مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هجدهم، شماره سوم، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

نقش لجن فاضلاب بر میزان pH، O.C و EC خاک و تجمع سرب و کادمیوم در خاک و گیاه کاهو و تربچه

***سپیده رحیمی‌آلاشتی[۱]، محمدعلی بهمنیار[۲] و مهدی قاجارسپانلو[۳]**

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۲]دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۳]استادیار گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/٤

چکیده

در این پژوهش به‌منظور بررسی نقش لجن فاضلاب بر برخی خواص شیمیایی خاک و غلظت عناصر سرب و کادمیوم در خاک و گیاه کاهو و تربچه، تحقیقی در قالب طرح فاکتوریل با پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۸۷، اجرا شد. لجن فاضلاب در سه سطح (۰، ۲۰ و ٤۰ تن در هکتار) در یک دوره سه ساله مصرف گردید نتایج نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در تیمارهای مختلف بر میزان pH،C.O، EC، سرب و کادمیوم کل و قابل جذب خاک ، سرب و کادمیوم ریشه و اندام هوایی کاهو و تربچه معنی‌دار شد. مصرف سه سال مستمر ٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار موجب کاهش pH و افزایش OC و EC گردید .همچنین بیشترین میزان سرب و کادمیوم کل و قابل جذب خاک در تیمار ٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار تجمع یافت اما در تیمارهای یک سال و دو سال کاربرد کود نیز تفاوت نسبت به شاهد معنی‌دار بود .میزان سرب و کادمیوم تجمع یافته در ریشه و اندام هوایی کاهو و تربچه با مصرف ٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار برای مدت ۳ سال افزایش قابل توجهی یافت و این افزایش نیز در تیمارهایی که یک و یا دو سال لجن فاضلاب دریافت کرده بودند مشاهده گردید. در ضمن میزان تجمع کادمیوم و سرب در ریشه تربچه بیشتر از کاهو بوده است. بنابراین کاربرد بلند مدت لجن فاضلاب به‌دلیل تجمع عناصر سنگین در خاک و جذب از طریق گیاهان باید با دقت بیشتری صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی : کادمیوم، سرب، کاهو، تربچه و لجن فاضلاب

*مسئول مکاتبه: sepideh.rahimy@yahoo.com

www.SID.ir
Archive of SID

مقدمه

ارزش لجن فاضلاب به‌عنوان کود در تحقیقات متعدد در کشورهای مختلف نشان داده شده است (افیونی و همکاران، ۱۹۹۸). استفاده دراز مدت از لجن فاضلاب موجب تجمع عناصری مانند کادمیوم، سرب و دیگر فلزات سنگین در خاک می‌شود، که این امر ممکن است موجب جذب بیش از حد این عناصر توسط گیاه و در نتیجه وارد شدن این فلزات سمی به زنجیره غذائی انسان و حیوان شود. جذب فلزات سنگین توسط گیاه و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی انسان و حیوان ممکن است باعث بیماری‌های متعددی در آن‌ها شود. برای مثال، مصرف زیاد کادمیوم در گیاه برنج (که با پساب فاضلاب آبیاری شده بود) موجب بیماری‌های متعددی در کشاورزان ژاپن گردید (ماچوتی و همکاران، ۲۰۰۶). لجن فاضلاب علاوه بر تأثیر بر غلظت عناصر غذایی موجود در خاک، بر خواص شیمیایی خاک، مانند pH، قابلیت هدایت‌الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی نیز اثر می‌گذارد (لویزا و ستیگ، ۲۰۰۶؛ سینک و اگراول، ۲۰۱۰). در تحقیقی که در ایالت واشنگتن آمریکا انجام شد، بعد از استفاده ۱۷ ساله از لجن فاضلاب شهری در جنگل، مشاهده شد که کربن، نیتروژن و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، افزایش و pH خاک کاهش یافته که این امر محدود به افق A بوده است (سینک و اگراول، ۲۰۱۰). بسیاری از محققان گزارش کرده‌اند که با اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک، pH خاک کاهش می‌یابد. آن‌ها، دلیل این کاهش را، تجزیه مواد آلی موجود در لجن می‌دانند که منجر به تولید اسیدکربنیک و اسیدهای آلی مثل اسیدسیتریک، اسیدمالیک و پروپیونیک می‌شود و البته نیتریفیکاسیون، سولفوریکاسیون و اکسیداسیون مواد آلی نیز در این مورد مؤثر است (لویزا و ستیگ، ۲۰۰۶).

لجن فاضلاب، حاوی مقدار زیادی نمک است که باعث افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک می‌گردد و همچنین باعث افزایش ماده آلی خاک‌ها می‌شود که این افزایش با مقدار لجن اضافه شده رابطه مستقیم دارد (ونگ و دنگ، ۲۰۰۰). بنابراین لجن فاضلاب به‌دلیل داشتن ماده آلی نسبتاً زیاد باعث افزایش کربن آلی خاک شد (کلینگ و همکاران، ۱۹۹۷). آلودگی خاک به‌وسیله عناصر سنگین معمولاً پدیده‌ای مصنوعی بوده و حاصل فعالیت‌های انسان است که به‌خصوص در مناطق صنعتی به چشم می‌خورد. معمولاً فلزات سنگین همراه با ضایعات کارخانه‌ها و یا صنایع به‌صورت فاضلاب و یا دود و غبار وارد محیط زیست می‌شوند و ضمن ورود به چرخه غذایی انسان و حیوان خطراتی را برای آن‌ها ایجاد می‌کنند. با آن‌که در کشورهای صنعتی برای غلظت فلزات سنگین حدودی تعیین شده است

www.SID.ir

ولی این امر برای همه جا یکسان نیست زیرا اولاً غلظت مجاز این عناصر در کشورهای مختلف متفاوت بوده و ثانیاً دامنه تغییرات بین کمترین و بیشترین غلظت مجاز، گاهی به صد برابر بالغ می‌شود (اسلوآن و دویلی، ۱۹۹۸). اسلون و همکاران (۱۹۹۷) طی یک پژوهش در اراضی کشاورزی که به‌طور متوالی با لجن فاضلاب تیمار شده بودند، گزارش نمودند که غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی کاهو با مصرف لجن فاضلاب افزایش معنی‌دار داشته است. هم‌چنین غلظت کادمیوم در کاهو با غلظت این عنصر در خاک همبستگی نشان داده است. هم‌چنین حتی ۱۵ سال پس از مصرف لجن فاضلاب، کادمیوم بالاترین میزان دستیابی زیستی را بین فلزات سنگین نشان داده است. کیلر و همکاران (۲۰۰۰) در پژوهشی، میزان جذب کادمیوم در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب را به‌وسیله لوبیا، ذرت، چغندرقند، سیب زمینی، کاهو و اسفناج ارزیابی نمودند .نتایج این پژوهش نشان داد که در اندام هوایی و ریشه گیاهان مورد آزمایش در اثر مصرف لجن فاضلاب غلظت کادمیوم نسبت به شاهد افزایش نشان داده، ولی در هیچ‌کدام از گیاهان اثرات سمیت و کاهش بیوماس در نتیجه مسمومیت این عنصر مشاهده نشده است. درضمن در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب غلظت کادمیوم در غلاف لوبیا کمتر از غلظت کادمیوم در ساقه گیاه بوده است .نتایج مشابهی در این زمینه توسط سایر محققان گزارش شده است (ماچوتی و همکاران، ۲۰۰۶؛ هایفا و همکاران، ۲۰۰۷؛ سینک و آگراول، ۲۰۰۷؛ محمد و همکاران، ۲۰۰۹). هودجی و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند که با مصرف لجن فاضلاب غلظت کادمیوم در اندام هوایی و ریشه شاهی، کاهو و اسفناج افزایش یافته است. مقدار عناصر سنگین جابه‌جا شده در محیط خاک تابعی از pH، میزان رس، مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی است و با افزایش pH، کربنات و مواد آلی خاک، تحرک عناصر سنگین کاهش می‌یابد (سینک و اگراول، ۲۰۰۷). تأثیر کم لجن فاضلاب بر غلظت کادمیوم قابل جذب خاک‌ها ممکن است به‌دلیل مقدار کم کادمیوم موجود در لجن فاضلاب باشد، که این نتیجه نیز توسط سایر محققان بیان شد (خیامباشی، ۱۹۹۷؛ بهمنیار، ۲۰۰۷). نتایج مشابهی در مورد اثر باقی‌مانده و تجمعی لجن بر مقدار عناصر قابل جذب در خاک توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (افیونی و نوربخش، ۱۹۹۸؛ چینی و همکاران، ۱۹۸۰). در ضمن چینی (۱۹۸۹) غلظت کل بحرانی برای سرب و کادمیوم در خاک را به‌ترتیب ۲۰۰ و ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و دامنه غلظت سمی برای سرب و کادمیوم را در گیاه به‌ترتیب ۳۰-۳۰۰ و ۵-۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کرده است.

www.SID.ir

هدف از انجام این پژوهش بررسی نقش کاربرد لجن فاضلاب شهری بر میزان pH، O.C، EC خاک و همچنین بر غلظت عناصر سرب و کادمیوم در خاک و گیاه کاهو و تربچه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت طرح فاکتوریل با پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۸۷ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا گردید. لجن فاضلاب در سه سطح (۰، ۲۰ و ٤۰ تن در هکتار) و تیمار سال‌های مصرف کود نیز در سه سال اعمال شد. به‌این منظور، در سال ۱۳۸۵، در کرت‌هایی ۳×۱۲ متری لجن فاضلاب مصرف گردید و زیر کشت سویا قرار گرفت. در سال ۱۳۸٦ در سطح دو سوم کرت (۳×۸) لجن فاضلاب مصرف گردید و در آن گیاه ذرت کشت شد. در سال ۱۳۸۷ کرت ۳×۸ به دو قسمت مساوی تقسیم و در یک قسمت تیمارهای لجن فاضلاب اعمال و در نیمی دیگر لجن فاضلاب مصرف نشد و تمام تیمارها زیر کشت ذرت قرار گرفتند. پس از برداشت ذرت در سال ۱۳۸۷ جهت بررسی اثرات باقی‌مانده سال‌های ۱۳۸۵و۱۳۸٦-۱۳۸۵و همچنین اثرات تجمعی سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸٦ و ۱۳۸۷ در اراضی یاد شده کاهو و تربچه کشت گردید. قبل از آماده‌سازی زمین، از خاک سطحی تیمارها نمونه‌برداری شده و پس از آماده‌سازی نمونه‌ها میزان pH و هدایت الکتریکی خاک به‌وسیله روش‌های معمول اندازه‌گیری شد (نلسون، ۱۹۸۲). مقدار ماده آلی به‌روش والکلی و بلاک (۱۹۳٤) تعیین گردید .همچنین مقادیر کادمیوم و سرب قابل جذب خاک و لجن فاضلاب به‌روش DTPA تعیین شد (لیندزی و نرول، ۱۹۷۸). همچنین مقادیر کادمیوم و سرب کل خاک و لجن فاضلاب پس از عصاره‌گیری با اسید کلریدریک و اسید نیتریک با دستگاه جذب اتمیک اندازه‌گیری شد (بیکر و آماچر، ۱۹۸۲). برخی خصوصیات شیمیایی خاک و لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. کاهو و تربچه به‌صورت ردیفی و با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین تیمارها کشت شدند. پس از برداشت نمونه‌های گیاهی، ضمن شستشو با آب مقطر، اندام هوایی و ریشه از هم تفکیک و به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. سپس مقادیر کادمیوم و سرب در ریشه و اندام هوایی گیاه به روش AOAC (۱۹۹۰) تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت پذیرفت.

www.SID.ir

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی خاک و لجن فاضلاب مورد استفاده.

پارامتر اندازه‌گیری شده	واحد	خاک	لجن فاضلاب	حد مجاز عناصر سنگین (چینی، ۱۹۸۹)
pH	-	۷/۷	٦/۲۱	–
قابلیت هدایت الکتریکی	dS/m	۰/٦۹	۸/۸۰	–
کربن آلی	%	۲/۱٤	۲۱/۰۰	–
کادمیوم (کل)	mg/kg	۱/٦	۹۸/۲	۸
کادمیوم (قابل جذب)	mg/kg	۰/٤	۰/٦۱	-
سرب (کل)	mg/kg	۳۱/۲۳	٥٦/٤٥	۲۰۰
سرب (قابل جذب)	mg/kg	۰/٦۷	٤/۹۸	–

نتایج و بحث

میزان pH، O.C و EC: جدول تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۲) که سطوح مختلف لجن فاضلاب بر میزان pH خاک تأثیر معنی‌داری نداشت ولی استفاده از آن به مدت سه سال توانست اثر معنی‌داری بر pH خاک نشان دهد .درضمن اثر متقابل لجن فاضلاب و سال‌های مصرف بر میزان pH خاک معنی‌دار شد .بررسی اثر باقی‌مانده لجن فاضلاب نشان داد که تیمار یک سال کوددهی دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد می‌باشد، همچنین اختلاف این تیمارها با دیگر سطوح کاربرد لجن فاضلاب نیز معنی‌دار هستند. اما در تیماری که میزان ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به مدت سه سال متوالی به‌کار رفت و ٤۰ تن در هکتار سال دوم و سوم مصرف شد اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد و فقط تیمار ۲۰ تن در هکتار سال دوم نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد (جدول ۳). بنابراین میزان pH خاک، با اضافه کردن لجن فاضلاب روند کاهشی نسبت به شاهد نشان داده است که با نتایج سایر محققان نیز مطابقت دارد (افیونی و همکاران، ۱۹۹۸). کاهش pH خاک در تیمارهای لجن، احتمالاً به‌دلیل تجزیه مواد آلی موجود در لجن بوده که منجر به تولید عوامل اسیدی شده است (لویزا و ستیگ، ۲۰۰٦). کاربرد مقادیر مختلف اثر لجن فاضلاب بر میزان کربن آلی خاک تأثیر معنی‌دار نداشت ولی سال‌های مصرف و اثر متقابل لجن فاضلاب و سال‌های مصرف بر میزان کربن آلی خاک معنی‌دار شد (جدول ۲).

www.SID.ir

جدول ۲- تجزیه واریانس خصوصیات خاک.

منابع تغییرات		میانگین مربعات							
	df	pH	%O.C	EC	T-Pb	A-Pb	T-Cd	A-Cd
تکرار	۲	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۱۵/۸۷^{ns}	۱/۳۱^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۰/۰۲^{ns}
لجن فاضلاب	۲	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۷۸^{ns}	٤٤٦/٤٤*	۱۹/٤۹**	۵/۷۰**	۰/۰۹**
سالهای مصرف	۲	۰/۰۱*	۰/۰۱*	۰/۰۷^{ns}	۱٤/۰۰**	۲/٤۰**	۰/۱۲**	۰/۰۰۷**
اثر سال×لجن‌فاضلاب	٤	۰/۰۱*	۰/۰۱*	۰/۱٤*	٤/٦۸**	۰/۷۱**	۰/۱۰**	۰/۰۰۲*
خطا	۱۲	۰/۰۰٤	۰/۰۰٤	۰/۰٤	۰/٦۰	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات	-	۰/۰۹	۳۷/۳	۲۰/۲۰	۱۷/۱۰	۱۸/۷٦	۲۹/۳۰	۱۵/۳۷

T= کل؛ A= قابل جذب، **، * و ns : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

بررسی اثرات باقی‌مانده لجن فاضلاب بر میزان کربن آلی خاک نشان داد که تیمارهای فاضلاب در هیچ یک از سطوح مصرفی اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. اما با افزایش سطح کاربرد کود، اثر تجمعی آن نیز بر میزان کربن آلی خاک، در تیمارهای سه سال کوددهی در هر دو سطح اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند. بیشترین میزان کربن آلی زمانی به‌دست آمد که از لجن فاضلاب ٤۰ تن در هکتار به مدت سه سال متوالی استفاده شد اما اختلاف معنی‌داری با کاربرد دو ساله کوددهی ٤۰ تن در هکتار و یک سال کوددهی ۲۰ تن در هکتار از نظر آماری نشان نداد و کمترین میزان کربن آلی نیز مربوط به مصرف یک‌ساله لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار بود که اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد (جدول ۳). بنابراین لجن فاضلاب به‌دلیل داشتن ماده آلی نسبتاً زیاد باعث افزایش کربن آلی خاک شد. این پدیده توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (کلینگ و همکاران، ۱۹۹۷).

جدول ۳- اثر متقابل کاربرد مقادیر مختلف لجن فاضلاب در دوره‌های مختلف سال بر میزان pH، O.C و EC خاک

تیمار	pH			O.C درصد			EC (dS/m)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
شاهد	۷/۷۷^{b}	۷/۷۲^{b}	۷/۷٤^{b}	۲/۱٤^{cd}	۲/۰۸^{cd}	۲/۰۱^{cd}	۰/٦۹^{b}	۰/۸۱^{b}	۰/۷۸^{b}
۲۰	۷/۷۵^{a}	۷/۵٦^{c}	۷/۷۱۳^{b}	۲/۱۹^{bc}	۲/٤۳^{bc}	۲/۸٤^{ab}	۰/۹۳^{ab}	۱/۰۱^{ab}	۰/۸۰^{b}
٤۰	۷/۷٤^{a}	۷/٦۸^{b}	۷/٦^{bc}	۲/۳۲^{bc}	۲/۵۹^{abc}	۲/۹۷^{a}	۰/٦۹^{b}	۰/۸۹^{b}	۱/۳۰^{a}

A: سال ۱۳۸۵، B : سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸٦، C: سال ۱۳۸۵-۱۳۸۷.

میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شده‌اند. در هر ستون و ردیف برای هر عامل آزمایشی تفاوت هر دو میانگینی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، معنی‌دار نیست.

www.SID.ir

در ضمن اثر کود و کاربرد چند ساله آن بر EC خاک معنی‌دار نمی‌باشد ولی اثر متقابل بین کود و سال، تأثیر معنی‌داری بر EC خاک داشت (جدول ۲). بررسی اثرات باقی‌مانده لجن فاضلاب نشان داد که تیمارهای یک سال کوددهی در هیچ یک از سطوح کاربرد لجن دارای اختلاف معنی‌دار با شاهد نمی‌باشد (جدول ۳). اما بررسی اثرات تجمعی نشان داد که با افزایش سطح کاربرد لجن، EC خاک افزایش پیدا کرد.بنابراین کاربرد دراز مدت لجن فاضلاب، به‌دلیل افزایش میزان EC خاک، در صورت کوددهی متوالی می‌تواند عاملی محدود کنندهای به‌خصوص برای کشت گیاهان حساس باشد.

میزان سرب و کادمیوم خاک: اثر لجن فاضلاب، کاربرد سالانه آن و هم‌چنین اثر متقابل لجن فاضلاب و سال‌های مصرف آن بر میزان سرب کل خاک اثر معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). بررسی اثرات باقی‌مانده لجن فاضلاب بر میزان سرب کل خاک بیانگر آن‌است که مقادیر سرب مربوط به تیمارهای یک سال کوددهی که از سه سال پیش تا کنون لجن دریافت نکرده‌اند همچنان بیش از مقدار سرب شاهد است. این امر دلیلی بر تجمع سرب در افق سطحی و آبشویی کم آن به اعماق خاک می‌باشد. بررسی اثرات تجمعی لجن نشان داد که با افزایش سطح کاربرد لجن از ۲۰ به ٤٠ تن در هکتار روند تغییرات سرب کل خاک افزایشی می‌باشد. با افزایش تعداد سال‌های کوددهی از یک به سه سال نیز میزان سرب کل خاک افزایش یافته است (جدول ٤).

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های غلظت کل و قابل جذب عناصر سنگین خاک (mg/kg) در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب.

A-Cd			T-Cd			A-Pb			T-Pb			
C	B	A	C	B	A	C	B	A	C	B	A	تیمار
۰/۰۸^{c}	۰/۰٤^{c}	۰/۰۷^{c}	۱/۰٦^{e}	۱/۱۷^{e}	۱/۲٦^{e}	۰/۷۹^{e}	۰/٦۷^{e}	۰/۷۱^{e}	۳۲/۲۷^{f}	۳۳/٤٤^{f}	۳۱/۲٤^{f}	شاهد
۰/۲٥^{a}	۰/۲۱^{ab}	۰/۱۷^{b}	۱/٦۹^{d}	۲/۱۹^{c}	۱/٦۳^{d}	۳/۳۳^{b}	۲/۹۰^{bc}	۲/۱۳^{d}	٤۰/۹۸^{d}	۳۸/٤۷^{e}	۳۸/٦۷^{e}	۲۰
۰/۲٦^{a}	۰/۲٥^{a}	۰/۱۸^{b}	۲/۷٦^{a}	۲/۰۰^{c}	۲/۵۲^{b}	٤/٤۹^{a}	۳/٤۲^{c}	۲/۵۸^{cd}	٤۷/۹۰^{a}	٤٤/۷۳^{b}	٤۳/۱٦^{c}	٤۰

A: سال ۱۳۸۵، B : سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸٦، C: سال ۱۳۸۵-۱۳۸۷.

میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شده‌اند. در هر ستون و ردیف برای هر عامل آزمایشی تفاوت هر دو میانگینی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، معنی‌دار نیست.

بین غلظت سرب قابل جذب خاک در سطوح مختلف بین تیمارهای کودی و مصرف چند ساله آن و اثر متقابل تیمارهای کودی و مصرف چند ساله آن تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). بررسی آثار باقی‌مانده لجن فاضلاب نشان داد که با افزایش سطح لجن میزان سرب قابل جذب خاک

www.SID.ir

افزایش می‌یابد. بررسی آثار تجمعی لجن فاضلاب نشان داد که با افزایش سطح لجن از ۲۰ به ٤۰ سرب قابل جذب خاک افزایش می‌یابد، با افزایش تعداد سال‌های کوددهی نیز این پارامتر افزایش خواهدیافت (جدول ٤). افزایش مقدار سرب قابل جذب یکی از عوامل محدودکننده استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود به شمار می‌رود. اختلاف معنی‌دار در غلظت سرب قابل جذب، یک سال پس از کاربرد لجن فاضلاب در هر دو سطح ۲۰ و ٤۰ تن در هکتار، بیانگر آزاد شدن تدریجی این فلز از شکل آلی می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که با یک بار اضافه کردن لجن فاضلاب می‌توان حداقل برای سه سال نیاز گیاه را به عناصر غذایی تأمین کرد. نتایج مشابهی در مورد اثر باقی‌مانده و تجمعی لجن بر مقدار عناصر قابل جذب در خاک توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (افیونی و نوربخش، ۱۹۹۸؛ چینی و همکاران، ۱۹۸۰؛ افیونی و همکاران، ۱۹۹۸).

جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) بیانگر اثرات معنی‌دار سطوح تیمارهای کودی یادشده و سال و اثر متقابل بین این دو فاکتور بر میزان کادمیوم کل می‌باشد. بررسی اثرات باقی‌مانده لجن بر کادمیوم کل خاک نشان داد که تیمارهای یک سال کوددهی در هر یک از دو سطح لجن دارای مقادیر کادمیوم کل بیشتری نسبت به شاهد بودند (جدول ٤). این تیمارها با وجود آن‌که از سه سال پیش تاکنون لجن دریافت ننموده‌اند دارای غلظت بالایی از کادمیوم نسبت به شاهد هستند. بررسی آثار تجمعی لجن بیانگر آن است که با افزایش سطح کود از ۲۰ به ٤۰ تن در هکتار، میزان کادمیوم کل خاک افزایش می‌یابد. به‌طور کلی تیمارها با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داده‌اند و در همه آن‌ها کادمیوم کل خاک بیشتر از شاهد است (جدول ٤). بالاترین غلظت کادمیوم کل خاک (۲/۷٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به مصرف سه ساله لجن فاضلاب ٤۰ تن در هکتار است که ۲/۵ برابر میزان شاهد بود که با دیگر سطوح کاربرد لجن فاضلاب اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ٤).

در ضمن میزان کود مصرفی، سال‌های مصرف و اثر متقابل بین آن‌ها بر غلظت کادمیوم قابل جذب خاک تأثیر معنی‌داری داشته است (جدول ۲). بررسی آثار باقی‌مانده لجن فاضلاب نشان داد که با افزایش سطح لجن فاضلاب میزان کادمیوم قابل جذب افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش سطح کاربرد لجن و تعداد سال‌های کوددهی میزان کادمیوم قابل جذب خاک افزایش یافت (جدول ٤). تأثیر کم لجن فاضلاب بر غلظت کادمیوم قابل جذب خاک‌ها ممکن است به‌دلیل مقدار کم کادمیوم موجود در لجن فاضلاب باشد، که این نتیجه نیز توسط سایر محققان بیان شد (خیامباشی، ۱۹۹۷؛ بهمنیار، ۲۰۰۷).

www.SID.ir

در این پژوهش غلظت کل سرب و کادمیوم از حد بحرانی گزارش شده برای این عناصر در خاک بسیار کمتر است. چینی (۱۹۸۹) غلظت کل بحرانی برای سرب و کادمیوم در خاک را به‌ترتیب ۲۰۰ و ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کرده است.

میزان سرب و کادمیوم در اندام‌های گیاه: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) گویای این مطلب است که لجن فاضلاب مصرفی، سال‌های مصرف و اثر متقابل بین آنها بر غلظت سرب ریشه و اندام هوایی کاهو و تربچه تأثیر معنی‌داری داشته است.

جدول ۵- جدول تجزیه واریانس میزان سرب و کادمیوم در اندام های گیاهی تربچه و کاهو.

منابع تغییرات	میانگین مربعات							
	ریشه (Pb)		اندام هوایی (Pb)		ریشه (Cd)		اندام هوایی (Cd)	
	df	کاهو	تربچه	کاهو	تربچه	کاهو	تربچه	کاهو	تربچه
تکرار	۲	۳/٤۸^{ns}	۲٦/۰۷^{ns}	۳/۷٦^{ns}	۵/۹۲^{ns}	۰/۱٦^{ns}	۰/٤٤^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۱/۰۰^{ns}
لجن‌فاضلاب	۲	۲۲/۳۷**	۱۰۰/۹۷**	۲۲٤/۲۷**	۹٤/۰۲**	۳/٦۲*	۱/٦۳*	۱/۱۵^{ns}	۳/۷۰^{ns}
سال‌های مصرف	۲	۷/۳٦**	۲۷/٦۸*	۱۲/۸۸**	٤۹/۹۹**	۰/۷۵*	۰/۱٤**	۱/۵۱**	۲/۵۱^{ns}
اثرسال * لجن‌فاضلاب	٤	٤/۷۹*	۱۲/۵۷**	۳/۸۸**	۱۳/۱۱*	۰/۵۹*	۰/۰٤**	۰/٤۸*	۲/۱۵**
خطا	۱۲	۱/۰۱	۳/۱۱	۰/۲٤	۲/۸٦	۰/۲۲	۰/۰۰۸	۰/۱٤	۰/٦۵
ضریب تغییرات	-	۲۵/۲۱	۲۱/۸۷	۲۱/۵٦	۱۳/٤٤	۲٤/٦۵	۲۳/۹۸	۱۵/۲٦	۲۷/۵٦

**، * و ns : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

به‌طورکلی کاربرد لجن فاضلاب، غلظت سرب را در ریشه و اندام هوایی کاهو و تربچه افزایش داد. نحوه این تأثیر با توجه به سطح لجن به‌کار رفته و نیز مدت زمان سپری شده از آخرین کوددهی متفاوت بود. افزایش میزان لجن اضافه شده به خاک سبب افزایش غلظت سرب در ریشه کاهو و تربچه شد اما در هیچ یک از سطوح کودی برای ریشه کاهو تفاوت معنی‌داری با شاهد مشاهده نشد. غلظت سرب در اندام هوایی کاهو و تربچه مانند ریشه آن‌ها با افزایش سطح لجن فاضلاب افزایش یافت که در تمامی تیمارها معنی‌دار شد (جدول ٦).

www.SID.ir

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های غلظت سرب (mg/kg) در ریشه و ساقه کاهو و تربچه در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب.

	کاهو						تربچه					
	ریشه			اندام هوایی			ریشه			اندام هوایی		
تیمار	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
شاهد	۷/۸۹^{c}	۷/۹۳^{c}	۷/۷۹^{c}	٤/٦٢^{f}	٤/٧٣^{f}	٤/٦١^{f}	۸/۱۰^{c}	۷/۹٦^{c}	۷/۸۰^{c}	٥/۳۱^{d}	٥/۲٥^{d}	٥/۲۱^{d}
۲۰	۹/۰۱^{bc}	۷/۳۲^{c}	۹/۲۰^{bc}	۹/۱۸^{e}	۱۰/۷۷^{d}	۱۱/۸٥^{c}	۱۱/۷۰^{b}	۱٤/٥۷^{b}	۱۸/۲۷^{a}	۱۱/۱٤^{c}	۱۱/۹۸^{c}	۱۹/۱۸^{ab}
٤۰	۹/۲۰^{bc}	۱۰/۱٤^{bc}	۱۳/۲۹^{bc}	۱۲/۰۳^{c}	۱٥/۱٥^{b}	۱٦/٤۱^{a}	۱۳/۰۰^{b}	۱٤/٤۷^{b}	۱۸/٥٦^{a}	۱۲/۰٦^{c}	۱٦/۱۸^{b}	۲۰/٥٥^{a}

A: سال ۱۳۸٥، B: سال‌های ۱۳۸٥و ۱۳۸٦، C : سال ۱۳۸٥-۱۳۸۷.

در هر ستون و ردیف برای هر عامل آزمایشی تفاوت هر دو میانگینی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ٥ درصد معنی‌دار نیست.

بالاترین غلظت سرب در ریشه کاهو ۱۳/۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و در اندام هوایی آن ۱٦/٤۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است که در هنگام استفاده از ٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به مدت سه سال متوالی مشاهده شد (جدول ٦). بالاترین غلظت سرب در ریشه تربچه با کاربرد سه سال متوالی ٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به‌دست آمد که از نظر آماری با کاربرد سه سال متوالی ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار در یک گروه قرار گرفتند. بالاترین میزان سرب در اندام هوایی تربچه مربوط به مصرف سه ساله لجن فاضلاب ٤۰ تن در هکتار ۲۰/٥٥ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که با کاربرد سه سال متوالی ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ٦).

اثر کود مصرفی، سال‌های مصرف و اثر متقابل بین آنها بر غلظت کادمیوم ریشه این دو گیاه تأثیر معنی‌داری داشته است. در ضمن اثر لجن فاضلاب بر غلظت کادمیوم اندام هوایی کاهو و تربچه معنی‌دار نبود ولی اثر متقابل بین کود و سال تأثیر معنی‌داری بر غلظت کادمیوم اندام هوایی کاهو و تربچه داشت (جدول ٥). بالاترین غلظت کادمیوم در ریشه کاهو ۳/۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و در اندام هوایی آن ۱/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم است که در هنگام استفاده از ٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به مدت سه سال متوالی مشاهده شد (جدول ۷).

بالاترین غلظت کادمیوم ریشه تربچه (۱/٦٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) و نیز اندام هوایی آن (۲/۷٤ میلی‌گرم در کیلوگرم) است و هنگامی به‌دست آمد که از ٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به‌مدت سه سال متوالی استفاده گردید که اختلاف معنی‌داری با کلیه سطوح کودی از نظر آماری نشان داد و کمترین غلظت کادمیوم تربچه نیز مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۷). اسلون و همکاران (۱۹۹۷)

www.SID.ir

نیز گزارش کردند که غلظت کادمیوم در اندام هوایی کاهو، با مصرف لجن فاضلاب افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد. بررسی اثرات باقی‌مانده نشان داد که در تیمارهای یک سال کوددهی که از آخرین و تنها کوددهی آن‌ها سه سال می‌گذرد، میزان سرب ریشه و کادمیوم ساقه اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نداشته است اما اثرات تجمعی آن‌ها در برخی تیمارها نسبت به شاهد معنی‌دار بوده است (جدول ٦). کیلر و همکاران (۲۰۰۰) در تحقیقی میزان جذب کادمیوم در خاک تیمارشده با لجن فاضلاب را به‌وسیله لوبیا، ذرت، چغندرقند، سیب‌زمینی، کاهو و اسفناج ارزیابی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که در اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان مورد آزمایش، در اثر مصرف لجن فاضلاب غلظت کادمیوم نسبت به شاهد افزایش نشان داده است.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های غلظت کادمیوم (mg/kg) در ریشه و ساقه کاهو و تربچه در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب.

	کاهو						تربچه					
	ریشه			اندام هوائی			ریشه			اندام هوائی		
تیمار	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
شاهد	۰/۵٦^{d}	۰/٦٧^{d}	۰/۸۳^{d}	۰/۵۹^{c}	۰/٦٧^{c}	۰/۷۱^{c}	۰/۵۵^{e}	۰/٦۲^{e}	۰/۵۳^{e}	۰/٦۲^{e}	۰/۷۵^{e}	۰/۵۹^{e}
۲۰	۱/۹۷^{bc}	۲/۷۱^{b}	۳/٦۹^{a}	۰/٤۳^{c}	۰/۸۵^{bc}	۱/۸۵^{a}	۰/۸٦^{d}	۰/۹۹^{cd}	۱/۲۰^{bc}	۱/۰۲^{de}	۱/۸٤^{bc}	۱/٦۷^{bc}
٤۰	۱/٤٦^{C}	۲/۵۸^{b}	۳/۸۰^{a}	۱/۰۷^{ab}	۱/۳۱^{ab}	۱/۸۸^{a}	۱/۱۲^{c}	۱/۳٦^{b}	۱/٦٦^{a}	۱/۳٤^{cd}	۲/۰٤^{b}	۲/۷٤^{a}

A: سال ۱۳۸۵، B : سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸٦، C : سال ۱۳۸۵-۱۳۸۷.

میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شده‌اند. در هر ستون و ردیف برای هر عامل آزمایشی تفاوت هر دو میانگینی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، معنی‌دار نیست.

مقایسه غلظت فلزات در اندام هوایی و ریشه گیاهان بسته به عنصر و گیاه روند خاصی را نشان می‌دهد. میزان کادمیوم در ریشه کاهو در تمامی تیمارها بیشتر از اندام هوایی این گیاه بود (جدول ۷). تجمع کادمیوم در ریشه می‌تواند به‌عنوان یک نکته مثبت تلقی گردد زیرا این امر احتمالاً مانعی برای انتقال بیشتر آن به اندام هوایی و چرخه عناصر غذایی می‌باشد. هودجی و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند که با مصرف لجن فاضلاب غلظت کادمیوم در اندام هوایی و ریشه شاهی، کاهو و اسفناج افزایش یافته است.

www.SID.ir

غلظت سرب و کادمیوم در گیاهان مورد مطالعه از حد سمی آن‌ها که در منابع گزارش شده است بسیار پایین‌تر بود. دامنه غلظت سمی برای سرب و کادمیوم به‌ترتیب ۳۰-۳۰۰ و ۵-۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (چینی، ۱۹۸۹).

نتیجه‌گیری

کاربرد لجن فاضلاب با مقادیر مختلف، موجب افزایش هدایت الکتریکی و کربن آلی خاک گردید که این افزایش در تیمارهای ٤٠ تن لجن فاضلاب در هکتار نسبت به تیمارهای ۲۰تن لجن فاضلاب در هکتار که سه سال متوالی مصرف شده بیشتر بوده، اما بر مقدار pH خاک تاثیر قابل توجهی نداشت. همچنین لجن فاضلاب اثر معنی‌داری بر افزایش غلظت کل سرب و کادمیوم در خاک داشته است. کاربرد لجن فاضلاب غلظت قابل عصاره‌گیری با DTPA سرب و کادمیوم را افزایش داد که اثر تجمعی آن بیشتر از اثر باقی‌مانده آن بود. افزودن لجن فاضلاب به خاک منجر به افزایش غلظت عناصر سنگین در ریشه و اندام‌هوایی گیاهان گردید و این افزایش در اندام هوایی تربچه قابل توجه می‌باشد. بررسی روند تغییرات جذب فلزات سنگین در اندام هوایی تربچه نشان می‌دهد که با افزایش مقدار قابل جذب عناصر سنگین در خاک، جذب و تجمع عناصر در اندام‌های گیاهی افزایش می‌یابد بنابراین از کاربرد طولانی مدت و مقدار زیاد لجن فاضلاب، خطر تجمع عناصر سنگین را در خاک و اندام‌های گیاهی افزایش می‌دهد.

منابع

1.Afyuni, M. and Norbakhsh, F. 1998. Uptake of some heavy metals in soils treated with sewage sludge by the sorghum plant. J. Water and Wastewater, 20: 4-9.
2.Afyuni, M., Rezaiee nezhad, Y. and Khayambashi, B. 1998. Effect of sewage sludge on yield and uptake of heavy metals by lettuce and spinach. J. Agricultural Sciences and Natural Resources, 1: 19-29. (In Farsi)
3.Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists. 15. Arlington, VA. 340p.
4.Bahmanyar, M. 2007. Effect of wastewater irrigation of crops on the amount of some heavy metals in soil and plants. J. Environ Studies, 44: 19-26. (In Persian)
5.Baker, D.E. and Amacher, M.C. 1982. Nickel, copper, zinc and cadmium. In: Page, AL, Miller R.H. and Keeney, D.R. (eds). Methods of soil analysis, Part 2:

www.SID.ir

chemical and microbiological properties, 2nd edn. ASA, SSSA, Madison, WI, Pp: 323-334.
6.Chaney, R.L. 1989. Scientific analysis of proposed sludge rule. J. Biocycle, 30: 80-85.
7.Chaney, R.L., Mums, T.B. and Cathery, H.M. 1980. Composted digested sewage sludge compost in supplying nutrients for soilless potting media. J. American Society for Horticultural Science, 105: 485-492.
8.Hefa, C., Weipu, X., Junliang, L., Qingjian, Z., Yanqing, C. and Gang C.H. 2007. Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turfgrass growth. J. Ecological Engineering, 29: 96-104.
9.Hodaji, M., Abedi, M.J., Afyoni, M. and Mosavi F. 2000. Effect of sewage sludge and cadmium on concentration cadmium in the king, lettuce and spinach. J. Agricultural Sciences, 9: 57-72. (In Persian)
10.Keller, C., Kayser, A., Keller, A. and Schulin, R. 2000. Heavy-metal uptake by agricultural crops from sewage- sludge treated soils of the upper swiss Rhine valley and the effect of time. Environmental Restoration of Metals contaminated soils, 273-291.
11.Kelling, K.A., Peterson, A.E., Walsh, L.M., Ryan, J.A. and Keeney, D.R. 1997. A field study of the agricultural use of the sewage sludge: I. effect on crop yield and uptake of N and P. J. Environmental Quality, 6: 339-343.
12.Khayambashi, B. 1997. The effect of using sewage sludge as fertilizer on the day of and the accumulation of heavy metals in soil and plant. Master thesis soil. Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. 123p. (In Farsi)
13.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA test for Zinc, Iron, manganese and copper. J. Soil Science Society of American, 42:421-428.
14.Lovisa, S.F., and Stig, L. 2006. Effects of sewage sludge on pH and plant availability of metals in oxidising sulphide mine tailings. J. Science of the Total Environmental, 35: 21-35.
15.Muchuweti, M., Birkett, J.W., Chinyanga, E., Zvauya, R., Scrimshaw, M.D. and Lester, J.N. 2006. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. J. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1: 41-48.
16.Muhammad, K., Jamali, T., Kazi, G., Muhammad, B., Arain, H. and Afridi, I. 2009. Heavy metal accumulation in different varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in soil amended with domestic sewage sludge. J. Hazardous Materials, 164: 1386-1391.

www.SID.ir

17.Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In Methods of Soil Analysis, eds. A.L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, Pp:181-198. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.
18.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. J. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73: 632-641.
19.Singh, R.P. and Agrawal, M. 2007. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgaris plants. J. Chemosphere, 67: 2229-2240.
20.Sloan, J.J., and Doweley, R.H. 1998. Recovery of biosalids applied heavy metals sixteen years after applications, J. Environmental Quality, 27:1312-1317.
21.Sloan, J.J. Dowy, R.H., Dolan, M.S., and Linden, D.R. 1997. Long term effects of biosolids applications on heavy metal bioavalability in agricultural soils. J. Environmental Quality, 26: 966-974.
22.Walkley, A. and Black, L.A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. J. Soil Science, 37: 29-38.
23.Wong, J.W.C. and Wong, M.H. 2000. The growth of Brassica chinensis in heavy-metal-contaminated sewage sludge compost from Hong Kong. J. Agriculture, Ecosystems and Environmental, 81: 209-216.

Archive of SID

www.SID.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(3), 2011
www.gau.ac.ir/journals

The effects of sewage sludge application on pH, EC, O.C, Pb and Cd in soil and lettuce and radish plants

[*]S. Rahimi Alashty[1], M.A. Bahmanyar[2] and M. Ghajar Sepanlou[3]
M.Sc Student, Associate Prof., and Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Respectivly
Received: 2010-5-1 ; Accepted: 2011-2-23

Abstract

In order to investigate the effect of sewage sludge (SS) application on some chemical properties and Lead (Pb) and Cadmium (Cd) concentration in soil, lettuce and radish plants, and field experiment was carried out as factorial arrangement based on the randomized complete block design with three replications in 2008. Sewage sludge in 3 levels (0, 20 and 40 ton ha^{-1}) in 3 years was used. The results indicated that application of sewage sludge was significant effect on pH, EC, OC, Pb and Cd concentration in soil (available and total), Pb and Cd content in root and shoot of lettuce and radish. Application of 40 ton sewage sludge ha^{-1} in three continuous years decreased the amount of pH and increased the amount of OC and EC. Meanwhile, the maximum amount of Pb and Cd (total and available) were accumulated in 40 ton ha^{-1} treatment, but Its in one and two years application treatments were significant compared to control treatments. The amount of Pb and Cd accumulated in root and shoot of lettuce and radish were increased in 40 ton ha^{-1} treatment for 3 years and also this increase were observed in treatments that was received sewage sludge for one and or two years. Moreover, the accumulation of Cd and Pb in radish root was more than lettuce root. Therefore, long-term application of sewage sludge due to accumulated heavy metals in the soil and uptake by plants must be carefully controlled.

Keywords: Cadmium; Lead; Lettuce; Radishes; Sewage sludge

[*]Corresponding Author; Email: sepideh.rahimy@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir