Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد دهم، شماره سوم، ۱۳۹۹
۱۱۵-۱۳٤
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.17554.1925

اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت روی، مس، کادمیم و سرب در گیاه تربچه و ریحان و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک

مریم نیک‌قدمی[۱]، *امیر فتوت[۲] و رضا خراسانی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، [۳]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به رشد جمعیت و تولید روز افزون ضایعات (پسماند) شهری، مخاطرات زیست‌محیطی این ضایعات یکی از مهم‌ترین چالش‌های امروزی اکثر شهرهاست که مطمئن‌ترین راه پیشگیری از انباشته شدن این مواد، افزودن آن به زمین‌های کشاورزی است. این امر به‌خصوص در کشورهایی با آب و هوای خشک به‌دلیل کمبود مواد آلی خاک بیش‌تر مورد توجه می‌باشد. با توجه به مصرف سرانه سبزیجات در کشور و استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان بارورکننده خاک ممکن است خطر آلودگی خاک ناشی از حضور فلزات سنگین در خاک و گیاه سلامت انسان و موجودات را تهدید کند بر همین اساس لازم است تا مطالعات و بررسی‌هایی در زمینه سنجش اثر کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت عناصر روی، کادمیم، سرب و مس در ریشه و اندام هوایی گیاه ریحان و تربچه که جز سبزیجات پر مصرف مردم هستند، انجام شود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب شهری تصفیه‌خانه التیمور مشهد بر غلظت عناصر سنگین کادمیم، مس، سرب و روی در اندام هوایی و زیرزمینی دو گیاه تربچه (*Raphanus sativus*) ریحان (*Ocimum basilicum*) آزمایشی گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار شامل سطوح مختلف (۰، ۱۰، ۲۰، ٤۰ و ۸۰) تن در هکتار لجن فاضلاب و در ۳ تکرار انجام شد. برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در لجن فاضلاب و خاک از روش تیزاب سلطانی استفاده شد و تعیین غلظت فلزات گیاه به روش هضم خشک انجام شد.

یافته‌ها: نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب تأثیر معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) بر غلظت این چهار عنصر در دو گیاه تربچه و ریحان داشت. با افزایش لجن فاضلاب غلظت عناصر در ریشه و اندام هوایی دو گیاه نسبت به شاهد افزایش یافت. افزایش عنصر روی در هر دو گیاه نسبت به دیگر عناصر قابل‌توجه بود. افزایش غلظت عناصر در دو گیاه روند مشابهی داشت. این افزایش به‌ترتیب روی> مس> سرب> کادمیم در ریشه و اندام هوایی بود. هم‌چنین غلظت فلزات در گیاه تربچه نسبت به گیاه ریحان بیش‌تر بود.

* مسئول مکاتبه: afotovat@um.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب در خاک باعث تغییراتی در ویژگی‌های شیمیایی خاک از جمله کاهش pH خاک، افزایش هدایت الکتریکی و کربن آلی خاک شد. هم‌چنین در تیمار سطح آخر لجن فاضلاب (L_4) دو گیاه دچار سمیت شدند و در کم‌ترین سطح از تیمار لجن فاضلاب، سمیت و آسیبی در گیاهان مشاهده نشد. سمیت عناصر در تیمار سطح یک لجن فاضلاب (L_1) در این گیاهان مشاهده نشد ولی به‌نظر می‌رسد کاربرد مداوم سطح ۱۰ تن در هکتار لجن در خاک باید محتاطانه و با پایش مستمر انجام شود. اما با توجه به نتایج این مطالعه، کاربرد کم‌ترین سطح لجن فاضلاب نیز باید با دقت و پایش مستمر انجام شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، سبزیجات، عناصر سنگین، لجن فاضلاب

مقدمه

آلودگی خاک به تجمع مواد شیمیایی در یک محل و یا حضور موادی که بیش‌تر از حد در یک مکان تجمع یافته‌اند اشاره دارد که اثرات منفی روی موجودات زنده و محیط زیست دارند. آلودگی خاک، اغلب نمی‌تواند مستقیماً قابل ارزیابی یا مشاهده باشد بنابراین حضور آن می‌تواند یک خطر پنهان باشد. تنوع آلاینده‌ها همواره در حال تغییر و تحول است که ناشی از توسعه‌های صنعتی و مواد شیمیایی است. یکی دیگر از منابع آلودگی کاربرد لجن فاضلاب به‌عنوان کاربری اراضی است. در سال‌های اخیر کاربرد لجن فاضلاب در خاک‌های کشاورزی به‌عنوان یک روش نسبتاً ایمن برای دفن پسماند حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری مورد توجه قرار گرفته (۱) و ارزش کودی آن در پژوهش‌های متعدد در کشورهای مختلف نشان داده شده است (۸). کاربرد لجن فاضلاب به‌عنوان کود آلی باید تعادل بین حاصلخیزی خاک و آلودگی خاک به فلزات سنگین را تعیین کند (۲٦). استفاده از لجن فاضلاب به‌خصوص در کشورهایی با آب و هوای خشک مثل ایران به‌دلیل کمبود مواد آلی، بیش‌تر مورد توجه می‌باشد. کودهای آلی به‌طور مؤثری می‌توانند سبب افزایش رشد محصولات شوند و وزن خشک و اندام هوایی و ریشه گیاهان را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش دهند (۳۲).

لجن فاضلاب علاوه بر تأثیر بر غلظت عناصر غذایی موجود در خاک، بر خواص شیمیایی خاک مانند pH، هدایت الکتریکی و کربن آلی نیز اثرگذار است (۳). تجزیه مواد آلی موجود در لجن می‌تواند منجر به تولید اسیدهای آلی مانند اسید مالیک، پروپونیک و اسید سیتریک شود و نهایتاً باعث کاهش pH خاک می‌شوند و هم‌چنین فرایندهای نیتریفیکاسیون، سولفوریکاسیون و اکسیداسیون مواد آلی نیز در این مورد اثرگذار است. لجن فاضلاب هم‌چنین قابلیت هدایت الکتریکی بالایی دارد که باعث شوری خاک می‌شود (۳۰). اپنتروس (۲۰۱۰) با بررسی تعریف فلزات سنگین و نقش آن‌ها در سیستم‌های بیولوژیکی به این نتیجه رسید که بر خلاف جنبه‌های مفید لجن فاضلاب به‌عنوان کود آلی، ممکن است به‌دلیل وجود مقادیر نسبتاً زیاد فلزات سنگین کاربرد آن به‌ویژه در مقادیر زیاد درکشاورزی مشکل‌ساز باشد. هم‌چنین می‌تواند باعث انباشته شدن بیش از حد فلزات سنگین (۲) و افزایش غلظت کل و قابل‌دسترس آن‌ها در خاک شود (٤). دلگن و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند سبزیجاتی مانند کلم، اسفناج، تربچه و سبزیجات برگی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب توانایی تجمع فلزات سنگین از جمله کادمیم، مس، کروم، نیکل، روی و سرب را دارند بنابراین استفاده طولانی‌مدت از لجن سبب تجمع فلزات

www.SID.ir

Archive of SID

سنگین در خاک می‌شود (۸). از آن‌جا که مصرف سبزیجات به‌دلیل وجود کربوهیدارات‌ها، پروتئین، ویتامین، مواد معدنی و عناصر کم‌مصرف از اهمیت بالایی برخوردار است با انجام پژوهشی در کشور هند و بررسی اثر کاربرد لجن در جذب فلزات سنگین در گیاهان برگی مشخص شد که احتمال خطرپذیری عناصر روی، کروم و سرب نیز بالاست (۵). با توجه به اهمیت مصرف سبزیجات در چرخه غذایی انسان و بررسی مضرات فلزات سنگین برای موجودات زنده لازم است با انجام مطالعات و بررسی عوامل آلاینده در محصولات کشاورزی سلامت غذایی سبزیجات عمده مصرفی استان خراسان رضوی مورد سنجش قرار گیرد. بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت عناصر روی، کادمیم، سرب و مس در ریشه و اندام هوایی گیاه ریحان و تربچه بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک و لجن فاضلاب: پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۸–۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. خاک مورد آزمایش از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری، از مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی شهر مشهد تهیه شده و سپس هوا خشک گردید. برخی خصوصیات اولیه خاک اندازه‌گیری شدند. لجن مورد استفاده (از نوع هضم شده و بی‌هوازی)، از تصفیه‌خانه التیمور مشهد تهیه شد. نمونه‌های خاک و لجن به‌مدت ۱ هفته در دمای بیرون هوا خشک شدند. برای انجام تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی، نمونه‌های خشک شده خاک و لجن فاضلاب از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شدند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار لجن فاضلاب شهری شامل سطوح ۰، ۱۰، ۲۰، ٤۰ و ۸۰ تن در هکتار معادل (C=۰، L_1=۰/۳۸، L_2=۰/۷٦، L_3=۱/۵۳، L_4=۳/۰۷) درصد لجن و در سه تکرار اجرا گردید. برای اعمال تیمارها، مقادیر متفاوت لجن بر حسب گرم برای هر کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد و نمونه‌های خاک و لجن به خوبی با یکدیگر مخلوط شدند، و پس از آن به‌مدت یک ماه برای رسیدن به تعادل بدون انجام کشت رها شدند. برای کشت گیاه در ابتدا گلدان‌های ۳ کیلویی مورد استفاده قرار گرفت و بر اساس جرم مخصوص ظاهری مزرعه با خاک و لجن پر شدند. در هر گلدان بذر تربچه (*Raphanus sativus*) به تعداد ۱۵ عدد و بذر ریحان (*Ocimum basilicum*) به تعداد ۲۵ عدد کشت شد. سپس گیاه ریحان پس از ۳۵ روز و تربچه پس از ۲٦ روز در گلدان‌ها تنک شده، به‌گونه‌ای که در هر گلدان برای تربچه ۳ بوته و برای ریحان ۸ عدد نگه داشته شد. در مدت رشد گیاهان در گلخانه (به‌مدت ۷۰ روز)، عملیات آبیاری تا رساندن خاک به رطوبت ظرفیت زراعی به روش وزنی انجام شد (با استفاده از آبیاری سطحی رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاهان در محدوده ۷۰ تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی تامین شد). در انتهای فصل رشد نمونه‌های ریشه و اندام هوایی از محل طوقه جدا شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها در ابتدا با آب معمولی و سپس با آب مقطر چندین بار شستشو داده شدند. سپس در پاکت کاغذی و به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ٦۵ درجه سلسیوس در آون تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند و پس از این مدت به‌منظور تعیین وزن خشک اندام هوایی و ریشه و تجزیه‌های شیمیایی توزین و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند.

اندازه‌گیری‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و لجن فاضلاب: هدایت الکتریکی و pH خاک به‌ترتیب در عصاره و گل اشباع و با استفاده از دستگاه‌های هدایت‌سنج الکتریکی JENWAY 4310 و pH متر

www.SID.ir

Archive of SID

METROHM 632، pH لجن فاضلاب و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱ به ۵ لجن به آب اندازه‌گیری شدند (۲۷). کربن آلی خاک و لجن به روش هضم تر والکلی و بلاک (۳۳)، نیتروژن کل خاک و لجن به روش کجدال (٦)، فسفر قابل‌دسترس خاک و لجن به روش اولسن و همکاران (۲۲)، پتاسیم کل خاک و لجن به روش استات آمونیوم (۷)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی (۱۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش باور (۲٦) و بافت خاک به روش هیدرومتری (۵) اندازه‌گیری شدند.

تعیین غلظت فلزات در نمونه‌های خاک، لجن و گیاه: برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در لجن فاضلاب و خاک از روش تیزاب سلطانی (۲۰) استفاده شد به این ترتیب که به ۱ گرم نمونه خشک، ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک و ۱۵ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک اضافه گردید. سپس نمونه به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط قرار گرفت و بعد از آن به‌وسیله هیتر به دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد رسید و در نهایت محلول صاف و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. تعیین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی به روش هضم خشک انجام شد (۲۰) برای این منظور ۰/۵ گرم نمونه خشک گیاهی درون کروزه چینی ریخته و دما به‌تدریج و در طی دو ساعت به ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید. سپس به‌مدت ٤ ساعت در این دما باقی ماند. پس از مشاهده خاکستر سفید رنگ و سرد شدن نمونه‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به آن افزوده و به‌مدت ۳۰ دقیقه بر روی هیتر قرار گرفت و سپس به حجم ۲۵ رسید. قرائت فلزات توسط دستگاه ICP-OES مدل Optima 7300 DV شرکت سازنده PerkinElmer کشور آمریکا انجام شد. در پایان آزمایش تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار JMP 8 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب و خاک: نتایج تجزیه شیمیایی و مقادیر اندازه‌گیری‌شده پارامترهای شیمیایی لجن فاضلاب و خاک در جدول ۱ آمده است. درصد ذرات بافت خاک شامل ٤۰ درصد شن، ٤٤ درصد سیلت و ۱٦ درصد رس بود. با توجه به خصوصیات خاک (جدول ۱)، خاک مورد مطالعه از نظر مقدار عناصر غذایی از جمله فسفر، نیتروژن، پتاسیم و ماده آلی فقیر می‌باشد.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک و لجن فاضلاب.

Table 1. Chemical properties of soil and sewage sludge.

پارامتر	بافت خاک Soil texture	pH	هدایت الکتریکی ECe	کربن آلی OC	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent	نیتروژن کل Total Nitrogen	فسفر Available Phosphorus	پتاسیم Total potassium
واحد	-	-	(dSm^{-1})	(٪)	($Cmol^{+}kg^{-1}$)	(٪)	(٪)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)
خاک	لوم	7.87	0.24	0.95	19.04	19.06	0.01	5	248
لجن	-	7.46	4.08	1.3	-	-	4.5	925	1965

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت کل فلزات سنگین در لجن فاضلاب، خاک و حد مجاز آن‌ها در خاک، لجن و گیاه در جدول ۲ گزارش شده است. غلظت فلزات سنگین موجود در لجن فاضلاب و خاک از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا کم‌تر بود. با توجه به‌میزان غلظت فلزات ارائه شده در جدول ۲، مقدار روی کل در خاک بیش‌تر از سایر فلزات بود. به‌نظر می‌رسد میزان روی کل خاک وابسته به مقدار آن در لجن فاضلاب و هم‌چنین pH خاک است به‌طوری‌که با افزایش میزان لجن به خاک، میزان روی کل خاک نیز افزایش یافت. ونگ و همکاران (۲۰۰۸) نیز با مطالعه خاک‌های آلوده به فلزات سنگین علت افزایش غلظت کل فلزات را به استفاده بیش‌تر لجن فاضلاب در خاک نسبت دادند (۳٤).

جدول ۲- فلزات سنگین خاک و لجن فاضلاب و حدود استاندارد آن (میلی گرم بر کیلوگرم).

Table 2. Heavy metals of soil and sewage sludge and permissible limits (mg kg^{-1}).

فلزات سنگین Heavy Metals	کادمیم Cadmium	سرب Lead	مس Cupper	روی Zinc
خاک soil	0.5	12.23	31.57	110.12
لجن sewage sludge	3.25	31.15	135.25	406.6
حدود مجاز در لجن Permissible limits in sludge	39	300	1500	2800
حدود مجاز در خاک Permissible limits in soil	3	300	140	300
حدود مجاز در گیاه Permissible limits in splant	0.3	5	40	60

حدود مجاز در گیاه، خاک و لجن به‌ترتیب بر اساس سازمان بهداشت جهانی (۲٤) و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (۳۲).

اثر سطوح لجن فاضلاب بر وزن خشک ساقه و ریشه دو گیاه تربچه ریحان: جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح لجن فاضلاب بر وزن خشک دو گیاه تربچه و ریحان را نشان می‌دهد. بر اساس آن، اثر مقادیر مختلف لجن فاضلاب بر وزن خشک گیاهان مورد مطالعه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) سطوح مختلف لجن فاضلاب بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه دو گیاه تربچه و ریحان بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش میزان لجن فاضلاب وزن خشک اندام هوایی و ریشه افزایش یافت. ولی این افزایش فقط تا تیمار L_3 ادامه داشت و پس از آن کاهش یافت. بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار L_3 برای هر دو گیاه تربچه و ریحان به‌ترتیب (۳/۰٦) و (۲/٤) گرم بر گلدان و کم‌ترین مقدار آن‌ها در تیمار C برای دو گیاه تربچه و ریحان به‌ترتیب (۱/۳) و (۰/۷۵) گرم بر گلدان بود. هم‌چنین همین روند برای ریشه گیاهان نیز صادق بود، به این صورت که بیش‌ترین وزن خشک مربوط به تیمار L_3 برای هر دو گیاه تربچه و ریحان به‌ترتیب (۲/۸) و (۱/۳٦) گرم بر گلدان بوده و کم‌ترین مقدار وزن خشک مربوط به تیمار L_4 در گیاه تربچه (۰/۵) و تیمار C در گیاه ریحان (۰/۳۹) گرم بر گلدان بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح لجن فاضلاب بر وزن خشک دو گیاه تربچه و ریحان.

Table 3. Analysis of Variance result of effect of different levels of sewage sludge on Radish and basil dry weight.

	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares			
		وزن خشک ساقه تربچه (گرم بر گلدان) Dry weight of radish shoot (g pot^{-1})	وزن خشک ساقه ریحان (گرم بر گلدان) Dry weight of basil shoot (g pot^{-1})	وزن خشک ریشه ترب (گرم بر گلدان) Dry weight of radish root (g pot^{-1})	وزن خشک ریشه ریحان (گرم بر گلدان) Dry weight of basil root (g pot^{-1})
تیمار Treatment	4	1.18**	1.25**	2.59**	0.45**
خطا Error	10	0.12	0.002	0.05	0.02
کل Total	14				

* و ** به‌ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار و ns غیرمعنی‌دار.

* and ** are significantly at 1 and 5% respectively and ns is non significantly.

جدول ٤- اثر سطوح لجن فاضلاب بر وزن خشک دو گیاه تربچه و ریحان.

Table 4. Effect of different levels of sewage sludge on Radish and basil dry weight.

تیمارها Treatments	وزن خشک ساقه تربچه (گرم بر گلدان) Dry weight of radish shoot (g pot^{-1})	وزن خشک ساقه ریحان (گرم بر گلدان) Dry weight of basil shoot (g pot^{-1})	وزن خشک ریشه تربچه (گرم بر گلدان) Dry weight of radish root (g pot^{-1})	وزن خشک ریشه ریحان (گرم بر گلدان) Dry weight of basil root (g pot^{-1})
C	1.36^{c}	0.75^{e}	1.76^{c}	0.39^{d}
L_1	2.13^{b}	1.19^{c}	2.36^{b}	0.55^{c}
L_2	2.46^{ab}	1.58^{b}	2.70^{ab}	0.70^{b}
L_3	3.06^{a}	2.40^{a}	2.80^{a}	1.36^{a}
L_4	1.95^{bc}	0.97^{d}	0.50^{d}	0.47^{cd}

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آماری طبق آزمون LSD در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different using LSD test (P<0.05).

تغییرات وزن خشک گیاه را می‌توان به بالا بودن میزان ماده آلی در لجن و نقش مثبت لجن در افزایش غلظت برخی عناصر غذایی هم‌چون نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، منیزیم، وجود درصد بالایی از مواد آلی در لجن فاضلاب، بهبود شرایط فیزیکی خاک از طریق افزایش پایداری خاکدانه‌ها نسبت داد. به‌نظر می‌رسد این عوامل منجر به افزایش باروری خاک و بهبود رشد گیاهان گردیده است. از طرفی کاهش میزان وزن خشک گیاهان در تیمار L_4 از لجن فاضلاب را می‌توان به شوری بالا و سمیت عناصر سنگین در این تیمارها ربط داد. در همین راستا کومار و چوبرا (۲۰۱٦) در مطالعه لجن فاضلاب شهری در

www.SID.ir

Archive of SID

سطوح مختلف گزارش کردند که لجن فاضلاب باعث افزایش عملکرد گیاه بادمجان شد و حداکثر کارایی آن در خصوصیات مورفولوژیکی گیاه در تیمار ۵۰ درصد لجن فاضلاب مشاهده شد. لجن فاضلاب می‌تواند سبب افزایش عملکرد گیاه بادمجان و وزن خشک آن شود ولی با توجه به شوری ایجاد شده توسط لجن فاضلاب برای گیاه، مانع رشد آن در سطوح بالای لجن فاضلاب شده و در مقادیر بیش از یک حد مشخصی باعث سمیت عناصر سنگین در بادمجان و کاهش رشد و عملکرد آن می‌شود (١٤) که این نتیجه در دو گیاه مورد مطالعه در این بررسی نیز صادق بود. کاهش عملکرد گیاهان مورد مطالعه در تیمار L_4 مشاهده گردید. همان‌طور که در جدول ٦، اثر سطوح لجن فاضلاب بر شوری خاک مورد اشاره قرار گرفت، با افزایش آن، میزان هدایت الکتریکی خاک نیز افزایش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین شوری ایجاد شده مربوط به تیمار L_4 بود. کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان در تیمار L_4 ممکن است ناشی از شوری بالا و سمیت فلزات سنگین در این تیمار باشد.

تأثیر لجن فاضلاب بر pH خاک: جدول ٥ نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر pH خاک را نشان می‌دهد که بر اساس آن، اثر مقادیر مختلف لجن فاضلاب بر pH خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف لجن بر مقدار pH خاک در جدول ٦ نشان داده شده است. طبق این نتایج، سطوح مختلف لجن به‌کار برده شده باعث کاهش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) مقدار pH خاک شد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان pH خاک به‌ترتیب در دو تیمار C (٨/٢١) و L_4 لجن (٦/٨٠) مشاهده شد. تأثیر سطوح مختلف لجن بر میزان pH خاک در مطالعات دیگری نیز بررسی شده است و نتایج عمدتاً کاهش این پارامتر در پی استفاده از لجن را گزارش کرده‌اند. لاتار و همکاران (٢٠١٤) نیز با بررسی اثرات باقی‌مانده لجن فاضلاب بر گیاه گندم گزارش کردند که pH خاک پس از استفاده از لجن فاضلاب کاهش یافت. این پژوهشگران علت کاهش pH خاک را تجزیه مواد آلی و تولید اسیدهای آلی موجود در لجن فاضلاب بیان کردند (١٦). یکی دیگر از دلایل کاهش pH خاک احتمالاً ناشی از افزایش EC خاک است (اثر نمک[1]). به‌نظر می‌رسد با افزایش شوری خاک و حضور کاتیون‌ها در فاز محلول خاک، کاتیون‌های محلول موجود با پروتون‌های فاز تبادلی خاک مبادله می‌شود و باعث کاهش pH خاک می‌گردد (١٥).

تأثیر لجن فاضلاب بر هدایت الکتریکی خاک: نتایج تجزیه واریانس (جدول ٥) نشان‌دهنده اثر معنی‌دار مقادیر مختلف لجن فاضلاب بر هدایت الکتریکی خاک در سطح پنج درصد می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف لجن بر مقدار ECe خاک در جدول ٦ ارائه شده است. سطوح مختلف لجن به‌کار برده شده باعث افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) مقدار ECe خاک شد. کم‌ترین و بیش‌ترین ECe خاک به‌ترتیب در دو تیمار C (٠/٢٩) و L_4 لجن (١/٠٥) مشاهده شد. برخی از پژوهشگران علت افزایش ECe خاک به دنبال کاربرد لجن فاضلاب در خاک، افزایش عناصر غذایی محلول موجود در لجن بیان کردند (٢١).

تاثیر لجن فاضلاب بر کربن آلی خاک: نتایج تجزیه واریانس (جدول ٥) بیانگر اثر معنی‌دار مقادیر مختلف لجن فاضلاب بر کربن آلی خاک در سطح پنج درصد می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف لجن بر مقدار کربن آلی (OC٪) خاک نیز در جدول ٦ نشان داده شده است. سطوح مختلف لجن به‌کار برده شده باعث افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) مقدار کربن

1- Salt Effect

www.SID.ir

Archive of SID

آلی خاک شد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار کربن آلی خاک به‌ترتیب در دو تیمار C (۰/۳٤) و L_4 لجن (۰/۵۳) مشاهده شد. ناواس و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند به‌دلیل بالا بودن ماده آلی موجود در لجن فاضلاب و هم‌چنین بهبود کیفیت شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی خاک، کربن آلی خاک پس از کاربرد لجن فاضلاب افزایش می‌یابد (۱٦).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح لجن فاضلاب بر pH، هدایت الکتریکی و کربن آلی خاک.

Table 5. Analysis of Variance of results of levels of sewage sludge on pH, EC and OC.

	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares		
		pH	Ece ($dS\ m^{-1}$)	OC (%)
تیمار Treatments	٤	0.85*	0.35**	0.01**
خطا Error	۱۰	0.07	0.002	0.0006
کل Total	14			

* و ** به‌ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار و ns غیرمعنی‌دار.

* and ** are significantly at 1 and 5% respectively and ns is non significantly.

جدول ٦- نتایج مقایسه میانگین اثر ساده سطوح لجن بر pH، هدایت الکتریکی و کربن آلی خاک.

Table 6. Mean comparison results of levels of sewage sludge on pH, EC and OC.

تیمار Treatment	pH	EC (dS/m)	OC (%)
C	8.21^{a}	0.29^{d}	0.34^{d}
L_1	7.85^{b}	0.33^{cd}	0.37^{cd}
L_2	7.51^{b}	0.41^{c}	0.39^{c}
L_3	7.10^{bc}	0.75^{b}	0.44^{b}
L_4	6.80^{c}	1.09^{a}	0.53^{a}

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آماری طبق آزمون LSD در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different using LSD test ($P<0.05$).

غلظت فلزات سنگین در بخش‌های مختلف گیاهان

غلظت کادمیم در بخش هوایی و ریشه تربچه و ریحان: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۷) بیانگر اثر معنی‌دار مقادیر مختلف لجن فاضلاب بر غلظت کادمیم در اندام هوایی و ریشه دو گیاه تربچه و ریحان در سطح یک درصد می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف لجن بر غلظت کادمیم در بخش هوایی و ریشه تربچه در شکل ۱ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

سطوح مختلف لجن به‌کار برده شده باعث افزایش معنی‌دار ($P<0/05$) غلظت کادمیم در بخش هوایی و ریشه تربچه شد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت کادمیم در بخش هوایی و ریشه تربچه به‌ترتیب در دو تیمار L_4 و تیمار C مشاهده شد. چهار تیمار L_1، L_2، L_3 و L_4 در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب سبب افزایش ۵/۰۲، ۳۱/۳۸، ۴۲/۳۳ و ۷۱/۶۱ درصدی غلظت کادمیم در اندام هوایی و افزایش ۱/۸۷، ۲/۶۸، ۱۵/۴۰، و ۳۳/۳۷ درصدی غلظت کادمیم در ریشه تربچه شدند. با افزایش لجن فاضلاب تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار C و L_1 در اندام هوایی تربچه و دو تیمار L_1 و L_2 در ریشه تربچه مشاهده نشد. مقدار کادمیم در اندام هوایی تربچه در دو تیمار C و L_1 و در ریشه تربچه در تیمار C، L_1 و L_2 از حد مجاز ارائه شده (۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط FAO/WHO کم‌تر بود (۹). نتایج سطوح مختلف لجن بر غلظت عنصر کادمیم در بخش هوایی و ریشه ریحان در شکل ۱ نشان داده شده است. سطوح مختلف لجن به‌کار برده شده باعث افزایش معنی‌دار ($P<0/05$) غلظت کادمیم در بخش هوایی و ریشه ریحان شد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت کادمیم در بخش هوایی و ریشه ریحان در تیمارهای L_4 و C بود. چهار تیمار L_1، L_2، L_3 و L_4 در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب موجب افزایش ۱/۸۷، ۲/۶۸، ۱۵/۴۰ و ۳۳/۳۷ درصدی غلظت کادمیم در اندام هوایی و ۰/۳۶، ۰/۵۳، ۰/۷۲ و ۲/۰۱ درصدی غلظت کادمیم در ریشه ریحان شدند. در اندام هوایی ریحان با افزایش سطوح لجن، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای L_4 و L_2، L_1 و تیمار C مشاهده نشد. در ریشه ریحان هم تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار L_2 و L_4 و تیمار L_1 و L_2 و دو تیمار L_1 با C مشاهده نشد. مقدار کادمیم اندام هوایی ریحان در تیمارهای C، L_1، L_2 و L_3 و کادمیم ریشه ریحان در تمامی تیمارها از حد مجاز ارائه شده (۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط سازمان FAO/WHO کم‌تر بود (۹).

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس غلظت کادمیم در اندام هوایی و ریشه تربچه و ریحان.

Table 7. Analysis of Variance for Cd concentration in shoot and root of Radish and Basil.

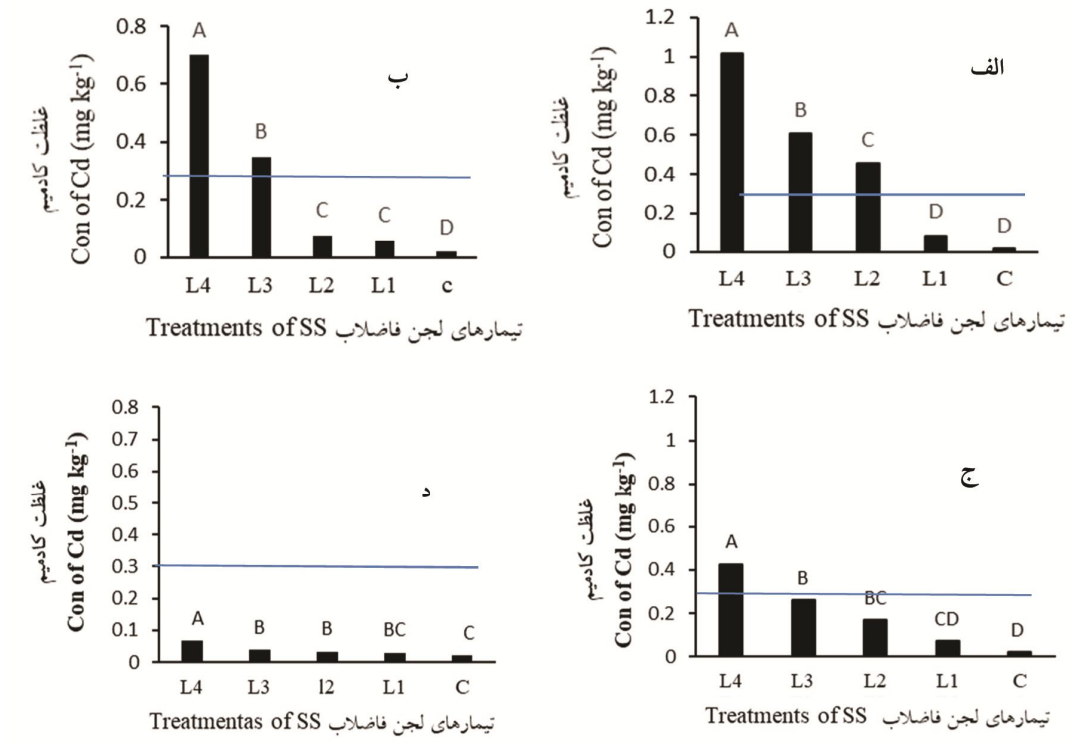
	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares			
		کادمیم اندام هوایی تربچه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Radish shoot Cd ($mg\ kg^{-1}$)	کادمیم ریشه تربچه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Radish root Cd ($mg\ kg^{-1}$)	کادمیم اندام هوایی ریحان (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Basil shoot Cd ($mg\ kg^{-1}$)	کادمیم ریشه ریحان (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Basil root Cd ($mg\ kg^{-1}$)
تیمار Treatment	4	0.50*	0.26*	0.07*	0.0008*
خطا Error	10	0.00002	0.00002	0.000001	0.0000001
کل Total	14				

* و ** به‌ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار و ns غیرمعنی‌دار.

* and ** are significantly at 1 and 5% respectively and ns is non significantly.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- غلظت کادمیم در اندام هوای تربچه (الف)، غلظت کادمیم در ریشه تربچه (ب)، غلظت کادمیم در اندام هوایی ریحان (ج)، غلظت کادمیم در ریشه ریحان (د).

Figure 1. Concentration of Cd in Radish shoot (a), Concentration of Cd in Radish root, Concentration of Cd in Basil shoot, Concentration of Cd in Basil root.

همان‌طور که در شکل ۱ (الف) تا (د) مشاهده می‌شود غلظت کادمیم در گیاهان تربچه و ریحان با افزایش سطوح لجن افزایش یافت که این امر می‌تواند به‌علت افزایش غلظت کل این فلز در خاک باشد. از سوی دیگر، هانگ و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی تجمع فلزات سنگین در بخش‌های خوراکی سبزیجات به این نتیجه رسیدند که میزان شکل‌های محلول کادمیم، مس، نیکل، سرب و روی علاوه بر غلظت کل فلزات، به مواد آلی، شوری و pH خاک نیز بستگی دارد. تحرک فلزات سنگین عموماً در pH بیش‌تر از ۷ کم‌تر و در pH کم‌تر از ۵/۵ زیادتر است. بنابراین جذب فلزات سنگین توسط گیاه با کاهش pH افزایش می‌یابد که علت آن می‌تواند حل شدن کمپلکس‌های کربنات- فلز، آزاد شدن یون‌های H در فاز محلول باشد، به‌خصوص در مورد کادمیم که فلزی است که به راحتی در گیاه متحرک است (۱۱). در همین راستا بررسی‌ها نشان می‌دهند که تشکیل کمپلکس‌های کادمیم با مواد آلی خاک از پایداری کمی برخوردار بوده و کمپلکس مواد آلی با کادمیم در محلول خاک نسبت به دیگر فلرات سنگین کم‌تر می‌باشد. هم‌چنین مطالعات نشان می‌دهند آنیون کلر به میزان زیادی در خاک‌های شور وجود دارد و تمایل به تشکیل کمپلکس معدنی کادمیم-کلر را دارد بنابراین کادمیم در خاک‌های شور به مقدار بیش‌تری به‌صورت محلول در خاک وجود خواهد داشت. (۱۶). با توجه به این‌که افزایش سطوح لجن فاضلاب باعث کاهش pH خاک،

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش ماده آلی و شوری خاک شده است، با استنباط از جدول ۵ می‌توان نتیجه گرفت این کاهش pH، افزایش هدایت الکتریکی و کربن آلی خاک احتمالاً می‌تواند سبب حلالیت بیش‌تر کادمیم و افزایش غلظت آن در گیاه شود. با توجه به تجمع بیش‌تر غلظت کادمیم در اندام هوایی تربچه و ریحان در این مطالعه، راموس و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که گیاهان با گونه‌های متفاوت توانایی متفاوتی در تجمع کادمیم دارند و کم بودن میزان کادمیم در ریشه نسبت به اندام هوایی می‌تواند ناشی از کمپلکس شدن آن با فیتو کلاتین‌ها باشد. هم‌چنین برهمکنش بین دو عنصر منگنز و کادمیم نیز بر میزان انتقال کادمیم به اندام‌های گیاهی نیز مؤثر بوده به‌طوری‌که با افزایش غلظت منگنز انتقال کادمیم کاهش می‌یابد (۲٤).

غلظت سرب در بخش هوایی و ریشه تربچه و ریحان: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۸) نشان‌دهنده اثر معنی‌دار مقادیر مختلف لجن فاضلاب بر غلظت سرب در اندام هوایی و ریشه دو گیاه تربچه و ریحان در سطح یک درصد می‌باشد. سطوح مختلف لجن بر غلظت سرب در بخش هوایی و ریشه تربچه در شکل ۲ نشان داده شده است. طبق این نتایج، سطوح مختلف لجن به‌کار برده شده باعث افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) غلظت سرب در بخش هوایی و ریشه تربچه شد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت سرب در بخش هوایی و ریشه تربچه در تیمارهای L_4 و C بود. چهار تیمار L_1، L_2، L_3 و L_4 سبب افزایش غلظت سرب در اندام هوایی به‌ترتیب به‌میزان ۰/۱۰، ۱/۳۵، ۱/٦٤ و ۲/۱۵ (میلی‌گرم به کیلوگرم) و موجب افزایش غلظت سرب در ریشه تربچه به‌میزان ۰، ۲/۲۹، ۳/۰۸ و ۵/۲۸ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با تیمار شاهد شدند. در بخش هوایی تربچه تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار L_2 و L_4 و همچنین بین دو تیمار C و L_1 مشاهده نشد، اما در ریشه تربچه با افزایش سطوح لجن تمامی تیمارها معنی‌دار شد. مقدار سرب در بخش هوایی تربچه از حد مجاز ارائه شده (۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط FAO/WHO (۹) کم‌تر بود اما در ریشه تربچه مقدار سرب در تیمار L_4 بیش‌تر از حد مجاز اعلام شده بود که سمیت گیاه را در پی داشت. تأثیر سطوح مختلف لجن بر غلظت سرب در بخش هوایی و ریشه ریحان در شکل ۲ نشان داده شده است. سطوح مختلف لجن به‌کار برده شده باعث افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) غلظت سرب در بخش هوایی و ریشه ریحان شد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت سرب در بخش هوایی و ریشه ریحان در تیمارهای L_4 و C بود. چهار تیمار L_1، L_2، L_3 و L_4 در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب سبب افزایش به‌میزان ۰/۰۱۲، ۱/۳۷، ۲/۵۱ و ٤/۵۹ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) غلظت سرب در اندام هوایی و افزایش ۰/۱۹، ۲/۳٤، ۳/۷۲ و ۵/۲۱ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) غلظت سرب در ریشه ریحان شدند. در بخش هوایی و ریشه ریحان تفاوت معنی‌داری بین تمامی سطوح به‌جز دو تیمار C و L_1 مشاهده شد. مقدار سرب در بخش هوایی ریحان در تمامی تیمارها از حد مجاز ارائه شده کم‌تر بود. در ریشه ریحان نیز در تمامی تیمارها به‌جز دو تیمار L_4 و L_3 از حد مجاز ارائه شده (۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط سازمان FAO/WHO (۹) کم‌تر بود.

www.SID.ir

Archive of SID

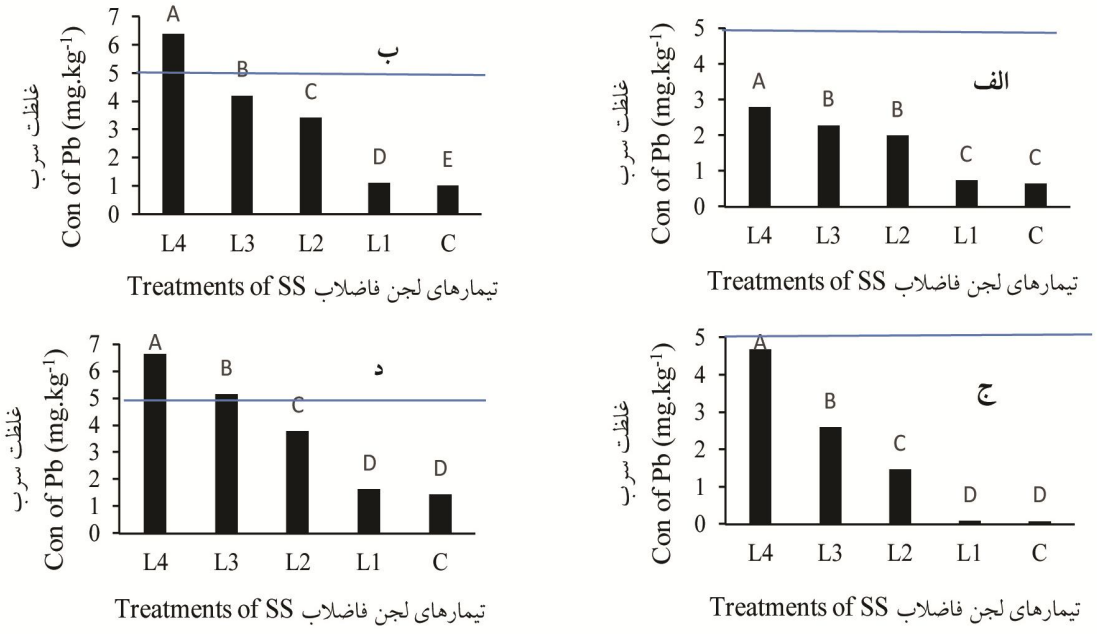
جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس غلظت سرب در اندام هوایی و ریشه دو گیاه تربچه و ریحان.

Table 8. Analysis of Variance for Pb concentration in shoot and root of Radish and Basil.

	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of Squares			
		سرب اندام هوایی تربچه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Radish shoot Pb ($mg\ kg^{-1}$)	سرب ریشه تربچه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Radish root Pb ($mg\ kg^{-1}$)	سرب اندام هوایی ریحان (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Basil shoot Pb ($mg\ kg^{-1}$)	سرب ریشه ریحان (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Basil root Pb ($mg\ kg^{-1}$)
تیمار Treatment	4	2.73*	14.95*	11.17*	15.19*
خطا Error	10	0.02	0.11	0.05	0.05
کل Total	14				

* و ** به‌ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار و ns غیرمعنی‌دار.

* and ** are significantly at 1 and 5% respectively and ns is non significantly.



شکل ۲- غلظت سرب در اندام هوای تربچه (الف)، غلظت کادمیم در ریشه تربچه (ب)، غلظت کادمیم در اندام هوایی ریحان (ج)، غلظت کادمیم در ریشه ریحان (د).

Figure 2. Concentration of Pb in Radish shoot (a), Concentration of Pb in Radish root, Concentration of Pb in Basil shoot, Concentration of Pb in Basil root.

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به شکل ۲ (الف) تا (د) که مربوط به افزایش غلظت سرب در اندام هوایی و ریشه دو گیاه مورد مطالعه است، افزودن سطوح لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش غلظت سرب در اندام‌های هوایی و به‌خصوص ریشه دو گیاه تربچه و ریحان شد. هیرا و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی توزیع سرب در بخش‌های مختلف گیاه باقلا و کنجد به این نتیجه رسیدند که مقادیر بالای سرب در بافت‌های گیاهی به‌وضوح به غلظت فلز در محیط رشد گیاه وابسته است. به‌دلیل پیوند قوی سرب با مواد آلی و کلوئیدها مقدار ناچیزی از سرب در خاک محلول است و در نتیجه برای جذب گیاه کم‌تر قابل‌دسترس است. بر همین اساس ظرفیت تجمع سرب به‌شدت بین گونه‌های مختلف گیاهی متغیر است و هم‌چنین از شرایط مختلف خاک اثر می‌پذیرد (۱۲).

غلظت مس در بخش هوایی و ریشه تربچه و ریحان: جدول ۹ نتایج تجزیه واریانس اثر معنی‌دار مقادیر مختلف لجن فاضلاب بر غلظت مس در اندام هوایی و ریشه دو گیاه تربچه و ریحان در سطح یک درصد را نشان می‌دهد. تأثیر سطوح مختلف لجن بر غلظت مس در بخش هوایی و ریشه تربچه در شکل ۳ نشان داده شده است. سطوح مختلف لجن به‌کار برده شده باعث افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) غلظت مس در بخش هوایی و ریشه تربچه شد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت مس در بخش هوایی و ریشه ریحان در تیمارهای L_4 و C مشاهده شد. چهار تیمار L_1، L_2، L_3 و L_4 در مقایسه با تیمار شاهد سبب به‌ترتیب موجب افزایش ۰/٦٤، ۱/۳٤، ۱/۹۲ و ۳/۱٦ درصدی در غلظت مس در اندام هوایی و افزایش ۰/۸۸، ۱/۷٦، ۱/۹٦ و ٤/۹۹ درصدی در غلظت مس در ریشه تربچه شدند. در بخش هوایی تربچه تفاوت معنی‌داری بین تمامی سطوح بود و در ریشه تربچه تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار L_2 و L_3 مشاهده نشد. مقدار مس در بخش هوایی تربچه در تمامی تیمارها به‌جز تیمار L_4 از حد مجاز ارائه شده (٤۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط FAO/WHO (۹) کم‌تر بود، اما در ریشه تربچه فقط در سه تیمار C، L_1 و L_2 کم‌تر از حد مجاز بود. تأثیر سطوح مختلف لجن بر غلظت مس در بخش هوایی و ریشه ریحان در شکل ۳ نشان داده شده است. سطوح مختلف لجن به‌کار برده شده باعث افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) غلظت مس در بخش هوایی و ریشه ریحان شد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت مس در بخش هوایی و ریشه ریحان در تیمارهای L_4 و C مشاهده شد. چهار تیمار L_1، L_2، L_3 و L_4 در مقایسه با تیمار شاهد سبب به‌ترتیب افزایش ۰/۳۰، ۰/٤۱، ۰/٦۲ و ۰/۹۹ درصدی در غلظت مس در اندام هوایی و ۰/۲۸، ۰/۹۵، ۲/۰۸ و ۲/٦۳ درصدی در غلظت مس در ریشه ریحان شدند. در بخش هوایی و ریشه ریحان تفاوت معنی‌داری بین تمامی تیمارها مشاهده شد. مقدار مس در برگ ریحان در تمامی تیمارها از حد مجاز ارائه شده کم‌تر بود. مقدار مس ریشه ریحان در تمامی تیمارها به‌جز تیمار L_4 کم‌تر از حد مجاز ارائه شده (٤۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط FAO/WHO (۹) بود.

www.SID.ir

Archive of SID

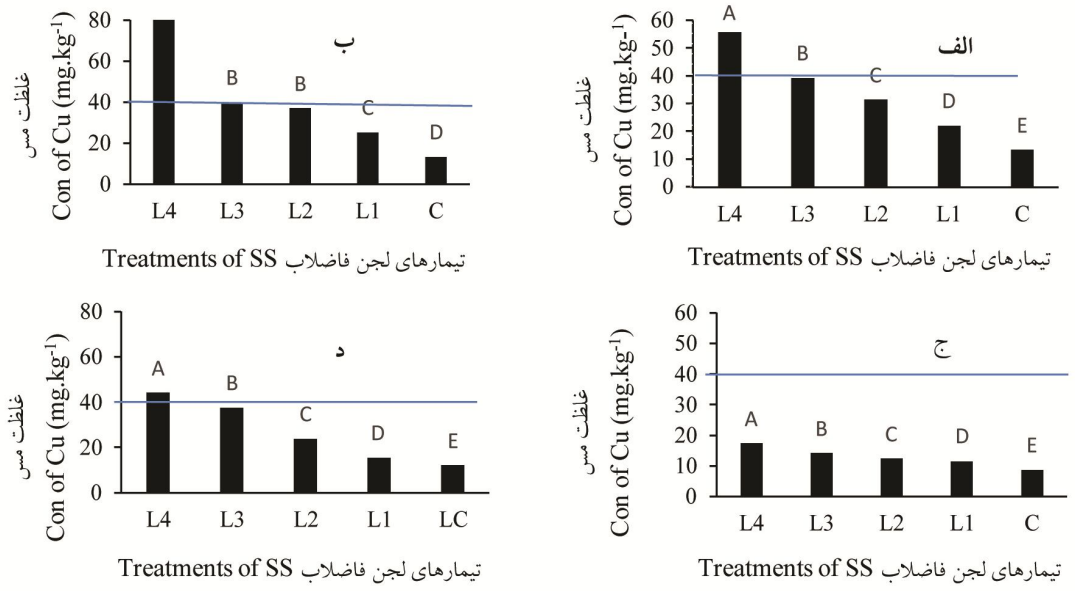
جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس غلظت مس در اندام هوایی و ریشه دو گیاه تربچه و ریحان.

Table 9. Analysis of Variance for Cu concentration in shoot and root of Radish and Basil.

	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares			
		مس اندام هوایی تربچه (میلی گرم بر کیلوگرم) Radish shoot Cu ($mg\ kg^{-1}$)	مس ریشه تربچه (میلی گرم بر کیلوگرم) Radish root Cu ($mg\ kg^{-1}$)	مس اندام هوایی ریحان (میلی گرم بر کیلوگرم) Basil shoot Cu ($mg\ kg^{-1}$)	مس ریشه ریحان (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Basil root Cu ($mg\ kg^{-1}$)
تیمار Treatment	4	2147.24*	995.25*	31.61*	622.88*
خطا Error	10	5.13	9.17	0.17	0.90
کل Total	14				

* و ** به‌ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار و ns غیرمعنی‌دار.

* and ** are significantly at 1 and 5% respectively and ns is non significantly.



شکل ۳- غلظت مس در اندام هوای تربچه (الف)، غلظت مس در ریشه تربچه (ب)، غلظت مس در اندام هوایی ریحان (ج)، غلظت مس در ریشه ریحان (د).

Figure 3. Concentration of Cu in Radish shoot (a), Concentration of Cu in Radish root, Concentration of Cu in Basil shoot, Concentration of Cu in Basil root.

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که در شکل ۳ (الف) تا (د) نشان داده شده است غلظت مس در تمامی سطوح لجن فاضلاب در گیاه افزایش یافت و علت آن می‌تواند ناشی از بالا بودن مقدار مس در لجن فاضلاب باشد، در همین راستا طولابی و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتیجه مشابه را به‌دست آوردند (۳۱). لورکس و همکاران (۱۹۹۷) علت افزایش غلظت مس در بخش ریشه را بالابودن میزان مس در لجن فاضلاب و پیوند مس با مواد آلی را بیان کردند (۱۸). رامکنز و همکاران (۱۹۹۹) نیز بیان کردند که افزایش ماده آلی در خاک باعث تحرک کم‌تر مس و انتقال کم‌تر آن به بخش‌های هوایی گیاهان خواهد شد (۲۵).

غلظت روی در بخش هوایی و ریشه تریچه و ریحان: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱۰) اثر معنی‌دار مقادیر مختلف لجن فاضلاب بر غلظت روی در اندام هوایی و ریشه دو گیاه تربچه و ریحان در سطح یک درصد را نشان می‌دهد. تأثیر سطوح مختلف لجن بر غلظت روی در بخش هوایی و ریشه تربچه در شکل ٤ نشان داده شده است. سطوح مختلف لجن به‌کار برده شده باعث افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) غلظت روی در بخش هوایی و ریشه تربچه شد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت روی در بخش هوایی و ریشه تربچه در تیمارهای L_4 و C بود. چهار تیمار L_1، L_2، L_3 و L_4 در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش غلظت روی در اندام هوایی به‌ترتیب به‌میزان ۰/۳۲، ۱۲/۷۹، ۳۲/۳۲ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و افزایش غلظت روی در ریشه تربچه به‌میزان ۹/۹٤، ۱٤/۸۲، ۳۹/٦۷ و ۵۷/٤۸ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) شدند. در بخش هوایی و ریشه تربچه تفاوت معنی‌داری بین تمامی سطوح مشاهده شد. مقدار روی در بخش هوایی تربچه در تمامی تیمارها به‌جز تیمار L_4 از حد مجاز ارائه شده (٦۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط FAO/WHO (۹) کم‌تر بود، اما در ریشه تربچه فقط در سه تیمار C، L_1 و L_2 کم‌تر از حد مجاز بود که نشان‌دهنده تجمع بیش‌تر روی در ریشه تربچه می‌باشد. تأثیر سطوح مختلف لجن بر غلظت عنصر روی در بخش هوایی و ریشه ریحان در شکل ٤ نشان داده شده است. سطوح مختلف لجن به‌کار برده شده باعث افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) غلظت روی در بخش هوایی و ریشه ریحان شد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت روی در بخش هوایی و ریشه ریحان در تیمارهای L_4 و C بود. چهار تیمار L_1، L_2، L_3 و L_4 در مقایسه با تیمار شاهد سبب افزایش غلظت روی در اندام هوایی به‌ترتیب به‌میزان ۱/٦٦، ۲/۳۲، ۳/۷۹ و ۱۰/۷۲ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و افزایش غلظت روی در ریشه ریحان به‌میزان ۵/۳۳، ۲۱/۲۵، ٤۵/۳۹ و ٦٤/۵۷ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) شدند. در بخش هوایی ریحان تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار L_1 و L_2 مشاهده نشد. در ریشه ریحان نیز تفاوت معنی‌داری بین تمامی تیمارها مشاهده شد. مقدار روی در ریشه ریحان در تمامی تیمارها به‌جز تیمار L_4 و L_3 کم‌تر از حد مجاز ارائه شده (٦۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط FAO/WHO (۹) بود اما در برگ ریحان مقدار روی در همه تیمارها از حد مجاز ارائه شده کم‌تر بود.

www.SID.ir

Archive of SID

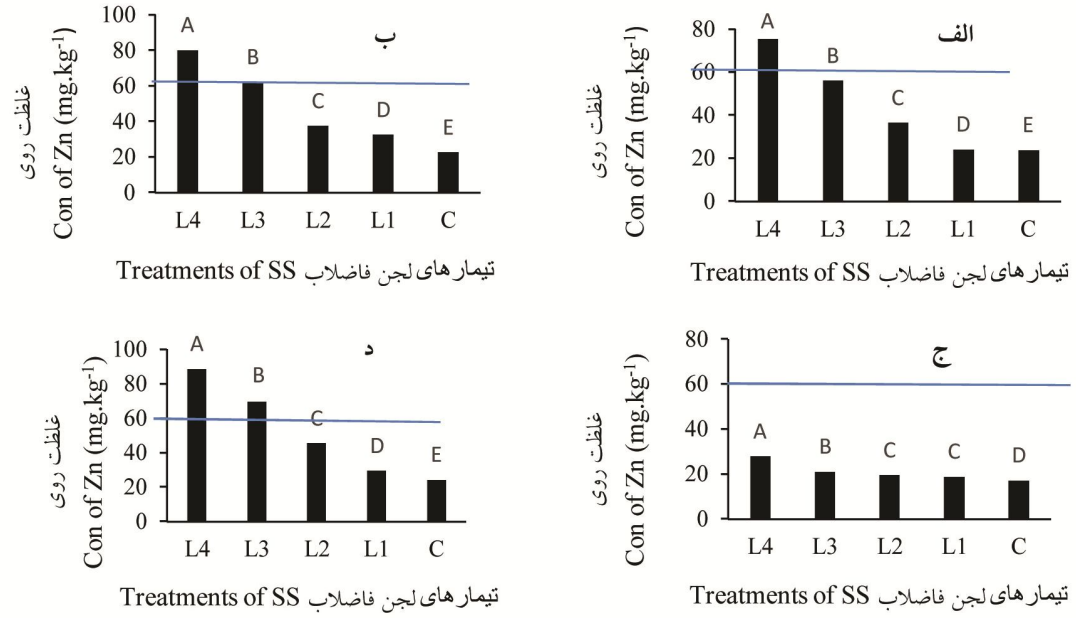
جدول ۱۰- نتایج تجزیه واریانس غلظت روی در اندام هوایی و ریشه دو گیاه تربچه و ریحان.

Table 10. Analysis of Variance for Zn concentration in shoot and root of Radish and Basil.

	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares			
		روی اندام هوایی تربچه (میلی گرم بر کیلوگرم) Radish shoot Zn (mg kg^{-1})	روی ریشه تربچه (میلی گرم بر کیلوگرم) Radish root Zn (mg kg^{-1})	روی اندام هوایی ریحان (میلی گرم بر کیلوگرم) Basil shoot Zn (mg kg^{-1})	روی ریشه ریحان (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Basil root Zn (mg kg^{-1})
تیمار Treatment	4	1279.70*	1650.19*	51.84*	2236.04*
خطا Error	10	5.01	0.45	0.47	7.49
کل Total	14				

* و ** به‌ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار و ns غیرمعنی‌دار.

* and ** are significantly at 1 and 5% respectively and ns is non significantly.



شکل ٤- غلظت روی در اندام هوای تربچه (الف)، غلظت روی در ریشه تربچه (ب)، غلظت روی در اندام هوایی ریحان (ج)، غلظت روی در ریشه ریحان (د).

Figure 4. Concentration of Zn in Radish shoot (a), Concentration of Zn in Radish root, Concentration of Zn in Basil shoot, Concentration of Zn in Basil root.

www.SID.ir

Archive of SID

سینگ و اگراول (۲۰۰۷) نشان دادند با افزایش غلظت روی در خاک میزان روی در بخش هوایی و ریشه گیاهان افزایش می‌یابد (۲۸). میزان غلظت روی با کاهش یک واحد pH خاک، ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد و به میزان زیادی در دسترس گیاه خواهد بود (۱۵). در این مطالعه نیز افزایش لجن فاضلاب سبب کاهش pH خاک (جدول ۲) در تمامی تیمارها شد بنابراین این کاهش pH مستقیماً روی حلالیت روی اثر گذاشته و باعث جذب بیش‌تر آن توسط گیاه شده است.

کاربرد طولانی‌مدت لجن فاضلاب و وضعیت فلزات در خاک: در این مطالعه نتایج به‌دست آمده بیانگر عدم آلودگی خاک به فلزات سنگین بود. به این صورت که با توجه به غلظت هر کدام از فلزات در لجن فاضلاب و بیش‌ترین سطح افزوده شده آن، ورودی هر فلز به خاک در تیمار L_4 (۳/۰۷ درصد) باعث ورود مقادیر ۰/۲٦، ۲/٤، ۳۲/۵۲ و ۱۰/۸۲ به‌ترتیب از فلزات کادمیم، سرب، روی و مس (گرم بر هکتار) به‌صورت سالیانه به خاک شد که این مقادیر از حد مجاز ارائه شده توسط USEPA (۳۲) کم‌تر بود. اگرچه نتایج، نشان‌دهنده عدم آلودگی خاک پس از کاربرد لجن فاضلاب بود اما استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان کود حتی در سطوح کم و به‌طور مکرر باید کاملاً محتاطانه انجام شود. در همین راستا استیو و همکاران (۱۹۹۵) با بررسی اثر کاربرد طولانی مدت لجن فاضلاب بر تجمع فلزات سنگین و زیست‌توده میکروبی خاک به این نتیجه رسیدند که کاربرد طولانی‌مدت لجن فاضلاب باعث تجمع فلزات، بیش‌تر از حد مجاز ارائه شده سالیانه نشد ولی اثرات منفی بر زیست‌توده میکروبی خاک و هم‌چنین توزیع فلزات سنگین در خاک داشت (۳۰). مک برید (۲۰۰۳) نیز یافته‌های خود در مورد اثرات طولانی‌مدت لجن فاضلاب بر خاک این گونه بیان کرد که فراهمی زیستی فلزات سنگین به‌طور معمول در ۳ تا ٤ سال اول پس از کاربرد لجن بیش‌ترین میزان را دارد، و به دنبال آن کاهش یافته اما نهایتاً به‌صورت پایدار در خاک باقی می‌مانند. با این حال نگرانی‌هایی وجود دارد که پس از متوقف کردن کاربرد پسماندهای آلی مانند لجن فاضلاب، فلزات پیوند شده می‌توانند توسط فرآیندهایی مانند تجزیه ماده آلی، اکسیداسیون گوگرد و اسیدی شدن خاک به فرم قابل‌دسترس تبدیل شوند (۱۹).

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب باعث کاهش معنی‌دار pH خاک و افزایش هدایت الکتریکی و کربن آلی خاک شد. نتایج به‌دست آمده بیانگر افزایش غلظت قابل‌دسترس فلزات روی، کادمیم، مس و سرب در بخش هوایی و ریشه دو گیاه تربچه و ریحان است. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت فلزات به‌ترتیب در دو تیمار L_4 و C در بخش هوایی و ریشه تربچه و ریحان مشاهده شد، به این صورت که با افزایش سطوح لجن فاضلاب غلظت فلزات در اندام هوایی و ریشه افزایش یافت به‌خصوص عنصر روی که در بعضی سطوح از حد مجاز ارایه شده هم بیش‌تر بود. هم‌چنین نتایج نشان داد تجمع فلزات در گیاه تربچه بیش‌تر بود. با توجه به حد مجاز ارائه شده عناصر، تیمار L_4 باعث ایجاد آلودگی تمامی فلزات در دو گیاه شد. در تیمار L_3 نیز سه فلز کادمیم، مس، روی در گیاه تربچه و سرب و روی در گیاه ریحان آلودگی را به همراه داشتند و عناصر دیگر در این تیمار بسیار نزدیک به غلظت‌های

www.SID.ir

Archive of SID

ارائه شده در حد مجاز بودند. غلظت فلزات در تیمار L_2 نیز برای دو گیاه بیش از حد مجاز ارایه شده نبود و سمیتی در گیاهان مشاهده نشد اما به غلظت‌های ارائه شده در حد مجاز بسیار نزدیک بود. بنابراین بهترین سطح پیشنهادی لجن به‌عنوان کود کشاورزی سطح L_1 لجن فاضلاب است. این در حالی است که اگر به‌طور مکرر و در مقادیر بالا در خاک استفاده شود ممکن است خطرات زیست‌محیطی را به دنبال داشته باشد.

منابع

1. Alloway, B.J., and Jackson, A.P. 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils. Science of the Total Environment. 100: 151-176.
2. Appenroth, K.J. 2010. Definition of "Heavy Metals" and Their Role in Biological Systems. Part of the Soil Biology book series. 19: 19-29.
3. Bolan, N.S., and Duraisamy, V.P. 2003. Role of inorganic and organic soil amendments on immobilisation and phytoavailability of heavy metals: A review involving specific case studies. Australian Journal of Soil Research. 41: 533-555.
4. Bose, S.V., Rai, A., Bhattacharya, K., and Ramanathan, A.L. 2007. Translocation of metals in pea plants grown on various amendment of electroplating industrial sludge. Bioresour Technology. 99: 4467-4475.
5. Bouyoucos, C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agronomy Journal. 54: 464-465.
6. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-total, Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy. Book Series: Agronomy Monographs. 31: 595-624.
7. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: C.A. Black C.A. (ed.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 891-901.
8. Chuanhui, Gu., Yanchao, B., Tianyun, T., Guohua, C., and Yuhua, S. 2013. Effect of Sewage Sludge Amendment on Heavy Metal Uptake and Yield of Ryegrass Seedling in a Mudfl at Soil. Journal of Environmental Quality. 42: 421-428.
9. Codex alimentarius Commission. 2007. Joint FAO/WHO food standards programme: Geneva, WHO.
10. Deniz Dolgen, M., Necdet, A., and Nafiz, D. 2007. Agricultural recycling of treatment-plant sludge:A case study for a vegetable-processing factory. Journal of Environmental Management. 84: 74-281.
11. Hang, Z., Wen, T., and Zin, Z. 2016. Accumulation of Heavy Metals in Vegetable Species Planted in Contaminated Soils and the Health Risk Assessment. International Journal Environmental Research and Public Health. 13: 289-295.
12. Hira, A., Basir, A., Taj Muhammad, J., Muhammad Sadiq, A., and Farah, A. 2018. Accumulation and distribution of lead (Pb) in plant tissues of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.): profitable phytoremediation with biofuel crops. Geology, Ecology, and landscapes. 2: 51-60.
13. Jones, J.B. 2001. Laboratory Guide for Conduction Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press. 384p.
14. Kumar, V., and Chopra, A.K. 2016. Agronomical Performance of High Yielding Cultivar of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Grown in Sewage Sludge Amended Soil. Research in Agriculture, 1: 1-24.
15. Larry, D. King, and Morris, H.D. 1972. Land Disposal of Liquid Sewage Sludge: II. The Effect on Soil pH, Manganese, Zinc, and Growth and Chemical Composition of Rye (*Secale cereale* L.) 1. Environ. Quality, 1: 425-429.

www.SID.ir

Archive of SID

16. Latare, A.M., Kumar, O., Singh, S.K., and Gupta, A. 2014. Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice–wheat system. Ecological Engineering. 69: 17-24.
17. Loeppert, R.H., and Sparks, D.L. 1996. Carbonate and gypsum.: D.L. Sparks, D.L. (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 437-474.
18. Loic, L., Sophie, R., and Pierri, A. 1997. Behaviour of metals following intensive pig slurry applications to a natural field treatment process in Brittany (France). Environmental Pollution. 2: 119-130.
19. McBride, M.B. 2003.Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks?. Advances in Environmental Research. 8: 5-19.
20. Michael, L., Berrow, and Winnie, M. Stein. 1983. Extraction of Metals from Soils and Sewage Sludges by Refluxing with Aqua Regia. Analyst. 108: 277-285.
21. Navas, A., Bermu dez, F., and Mach ın, J. 1998. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. Geoderma. 87: 123-135.
22. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1 chemical and biological properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 4013-430.
23. Pascual, I.M., Antolín, C., García, C., Polo, A., and Sánchez-Díaz, M. 2004. Biology and Fertility of Soils. 40: 291-299.
24. Ramos, I., Elvira, E., Juan, L., and Agustin, G. 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of Lactuca sp. Cd. /Mn interaction. Plant Science. 162: 761-767.
25. Romkens, P.F., Bouwmana, L., and Boonb, G.T. 1999. Effect of plant growth on copper solubility and speciation in soil solution samples. Environmental Pollution. 106: 315-321.
26. Rowell, D.L. 1994. soil science methods and Application, part 7. mesurement of the composition of soil solution. Holocene book review. pp. 501-503.
27. 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.
28. Singh, R.P., and Agrawal, M. 2007. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgaris plants. Chemosphere. 67: 2229-2240.
29. Smith, S.R. 1992. Sewage sludge and refuse compost as peat alternatives for conditioning impoverished soils. Journal of Horticultural Science. 67: 2. 703-716.
30. Steve, P., Grath., M., Amar, M., and Ken, E. 1995. Long-term effects of metals in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. Journal of Industrial Microbiology. 14: 94-104.
31. Toolabi1, Z., Rahimi, Gh., and Marofi, S. 2013. Accumulation of heavy metals in root and aerial part of radish (Raphanus Sativus) grown in amended soils with sewage sludge. Journal of Water and Soil Conservation. 21: 2. (In Persian)
32. USEPA. 2019. Land application of sewage sludge. A guide for land applies on the requirement of the Federal standards for the use or disposal of sewage sludge, 40 CFR 503. Washington, DC:EPA.
33. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-38.
34. Wang, X., Chen, T., Ge, Y., and Jia, Y. 2008. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. Journal of Hazardous Materials. 160: 554-555.
35. Wong, J.W.C., and Wong, M.H. 2000. The growth of Brassica chinensis in heavy-metal-contaminated sewage sludge compost from Hong Kong. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environmental. 81: 209-216.

www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 10(3), 2020
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.17554.1925

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effect of Different Levels of Domestic Sewage Sludge on concentration of heavy of Zn, Cu, Cd and Pb in in Radish and basil and some of chemical Soil Properties

M. Nikghadami[1], *A. Fotovat[2] and R. Khorasani[3]
[1]M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, University of Mashhad, [2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Mashhad, [3]Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Mashhad
Received: 01.07.2020; Accepted: 06.16.2020

Abstract

Background and Objectives: According to the population growth and increasing production of urban waste, environmental hazards of these wastes are on of the most important challenges in most cities that the safest way to prevent them from accumulating is to add them to the agriculture lands. This case is especially considered in countries with dry climates because of lacking organic matter in soils. Due to the high consumption of vegetables in the country and the use of sewage sludge as soil fertilizer, the risk of soil pollution for the peresence of heavy metals in soil and plant may threaten human and creature health. Consequently, studies need to be conducted to evaluate the effect of different levels of sewage sludge on of zinc (Zn), cupper (Cu), cadmium (Cd) and lead (Pb) concentration in root and shoot of radish (*Raphanus sativus*) and and basil (*Ocimum basilicum*) vegetables.

Materials and Methods: This study aims to investigate the effect of domestic sewage sludge on concentration of zinc (Zn), cupper (Cu), cadmium (Cd) and lead (Pb) in radish (*Raphanus sativus*) and and basil (*Ocimum basilicum*) vegetables. A pot experiment in greenhouse was conducted at Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Agriculture, in 2018. The experiment was performed in a completely randomized design with three replications. Sewage sludge was consumed at five levels (0, 10, 20, 40, 80 t ha^{-1}) during plant growth. Available form of heavy metals in soil samples was extracted by DTPA 0.005 M solution. total concentration of heavy metals in sewage sludge and soil measured by Aqua regia method and concentration of plant metals measured by dry digestion method.

Results: The results indicated that the use of the sewage sludge in different treatments levels had significant impact ($P<0.05$) on the concentration on of these heavy metals in the two plants studied. increase of sewage sludge enhanced metals concentration in shoot and root rather than control plant. Particularly for Zn, in root and shoot in both plants. Increase in concentration metals in the two plants were followed Zn> Cu> Pb> Cd in both roots and shoots, The metals uptake in radish was drastically higher than basil. the value of all the metals at 10 t sludge per ha were lower than permissible concentration and at 80 t per ha were higher than permissible concentratoin for all of them.

Conclusion: In general, application of different levels of sewage sludge in soil caused changes in soil chemical properties including decrease of soil pH, increase of electrical conductivity and soil organic carbon. Also, in the treatment of last level of sewage sludge, two plants were toxic and in the lowest level of treatment of sewge sludge, no toxicity and damage were observed in the plants. However, continuously application of the sludge at 10 t per ha did not plluted the plants, should be recommended cautiously As the results of the study indicate, application of the lowest level of sewage sludge should also be performed with constant precision and monitoring.

Keywords: Heavy metals, Pollution, Sewage sludge, Vegetables

* Corresponding Author; Email: afotovat@um.ac.ir

www.SID.ir