

علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره یازدهم، شماره دو، تابستان ۸۸

اثر مصرف لجن فاضلاب و کلرید کادمیوم بر انتقال این عنصر در خاک و جذب آن به وسیله گیاه

مهران هودجی^۱ (مسئول مکاتبات)
مجید افیونی^۲

تاریخ دریافت: ۸۶/۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۸۶/۴/۷

مصرف لجن فاضلاب با غلظت های بالای فلزات سنگین ، غلظت این عناصر را در خاک، آب های زیرزمینی و زنجیره غذایی افزایش می دهد. در این تحقیق اثر لجن فاضلاب و کلرید کادمیوم بر غلظت کادمیوم و انتقال این عنصر در خاک و جذب آن به وسیله گیاه مورد بررسی قرار گرفته است. لجن فاضلاب شهری به میزان ۵۰ تن در هکتار به همراه کلرید کادمیوم با غلظت های صفر، ۴۲/۵ و ۸۵ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم بر اساس وزن خشک لجن در قالب یک طرح بلوک تصادفی در سه تکرار مصرف گردید. در مرحله اول گیاه شاهی کشت شد. سی روز پس از کشت از عمق ۲۰ سانتی متری خاک، همچنین از اندام هوایی و ریشه گیاه شاهی نمونه برداری شد . در مرحله دوم گیاه کاهو و اسفناج کشت گردید و ۱۸۴ روز پس از اعمال تیمارها از اعماق ۲۰ ، ۴۰ ، ۶۰ ، ۸۰ ، ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی متری خاک، همچنین از اندام هوایی و ریشه کاهو و اسفناج نمونه برداری شد. سپس غلظت کادمیوم قابل استخراج با $DTPA^3$ ($DTPA-Cd$) و کادمیوم کل در نمونه های خاک و غلظت کادمیوم در نمونه های گیاه اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که بین غلظت $DTPA-Cd$ و غلظت کل کادمیوم در عمق ۲۰ سانتی متری خاک ، ۳۰ و ۱۸۴ روز پس از اعمال تیمارها همبستگی مثبت و معنی داری وجود دارد (به ترتیب $R^2 = 0/91$ و $R^2 = 0/86$). افزودن کلرید کادمیوم به خاک منجر به افزایش معنی دار غلظت $DTPA-Cd$ در عمق ۲۰ سانتی متری خاک گردید. مصرف لجن فاضلاب و کلرید کادمیوم بر انتقال کادمیوم در خاک اثر معنی داری نداشت. مصرف کلرید کادمیوم سبب افزایش معنی دار غلظت کادمیوم در اندام هوایی و ریشه گیاهان گردید. بین غلظت $DTPA-Cd$ و غلظت کادمیوم در ریشه شاهی ، کاهو و اسفناج همبستگی مثبت و معنی داری (به ترتیب $R^2 = 0/98$ ، $R^2 = 0/89$ و $R^2 = 0/76$) مشاهده شد.

واژه های کلیدی: لجن فاضلاب ، کادمیوم ، انتقال و جذب گیاه

۱- استادیار گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان

۲- استاد گروه خاک شناسی ، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه صنعتی اصفهان

مقدمه

Berti and Jacobs در مطالعه یک خاک سطحی که به مدت ۱۰ سال با لجن فاضلاب تیمار شده بود، نشان دادند که مقادیر قابل توجهی از کادمیوم، نیکل و روی به شکل های قابل حل در آب، تبادلی و قابل حل در اسید در لایه سطحی خاک وجود دارد که احتمال جذب آن ها به وسیله گیاه و آبشویی به لایه های پایین تر پروفیل خاک بیش از سایر شکل های این عناصر است (۸).

نسبت های کاربرد لجن فاضلاب و یا هرگونه پس ماند های دارای عناصر کمیاب ممکن است بر اساس حد بارگیری^۱ و تجمع فلزات سنگین تعیین گردد ولی این نسبت ها را می توان بر اساس ظرفیت تبادل کاتیونی^۳ خاک نیز محاسبه نمود. حدود بارگیری عنصر، با افزایش CEC خاک افزایش می یابد. اثر CEC در جذب فلزات سنگین به وسیله Logan and Chaney تعیین گردیده است (۹).

جذب فلزات سنگین به وسیله گیاه در اراضی کشاورزی که در آن ها لجن فاضلاب مصرف شده یکی از راه های عمده و غیر مستقیم ورود فلزات سنگین به ویژه کادمیوم به زنجیره غذایی انسان است (۱۰). در مورد کادمیوم این واقعیت مطرح است که به سهولت به وسیله گیاهان جذب شده و در غلظت هایی که برای گیاهان سمی نیست در محصولات تجمع می یابد. مصرف این محصولات اثرات زیان آوری بر سلامت انسان و دام به همراه دارد (۱۱). مطالعات در مزرعه و گل خانه نشان دهنده افزایش غلظت فلزات سنگین به خصوص کادمیوم در گیاهان در اثر مصرف مستقیم لجن فاضلاب و ترکیبات این فلزات است (۱۲). وجود کادمیوم در لجن فاضلاب به جذب این عنصر در گیاهان کمک می نماید. مقدار ورود کادمیوم به خاک های کشاورزی عموماً بیش از خروج این عنصر از طریق آبشویی است. کادمیوم در لایه های سطحی خاک تیمار شده با لجن فاضلاب تجمع یافته و به وسیله گیاهان جذب می شود (۱۳ و ۱۴). عوامل مختلفی بر

افزودن لجن فاضلاب شهری و صنعتی به خاک به دلیل حضور مواد آلی و عناصر غذایی در آن ها می تواند اثرات مفیدی بر رشد و عملکرد محصولات زراعی داشته باشد. لجن فاضلاب ممکن است حاوی فلزات سنگین نظیر کادمیوم، کروم، کبالت، مس، روی، سرب، منگنز و نیکل باشد که از نظر جنبه های زیست محیطی حایز اهمیت است (۱). بررسی اثرات زیست محیطی، اکولوژیکی و تجمع فلزات سنگین در خاک و تاثیر آن بر سلامتی موجودات زنده طی سال های اخیر به شدت مورد توجه بوده است. بنا بر این اندازه گیری حرکت و قابلیت دسترسی^۱ فلزات سنگین در خاک برای تعیین سرنوشت این عناصر در خاک و اصلاح آیین نامه های زیست محیطی برای کاهش توان خطرات آلایندهی آن ها ضروری است (۳ و ۲).

در سال های اخیر توجه فراوانی به حرکت کادمیوم در خاک و ورود آن به زنجیره غذایی شده است. در شرایط طبیعی خاک، معمولاً کادمیوم دارای غلظت های بسیار پایین است، اما مقادیر قابل توجهی از این عناصر به طرق مختلف از جمله مصرف کودهای شیمیایی فسفره و لجن فاضلاب به خاک اضافه می شود که می تواند وارد زنجیره غذایی شود (۴).

Christensen and Tjell نشان دادند که بیش از ۹۰٪ کادمیومی که به وسیله گیاهان جذب می شود مربوط به افق های سطحی خاک است. برخی از محققان به بررسی پتانسیل آب شویی فلزات سنگین از لایه های شخم به افق های پایین تر خاک پرداخته اند. این محققان بیان می کنند که حرکت فلزات سنگین به طرف افق های پایین تر خاک یا اصولاً انجام نمی شود و یا به ۱۰ سانتی متری زیر لایه اختلاط لجن با خاک محدود می گردد (۵ و ۶).

Dowdy et al. در مطالعات خود نشان دادند که ۱۴ سال پس از مصرف لجن فاضلاب، تقریباً ۵٪ از کادمیوم و روی موجود در لجن به طور عمودی حرکت کرده و بالاتر از افق C یعنی کمتر از ۶۰ سانتی متر زیر عمق اختلاط لجن با خاک قرار می گیرد (۷).

2- Loading.

3- Cation Exchange Capacity .

1-Availability

خاک شناسی، خاک منطقه جزء رده آرییدی سولز بوده و بر اساس تاکسونومی خاک در حد فامیل: کرمیک، هاپلوتوررتز، فاین کربناتیک، ترمیک^۲ است. برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

غلظت کادمیوم در گیاه موثرند. از جمله این عوامل می توان به غلظت کادمیوم در خاک و لجن فاضلاب، واکنش خاک (pH)، نوع گیاه، شرایط آب و هوایی و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک اشاره نمود (۱۵ و ۹).

Keeney et al. در یک بررسی، گیاه ذرت را با دو نوع لجن فاضلاب با غلظت های ۲ و ۱/۶ میلی مول در کیلو گرم کادمیوم تیمار نمودند. نتایج نشان داد که میزان کادمیوم جذب شده به وسیله ذرت در لجن فاضلاب با غلظت کادمیوم بالا تر بیشتر بوده است (۱۶).

Sloan et al. طی یک تحقیق در اراضی کشاورزی که به طور متوالی با لجن فاضلاب تیمار شده بودند، گزارش نمودند که غلظت کادمیوم در اندام هوایی کاهو با مصرف لجن فاضلاب افزایش معنی دار داشته است و بین غلظت کادمیوم در کاهو با غلظت این عنصر در خاک همبستگی بالایی وجود دارد. نتایج این تحقیق نشان داده که ۱۵ سال پس از مصرف لجن فاضلاب، دستیابی زیستی^۱ نسبی کادمیوم اضافه شده به خاک در اثر مصرف لجن بیش از سایر فلزات سنگین خاک است (۱۷). در استان اصفهان لجن و پساب فاضلاب برای تولید محصولات زراعی و صیفی جات طی ۳۰ سال گذشته به طور مستمر مصرف شده است. لذا تعیین میزان حرکت فلزات سنگین ناشی از مصرف لجن فاضلاب در خاک و اثر کاربرد این ماده در جذب فلزات سنگین توسط گیاهان از اهمیت بسزایی برخوردار است. هدف از این تحقیق بررسی اثر مصرف لجن فاضلاب با غلظت های متفاوت کادمیوم بر انتقال این عنصر در خاک و جذب آن به وسیله گیاهان است.

مواد و روش ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان) واقع در طول جغرافیایی ۴۵ و ۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ۴۰ و ۳۲ شمالی اجرا گردید. متوسط بارش سالانه حدود ۱۴۰ میلی متر و میزان تبخیر سالانه حدود ۲۰۰۰ میلی متر است. با توجه به مطالعات

2 - Chromic, Haplotrerte, Fine, Carbonatic, Thermic

1 - Bioavailability

جدول ۱ - برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	pH (1:2)	EC _e (dS m ⁻¹)	CEC (cmole kg ⁻¹)	O.M (%)	CaCO ₃ (%)	Total Cd (mg kg ⁻¹)	DTPA-Cd (mg kg ⁻¹)
۴۰/۱	۲۲/۷	۳۲/۲	۸/۹	۳/۷	۱۸/۵	۱/۹۶	۴۱/۸	۰/۱	۰/۰۲

طور یکنواخت با لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی متری) خاک مخلوط گردید. لجن فاضلاب مورد استفاده از تصفیه خانه شمال شهر اصفهان تهیه و به صورت لجن تثبیت شده مصرف گردید که برخی از خصوصیات شیمیایی آن در جدول ۲ ارائه شده است.

این تحقیق به روش آماری بلوک تصادفی شامل پنج تیمار در سه تکرار در زمینی به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع در ۱۵ کرت هر یک به ابعاد ۱۶ متر مربع اجرا گردید. تیمار لجن فاضلاب در دو سطح (صفر و ۵۰ تن در هکتار بر اساس وزن خشک لجن) که پس از کوبیدن و عبور از الک ۲ میلی متری به

جدول ۲ - برخی از خصوصیات شیمیایی لجن فاضلاب

pH (1:2)	EC _e (dS m ⁻¹)	CEC (cmole kg ⁻¹)	O.M (%)	P (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
۶/۶	۱۰/۹	۶۴/۲	۳۰/۱	۱۲۰۰	۹۷۵	۱۱۳	۲/۲۵

بود. سی و ۱۸۴ روز پس از مصرف لجن فاضلاب از اعماق ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی متری خاک از طریق حفر پروفیل نمونه برداری شد. از اندام هوایی و ریشه کاهو و اسفناج نیز نمونه برداری شد.

برای اندازه گیری غلظت فلزات سنگین قابل جذب در خاک از عصاره گیر DTPA ۰/۰۰۵ مولار، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و تری اتانول آمین^۳ ۰/۱ مولار استفاده شد. pH محلول عصاره گیر توسط HCl در ۷/۳ تنظیم می گردد. بدین ترتیب که ۲۵ گرم خاک هوا خشک را در یک استوانه سانتریفیوژ ریخته و به آن ۵۰ میلی لیتر از محلول عصاره گیر اضافه می کنیم. نمونه ها برای مدت دو ساعت به وسیله دستگاه شیکر در ۱۲۰ دور در دقیقه تکان داده شد و به مدت ۵ دقیقه در ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس به کمک کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شده و با استفاده

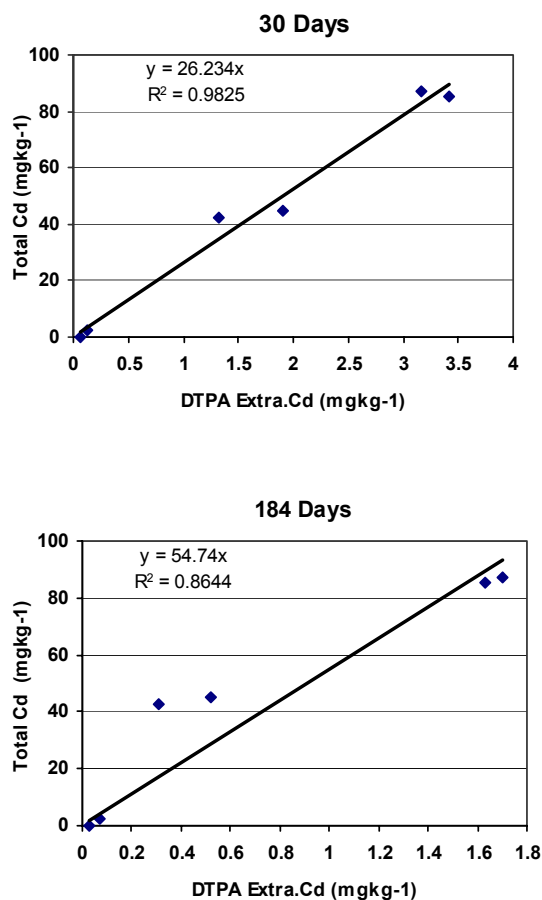
تیمار کلرید کادمیوم در سه سطح (صفر، ۴۲/۵ و ۸۵ میلی گرم در کیلوگرم) که به وسیله سم پاش دستی به طور یکنواخت با خاک و لجن مخلوط گردید. حداکثر غلظت بحرانی^۱ کادمیوم مطابق استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا^۲ ۸۵ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک لجن فاضلاب گزارش شده است (۱۹۱۸).

سپس اقدام به کشت گیاه شاهی *Lepidum sativum* (L.) نمودیم. سی روز پس از کشت شاهی از اندام هوایی و ریشه شاهی و همچنین از عمق ۲۰ سانتی متری خاک نمونه برداری و برای تعیین غلظت کل و غلظت DTPA-Cd در خاک و غلظت کادمیوم در گیاه به آزمایشگاه منتقل شد. در مرحله بعد گیاه کاهو (*Lattuca sativa* L.) و اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) کشت شد. تعداد کل دفعات آبیاری ۱۴ و میزان آب آبیاری در هر نوبت ۸ سانتی متر

1- Maximum Critical Concentration (MCC).

2- U.S.Environmental Protection Agency (USEPA).

3-Triethanol Amine



شکل ۱ - همبستگی بین غلظت کل کادمیوم و غلظت DTPA-Cd در عمق ۲۰ سانتی متری خاک

اثر مصرف لجن فاضلاب بر غلظت DTPA-Cd، ۳۰ و ۱۸۴ روز پس از اعمال تیمارها هیچ گونه اختلاف معنی داری با شاهد نداشت ولی با گذشت زمان غلظت DTPA-Cd کاهش یافته است. جذب کادمیوم به سطوح بار دار مواد آلی موجود در لجن مانع از افزایش غلظت DTPA-Cd در خاک شده است (۱). در هر دو دوره زمانی اضافه کردن کلرید کادمیوم به خاک باعث افزایش معنی دار غلظت DTPA-Cd در عمق ۲۰ سانتی متری خاک در تیمار لجن فاضلاب و تیمار فاقد لجن نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۲).

غلظت کل کادمیوم در لجن فاضلاب ۲/۲۵ میلی گرم بر کیلو گرم است بنابراین با افزودن ۵۰ تن لجن در هکتار

از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی مدل پرکین المر^۱ 3030 با دقت ۰/۱ میلی گرم در لیتر غلظت فلزات سنگین قابل استخراج با DTPA در محلول صاف تهیه شده اندازه گیری شد (۲۰).

برای اندازه گیری غلظت فلزات سنگین در گیاه، ۱ گرم پودر گیاه را در یک بالن ۱۰۰ میلی لیتری ریخته سپس ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۱:۱ به آن اضافه می نماییم. بالن را بر روی هات پلیت^۲ قرار داده و به مدت پانزده دقیقه در ۹۵ درجه سانتی گراد حرارت می دهیم. پس از سرد شدن بالن، ۵ میلی لیتر دیگر اسید نیتریک ۱:۱ اضافه نموده و مجدداً به مدت سی دقیقه در ۹۵ درجه سانتی گراد حرارت می دهیم تا حجم محلول حاصل به ۵ میلی لیتر تقلیل یابد. سپس ۲ میلی لیتر آب مقطر و ۳ میلی لیتر آب اکسیژنه ۳۰٪ به آن اضافه می کنیم. پس از پایان هضم، ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک غلیظ اضافه نموده و به مدت پانزده دقیقه بدون جوشش حرارت می دهیم. پس از سرد شدن بالن، عصاره حاصل را با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف نموده و غلظت فلزات سنگین در عصاره را با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی اندازه گیری می نماییم (۲۱).

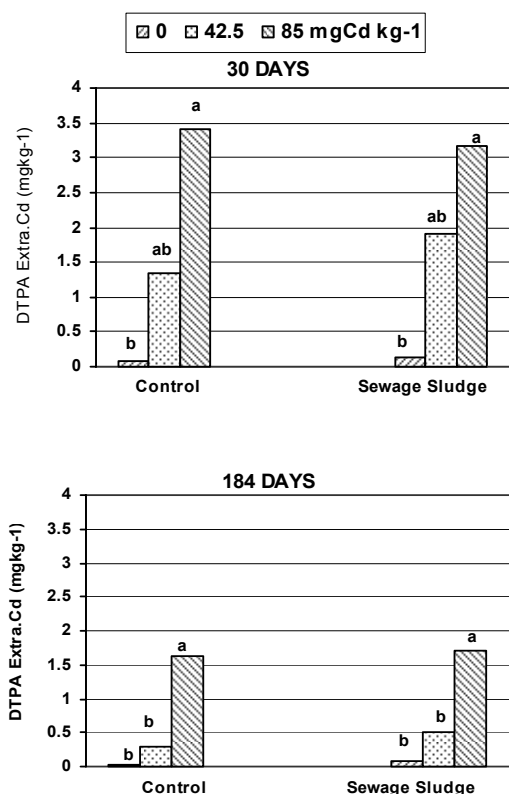
نتایج حاصل از اندازه گیری ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS (ویرایش ۱۹۹۷) آنالیز گردید و مقایسه میانگین ها از طریق آزمون جدید چند دامنه ای دانکن^۳ صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثر تیمارها بر غلظت کادمیوم در خاک:

نتایج نشان داد که بین غلظت کل کادمیوم و غلظت DTPA-Cd در عمق ۲۰ سانتی متری خاک ۳۰ و ۱۸۴ روز پس از اعمال تیمارها همبستگی مثبت (به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۸۶) و معنی داری وجود دارد (شکل ۱).

- 1-Atomic Absorption Spectrophotometer-Perkin Elmer 3030
- 2-Hot Plate.
- 3-Duncan's New Multiple Range Test (DMRT).



شکل ۲- مقایسه میانگین های غلظت DTPA-Cd در

عمق ۲۰ سانتی متری خاک

بررسی غلظت DTPA-Cd به عنوان تابعی از عمق

نشان دهنده فقدان اختلاف معنی دار بین تیمارهای لجن فاضلاب و فاقد لجن فاضلاب در هر سه سطح کادمیوم می باشد. کادمیوم در هر دو تیمار لجن فاضلاب و فاقد لجن فاضلاب در تمام سطوح کلرید کادمیوم ۱۸۴ روز پس از اعمال تیمارها تا عمق ۶۰ سانتی متری خاک حرکت نموده و از این عمق به بعد تیمارهای اعمال شده هیچ گونه اثر معنی داری بر غلظت DTPA-Cd در پروفیل خاک نداشت (شکل ۳). آبیاری سطحی زیاد و وجود درز و شکاف های موجود در خاک منطقه باعث انتقال معنی دار کادمیوم تا عمق ۶۰ سانتی متری پروفیل خاک شده است که از لحاظ زیست محیطی حایز اهمیت است. این نتایج نشان می دهد که با گذشت زمان و کشت و کار در منطقه احتمال انتقال کادمیوم به عمق های پایین تر وجود دارد و ممکن است باعث آلودگی منابع آب های زیرزمینی شود. et al. Barbarick et al. همچنین نیز در تحقیقات

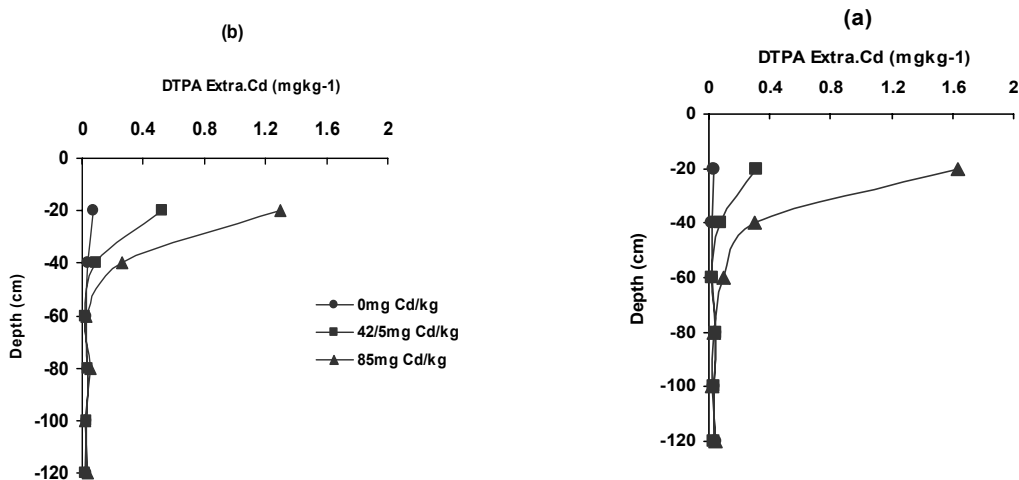
مقادیر قابل ملاحظه ای کادمیوم به خاک اضافه می شود. از طرفی خاک مورد مطالعه دارای pH قلیایی و ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی است و در نتیجه بخش عمده کادمیوم اضافه شده، به شکل غیر قابل دسترس تبدیل می شود. گذشت زمان پس از مصرف کلرید کادمیوم باعث شد تا غلظت DTPA-Cd در خاک به صورت معنی دار کاهش یابد (شکل ۲). غلظت DTPA-Cd در فاصله زمانی ۳۰ و ۱۸۴ روز پس از مصرف کلرید به طور متوسط ۲/۵ و ۲/۳ برابر به ترتیب در تیمار فاقد لجن فاضلاب و دارای لجن فاضلاب کاهش داشته است. این نتایج نشان می دهد که با گذشت زمان کادمیوم وارد واکنش هایی می شود که باعث کاهش حلالیت آن در خاک می گردد. این واکنش ها شامل رسوب (به دلیل pH بالای خاک) و جذب سطحی بر روی سطوح کلوییدی خاک (به دلیل CEC بالای خاک) می باشد. در حقیقت به دلیل مرطوب شدن خاک در اثر آبیاری و دمای بالای هوای منطقه، ماده آلی موجود در لجن فاضلاب تجزیه شده و کادمیوم معدنی آزاد شده در محیط خاک سریعاً رسوب یافته یا جذب سطوح موجود در خاک می شود. بنابراین با گذشت زمان مقدار DTPA-Cd در خاک کاهش می یابد.

Sommers et al. در یک تحقیق ۵ ساله وضعیت

کادمیوم ناشی از مصرف لجن فاضلاب را بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان دهنده افزایش غلظت DTPA-Cd در عمق شخم بود. از طرفی غلظت DTPA-Cd با گذشت زمان در عمق ۲۰ سانتی متری خاک کاهش یافته است (۲۲). در مطالعه Brown et al. گزارش های متفاوتی در مورد اثر زمان بر غلظت کادمیوم قابل جذب توسط گیاهان ارایه شده است (۲۳).

های قابل حل در آب ، تبدالی و قابل حل در اسید در لایه سطحی خاک تیمار شده با لجن فاضلاب وجود دارد (۲۴ و ۲۵).

خود تجمع فلزات سنگین از جمله کادمیوم را در لایه شخم خاک تیمار شده با لجن فاضلاب گزارش نمودند. این محققان نشان دادند که مقدار قابل توجهی از کادمیوم خاک به شکل



شکل ۳- پروفیل غلظت DTPA-Cd در تیمار شاهد (a) و لجن فاضلاب (b)

داری داشته است. مصرف کلرید کادمیوم بر غلظت کادمیوم در اندام هوایی و ریشه هر سه گیاه نسبت به تیمار شاهد اثر معنی داری داشته است.

اثر تیمارها بر غلظت کادمیوم در گیاه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) مصرف لجن فاضلاب فقط بر غلظت کادمیوم در اندام هوایی شاهی اثر معنی

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت کادمیوم در گیاهان

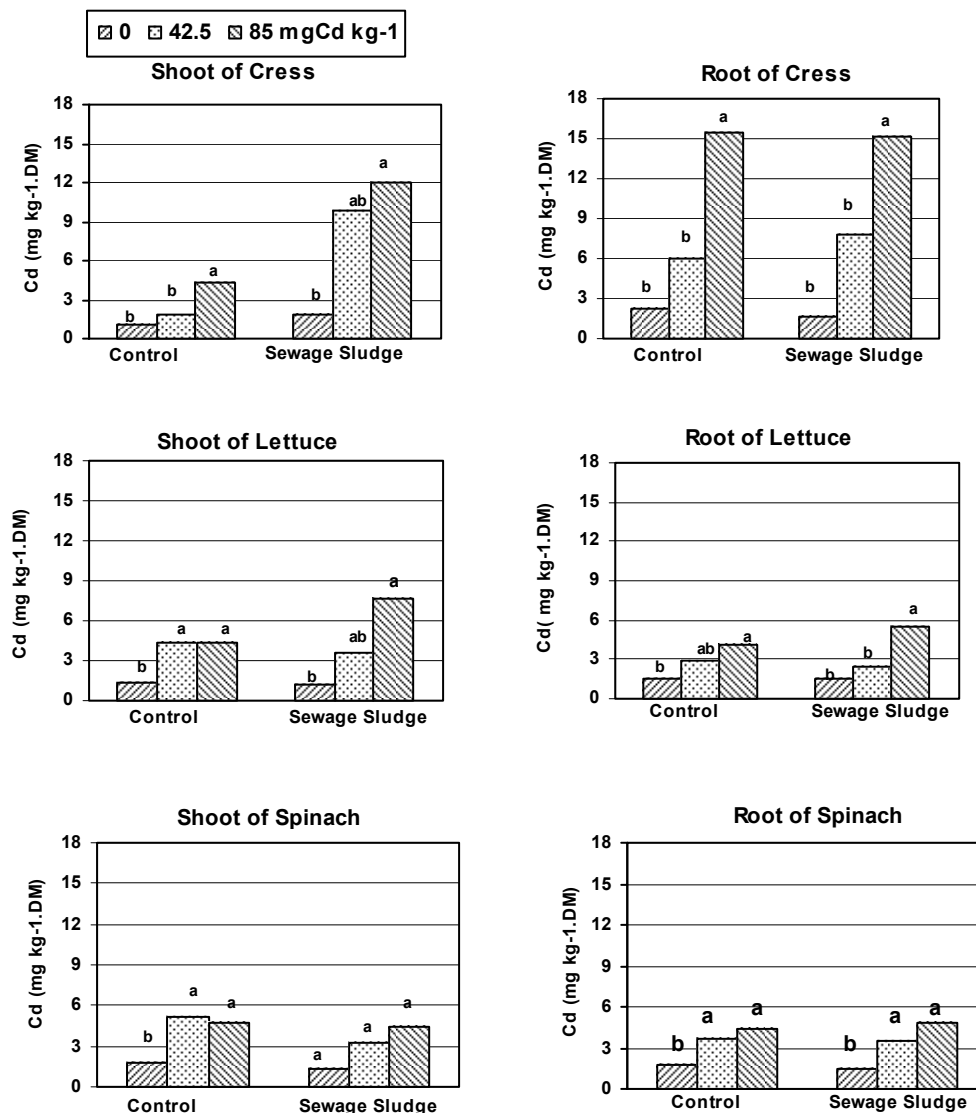
میانگین مربعات (mg.kg ⁻¹ .DM) ²						درجه آزادی	منبع تغییرات
اسفناج		کاهو		شاهی			
ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی		
۰/۰۱	۴/۴۹۳	۰/۴۳	۲/۰۶۳	۷۶/۶۱۶	۸/۱۴۳	۲	تکرار
۰/۰۱ ^{ns}	۱۱/۵۲۳ ^{ns}	۰/۸۱ ^{ns}	۱/۵۶۳ ^{ns}	۱۰/۳۲۷ ^{ns}	۷۱/۸۰۳ ^{**}	۲	لجن
۱/۲۰۵	۵/۸۳۳	۱/۲۲۵	۲/۹۲۸	۱۷/۸	۰/۸۷۳	۴	خطا
۲۳/۷۹ ^{**}	۴۲/۵۴۳ ^{**}	۱۸/۳۹ ^{**}	۴۵/۳۶۳ ^{**}	۲۵۹/۱۴۶ [*]	۸۱/۴۲۳ ^{**}	۲	عنصر
۰/۵۵ ^{ns}	۳/۰۸۳ ^{ns}	۴/۲۹ [*]	۴/۲۱۳ ^{ns}	۱۳/۲۲۱ ^{ns}	۱۴/۲۵۸ ^{ns}	۴	لجن × عنصر
۱/۷۱۷	۲/۳۰۱	۰/۸۶۵	۳/۳۶۵	۴۶/۰۹۱	۶/۳۲۲	۱۲	خطا

ns: معنی دار نیست.

*: در سطح ۵٪ معنی دار است. **: در سطح ۱٪ معنی دار است.

مختلف کادمیوم نسبت به تیمار شاهد است (شکل ۴).

مقایسه میانگین‌ها نشان دهنده اختلاف معنی دار غلظت کادمیوم در اندام هوایی و ریشه شاهی کاهو و اسفناج در سطوح



شکل ۴ - مقایسه میانگین‌های غلظت کادمیوم در اندام هوایی و ریشه گیاهان

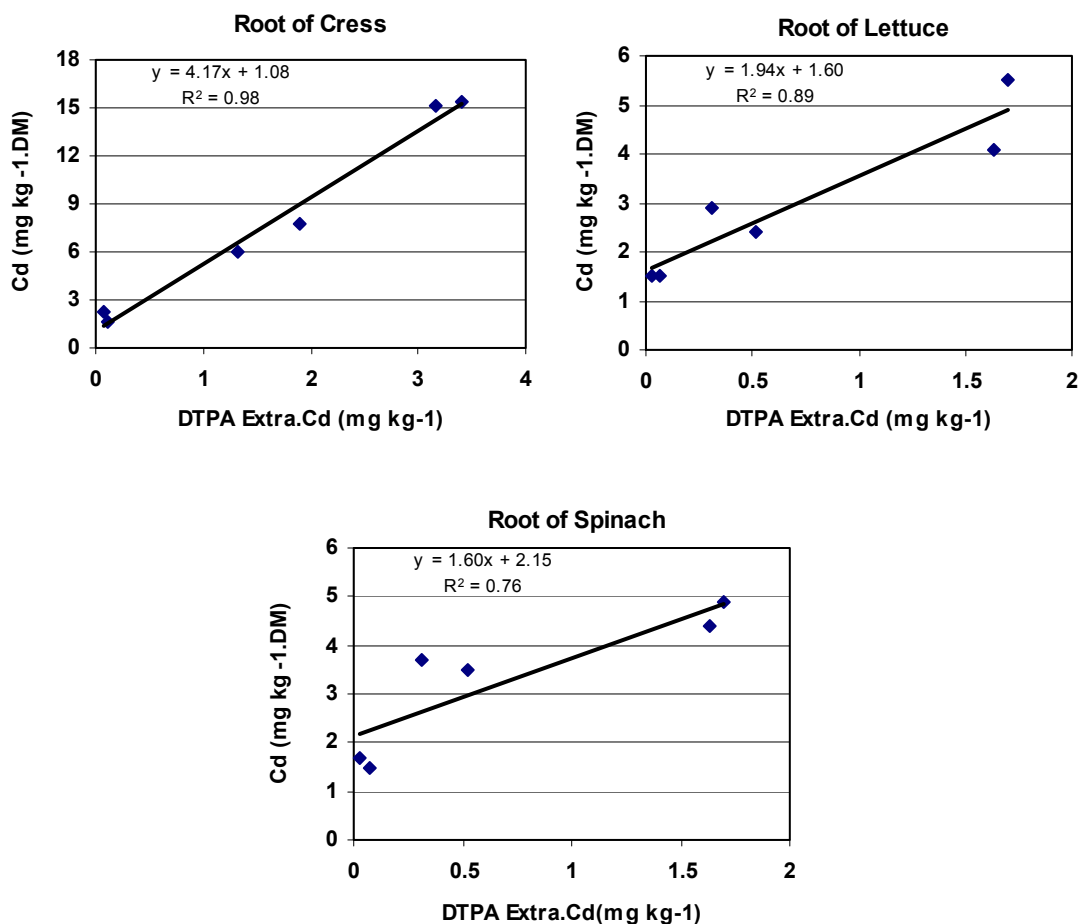
محققان بیان نمودند که خطر انتقال کادمیوم ناشی از لجن فاضلاب به زنجیره غذایی از خطر انتقال آن از طریق اضافه شدن املاح کادمیوم کمتر است (۲۳).

بین غلظت DTPA-Cd و غلظت کادمیوم در ریشه شاهی، کاهو و اسفناج همبستگی مثبت (به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۸۹ و ۰/۷۶) و معنی داری وجود دارد (شکل ۵). Jing and

افزودن کلرید کادمیوم به خاک سبب افزایش معنی دار غلظت این عنصر در گیاه شد. Brown et al. در یک بررسی نشان دادند که غلظت کادمیوم در کاهو در خاک تیمار شده با دو نوع لجن فاضلاب حاوی سطوح مختلف کادمیوم اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارد ولی مصرف کلرید کادمیوم بر غلظت کادمیوم در کاهو اثر معنی داری داشته است. این

کاهو با مصرف لجن فاضلاب افزایش داشته و بین غلظت کادمیوم خاک با غلظت این عنصر در کاهو همبستگی مثبت و معنی دار وجود دارد (۱۷).

Logan نیز در یک تحقیق همبستگی بین غلظت کادمیوم موجود در لجن را با غلظت کادمیوم گیاه نشان دادند (۱۱). Sloan et al. بیان نمودند که غلظت کادمیوم در اندام هوایی



شکل ۵- همبستگی بین غلظت DTPA-Cd و غلظت کادمیوم در ریشه گیاه

سپاس‌گزاری

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان) اجرا و به نتیجه رسید. بدین وسیله از ریاست محترم دانشگاه جناب آقای دکتر احمد علی فروغی، معاون محترم پژوهشی دانشگاه جناب آقای دکتر ابراهیم بهداد، جناب آقای مهندس محمد مهدی قیصری و سرکار خانم دکتر آرزو طهمورث پور تشکر و قدردانی می‌گردد.

با توجه به اثرات مفید لجن فاضلاب در رشد و تغذیه گیاهان مصرف آن باید با توجه به ترکیب شیمیایی لجن، به خصوص غلظت فلزات سنگین موجود در آن و همچنین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک صورت پذیرد. در طی دو دهه گذشته تحقیقات زیادی در زمینه مطالعه آبشویی فلزات سنگین انجام گرفته و حرکت رو به پایین فلزات سنگین حاصل از مصرف لجن فاضلاب در خاک ارزیابی شده است. نتایج کلی این مطالعات نشان داده است که حرکت رو به پایین فلزات سنگین تحت شرایط معمول خاک‌های زراعی در محل‌های مصرف لجن فاضلاب مشکلی ایجاد نمی‌کند (۲۵).

منابع

- years of annual sludge applications. *J. Environ. Qual.* 20: 119-123.
8. Berti, W. R., and L.W. Jacobs. 1996. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge application. *J. Environ. Qual.* 25: 1025 -1023.
 9. Logan, T.J. and R.L. Chaney.1983. Utilization of municipal wastewater and sludge on land - metals .pp .235-326 .In: A . L . Page, T . L . Gleason, III, J.E. Smith, Jr I . K .Iskandar , and L . E . Sommers (eds.). Proceeding of the 1983 workshop on utilization of municipal wastewater and sludge on land. University of California Riverside.
 10. Chaney, R.L. 1990. Public health and sludge utilization. Part2. *Biocycle* 31: 68- 73.
 11. Jing, J., T.J. Logan. 1992. Effects of sewage sludge cadmium concentration on chemical extractability and plant uptake. *J. Environ. Qual.* 21: 73-81.
 12. Krebs. R., S.K. Gupta, G. Furrer, R. Schulin. 1998. Solubility and plant uptake of metals with and without liming of sludge amended soils. *J. Environ. Qual.* 27:18-23.
 13. Jensen, A., and F. Bro - Rasmussen. 1992. Environmental cadmium in Europe. *Rev Environ. Contam, Toxicol.* 125: 101-181
 14. Temmerman, L.O., M. Hoenig, and P.O. Scokart. 1984. Determination of "normal" levels and upper limit values of trace elements in soils. *Z. Pflanzen. Bodenk* 147:687-694.
 15. Mc Bride, M. B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of
 1. Berti. W.R., and L.W. Jacobs. 1998. Distribution of trace elements in soil from repeated sewage sludge applications. *J. Environ. Qual.* 27: 1280-1286.
 2. Davies, B. E(ed.). 1980. Applied trace elements. J. Willey, Chichester, London.
 3. .Davies, B. E. 1992. Trace metals in the environment: Retrospect and prospect . pp. 1-17. In: D. C. Adriano(ed.) Biogeochemistry of trace elements. Lewis Publishers. Boca Raton
 4. Jackson, A.P.,and B.J. Alloway. 1995. The transfer of Cd from agricultural soils to the human food chain. pp. 109-158. In: D.C. Adriano,(ed.) Biogeochemistry of trace metals. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
 5. Christensen, T.,and J.Tjell. 1983. Interpretation of experimental results on cadmium crop uptake from sewage amended soil. pp. 358-370. In: P. L'Hermite and H. Ott(eds.) Processing and use of sewage sludge. D. Reidel Publishing Company,Dordrecht, the Netherlands.
 6. Welch, R. M., W. H. Allawya, W . A .House, and J. Kubota . 1991. Geographic distribution of trace element problems.pp.31-57.In: J.J Mortvedt et al. (eds). Micronutrients in agriculture.(2nd Ed.) SSSA book series No. 4. Soil Science Society of America, Madison, WI.
 7. Dowdy. R. H., J.J. Latterel, T.D. Hinesly, R.B. Grossman, and D.L. Sullivan. 1991.Trace metal movmenet in an aeric ochraqualf following 14

- analysis. Part2-Chemical and microbiological properties (2nd Ed.) Agronomy 9.
21. Soon, Y.K., S. Abboud. 1993. Cadmium, chromium, lead and nickel. pp.103-107. In: M. R .Carter (ed.) Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers.
 22. Sommers, L.E., A.L. page, T.J. Logan, and J.A. Ryan. 1991. Optimum use of sewage sludge on agricultural land. Western Regional Res. Publ. W-124 Colorado Agric. Exp. Stn., Fort Collins.
 23. Brown, S.L., R.L. Chaney, J. Scott. Angle and J.A. Ryan. 1998. The phytoavailability of cadmium to lettuce in long – term biosolids - amended soils. J. Environ. Qual. 27:1071-1078.
 24. Barbarick. K.A., J.A. Ippolito, and D.G. Westfall. 1998. Extractable trace elements in the soil profile after years of biosolids application. J. Environ. Qual. 27:801 -805.
 25. Yingming, L., and R. B. Corey. 1993. Redistribution of sludge - borne cadmium copper and zinc in a cultivated plot. J. Environ. Qual. 22: 1-8.
 - sludge: Are USEPA regulations protective. J. Environ. Qual. 24:5-18.
 16. Keeney, D.R., R.B. Corey, P.A. Helmke, L.L. Hendrickson, R.L. Koreter, M.A. Turner, A.T. Shammass, K.D. Kunz, R. Fujii and P.H. Williams. 1980. Heavy metal bioavailability in sludge - amended soils. R8046140. Waste Recovery Environmental laboratory, USEPA, Cincinnati, OH.
 17. Sloan, J.J., R.H. Dowdy, M.S. Dolan, and D.R. Linden. 1997. Long term effects of biosolids applications on heavy metal bioavailability in agricultural soils. J. Environ. Qual. 26: 966-974
 18. Pais, I. J., Jr. Benton Jones. 1997. "The hand book of trace elements." Publishing by: St. Lucie Press Boca Raton Florida.
 19. Huang, P. M., and I. K. Iskandar. 2000. Soils and ground water pollution and remediation: Asia, Africa, and Oceania. Lewis Publishers. Boca Raton. London New York Washington, D.C
 20. Baker, D.E., and M.C. Amacher. 1982. Nickel, copper, zinc, and cadmium. pp.323-334. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) Methods of soil