۹۲
http://jwsc.gau.ac.ir

تأثیر زئولیت کلینوپتیلولیت طبیعی ایران بر جذب سرب و کادمیوم لجن فاضلاب کاربردی توسط ذرت (*Zea mays*. L.)

کبری سعادت[۱] و *مجتبی بارانی‌مطلق[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۱۰

چکیده

استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان کود در زمین‌های کشاورزی علاوه‌بر داشتن برتری‌های اقتصادی، گزینه مناسبی نیز برای رفع مشکل مدیریت لجن فاضلاب است. از محدودیت‌های اصلی مصرف لجن فاضلاب وجود غلظت‌های بالای فلزات سنگین مانند سرب و کادمیوم می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی اثر زئولیت طبیعی بر جذب سرب و کادمیوم موجود در لجن فاضلاب توسط ذرت بود. به این منظور آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ٤ تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل لجن فاضلاب در ۳ سطح ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد (وزنی/ وزنی) و زئولیت در ٤ سطح ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ (وزنی/ وزنی) بودند. نتایج نشان داد، کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش غلظت سرب در اندام هوایی ذرت گردید، ولی فقط در تیمار ۲۰ درصد نسبت به تیمار شاهد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۱ درصد مشاهده گردید. کاربرد لجن موجب افزایش معنی‌دار در سطح ۱ درصد غلظت سرب و کادمیوم در ریشه ذرت گردید. نتایج هم‌چنین نشان داد کاربرد زئولیت موجب کاهش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ذرت و افزایش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) pH خاک گردید.

واژه‌های کلیدی: سرب، کادمیوم، لجن فاضلاب، زئولیت

* مسئول مکاتبه: mbarani2002@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

پتانسیل آزادسازی فلزات سنگین از لجن و تجمع فلزات سنگین در سطوح سمی در بخش فوقانی خاک محدودیت اصلی استفاده از لجن فاضلاب است (کوارول و همکاران، ۲۰۰٦). گرچه خاک‌ها با مکانیسم‌های مختلف مانند رسوب، جذب سطحی و واکنش‌های کاهش، ظرفیتی طبیعی برای کاهش قابلیت دسترسی و حرکت فلزات دارند، با افزایش غلظت فلزات سنگین، این آلاینده‌ها می‌توانند متحرک شده و در نتیجه آلودگی‌هایی برای محصولات کشاورزی و آب زیرزمینی ایجاد نمایند (شی و همکاران، ۲۰۰۹). بیش‌تر فلزات سنگین، بر خلاف آلاینده‌های آلی، تجزیه بیولوژیکی یا شیمیایی نمی‌شوند و بنابراین مدت زمانی طولانی در خاک باقی می‌مانند. نتیجه مستقیم انبارش فلزات سنگین در خاک، تهدید اکولوژیکی گیاهان و سایر جانداران در خاک‌های آلوده و در پی آن تهدید سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی است (خداوردیلو و حمزه‌نژاد تقلیدآباد، ۲۰۱۱).

یکی از روش‌های کنترل لجن فاضلاب استفاده از روش غیرفعال‌سازی شیمیایی فلزات سنگین در آن‌هاست. این روش با کاهش حلالیت فلزات سنگین باعث کاهش غلظت آن‌ها در گیاه می‌شود (محمدی‌ثانی و همکاران، ۲۰۱۱). بیش‌تر روش‌های فیزیکی یا فیزیکوشیمیایی که برای به‌سازی خاک‌های آلوده به‌کار می‌روند، نه تنها ساختمان فیزیکی خاک را تخریب نموده و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک را متوقف می‌سازند، بلکه آلودگی‌های ثانویه‌ای در خاک ایجاد می‌کنند که خود نیازمند پالایش هستند (آدریانو، ۲۰۰۱). تثبیت شیمیایی فلزات سنگین به‌دلیل هزینه کم و سرعت به‌نسبت زیاد نسبت به روش‌های دیگر برتری دارد (محمدی‌ثانی و همکاران، ۲۰۱۱). استفاده از به‌سازها از طریق مکانیسم‌های جذب سطحی، واکنش‌های اسید- باز، رسوب، اکسایش و کاهش، کمپلکس شدن، تبادل کاتیونی و هوموسی شدن باعث غیرپویا شدن و تثبیت فلزات سنگین در خاک می‌شوند (محمدی‌ثانی و همکاران، ۲۰۱۱). به‌ساز مناسب، تحرک و فراهمی آلاینده را به سرعت کاهش داده و از آب‌شویی و جذب به‌وسیله گیاهان و موجودات زنده خاک می‌کاهد. مواد مختلفی برای تثبیت شیمیایی عناصر سنگین در خاک به‌کار می‌روند. یک گروه از کانی‌ها که به‌طور گسترده‌ای برای غیرفعال‌سازی فلزات سنگین در خاک‌ها استفاده می‌شود زئولیت است. زئولیت دسته‌ای از آلومینوسیلیکات‌های متخلخل با بار منفی است که کارایی آن‌ها وابسته به ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان منافذ ریز آن‌هاست (انصاری‌مهابادی و همکاران، ۲۰۰۷؛ محمدی‌ثانی و همکاران، ۲۰۱۱).

زئولیت‌ها کریستال‌های آلومینوسیلیکاته آب‌دار از عناصر گروه I و II جدول تناوبی به‌خصوص سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، استرانسیم و باریم هستند. زئولیت‌ها به دو صورت طبیعی و مصنوعی موجودند و از نظر کریستالوگرافی دارای فرمول سلول واحدی به‌صورت زیر می‌باشند:

Archive of SID

www.SID.ir

$M_{x/n}[(Al_2O_3)_x(SiO_2)_y].WH_2O$

که در آن، M: کاتیون قلیایی یا قلیایی خاکی با ظرفیت n، W: تعداد مولکول‌های آب و (x+y) بیانگر تعداد چهاروجهی‌های سلول واحد می‌باشد (حسینی‌ابری و همکاران، ۲۰۰۷). ساختار مولکولی تیپیک زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولیت) $Na_6[(AlO_2)_6(SiO_2)_{30}].24H_2O$ یا $(Na_2,K_2,Ca,Mg)_3[(AlO_2)_6(SiO_2)_{30}].24H_2O$ است (باقریفام و همکاران، ۲۰۱۰). ابعاد حفرات و کانال‌های هر زئولیت از مشخصه‌های آن می‌باشد که باعث ایجاد پدیده جذب گزینشی یعنی جذب یک یون یا مولکول خاص در حضور گونه‌های دیگر می‌شود. از خصوصیات بارز زئولیت‌ها قابلیت آن‌ها در دهیدراسیون برگشت‌پذیر و همچنین تبادل کاتیون‌ها بدون تغییر ساختمانی است (حسینی‌ابری و همکاران، ۲۰۰۷). جایگزینی Si^{+4} به‌وسیله Al^{+3} در چهاروجهی‌ها باعث ایجاد بار منفی و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا در آن‌ها شده است. ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) آن‌ها بین ۳۰۰-۱۰۰ ($cmol_c\ kg^{-1}$) متغیر است و تمایل فراوانی برای جذب کاتیون‌ها در شبکه سه‌بعدی خود دارند (مینگ و مامتون، ۱۹۸۹).

کلوپکا و آدریانو (۱۹۹۷) در مطالعه‌ای گل‌خانه‌ای اثر زئولیت بر تثبیت و کاهش جذب فلزات سنگین به‌وسیله محصولات زراعی (گندم و جو) را بررسی و گزارش نمودند که غلظت ۱۵ گرم بر کیلوگرم زئولیت، جذب سرب و کادمیوم توسط گیاهان زراعی را به‌طور چشم‌گیری کاست. زورپاس و همکاران (۲۰۰۰) دریافتند که تیمار لجن فاضلاب با کلینوپتیلولیت، خصوصیات خاک را بهبود بخشیده و غلظت فلزات سنگین آن نسبت به لجن فاضلاب کاهش می‌دهد. آن‌ها همچنین دریافتند که زئولیت می‌تواند فلزات را به‌میزان قابل‌توجهی جذب نماید. انصاری‌مهابادی و همکاران (۲۰۰۷) اثر زئولیت طبیعی ایران از نوع کلینوپتیلولیت بر تثبیت کادمیوم در خاکی آلوده در استان گیلان را بررسی نموده و بیان نمودند که کاربرد زئولیت در خاک، شستشوی کادمیوم خاک را کاهش می‌دهد و دلایل تثبیت کادمیوم را ظرفیت تبادل کاتیونی بالای مخلوط خاک- زئولیت و سطوح بالاتر pH بیان نمودند. اسپرینسکی و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که افزودن کلینوپتیلولیت به لجن فاضلاب منجر به کاهش میزان فلزات در تمام شکل‌های به‌دست آمده از عصاره‌گیری دنباله‌ای می‌شود و غلظت شکل‌های متحرک کادمیوم، کروم، مس و نیکل را نیز کاهش می‌دهد. شی و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی جنبه‌های کاربردی زئولیت طبیعی برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین دریافت زئولیت می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی جذب سرب و کادمیوم توسط گیاهان را کاهش داده و منجر به تبدیل شکل‌های قابل

Archive of SID

www.SID.ir

دسترس سرب و کادمیوم به شکل‌های غیرتبادلی شود. محمدی‌ثانی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثر زئولیت و سوپرفسفات تریپل بر غیرپویاسازی سرب و روی در ضایعات معدن و تأثیر آن بر رشد گندم دریافتند که افزودن زئولیت و فسفر باعث کاهش غلظت سرب در اندام هوایی و افزایش غلظت در ریشه گندم شد.

با توجه به کاربرد گسترده لجن فاضلاب و برتری‌های ویژه این کود آلی، به‌نظر می‌رسد یافتن روشی برای رفع مشکل جذب فلزات سنگین موجود در لجن توسط گیاهان ضروری است. تاکنون مطالعات زیادی بر روی تأثیرات مثبت و منفی لجن فاضلاب در سطح کشور صورت گرفته است (واثقی و همکاران، ۲۰۰۳؛ واثقی و همکاران، ۲۰۰۵؛ نظری و همکاران، ۲۰۰٦؛ کرمی و همکاران، ۲۰۰۷؛ رضاپور و همکاران، ۲۰۱۱؛ عباسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ نجفی و مردمی، ۲۰۱۲؛ نجفی و همکاران، ۲۰۱۲) اما مطالعات در زمینه رفع مشکل فلزات سنگین اندک بوده است (انصاری‌مهابادی و همکاران، ۲۰۰۷؛ محمدی‌ثانی و همکاران، ۲۰۱۱). در دهه‌های اخیر تلاش‌هایی برای تولید و به‌کار بردن مواد ارزان‌قیمت برای حذف آلودگی ناشی از فلزهای سنگین از آب‌ها و پساب‌ها و لجن‌های شهری و صنعتی صورت گرفته است. از جمله مواد معدنی که کاربرد وسیعی برای حذف این آلودگی‌ها پیدا کرده‌اند، زئولیت‌ها هستند. وجود منابع عظیم زئولیت و به‌ویژه کلینوپتیلولیت در ایران در مناطق سمنان، میانه، صائین‌دژ، طلحه، رودهن، طالقان، طبس، کرمان و زاهدان سبب شد تا این نوع زئولیت برای حذف کاتیون‌های فلزهای سنگین موجود در لجن فاضلاب در این پژوهش مورد استفاده قرار گیرد. از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی کاهش زیست‌فراهمی فلزات سنگین موجود در لجن از طریق کاربرد زئولیت طبیعی به انجام رسید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش گل‌خانه‌ای با کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب و زئولیت در خاک و کشت گیاه ذرت، به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ٤ تکرار به انجام رسید. خاک مورد استفاده از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تهیه و پس از هوا خشک نمودن و عبور از الک ۲ میلی‌متر، برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتری (دی، ۱۹٦۵)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی با استات آمونیوم (چاپمن، ۱۹٦۵)، کربن آلی به روش واکلی و بلاک (آلیسون، ۱۹٦۵)،

Archive of SID

www.SID.ir

کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن با اسید کلریدریک (آلیسون و مودیه، ۱۹٦۵)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک با هدایت‌سنج الکتریکی و pH خاک به روش الکترود شیشه‌ای در عصاره اشباع خاک. لجن مورد استفاده از تصفیه‌خانه شهرستان کردکوی (استان گلستان) تهیه گردید. برای اندازه‌گیری pH و EC لجن فاضلاب از نسبت ۱:۵ لجن به آب استفاده شد. کربن آلی به روش واکلی و بلاک (آلیسون، ۱۹٦۵) و سدیم، پتاسیم و فسفر قابل استفاده لجن نیز به‌ترتیب از روش‌های عصاره‌گیری با استات آمونیوم ۱ نرمال، عصاره‌گیری با استات آمونیوم ۱ نرمال و روش اولسن به‌دست آمدند (نادسن و پترسون، ۱۹۸۲؛ اولسن، ۱۹۵٤). نیتروژن به روش کجلدال (پیج و همکاران، ۱۹۸۲) و غلظت کل سرب و کادمیوم در نمونه لجن با روش هضم با اسید فلوئوریک و تیزاب سلطانی (اسید نیتریک و اسید کلریدریک با نسبت ۱ به ۳) اندازه‌گیری شد (هوسنر، ۱۹۹٦). زئولیت مورد استفاده از شرکت افرند توسکا تهیه گردید و پس از شستشو با آب مقطر و هواخشک شدن از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس کانی‌شناسی آن با استفاده از روش پراش اشعه ایکس (XRD) تعیین شد که نشان داد بیش از ۷۵ درصد زئولیت مورد استفاده از کلینوپتیلولیت خالص تشکیل شده است. pH و EC زئولیت مورد استفاده در نسبت زئولیت به آب ۱:۵ و ظرفیت تبادل کاتیونی آن با روش جایگزینی با استات آمونیوم (چاپمن، ۱۹٦۵) اندازه‌گیری شد. پس از اعمال سطوح مختلف زئولیت ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی/ وزنی) به لجن، مخلوط به‌دست آمده به‌منظور انجام واکنش‌های شیمیایی در دما و رطوبت ثابت به‌مدت ۱۵ روز نگهداری گردید. آن‌گاه لجن فاضلاب پیش‌تیمار شده، در مقادیر ۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد وزنی/ وزنی به خاک گلدان (با وزن ۸ کیلوگرم) افزوده شد. داخل هر گلدان ۱۰ عدد بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰٤ کشت شد و پس از استقرار گیاهان، شمار بوته‌ها به ۳ عدد تنک گردید. عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز با دست انجام پذیرفت. در طول کشت از هیچ‌گونه کود شیمیایی، علف‌کش، سم و حشره‌کش استفاده نگردید و رطوبت خاک گلدان‌ها به روش وزنی در محدوده FC حفظ شد. ۹۰ روز پس از کشت، عملیات برداشت گیاهان انجام پذیرفت. پس از برداشت گیاهان، اندام هوایی و ریشه از هم جدا شد و در آون به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، خشک گردید. برای تعیین غلظت عنصر سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ذرت از روش هضم با HNO_3 غلیظ و آب اکسیژنه ۳۰ درصد استفاده گردید (بنتون و کیس، ۱۹۹۰) و غلظت سرب و کادمیوم در عصاره‌های گیاه به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل UNICAM 919 AA در طول موج هر عنصر تعیین گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

تجریه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات لجن فاضلاب و زئولیت مورد استفاده: برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. pH خاک یکی از عوامل کنترل‌کننده قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک می‌باشد. pH خاک مورد مطالعه به‌نسبت قلیایی است، در نتیجه می‌تواند باعث کاهش قابلیت دسترسی عناصر سنگین موجود در لجن فاضلاب گردد که امکان استفاده از لجن فاضلاب در خاک مورد مطالعه را افزایش می‌دهد. در خاک‌های قلیایی کادمیوم به‌نسبت غیرمتحرک است. خداوردیلو و صمدی (۲۰۱۱) بیان کردند که کربنات کلسیم فعال از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک در جذب و نگهداری کادمیوم در خاک‌های آهکی است. همچنین pH بالای خاک باعث رسوب سرب به‌صورت هیدروکسید، فسفات یا کربنات که به‌نسبت پایدار هستند، می‌شود (کاباتا- پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۱).

کربنات کلسیم معادل خاک مورد مطالعه به‌نسبت زیاد بوده (۱۸/۲۵ درصد) و خاک آهکی است. یافته‌های واثقی و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در خاک‌های آهکی از نظر آلودگی فلزات سنگین خطر کم‌تری دارد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

بافت خاک	کادمیوم قابل استفاده	سرب قابل استفاده	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده	N (کل)	CCE	OM	SP	FC	pH_e	EC_e	CEC
-	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)					(درصد)				-	(دسی‌زیمنس بر متر)	$cmol_c kg^{-1}$
سیلت رس لومی	<۱	۲	۲٦	۳۰۰	۰/۱۲	۱۸/۲۵	۲	٥٤	۳۰	۷/٤	۱/۰۸	۱۸

CEC، CCE، OC، SP، FC، EC_e، pH_e، به‌ترتیب ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، ماده آلی، درصد رطوبت اشباع، درصد رطوبت ظرفیت مزرعه، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع و pH عصاره اشباع خاک، سرب و کادمیوم قابل استخراج با DTPA (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸) هستند.

Archive of SID

www.SID.ir

لجن فاضلاب تولید شده طی فرایند تصفیه فاضلاب، دارای غلظت بالایی از املاح، عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، مواد آلی و فلزات سنگین می‌باشد. این موارد می‌توانند بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک و هم‌چنین بر رشد و عملکرد گیاه و غلظت عناصر غذایی در گیاه اثرات مفید و در برخی موارد منفی داشته باشند (واثقی و همکاران، ۲۰۰۳؛ واثقی و همکاران، ۲۰۰۵؛ نظری و همکاران، ۲۰۰۶؛ کرمی و همکاران، ۲۰۰۷؛ رضاپور و همکاران، ۲۰۱۱؛ عباسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ نجفی و مردمی، ۲۰۱۲؛ نجفی و همکاران، ۲۰۱۲). برخی از خصوصیات شیمیایی لجن در جدول ۲ نشان داده شده است. هم‌چنان‌که جدول ۲ نشان می‌دهد مقدار کربن آلی لجن مورد مطالعه قابل‌توجه است. این مقدار کربن آلی بالا (۱۷/۵ درصد) می‌تواند علاوه‌بر جبران کمبود ماده آلی در خاک‌های کشاورزی، آثار مطلوبی بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک بگذارد. pH لجن مورد مطالعه (pH=۶/۸۵) کمی اسیدی است. pH اسیدی برای لجن در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (افیونی و همکاران، ۱۹۹۸؛ واثقی و همکاران، ۲۰۰۵). واثقی و همکاران (۲۰۰۵)، بیان نمودند حضور اسیدهای آلی موجود در بازمانده‌های آلی و یا اسیدهای معدنی که همراه با پساب فاضلاب‌های صنعتی وارد سیستم انتقال فاضلاب می‌شوند می‌تواند دلیل pH اسیدی لجن فاضلاب باشد.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن مورد استفاده و مقایسه غلظت برخی فلزات سنگین با استانداردهای بین‌المللی.

پارامتر	واحد	لجن مورد استفاده	حد مجاز استاندارد USEPA503†	حد مجاز استاندارد اروپا▲	حد مجاز استاندارد آلمان▲	حد مجاز استاندارد کانادا▲
pH (۱:۵)	–	۶/۵۸	–	–	–	–
EC (۱:۵)	دسی‌زیمنس بر متر	۲/۲۳	–	–	–	–
کربن آلی	درصد	۱۷/۵	–	–	–	–
نیتروژن کل	درصد	۱/۳۴	–	–	–	–
C/N		۱۳/۰۶	–	–	–	–
سدیم✦✦	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۰۰	–	–	–	–
پتاسیم✦✦	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۴۰۰	–	–	–	–
فسفر✦✦✦	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۵۵	–	–	–	–
سرب کل	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۳۶	۳۰۰	۷۵۰-۱۲۰۰	۹۰۰	۵۰۰
کادمیوم کل	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۳	۳۹	۲۰-۴۰	۵-۱۰	۲۰

† (مرجع شماره ۳۹)، ▲ دامنه کم‌تر برای pH کوچک‌تر از ۷ و دامنه بیش‌تر برای pH بالاتر از ۷ (مرجع شماره ۲۱)، ✦✦ قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم و ✦✦✦ قابل استفاده به روش اولسن.

Archive of SID

www.SID.ir

غلظت سرب و کادمیوم در لجن فاضلاب مورد استفاده از حد مجاز استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا[1]، اروپا، آلمان و کانادا کم‌تر می‌باشد، که این امر نکته مثبتی در به‌کار بردن لجن فاضلاب تلقی می‌گردد. با این‌حال باید توجه داشت کاربرد طولانی‌مدت و مقادیر زیاد لجن می‌تواند موجب انباشته شدن این عناصر در خاک گردد. گزارش‌ها نشان می‌دهد، کاربرد لجن و فاضلاب شهری موجب افزایش مقادیر فلزات سنگین در خاک می‌گردد (اکدنیز و همکاران، ۲۰۰٦؛ کرمی و همکاران، ۲۰۰۷؛ بهمنیار، ۲۰۰۸؛ سینگ و اگراوال، ۲۰۱۰).

جدول ۳- آنالیز عنصری و برخی از خصوصیات زئولیت طبیعی مورد استفاده.

پارامتر	واحد	مقدار
SiO_2	درصد	٦٦/٥
Al_2O_3	درصد	۱۱/۸۱
Fe_2O_3	درصد	۱/۳۰
TiO_2	درصد	۰/۲۱
CaO	درصد	۳/۱۱
MgO	درصد	۰/۷۲
Na_2O	درصد	۲/۱۰
K_2O	درصد	۳/۱۲
P_2O_5	درصد	۰/۰۱
LOI*	درصد	۱۰/۰٦
pH (۱:٥)	–	۸/٤۹
EC (۱:٥)	دسی‌زیمنس بر متر	۰/۰۹
CEC	$cmol_c\ kg^{-1}$	۱۷۰
Pb (قابل عصاره‌گیری با DTPA)	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۲
Cd (قابل عصاره‌گیری با DTPA)	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱

* افت ناشی از احتراق.

برخی از خصوصیات زئولیت مورد استفاده در جدول ۳ نشان داده شده است. خصوصیات زئولیت عواملی هستند که کارایی آن را برای تثبیت فلزات سنگین مشخص می‌سازند. با توجه به نتایج به‌دست آمده pH زئولیت مورد استفاده قلیایی است (pH=۸/٤۹). این pH می‌تواند، فراهمی فلزات سنگین را

1- USEPA 503

Archive of SID

www.SID.ir

برای گیاهان کاهش دهد. اطلاعات جدول ۳ بیانگر ظرفیت تبادل کاتیونی بالای زئولیت مورد مطالعه (۱۷۰ $cmol_c\ kg^{-1}$) می‌باشد. آندراده و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند، زئولیت‌های طبیعی به‌دلیل جذب بالا و ظرفیت تبادل یونی بالا در دامنه گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تأثیر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در گیاه: زیست‌فراهمی فلزات سنگین در خاک به غلظت آن‌ها در محلول خاک و آزاد شدن یون‌های فلزات سنگین از فاز جامد خاک وابسته است. اگرچه برخی از فلزات سنگین برای رشد بیولوژیک مورد نیاز گیاه می‌باشند، ولی غلظت‌های کمی بیش از حد آستانه آن‌ها می تواند برای حیات گیاهی و جانوری بسیار خطرآفرین باشد (کرمی و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج نشان داد که کاربرد لجن تا تیمار ۲۰ درصد موجب افزایش غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی ذرت گردید بیش‌ترین غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی ذرت در تیمار ۲۰ درصد لجن فاضلاب مشاهده گردید (جدول ٤).

حد سمی غلظت فلزات در منابع مختلف گزارش شده است. چانی (۱۹۸۹) بیان نمود دامنه غلظت سمی برای سرب و کادمیوم به‌ترتیب ۳۰۰-۳۰ و ۳۰-۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. وسرا (۱۹۹۹) بیان نمود دامنه غلظت سمی برای سرب و کادمیوم به‌ترتیب ۲۰-۱۰ و ۱۰-۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. با توجه به دامنه گزارش شده توسط چانی (۱۹۸۹) و وسرا (۱۹۹۹)، غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی ذرت کم‌تر از غلظت آستانه بحران می‌باشد.

افیونی و همکاران (۱۹۹۸) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به‌وسیله کاهو و اسفناج دریافتند، لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار غلظت قابل عصاره‌گیری مس، روی و سرب به‌وسیله EDTA در خاک و جذب این فلزات توسط گیاه گردید. نتایج کسکین و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد، لجن فاضلاب موجب افزایش غلظت سرب در گونه‌ای از گیاهان علفی گردید. سینگ و اگراوال (۲۰۱۰) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر تجمع فلزات سنگین در برنج دریافتند لجن فاضلاب موجب افزایش غلظت سرب در ریشه، ساقه، برگ و دانه برنج گردید.

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری سرب و کادمیوم در ریشه ذرت نشان داد بین سطوح مختلف لجن فاضلاب از نظر میزان سرب و کادمیوم جذب شده تفاوت‌هایی وجود دارد، اما این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ٤). با این وجود، کاربرد لجن موجب افزایش معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) غلظت سرب و کادمیوم در ریشه ذرت نسبت به شاهد گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- نتایج مقایسه گروهی غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ذرت در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب.

سطوح لجن فاضلاب	سرب (اندام هوایی)	سرب (ریشه)	کادمیوم (اندام هوایی)	کادمیوم (ریشه)
شاهد (۰ درصد)	۱/۱۵^{b}	۲/۳^{b}	۰/۲۱^{ab}	۰/۱۳۵^{b}
۱۵ درصد	۱/۲۵۹^{b}	٦/٤۲^{a}	۰/۲۲^{ab}	۰/۳۰۹^{a}
۲۰ درصد	۱/٦۸۹^{a}	٤/۸٦^{a}	۰/۲٤۳^{a}	۰/۲٦۳^{a}
۲۵ درصد	۱/۱٦^{b}	۵/۵٤^{a}	۰/۲۰۲^{b}	۰/۲۷۹^{a}

* غلظت‌ها بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاه می‌باشد و ** در هر ستون اعدادی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۵ درصد بدون تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

تأثیر زئولیت بر غلظت فلزات سنگین در گیاه

تأثیر زئولیت بر غلظت سرب در اندام هوایی ذرت: نتایج نشان داد کاربرد زئولیت موجب کاهش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) غلظت سرب در اندام هوایی ذرت گردید (جدول ۵). جدول ۵ غلظت سرب در اندام هوایی ذرت را نشان می‌دهد که بیانگر آن است که زئولیت کارایی زیادی در کاهش غلظت سرب در اندام هوایی ذرت داشت. کاهش غلظت در هر ۳ سطح لجن مشاهده گردید. نتایج نشان داد غلظت سرب اندام هوایی در سطح ۱۵ درصد لجن فاضلاب، از ۱/۳۵۸ ppm در سطح ۰ درصد زئولیت به ۰/۸۳٤ ppm در سطح ۱۰ درصد کاهش یافت و در سطح ۲۰ درصد لجن فاضلاب، از ۱/۳۳۵ ppm در سطح ۰ درصد زئولیت به ۱/۱۱۵ ppm در سطح ۱۰ درصد زئولیت و در سطح ۲۵ درصد لجن فاضلاب از ۱/۳۹۲ ppm در سطح ۰ درصد زئولیت به ۰/۸۲٤ ppm در سطح ۵ درصد زئولیت کاهش یافت.

مقایسه گروهی سطوح زئولیت نشان می‌دهد که مقدار جذب سرب در اندام هوایی ذرت در سطح ۱۰ درصد زئولیت کم‌ترین و در سطح ۰ درصد زئولیت بیش‌ترین است (جدول ٦). افزایش سطح زئولیت تا تیمار ۱۰ درصد با کاهش غلظت سرب در اندام هوایی همراه بود، اما افزایش زئولیت در سطح ۱۵ درصد با افزایش غلظت سرب در اندام هوایی همراه بود، با این وجود غلظت سرب در اندام هوایی در این سطح زئولیت هم‌چنان کم‌تر از سطح شاهد (۰ درصد) زئولیت بود. که وجود (ppm) ۲-۱ سرب قابل عصاره‌گیری با DTPA در زئولیت می‌تواند دلیلی برای افزایش غلظت سرب در تیمار ۱۵ درصد زئولیت باشد. نتایج مشابهی در رابطه با افزایش غلظت سرب با افزایش سطح زئولیت توسط زورپاس و همکاران (۲۰۰۲) گزارش گردیده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- اثر سطوح مختلف زئولیت بر غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب.

لجن فاضلاب	زئولیت	سرب (اندام هوایی)	سرب (ریشه)	کادمیوم (اندام هوایی)	کادمیوم (ریشه)
۱۵ درصد	۰ درصد	۱/۳۵۸^{a}	۸/٤^{a}	۰/۲٤۸^{a}	۰/۳٥٤^{a}
	۵ درصد	۱/۰۱۵^{ab}	٤/۲۱^{a}	۰/۲۱٦^{ab}	۰/۲۸٦^{a}
	۱۰ درصد	۰/۸۳٤^{b}	٦/۲۷۵^{a}	۰/۱۹۵^{b}	۰/۲۸^{a}
	۱۵ درصد	۱/۱۳۲^{ab}	٦/۸^{a}	۰/۲۲۵^{ab}	۰/۳۱۸^{a}
۲۰ درصد	۰ درصد	۱/۳۳۵^{a}	۵/٤۱^{a}	۰/۲٦۸^{a}	۰/۳۲٤^{ab}
	۵ درصد	۱/۲٦۹^{a}	۳/۸۵^{a}	۰/۲۲^{a}	۰/۱۹٦^{bc}
	۱۰ درصد	۱/۱۱۵^{a}	۳/۸۳^{a}	۰/۲٤۱^{a}	۰/۱۸٦^{c}
	۱۵ درصد	۱/۳۹۵^{a}	٦/۳۷^{a}	۰/۲٤۱^{a}	۰/۳٤۷^{a}
۲۵ درصد	۰ درصد	۱/۳۹۲^{a}	٦/۳۸^{a}	۰/۲۲۸^{a}	۰/۳۲٦^{a}
	۵ درصد	۰/۸۲٤^{b}	٤/۸۵^{b}	۰/۱۷۵^{b}	۰/۲۹^{ab}
	۱۰ درصد	۱/۰٤۸^{b}	۳/٦۵^{b}	۰/۲۰۱^{ab}	۰/۲۱۳^{b}
	۱۵ درصد	۰/۹۲۸^{b}	٦/۸۵^{ab}	۰/۲۰۵^{ab}	۰/۲۸۸^{ab}

* در هر سطح لجن و در هر ستون اعدادی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۵ درصد بدون تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

نتایج محمدی‌ثانی و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد زئولیت تأثیر معنی‌داری بر کاهش غلظت سرب در بخش هوایی گندم کشت شده در ضایعات معدنی داشت. گورک (۱۹۹۲) گزارش نمود که کاربرد زئولیت مصنوعی در خاک‌های آلوده به سرب منجر به کاهش میزان سرب در گیاهان و زنجیره غذایی شده و گیاهانی که در مخلوط خاک- زئولیت رشد می‌نمایند نسبت به خاک آلوده سرب کم‌تری جذب می‌نمایند. نتایج شی و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که زئولیت می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی جذب سرب توسط گیاهان را کاهش داده و منجر به تبدیل شکل‌های قابل دسترس سرب به شکل‌های غیرقابل دسترس شود.

تأثیر زئولیت بر غلظت سرب در ریشه ذرت: نتایج نشان داد کاربرد زئولیت موجب کاهش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) غلظت سرب در ریشه ذرت گردید (جدول ۵). جدول ۵ غلظت سرب در ریشه

Archive of SID

www.SID.ir

ذرت را نشان می‌دهد که بیانگر آن است که زئولیت کارایی زیادی در کاهش غلظت سرب در ریشه ذرت داشت. کاهش غلظت در هر ۳ سطح لجن مشاهده گردید. نتایج نشان داد غلظت سرب در ریشه ذرت در سطح ۱۵ درصد لجن فاضلاب، از ppm ۸/٤ در سطح ۰ درصد زئولیت به ppm ٤/۲۱ در سطح ۵ درصد کاهش یافت و در سطح ۲۰ درصد لجن فاضلاب، از ppm ۵/٤۱ در سطح ۰ درصد زئولیت به ppm ۳/۸۳ در سطح ۱۰ درصد زئولیت و در سطح ۲۵ درصد لجن فاضلاب از ppm ٦/۳۸ در سطح ۰ درصد زئولیت به ppm ۳/٦۵ در سطح ۱۰ درصد زئولیت کاهش یافت.

مقایسه گروهی سطوح زئولیت نشان می‌دهد که مقدار جذب سرب در ریشه ذرت در سطح ۱۰ درصد زئولیت کم‌ترین و در سطح ۰ درصد زئولیت بیش‌ترین است (جدول ٦). افزایش سطح زئولیت تا تیمار ۱۰ درصد با کاهش غلظت سرب در ریشه همراه بود، اما افزایش زئولیت در سطح ۱۵ درصد با افزایش غلظت سرب در اندام هوایی همراه بود، با این وجود غلظت سرب در اندام هوایی در این سطح زئولیت هم‌چنان کم‌تر از سطح شاهد (۰ درصد) زئولیت بود. که وجود ppm ۲-۱ سرب قابل عصاره‌گیری با DTPA در زئولیت می‌تواند دلیلی برای افزایش غلظت سرب در تیمار ۱۵ درصد زئولیت باشد.

زورپاس و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که مقدار قابل‌توجهی از سرب موجود در لجن فاضلاب با به‌کار بردن زئولیت قابل برداشت است. اما نتایج محمدی‌ثانی و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد غلظت سرب در ریشه گیاهانی که در ضایعات معدنی اصلاح شده با زئولیت رشد کرده بودند، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. هم‌چنین نتایج کاستالدی و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد کاربرد زئولیت موجب کاهش غلظت سرب در گونه‌ای گل گردید، اما این کاهش غلظت از نظر آماری معنی‌دار نبود.

جدول ٦- نتایج مقایسه گروهی غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ذرت در سطوح مختلف زئولیت.

سطوح زئولیت	سرب (اندام هوایی)	سرب (ریشه)	کادمیوم (اندام هوایی)	کادمیوم (ریشه)
شاهد (۰ درصد)	۱/۹۵^{a}	٦/۸۸۳^{a}	۰/۲٤۸^{a}	۰/۳۳۵^{a}
۵ درصد	۱/۱۲۷^{b}	٤/۵۸۸^{bc}	۰/۲۰۲^{b}	۰/۲۵۷^{b}
۱۰ درصد	۱/۰۱۵^{b}	٤/۳۰۵^{c}	۰/۲۱۲^{b}	۰/۲۲٦^{b}
۱۵ درصد	۱/۳۷۹^{b}	٦/٦۷۵^{ab}	۰/۲۲۳^{ab}	۰/۳۱۸^{a}

* غلظت‌ها بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاه می‌باشد و ** در هر ستون اعدادی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۵ درصد بدون تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

تأثیر زئولیت بر غلظت کادمیوم در اندام هوایی ذرت: نتایج نشان داد کاربرد زئولیت موجب کاهش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) غلظت کادمیوم در اندام هوایی ذرت گردید (جدول ۵). نتایج این جدول بیانگر آن است که زئولیت کارایی زیادی در کاهش غلظت کادمیوم در اندام هوایی ذرت داشت. کاهش غلظت در هر ۳ سطح لجن مشاهده گردید. نتایج نشان داد غلظت کادمیوم در اندام هوایی ذرت در سطح ۱۵ درصد لجن فاضلاب، از ۰/۲٤۸ ppm در سطح ۰ درصد زئولیت به ۰/۱۹۵ ppm در سطح ۱۰ درصد کاهش یافت و در سطح ۲۰ درصد لجن فاضلاب، از ۰/۲٦۸ ppm در سطح ۰ درصد زئولیت به ۰/۲۲ ppm در سطح ۵ درصد زئولیت و در سطح ۲۵ درصد لجن فاضلاب از ۰/۲۲۸ ppm در سطح ۰ درصد زئولیت به ۰/۲۷۵ ppm در سطح ۵ درصد زئولیت کاهش یافت. مقایسه گروهی سطوح زئولیت نشان می‌دهد که مقدار جذب کادمیوم در ریشه ذرت در سطح ۵ درصد زئولیت کم‌ترین و در سطح ۰ درصد زئولیت بیش‌ترین است (جدول ٦).

زورپاس و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که مقدار قابل‌توجهی از کادمیوم موجود در لجن فاضلاب با به‌کار بردن زئولیت قابل برداشت است. نتایج انصاری‌مهابادی و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد کاربرد ۱۵ درصد زئولیت موجب کاهش به‌ترتیب ۹۱، ۹۳، ۹۸ و ۹۷ درصد کادمیوم شسته شده در خاک‌های رسی، شنی، شن لومی و لومی شد.

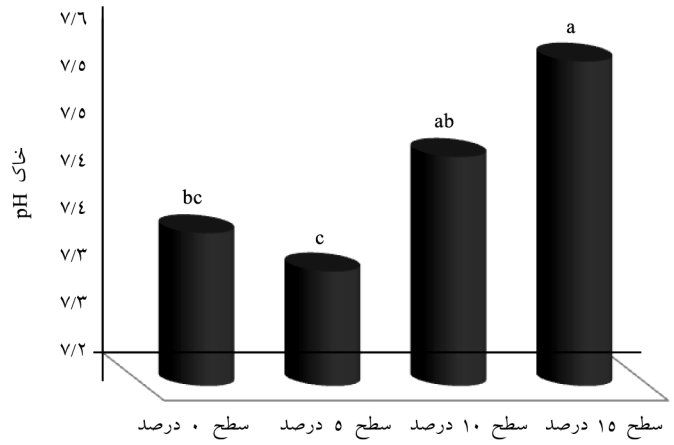
تأثیر زئولیت بر غلظت کادمیوم در ریشه ذرت: نتایج نشان داد کاربرد زئولیت موجب کاهش معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) غلظت کادمیوم در ریشه ذرت گردید (جدول ۵). مقایسه گروهی سطوح زئولیت نشان می‌دهد که مقدار جذب کادمیوم در ریشه ذرت در سطح ۱۰ درصد زئولیت کم‌ترین و در سطح ۰ درصد زئولیت بیش‌ترین است (جدول ٦).

خصوصیات زئولیت عواملی هستند که کارایی آن را برای تثبیت فلزات سنگین مشخص می‌سازند. با توجه به نتایج به‌دست آمده pH زئولیت مورد استفاده قلیایی است (pH=۸/٤۹). این pH می‌تواند دسترسی فلزات سنگین را برای گیاهان کاهش دهد. شی و همکاران (۲۰۰۹)، بیان نمود که زئولیت طی ۳ مرحله منجر به تثبیت فلزات سنگین سنگین و کاهش جذب توسط گیاه می‌شود: در ابتدا زئولیت حل شده محیطی قلیایی را در خاک ایجاد می‌نماید که سبب رسوب فازهای نامحلول می‌شود. این فاز نوتشکیل شامل فلزات به‌عنوان جزء اصلی است. سپس افزایش قلیائیت جذب فلزات به‌وسیله سطوح کمپلکس را بهبود می‌بخشد. سطح کانی‌ها در pH پایین بار مثبت دارند، که با افزایش pH بار منفی تولید شده و جذب کاتیون‌ها را میان کمپلکس‌های پایدار با بنیان‌های منفی در سطح افزایش می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۱ اثر سطوح مختلف زئولیت مورد استفاده بر pH خاک را نشان می‌دهد که بیانگر افزایش pH خاک در اثر کاربرد زئولیت است. کم‌ترین مقدار pH خاک در تیمار ۵ درصد زئولیت و بیش‌ترین مقدار آن در تیمار ۱۵ درصد زئولیت مشاهده گردید.



شکل ۱- اثر سطوح مختلف زئولیت بر pH خاک.

کوارول و همکاران (۲۰۰٦) گزارش نمودند که مواد زئولیتی به‌طور قابل‌توجهی شستشوی فلزات سنگین را در خاک کاهش می‌دهد. آن‌ها دلیل جذب فلزات روی زئولیت را افزایش pH، به‌علت خاصیت قلیایی مواد زئولیتی بیان کردند. چیانگ و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی ترکیبات مختلف برای افزایش تثبیت فلزات سنگین لجن فاضلاب بیان نمودند، زئولیت به‌دلیل داشتن ظرفیت تبادل یونی و خاصیت قلیایی بالا به‌طور قابل‌توجهی میزان سرب قابل عصاره‌گیری با DTPA و در نتیجه سرب قابل استفاده برای گیاه موجود در لجن فاضلاب را کاهش می‌دهد. انصاری‌مهابادی و همکاران (۲۰۰۷) اثر زئولیت طبیعی از نوع کلینوپتیلولیت بر تثبیت کادمیوم در خاکی آلوده در استان گیلان را بررسی و دریافتند که کاربرد زئولیت در خاک، شستشوی کادمیوم خاک را کاهش می‌دهد. نتایج آن‌ها نشان داد کاربرد زئولیت در خاک‌های با بافت مختلف موجب افزایش pH خاک‌ها گردید. آن‌ها دلایل تثبیت فلزات سنگین توسط زئولیت را ظرفیت تبادل کاتیونی بالای مخلوط خاک- زئولیت و سطوح pH بالاتر بیان کردند. در حالی‌که نتایج محمدی‌ثانی و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد زئولیت تأثیری بر pH

www.SID.ir

خاک نداشت. حمیدپور و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه تحرک و قابلیت دسترسی سرب و کادمیوم جذب شده روی زئولیت دریافتند که واجذبی سرب و کادمیوم از سطح زئولیت کم بوده است، که این امر نشان‌دهنده توانایی بالای زئولیت در تثبیت این دو عنصر است. واجذبی سرب و کادمیوم از زئولیت فرایندی کند است، بنابراین زئولیت پتانسیل بالایی برای تثبیت سرب و کادمیوم در مکان‌های آلوده به این فلز را دارد. اردم و همکاران (۲۰۰٤) بیان نمودند پدیده جذب فلزات سنگین در کلینوپتیلولیت به تراکم بار و قطر یون هیدراته بستگی دارد و زئولیت طبیعی پتانسیل بالایی برای برداشت گونه‌های کاتیونی فلزات سنگین از فاضلاب صنعتی دارد. ترتیب جذب فلزات سنگین توسط زئولیت توسط پژوهشگران زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. زورپاس و همکاران (۲۰۰۳) بیان نمودند ترتیب جذب فلزات سنگین توسط زئولیت به‌صورت زیر است:

$$Cd > Cu > Ni > Cr > Pb$$

اسپریناسکای و همکاران (۲۰۰۷) بیان نمودند ترتیب جذب فلزات سنگین توسط زئولیت به‌صورت زیر گزارش کردند:

$$Pb > Cd > Cr > Ni > Cu$$

نتایج هم‌چنین نشان داد، غلظت سرب جذب شده توسط ریشه به مراتب بیش‌تر از اندام هوایی گیاه ذرت بود. نتایج مشابهی توسط واثقی و همکاران (۲۰۰۱) و کاستالدی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده است. این امر یک نکته مثبت تلقی می‌گردد چرا که از انتقال آن به زنجیره غذایی جلوگیری می‌کند. از سوی دیگر، با توجه به تجمع فلزات سنگین مانند سرب در ریشه گیاهان، کاربرد ترکیباتی که شامل مقادیری از فلزات سنگین می‌باشند مانند لجن فاضلاب، در کشت گیاهانی مانند هویج که از ریشه آن‌ها در تغذیه استفاده می‌گردد، توصیه نمی‌گردد.

توزیع کادمیوم در اندام‌های گیاه کاملاً متغیر است و به‌وضوح مشخص شده است، که به سرعت از ریشه‌ها به اندام هوایی و در واقع به برگ‌ها منتقل می‌شود. کادمیوم در گیاهان بسیار متحرک بوده، اگرچه انتقال کادمیوم در بافت‌های گیاهی ممکن است محدود باشد، زیرا کادمیوم به راحتی در مکان‌های تبادلی ترکیبات فعال موجود در دیواره سلولی نگهداری می‌شود (کاباتا- پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۱).

بهمنیار (۲۰۰۸) با بررسی تأثیر مصرف فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی بر میزان برخی از عناصر سنگین خاک و گیاهان دریافت، میزان کادمیوم، نیکل، کروم و سرب تجمع‌یافته در ریشه برنج به‌دلیل

Archive of SID

www.SID.ir

انتقال کم سرب به اندام هوایی و دانه بیش‌تر از اندام هوایی و دانه برنج بود. برونتی و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند تجمع بیش‌تر فلزات کروم، مس، سرب و روی در ریشه نسبت به اندام هوایی نشان‌دهنده مکانیسم تحمل گیاه در غلظت‌های بالای فلزات در خاک می‌باشد.

نتیجه‌گیری

کاربرد لجن فاضلاب تا سطح ۲۰ درصد موجب افزایش غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی ذرت گردید، با این وجود غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی ذرت کم‌تر از غلظت آستانه بحران بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده غلظت سرب جذب شده توسط ریشه به مراتب بیش‌تر از اندام هوایی گیاه ذرت بود. این امر یک نکته مثبت تلقی می‌گردد چرا که از انتقال آن به زنجیره غذایی جلوگیری می‌کند. از سوی دیگر، با توجه به تجمع فلزات سنگین مانند سرب در ریشه گیاهان، کاربرد ترکیباتی که شامل مقادیری از فلزات سنگین می‌باشند مانند لجن فاضلاب، در کشت گیاهانی مانند هویج که از ریشه آن‌ها در تغذیه استفاده می‌گردد، توصیه نمی‌گردد.

یافته‌های این پژوهش نشان داد کاربرد زئولیت موجب کاهش غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ذرت گردید و زئولیت کارایی خوبی برای کاهش جذب فلزات سنگین سرب و کادمیوم توسط ذرت داشت.

با توجه به کارایی زئولیت در کاهش مقدار جذب سرب و کادمیوم توسط ذرت و فراوانی منابع زئولیت در کشور و همچنین برتری‌های اقتصادی استفاده از این اصلاح‌کننده، کاربرد آن به همراه لجن فاضلاب غنی از فلزات سنگین توصیه می‌شود. کاربرد زئولیت به همراه لجن فاضلاب باعث کاهش خطر آلودگی گیاهان به فلزات سنگین گردیده و در نتیجه امکان استفاده از لجن فاضلاب را افزایش داده و موجب افزایش ارزش کودی لجن فاضلاب می‌گردد. با این وجود، پژوهش‌های بیش‌تر به‌ویژه در شرایط مزرعه‌ای در این زمینه نیاز است.

منابع

1.Abbasi, M., Najafi, N., Aliasgharzad, N., and Oustan, Sh. 2012. Effects of soil water conditions, sewage sludge and chemical fertilizers on concentrations of rice macronutrients in an alkaline soil. J. Soil Manage. Sust. Prod. 2: 1. 1-26. (In Persian)

2.Adriano, D.C. 2001. Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, Bioaviability and Risks of Metal. 2nded. Springer Verlag, New York, 879p.

Archive of SID

www.SID.ir

3.Afyuni, M., Rezainejad, Y., and Khayambashi, B. 1998. Effect of Sewage Sludge on Yield and Heavy Metal Uptake of Lettuce and Spinach. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 2: 1. 19-30. (In Persian)
4.Akdeniz, H., Yilmaz, I., Bozkurt, M.A., and Keskin, B. 2006. The effect of sewage sludge and nitrogen applications on crain sorghum grown (Sorghum *vulgare* L.) in Van-Turkey. J. Environ. Stud. 15: 19-26.
5.Allison, L.E. 1965. Organic carbon. P 1372-1376, In: Black, C.A., D.D. Evans, L.J. White, L.E. Ensminger and F.E. Clark (eds.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI.
6.Allison, L.E., and Moodie, C.D. 1965. Carbonate. P 1379-1396, In: Black, C.A., D.D. Evans, L.J. White, L.E. Ensminger and F.E. Clark (eds.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI.
7.Anderade, E., Solis, C., Aceves, J.M., Miranda, R., Cruz, J., Rocha, M.F., and Zavala, E.P. 2008. Characterization of naturaul and modified zeolites using ion beam analysis techniques. Instr. and Meth. In Phys. Res. 226: 2379-2382.
8.Ansari Mahabadi, A., Hajabbasi, M.A., Khademi, H., and Kazemian, H. 2007. Soil cadmium stabilization using an Iranian natural zeolite. Geoderma. 137: 388-393.
9.Bagherifam, S., Lakzian, A., and Rezaei, M. 2010. Uranium Removal from Aqueous Solutions by Iranian Natural Zealite-Riched Clinoptiolite. J. Water and Soil. 24: 2. 208-217. (In Persian)
10.Bahmanyar, M.A. 2008. The effects of municipal wastewater application on some heavy metals in soils and cultivated plants. J. Environ. Stud. 33: 44. 19-26. (In Persian)
11.Benton, J., and Case, V.W. 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. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI., USA.
12.Brunetti, G., Karam, F., Rovira, P.S., Nigro, F., and Sensi, N. 2011. Greenhouse and field studies on Cr, Cu, Pb and Zn phytoextraction by *brassica napus* from contaminated soils in the Apulia region, southern Italy. Geoderma, 160: 517-523.
13.Castaldi, P., Santona, L., and Melis, P. 2005. Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth.Chemosphere. 60: 365-371.
14.Chaney, R.L. 1989. Scientific analysis of proposed sludge rule. Biocycle. 30: 80-85.
15.Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. P 891-901, In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E. and Clark, F.E. (eds.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI.
16.Chiang, K.Y., Huang, H.J., and Chang, C.N. 2007. Enhancmet of heavy metal stabilization by different amendments during sewage sludge composting process. Environ. Engin. Manage. 17: 4. 249-256.

Archive of SID

www.SID.ir

17.Chlopecka, A., and Adriano, D.C. 1997. Influence of zeolite, apatite and Fe-oxide on Cd and Pb uptake by crops. The Science of the Total Environment, 207: 195-206.
18.Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. P 545-567, In: Black, C.A., Evans D.D., White L.J., Ensminger L.E. and Clark F.E. (eds.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI.
19.Erdem, E., Karapinar, N., and Donat, R. 2004. The removal of heavy metal cations by natural zeolites. J.Colloid and Interface Sci. 280: 309-314.
20.Gworek, B. 1992. Lead inactivation in Soils by zeolites. Plant Soil. 143: 71-74.
21.Hamidpour, M., Afyuni, M., Kalbasi, M., Khoshgoftarmanesh, A.A., and Inglezakis, V.J. 2010. Mobility and plant-aviability of Cd (II) and Pb adsorbed on zeolite and bentonite.Applied Clay Sci. 48: 342-348.
22.Hosseini Abari, S.A., Kaveh, M.E., and Saleh Parhizkar, M.R. 2007. Reaserch of chemical structure of the natural zeolites and their advantages for usage as amendments in agriculture soils. J. Sci. (Islamic Azad University); 17: 64. 11-18. (In Persian)
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.Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace element in soil and plant, Third Edition. CRC Press Boca Raton Washington, 618p.
25.Karami, M., Rezainejad, Y., Afyuni, M., and Shariatmadari, H. 2007. Cumulative and Residual Effects of Sewage Sludge on Lead and Cadmium Concentration in Soil and Wheat. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 11: 1. 79-95. (In Persian)
26.Keskin, B., Bozkurt, M.A., and Akdeniz, H. 2010. The effects of sewage sludge and nitrogen fertilizer application on nutrient (*Bromus inermis leyss*). J. Anim. Vet. Adv. 9: 5. 896-902.
27.Khodaverdiloo, H., and Hamzenejad Taghlidabad, R. 2011. Sorption and Desorption of Lead (Pb) and Effect of Cyclic Wetting-Drying on Metal Distribution in Two Soils with Different Properties. Water and Soil Sci. 21: 1. 149-163. (In Persian)
28.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. Soil Research (formerly Austr. J. Soil Res.). 49: 5. 444-454.
29.Knudson, D., and Peterson, G.A. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. P 225-246, In: Page A.L. et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Argon. Monogr. 9. ASA. Madison, WI.
30.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1987. Development of DTPA Soil test for Zinc, Iron, Mangnese and Copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
31.Ming, D.W., and Mumpton, F.A. 1989. Zeolites in soils. P 873-909, In Minerals in Soil Environments (2nd Edition). SSSA. Madison, WI.

Archive of SID

www.SID.ir

32.Mohammadi Sani, M., Astaraei, A., Fotovat, A., and Lakziyan, A. 2011. Inactivation of Lead and Zinc in Mine Waste using Zeolite and TSP and its effect on wheat growth. Iran. J. Field Crops Res. 8: 6. 956-964. (In Persian)
33.Mohammadi Sani, M., Astaraei, A., Fotovat, A., Lakziyan, A., and Taheri, M. 2011. The Effect of Zeolite and TSP on Speciation of Pb, Zn and Cd in Mine Waste. J. Water and Soil. 25: 1. 42-50. (In Persian)
34.Najafi, N., and Mardomi, S. 2012. The Effects of Waterlogging, Sewage Sludge and Manure on the Growth Characteristics of Sunflower in a Sandy Loam Soil. J. Water and Soil. 25: 6. 1264-1276. (In Persian)
35.Najafi, N., Mardomi, S., and Oustan, Sh. 2012. The Effect of Waterlogging, Sewage Sludge and Manure on Selected Macronutrients and Sodium Uptake in Sunflower Plant in a Loamy Sand Soil. J. Water and Soil. 26: 3. 619-636. (In Persian)
36.Nazari, M.A., Shariatmadari, H., Afyuni, M., Mobli, M., and Rahili, Sh. 2006. Effect of Industrial Sewage-Sludge and Effluents Application on Concentration of Some Elements and Dry Matter Yield of Wheat, Barley and Corn. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 10: 3. 97-111. (In Persian)
37.Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, US Gov. Printing Office, Washington, DC.
38.Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. ASA and SSSSA. Madison, WI.
39.Querol, X., Alastuey, A., and Moreno, N. 2006. Immobilization of heavy metals in polluted soils by the addition of zeolitic material synthesized from coal fly ash. Chemosphere. 62: 171-180.
40.Rezapour, S., Samadi, A., and Khodaverdiloo, H. 2011. An Investigation of the Soil Property Changes and Heavy Metal Accumulation in Relation to Long-term Wastewater Irrigation in the Semi-arid Region of Iran. Soil and Sediment Contamination: An Inter. J. 20: 7. 841-856.
41.Shi, W.Y., Shao, H.B., Li, H., Shao, M.A., and Du, S. 2009. Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. J. Hazardous Mater. 170: 1-6.
42.Singh, R.P., and Agrawal, M. 2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73: 632-641.
43.Sprynskyy, M., Kosobucki, P., Kowalkowski, T., and Buszewski, B. 2007. Influence of clinoptilolite rock on chemichal speciation of selected heavy metals in sewage sludge. J. Hazardous Mater. 149: 310-316.
44.U.S. Environmental Protection Agency. 1993. Clean water act. Section 503, Vol. 58, No. 32, USEPA, Washington, DC.

Archive of SID

www.SID.ir

45. Vaseghi, S., Shariatmadari, H., Afyuni, M., and Mobli, M. 2001. Effects of Sewage Sludge on Heavy Metal concentrations of Spinach and Lettuce in soils with different pH. J. Sci. Technol. Hort. 2: 3-4. 125-142. (In Persian)
46. Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., and Mobli, M. 2003. Effects of Sewage Sludge and Soil pH on Micronutrient and Heavy Metal Availability. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 7: 3. 95-106. (In Persian)
47. Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., and Mobli, M. 2005. Effect of Sewage Sludge on Some Macronutrients Concentration and Soil Chemical Properties. J. Water and Waste Water. 53: 15-22. (In Persian)
48. Vecera, Z. 1999. Additional comments about trace elements in crop plants. Acadamy of Science of the czech Republic Brno, veveri 97.61142.
49. Zorpas, A.A., Constantinides, T., Vlyssides, A.G., Haralambous, I., and Loizidou, M. 2000. Heavy metal uptake by natural zeolite and metals partitioning in sewage sludge compost. Boiresource Technology. 72: 113-119.
50. Zorpas, A.A., Vassilis, I., Loizidou, M., and Grigoropoulou, H. 2002. Particle size effect on uptake of heavy metals from sewage sludge compost using natural zeolite clinoptilolite. J. Colloid and Interface Sci. 250: 1-4.
51. Zorpas, A.A., Arapoglou, D., and Panagiotis, K. 2003. Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production. Waste Management, 23: 27-35.

Archive of SID

www.SID.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(4), 2013
http://jwsc.gau.ac.ir

Influence of Iranian natural zeolites, clinoptilolite on uptake of lead and cadmium in applied sewage sludge by Maize (*Zea mays.* L.)

K. Saadat[1] and *M. Barani Motlagh[2]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 10/05/2012; Accepted: 12/30/2012

Abstract

Application of sewage sludge in agricultural lands is a suitable selection for solving management problems of sewage sludge, besides its economic benefits. Of the main limiting factors to use sewage sludge is its high content of heavy metals such as lead and cadmium. The aim of this study was to investigate the influence of natural Zeolite on lead and cadmium uptake by maize (*Zea mays.* L.) from sewage sludge. For this purpose, a factorial greenhouse experiment as a complete randomized design with four replications was conducted. Different levels of sewage sludge with 15, 20 and 25% (w/w) and zeolite with 0, 5, 10 and 15% (w/w) and an un-amended control pot were used in order to examine the sewage sludge influence. The results showed that the use of sewage sludge up to 20% rate leads to increase lead concentration in maize shoots, but this increase was statistically significant only in 20% rate of sewage sludge into control treatment. The use of sewage sludge leads to significant concentration increase of lead and cadmium in roots. The result showed that application of zeolite leads to significant decrease of lead and cadmium concentrations in shoots and roots of maize and significant increase of soil pH.

Keywords: Lead, Cadmium, Sewage sludge, Zeolite

* Corresponding Author; Email: mbarani2002@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir