نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار/ جلد ۲۶ شماره ۲/ تابستان ۱۳۹۵

تأثیر لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر غلظت برخی عناصر میکرو در کاهو (*Lactuca sativa* L.) و خاک

رحیمه حسین پور[۱]، مهدی قاجار سپانلو[۲*]، سروش سالک گیلانی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۲

۱- کارشناسی ارشد علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- دانشیار علوم خاک، گروه خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- دانشجوی دکترای علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
مسئول مکاتبه: sepanlu@yahoo.com

چکیده

بررسی تأثیر مصرف لجن فاضلاب به صورت جداگانه و همراه با کودهای شیمیایی و مدت کاربرد آن بر غلظت عناصر میکرو در خاک و *کاهو* (*Lactuca sativa* L.) در مزرعه، هدف این تحقیق بود. این پژوهش در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر پایه بلوکهای کامل تصادفی، با دو عامل در سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی ٦ تیمار کودی شامل شاهد، کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپرفسفات تریپل به میزان ۷۵ و اوره ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، لجن فاضلاب ۲۰ و ٤٠ تن در هکتار بصورت جداگانه و همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی بود و عامل فرعی نیز تفاوت کاربرد یک ساله، دو ساله و سه ساله تیمارهای کودی در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش نشان داد که اثر تیمارهای کودی بر میزان روی و مس قابل جذب خاک، غلظت آهن، روی، مس و منگنز ریشه و نیز روی و مس اندام هوایی کاهو معنی‌دار شد. نتایج همچنین نشان داد که غلظت عناصر میکرو در خاک و اندام هوایی و ریشه کاهو به طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد سالانه تیمارهای کودی قرار گرفتند. بیشترین افزایش در میزان عناصر میکرو خاک و کاهو در تیمار لجن فاضلاب به میزان ٤٠ تن در هکتار بصورت انفرادی و همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی بدست آمد.

واژه های کلیدی: عناصر میکرو، کاهو، کود آلی، کود شیمیایی، لجن فاضلاب

Archive of SID

www.SID.ir

The Effects of Sewage Sludge and Chemical Fertilizers on Concentration of Some Microelements in Soil and Lettuce (*Lactuca Sativa* L.)

Rahima Hosseinpour[1], Mehdi Ghajar Sepanlou[2*], Soroush Salek Gilani[3]

Received: December 1, 2014 Accepted: April 11, 2016
1-MSc of Soil Science, Dept. of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2-Assoc. Prof. of Soil Science, Dept. of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3-PhD student of Soil Science, Dept. of Soil Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
* Corresponding Author**:** sepanlu@yahoo.com

Abstract

The aim of the present study was to investigate the effects of sewage sludge (SS) application individually and with chemical fertilizer and application time on the micronutrient concentration in soil and lettuce (*Lactuca sativa* L.) in the field. The experiment was arranged in split plots based on complete randomized block design with two factors and three replications. The main plot included 6 fertilizer treatments consisting of control, chemical fertilizer (pottasium solfate, triple phosphate super of 75 and urea 200 kg/ ha) 20 and 40 ton.ha^{-1} of sewage sludge individually and with 50% chemical fertilizer. The sub-plots were considered as one year, two-year and three-year application of fertilizer. Experimental results showed that the treatment significantly affected the available Zn and Cu of soil and concentration of Fe, Zn, Cu and Mn in lettuce root and Zn and Cu in shoots. The results also showed that concentration of the microelement in soil and root and shoot of lettuce were affected significantly by annual application of fertilizers. Interaction of the two factors showed significant effect on available Zn content of soil, Zn and Mn concentration of root and Fe and Cu of shoot. The highest increase in content of soil and lettuce micronutrient belonged to the application of 40 ton. ha^{-1} sewage sludge individually and enriched with 50% chemical fertilizer.

Keyword: Chemical Fertilizer, Lettuce, Micronutrient, Organic Fertilizer, Sewage Sludge

Archive of SID

مقدمه

لجن فاضلاب به عنوان کود آلی از دیر باز جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی داشته و استفاده از آن برای تأمین عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف گیاهی و مواد آلی خاک مورد توجه بوده است (عرفان منش ۱۳۷٦). کودهای شیمیایی فاکتور اصلی در حفظ حاصلخیزی خاک هستند، اما استفاده فشرده از کودهای شیمیایی و بعضی شیوه‌های نامناسب کشاورزی می‌تواند تا حد زیادی مواد آلی خاک‌ها را کاهش داده و به طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیر بگذارد و نهایتاً سبب تخریب خاک‌ها گردد (تجادا و گنزالز ۲۰۰٦). گزارشات نشان می‌دهد با مصرف کودهای آلی فراهمی فسفر و بیشتر

www.SID.ir

عناصر میکرو به واسطه مکانیسم‌های مختلف افزایش می‌یابد. واکنش گیاه به این نوع کود به عواملی از قبیل نوع کود، کیفیت آن، زمان و میزان مصرف، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در طی فصل رشد گیاه بستگی دارد (مک دوناق و همکاران ۱۹۹۵). معدنی شدن مواد آلی لجن فاضلاب ممکن است فلزات را به صورت فرم‌های قابل استفاده زیستی آزاد نماید که این فرم‌ها به وسیله ریشه گیاهان بهتر جذب می‌شوند (هودجی و همکاران ۱۳۸۰). افزایش غلظت عناصر کم مصرف نظیر آهن، روی، مس و منگنز در خاک و گیاه به دنبال کاربرد فاضلاب شهری در مطالعات زیادی به اثبات رسیده است (نظری و همکاران ۱۳۸۵، دودی و همکاران ۱۹۷۸ و بزکورت و یاریلاک ۲۰۰۳).

برخی از محققان اظهار داشتند که کاربرد کوتاه مدت لجن فاضلاب می‌تواند به عنوان یک اصلاح کننده خاک برای تولید سبزیجات استفاده شود، بدون اینکه اثرات سمی در ترکیب شیمیایی سبزیجات ایجاد کند (زوبیلاگا و لاوادا ۲۰۰۲). مصرف لجن فاضلاب در برخی موارد در برطرف کردن نیاز گیاهان به عناصر کم مصرف بسیار مؤثرتر ازسایر منابع عمل کرده است، برای مثال رفع کمبود روی در ذرت به وسیله لجن فاضلاب بسیار مؤثرتر از مصرف سولفات روی بوده است (سومرز ۱۹۷۷). لذا به طور کلی میتوان اظهار نمود که افزودن فاضلاب و سایر مواد زاید شهری به خاک باعث افزایش غلظت عناصر کم مصرف خاک می‌گردد زیرا فاضلاب و لجن فاضلاب همواره دارای مقدار زیادتری از این عناصر نسبت به خاک هستند. گرچه عناصر مذکور مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرند ولی مصرف پی در پی و بیش از حد لجن فاضلاب ممکن است به مسمومیت برخی از گیاهان نسبت به این عناصر منجر گردد (الیوت و استیونسون ۱۹۷۷ و چانگ و همکاران ۱۹۸۲). هدف از این پژوهش بررسی اثرات کاربرد مقادیر متفاوتی از لجن فاضلاب بصورت جداگانه و غنی شده با کودهای N-P-K به مدت ۳ سال متوالی بر: (۱) میزان عناصر میکرو قابل جذب خاک (۲) غلظت عناصر میکرو ریشه و اندام هوایی کاهو کشت شده در خاک به دنبال کاربرد لجن فاضلاب به منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال زراعی ۱۳۸۷ و به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک های کامل تصادفی با دو عامل در سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اصلی شامل شش تیمار کودی: شاهد (T1)، کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپرفسفات تریپل به میزان ۷۵ و اوره ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) (T2)، لجن فاضلاب۲۰ تن در هکتار + ۵۰٪ کود شیمیایی (T3)، لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار (T4)، لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار + ۵۰٪ کود شیمیایی (T5) و لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار (T6) و عامل فرعی نیز به صورت، تفاوت کاربرد یک ساله (۱۳۸۵)، دو ساله (۱۳۸٦– ۱۳۸۵) و سه ساله (۱۳۸۷– ۱۳۸٦– ۱۳۸۵) تیمارهای کودی در نظر گرفته شد. بدین ترتیب که، کرت اصلی (در ابعاد ۱۲×۳ متر) در سال ۱۳۸۵مشخص و تیمار کودی در آن اعمال گردید، در سال ۱۳۸٦ در سطح دو سوم (در ابعاد ۸×۳ متری) مجدداً تیمارهای کودی اجرا گردید و یک سوم باقیمانده بدون مصرف لجن فاضلاب زیر کشت قرار گرفت. در سال ۱۳۸۷، سطح ۸×۳ که در سال ۱۳۸٦ تیمار کودی اجرا شده بود به دو قسمت مساوی تقسیم شد و نیمی از آن (در ابعاد ٤×۳ متری) برای سه سال متوالی تیمار کودی در آن اجرا شد.

لجن فاضلاب مورد استفاده از تصفیه‌خانه شاهین شهر اصفهان تهیه شد . این لجن از پسابهای خانگی این شهر و کارخانجات اطراف شهر تشکیل شده است. فرآیندهای اعمال شده روی لجن فاضلاب شامل تصفیه اولیه و ثانویه هستند. تصفیه اولیه با فرآیندهای آشغالگیری، ته‌نشینی، شناورسازی، خنثی‌سازی و

Archive of SID

www.SID.ir

متعادل‌سازی، مواد جامد معلق از فاضلاب را حذف و آن را برای ورود به قسمت تصفیه ثانویه آماده می‌کند که در آن فرآیند تصفیه بیولوژیکی اعم از هوازی و بی‌هوازی انجام می‌شود. در این تحقیق هیچگونه عملیات و فرآیندی روی لجن قبل از مصرف اعمال نشد. خصوصیات شیمیایی ارائه شده در جدول ۱ مربوط به ماده خشک لجن است. قبل از کاشت از خاک محل آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری بصورت مرکب نمونه برداری شد و عناصر میکرو آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب ابتدا با روش DTPA عصاره گیری و سپس با دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (وسترمن ۱۹۹۰) که نتایج مربوط به آن در جدول ۱ آورده شده است.

سپس کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب به خاک افزوده و با خاک مخلوط شدند. کشت کاهو به صورت بذر پاشی در اسفندماه و برداشت آن در فروردین (۴۵ روز بعد از کاشت) انجام شد. پس از شستشوی نمونه ها با آب مقطر، اندام هوایی و ریشه گیاه بصورت جداگانه در درجه حرارت ۷۰ درجه سانتیگراد تارسیدن به وزن خشک ثابت، و سپس به وسیله آسیاب برقی پودر و برای اندازه گیری غلظت آهن، روی، مس و منگنز مورد استفاده قرار گرفت. عصاره گیری به روش سوزاندن خشک و هضم در اسید کلریدریک انجام شد. سپس غلظت فلزات مذکور در عصاره های حاصل به وسیله دستگاه جذب اتمی قرائت گردید. نتایج حاصل از اندازه گیری‌ها با استفاده از نرم افزارهای آماری SPSS و MSTATC تجزیه گردید و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر غلظت عناصر میکرو قابل جذب خاک

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین مربوط به عناصر میکرو قابل جذب خاک در جداول ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی لجن فاضلاب و خاک

	pH	EC (dSm^{-1})	C (%)	N (%)	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu ($mg.kg^{-1}$)	Sand	Silt	Clay (%)	Texture
لجن	۷/۴۴	۵/۵۰	۲۱/۰۰	۱/۴۰	۴۳۰۰	۴۸۹۴/۰۰	۸۶/۹۴	۴۳/۳۴	۳۱۸/۰۰	۲۵/۷۵	۱۰	–	–	–
فاضلاب	۷/۵۵	۱/۱۷	۲/۴۱	۰/۲۳	۱۴/۶	۲۶۴/۸۴	۳۵/۹۳	۷/۳۲	۱/۰۲	۲/۲۱		۴۳	۴۷	رس سیلتی
خاک														

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات مقادیر کود و مدت کوددهی بر غلظت عناصر میکرو خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		آهن	روی	مس	منگنز
تکرار	۲	۱۹/۷۷^{ns}	۱/۶۲^{ns}	۰/۵۹^{ns}	۱۱/۶۳$^{n.s}$
نوع کود	۵	۱۵/۷۴^{ns}	۴۳/۲۶***	۳/۳۰***	۱۱/۴۴$^{n.s}$
مدت کوددهی	۲	۲۳۲/۷۴***	۳۴/۵۵ ***	۷/۱۶***	۷۶۴/۵۰***
اثر متقابل	۱۰	۱۵/۴۳^{ns}	۳/۷۴***	۰/۶۳^{ns}	۵۶/۸۵^{ns}
اشتباه	۳۴	۲۵/۵۵	۰/۸۹	۰/۵۲	۷۰/۰۳

*** و ns بترتیب در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار و غیر معنی‌دار می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

آهن: مطابق با جدول ۲ اثر تیمارهای کودی و برهمکنش بین نوع کود و مدت کاربرد آن بر میزان آهن قابل جذب خاک از لحاظ آماری معنی‌دار نشد. اثر مدت کوددهی بر آهن قابل جذب خاک از نظر آماری معنی‌دار بوده است، بطوریکه کاربرد سه ساله تیمارهای کودی در مقایسه با کاربرد یک ساله و دو ساله آن باعث افزایش بیشتری در میزان آهن قابل جذب خاک شد.

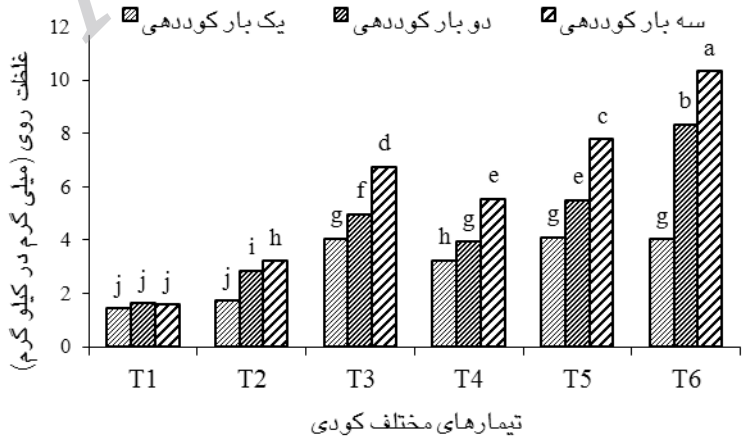
جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت عناصر میکرو قابل جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)

تیمار	آهن	روی	مس	منگنز
T1	۵۲/۱۱^{a}	۱/۰۲^{e}	۲/۸۷^{c}	۹/۹٤^{a}
T2	۵۰/۸۳^{a}	۲/۵۷^{d}	۲/۹٤^{c}	۱۳/۱۹^{a}
T3	۵۲/۱۱^{a}	۵/۲۳^{b}	۳/٤۲^{ab}	۱۳/۲۷^{a}
T4	۵۲/۲٦^{a}	٤/۲۲^{c}	۳/۰۱^{bc}	۱٤/۱۹^{a}
T5	۵۳/٦۸^{a}	۵/۷۷^{b}	۳/۵۲^{ab}	۱٤/٤۲^{a}
T6	۵٤/۵٦^{a}	۷/۵۵^{a}	٤/۰۳^{a}	۱۳/۵۸^{a}
مدت کوددهی				
یک بار کوددهی	٤۹/۱۰^{b}	۳/۰۸^{c}	۳/۱۰^{b}	۹/۳۱^{b}
دو بار کوددهی	۵۲/۳۹^{b}	٤/۵۲^{b}	۳/۹۵^{b}	۱٤۱۵/٤۰^{b}
سه بار کوددهی	۵٦/۲۸^{a}	۵/۸۵^{a}	٤/۲٤^{a}	۲۱/۲٤^{a}

* : میانگین هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی دار ندارند.

T_1: شاهد، T_2: کود شیمیایی، T_3: لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی، T_4: لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار، T_5: لجن فاضلاب ٤۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی، T_6: لجن فاضلاب ٤۰ تن در هکتار.

روی: با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف کودی، مدت کوددهی و اثر متقابل بین آن دو، بر میزان روی قابل جذب خاک از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۲). با توجه به شکل ۱ کاربرد سه سال متوالی لجن فاضلاب ٤۰ تن در هکتار بیشترین افزایش در مقدار روی قابل جذب خاک را به خود اختصاص داد.



شکل ۱- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری انواع کود و کاربرد سالانه کود برای غلظت روی در خاک

Archive of SID

www.SID.ir

مس: مطابق جدول ۲ اثر تیمارهای کودی و مدت کاربرد کود بر میزان مس قابل جذب خاک معنی‌دار بود. حداکثر مقدار مس قابل جذب خاک از تیمار لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار (T6) بدست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کود شیمیایی و شاهد نشان داد. کاربرد سه سال متوالی تیمارهای کودی در مقایسه با کاربرد یک ساله و دو ساله تیمارهای کودی بیشترین افزایش را در میزان مس قابل جذب خاک نشان داد.

منگنز: با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف کودی و برهمکنش بین نوع کود و مدت کاربرد آن بر میزان منگنز قابل جذب خاک از لحاظ آماری معنی‌دار نشد (جدول ۲)، ولی اعمال تیمارهای کودی باعث افزایش منگنز قابل جذب خاک نسبت به شاهد شد. اثر مدت کوددهی بر میزان منگنز قابل جذب خاک معنی‌دار شد. بطوریکه کاربرد سه ساله آن نسبت به کاربرد یک ساله و دو ساله افزایش بیشتری را در میزان منگنز قابل جذب خاک سبب شد (جدول ۳).

بطور کلی غلظت قابل جذب عناصر آهن، روی، مس و منگنز در تیمارهای دریافت کننده لجن فاضلاب در مقایسه با تیمارهای شاهد و کود شیمیایی افزایش یافت که این افزایش در مورد آهن و منگنز قابل جذب خاک از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). افزایش غلظت عناصر میکرو (آهن، روی، مس و منگنز) به دنبال کاربرد لجن فاضلاب در خاک توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (خیامباشی ۱۳۷٦، هرناندز و همکاران ۱۹۹۱ و چانگ و همکاران ۱۹۹۷)، که یکی از دلایل آنرا افزایش مستقیم این عناصر در اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک بیان نمودند (چانگ و همکاران ۱۹۹۷). داده‌های جدول ۳ نشان میدهد که افزایش در غلظت عناصر میکرو خاک به دنبال کاربرد مقادیر مختلف لجن فاضلاب متناسب با افزایش در تعداد دفعات و مقادیر کاربرد لجن فاضلاب بوده است (عرفان منش ۱۳۷٦، اسکوسن و کلینگر ۱۹۹۱). کاربرد متداول کودهای N-P-K اثر اندکی بر تجمع مس و روی خاک داشت، این در صورتی بود که تیمارهای لجن فاضلاب و تیمار لجن فاضلاب + کودهای N-P-K به طور معنی‌داری غلظت روی و مس را در خاک افزایش دادند (جدول ۳)، این نتایج موافق با نتایج تحقیقات وی و لیو (۲۰۰۵) می‌باشد. در واقع لجن فاضلاب غلظت بالایی از این عناصر را به خاک عرضه کرد و انباشت فلزات در خاک مربوط به مقدار اولیه فلزات در لجن و مقادیر کاربرد آن می‌باشد (وی و لیو ۲۰۰۵).

تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر غلظت عناصر میکرو در کاهو

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثر کاربرد تیمارهای مختلف کودی بر میزان جذب عناصر میکرو در ریشه و اندام هوایی کاهو در جداول ٤ و ٥ آورده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- تجزیه واریانس اثرات مقادیر کود و مدت کوددهی بر غلظت عناصر میکرو در ریشه و اندام هوایی کاهو

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		آهن		روی		مس		منگنز	
		ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
تکرار	۲	۷۱۵۴۷/۴^{ns}	۴۷۱۱/۰^{ns}	۱۱/۷^{ns}	۲۲۹/۵^{ns}	۱۶۱۷/۰*	۱۱۱/۲^{ns}	۵۵۰/۹*	۱۹۷/۹*
نوع کود	۵	۲۶۴۸۵۶/۵**	۹۳۸/۸^{ns}	۹۱۹/۴***	۵۲۴۱/۱***	۵۷۵/۶*	۳۳۹/۶**	۳۸۰/۸*	۵۸/۹^{ns}
مدت کوددهی	۲	۳۷۴۳۴۳/۵*	۱۹۸۲۲/۱**	۶۲۷/۶***	۱۸۵۲۹/۸***	۷۲۶/۵*	۲۸۰۴/۹***	۱۳۵۰/۵***	۴۷۷/۶***
اثر متقابل	۱۰	۴۶۰۰۰/۲^{ns}	۶۸۸۰/۷*	۱۸۵/۹***	۱۶۸۱/۰^{ns}	۲۲۴/۶^{ns}	۱۶۴/۵*	۲۲۲/۴*	۶۳/۵^{ns}
اشتباه	۳۴	۷۴۰۰۲/۳	۲۷۳۲/۸	۲۶/۰	۹۶۲/۹	۲۲۴/۶	۷۳/۲	۸۳/۲	۴۶/۷

*** و ns بترتیب در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار و غیر معنی‌دار می‌باشد.

آهن: نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد که اثر تیمارهای مختلف کودی و مدت کوددهی بر غلظت آهن در ریشه کاهو معنی‌دار بود. اثر متقابل بین نوع کود و مدت کاربرد آن بر غلظت آهن ریشه کاهو اثر معنی‌داری نشان نداد (جدول ٤). تفاوت معنی‌داری در غلظت آهن اندام هوایی کاهو تحت تیمارهای مختلف کودی مشاهده نشد (جدول ٤). اثر متقابل بین نوع کود و مدت مصرف آن بر غلظت آهن اندام هوایی کاهو معنی‌دار بود. چنانکه از شکل ۲ مشخص می‌شود کاربرد سه سال متوالی لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی بیشترین افزایش در غلظت آهن اندام هوایی کاهو را به خود اختصاص داد.

جدول ۵- مقایسه میانگین غلظت عناصر میکرو (میلی گرم در کیلوگرم) ریشه و اندام هوایی کاهو

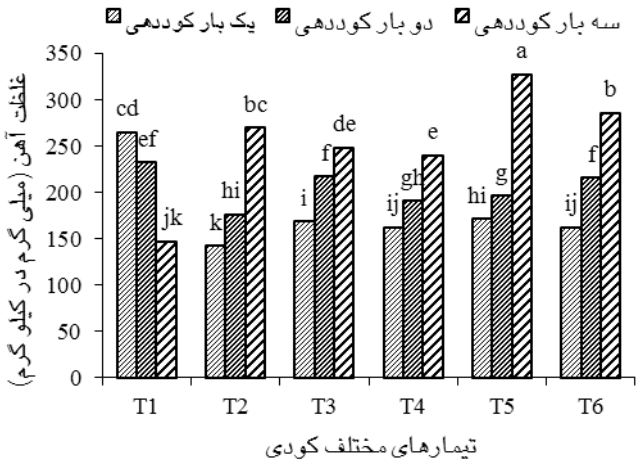
تیمار	آهن		روی		مس		منگنز	
	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
T1	۸۰۶/۴۶^{ab}	۲۱۴/۰۶^{a}	۵۱/۹۹^{c}	۱۳۶/۷۹^{bc}	۲۹/۹۸^{b}	۴۵/۰۵^{b}	۳۸/۳۱^{a}	۴۷/۹۷^{a}
T2	۸۱۶/۸۸^{ab}	۱۹۵/۵۷^{a}	۵۳/۵۸^{c}	۱۴۲/۹۰^{bc}	۴۶/۳۶^{a}	۴۱/۱۴^{bc}	۳۷/۸۲^{a}	۵۴/۶۰^{a}
T3	۶۷۲/۲۰^{b}	۲۱۰/۷۴^{a}	۵۴/۹۵^{c}	۱۶۸/۰۹^{ab}	۳۷/۷۲^{ab}	۴۶/۱۱^{ab}	۲۸/۶۲^{ab}	۵۱/۱۹^{a}
T4	۶۱۴/۰۵^{b}	۱۹۶/۹۷^{a}	۵۳/۳۲^{c}	۱۱۲/۶۷^{c}	۳۹/۸۵^{ab}	۳۵/۹۶^{c}	۲۳/۹۴^{b}	۵۲/۱۱^{a}
T5	۱۰۴۳/۱۰^{a}	۲۱۴/۵۸^{a}	۷۰/۱۹^{b}	۱۸۰/۴۹^{a}	۳۹/۰۳^{ab}	۵۳/۹۹^{a}	۳۸/۹۲^{a}	۵۱/۰۳^{a}
T6	۱۰۰۲/۶۰^{a}	۲۲۰/۷۱^{a}	۷۵/۲۲^{a}	۱۴۰/۲۶^{bc}	۵۳/۳۹^{a}	۴۸/۱۶^{ab}	۳۹/۰۱^{a}	۵۴/۸۶^{a}
مدت کوددهی								
یک بار کوددهی	۶۸۶/۷۰^{b}	۱۷۸/۰۸^{b}	۵۳/۸۶^{c}	۱۱۵/۵۶^{c}	۳۳/۹۱^{b}	۳۰/۹۲^{b}	۲۸/۴۵^{b}	۴۶/۳۰^{b}
دو بار کوددهی	۸۵۰/۵۸^{ab}	۲۰۴/۲۵^{b}	۶۰/۱۱^{b}	۱۴۵/۳۶^{b}	۴۳/۱۸^{ab}	۴۹/۷۹^{a}	۳۰/۴۸^{b}	۵۳/۲۰^{a}
سه بار کوددهی	۹۴۰/۳۷^{a}	۲۴۳/۹۸^{a}	۶۵/۶۶^{a}	۱۷۹/۶۸^{a}	۴۶/۰۷^{a}	۵۴/۵۱^{a}	۴۴/۳۷^{a}	۵۶/۳۸^{a}

* : میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

T_1: شاهد، T_2: کود شیمیایی، T_3: لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی، T_4: لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار، T_5: لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی، T_6: لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار.

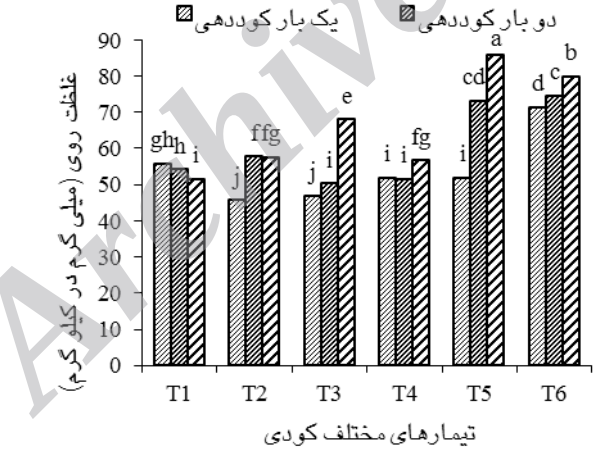
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری انواع کود و کاربرد سالانه کود برای غلظت آهن اندام کاهو

روی: مطابق جداول ٤ و ٥ اثر تیمارهای کودی و مدت کوددهی بر غلظت روی ریشه کاهو معنی‌دار بود. بیشترین مقدار روی در ریشه مربوط به تیمار لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار (T6) می باشد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تمام تیمارها نشان داد. اثر متقابل بین نوع کود و مدت مصرف آن نیز بر غلظت روی در ریشه کاهو از لحاظ آماری معنی‌دار بود. بطوریکه بیشترین غلظت روی از تیمار لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار همراه با ٥٠ درصد کود شیمیایی در کاربرد سه ساله حاصل شد (شکل ۳).



شکل ۳- ترکیبات تیماری نوع کود و مدت کوددهی برای غلظت روی درریشه کاهو

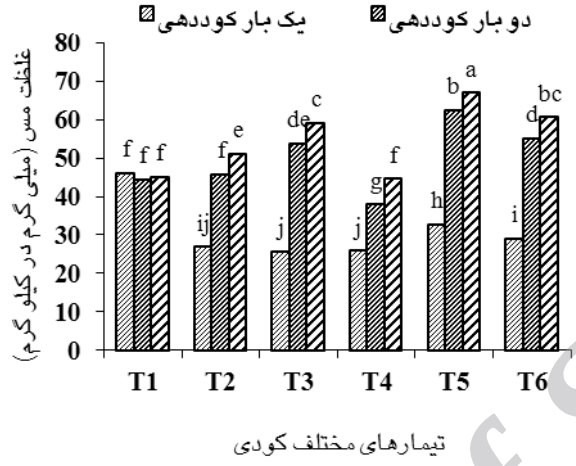
اثر تیمارهای مختلف کودی و مدت مصرف آن بر غلظت روی اندام هوایی کاهو معنی‌دار بود (جدول ٤). بالاترین غلظت روی در اندام هوایی کاهو از تیمار لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار همراه با ٥٠ درصد کود شیمیایی (T5) حاصل شد (جدول ٥).

مس: چنانکه از جدول تجزیه واریانس مشخص می‌شود اثر تیمارهای مختلف کودی و مدت مصرف کود بر غلظت مس ریشه کاهو از نظر آماری معنی‌دار بوده است (جدول ٤). اعمال کلیه تیمارهای کودی موجب افزایش غلظت مس ریشه کاهو در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ٥). اثر تیمارهای کودی و مدت

Archive of SID

www.SID.ir

کوددهی و برهمکنش بین آن دو بر غلظت مس اندام هوایی کاهو معنی‌دار بود (جدول ٤). با توجه به شکل ٤ بیشترین غلظت مس اندام هوایی کاهو از بکارگیری تیمار لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار همراه با ٥٠ درصد کود شیمیایی به مدت سه سال متوالی (T5) حاصل شد.



شکل ۴- ترکیبات تیماری نوع کود و مدت کوددهی برای غلظت مس اندام کاهو

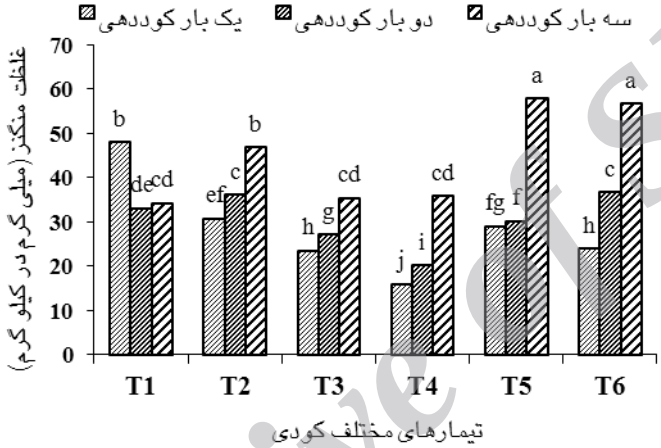
منگنز: با توجه به نتایج به دست آمده اثر تیمارهای کودی، مدت کوددهی و برهمکنش بین آن دو بر غلظت منگنز ریشه کاهو معنی‌دار بود. (جدول ٤). بیشترین غلظت منگنز در کاربرد لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار همراه با ٥٠ درصد کود شیمیایی به مدت سه سال متوالی (T5) حاصل شد و با کاربرد سه ساله تیمار لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار (T6) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ٥). تفاوت معنی‌داری در غلظت منگنز اندام هوایی کاهو بین تیمارهای مختلف کودی و اثر متقابل بین نوع کود و مدت مصرف آن مشاهده نشد. در مقابل اثر مدت کوددهی بر غلظت منگنز اندام هوایی کاهو معنی‌دار شد، به طوری که با افزایش در تعداد دفعات کوددهی غلظت منگنز در اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت (جداول ٤ و ٥).

این تحقیق نشان داد که، به دنبال افزایش میزان عناصر میکرو قابل جذب خاک (جدول ٣) غلظت این عناصر در ریشه و اندام هوایی کاهو افزایش یافت به طوری که این افزایش متناسب با افزایش در تعداد دفعات و مقادیر کاربرد تیمارهای کودی بوده است (جدول ٥). همچنانکه لیندسی و نارول، (١٩٧٨) نیز عنوان نمودند که غلظت برخی از فلزات خاک عصاره‌گیری شده با DTPA ٠/٠٠٥ نرمال با غلظت آنها در چند نوع از گیاهان روئیده در آن خاک همبستگی دارد. بیشترین افزایش در غلظت عناصر میکرو ریشه و اندام هوایی کاهو از کاربرد تیمارهای لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار (T6) و لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار همراه با ٥٠ درصد کود شیمیایی (T5) بدست آمد، هرچند در برخی موارد این افزایش معنی‌دار نبود. واثقی و همکاران (١٣٨٤) در بررسی اثر لجن فاضلاب بر مقدار آهن در ٤ شهر رشت، لنگرود، لاهیجان و اصفهان مشاهده نمودند که مقدار آهن قابل جذب خاک در خاک‌های زیر کشت ذرت با افزایش لجن فاضلاب افزایش یافت و در همه خاکها بین تیمارهای مختلف لجن و شاهد معنی‌دار بود. موررا و همکاران (٢٠٠٢) عنوان نمودند که غلظت عناصر کم مصرف در گیاهان مرتعی با افزایش مقدار لجن فاضلاب افزایش یافت. اگرچه بیشترین مقدار عناصر آهن و منگنز در اندام‌های گیاهی

Archive of SID

www.SID.ir

کاهو در تیمار T5 مشاهده شد اما نتایج نشان داد که کاربرد تیمارهای T3 و T4 مقادیر کمتری از آهن و منگنز را در ریشه نسبت به شاهد و سایر تیمارها به خود اختصاص دادند ولی در سایر موارد تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای لجن فاضلاب و تیمارهای کود شیمیایی و شاهد مشاهده نشد. اگرچه در رابطه با فراهمی فلزات به دنبال کاربرد لجن فاضلاب در خاک بحث‌های ضد و نقیضی وجود دارد (استسی و همکاران ۲۰۰۱) اما برخی از محققان اظهار داشتند که به دنبال کاربرد لجن فاضلاب، مقدار آهن برگهای کاهو در مقایسه با تیمارهای شاهد و کود شیمیایی کاهش یافت (کاسترو و همکاران ۲۰۰۹)، که این کاهش می‌تواند به علت افزایش در مقدار مواد آلی خاک باشد که سبب نگهداری آهن در خاک گردید (آنتونیادیز و آلووی ۲۰۰۲)



شکل ۵- ترکیبات تیماری نوع کود و مدت کوددهی برای غلظت منگنز در ریشه کاهو

غلظت روی و مس در خاک، ریشه و اندام هوایی کاهو در تیمارهای لجن فاضلاب بطور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد و کود شیمیایی افزایش یافت (جدول ۵)، دووراک و همکاران (۲۰۰۳) اعلام نمودند که مصرف لجن فاضلاب در خاک منجر به افزایش مقدار روی در بافت‌های گیاهی می‌گردد همچنین بوستانی و رونقی (۱۳۹۱) نیز عنوان داشتند که با افزایش لجن فاضلاب به خاک مقدار مس قابل جذب خاک افزایش یافته است که نتایج مشابهی توسط برخی پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (افیونی و همکاران۱۳۷۷، افیونی و همکاران ۲۰۰۶، بهبهانی نیا و همکاران ۲۰۰۹، واثقی و همکاران ۱۳۸۰، خیامباشی ۱۳۷۶، ونگ و همکاران ۱۹۸۳ و اسلون و همکاران ۱۹۹۷) همچنین بیان شد که این افزایش در بافت گیاه متناسب با افزایش سطح لجن فاضلاب در خاک بود (افیونی و همکاران ۱۳۷۷). کودهای آلی به دلیل محتوی بالای مواد آلی موجب بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و بهتر فراهم کردن عناصر ماکرو و میکرو مورد نیاز گیاه شده که توسط کودهای شیمیایی فراهم نمی‌شوند (یاداو و همکاران ۲۰۰۰ و یادواندر و همکاران ۲۰۰۴). نیامانگرا و همکاران (۱۹۹۹) اعلام نمودند که افزایش لجن فاضلاب به خاک سبب افزایش ۲/۲ روی قابل جذب در خاک شده که این مقدار نسبت به کودهای آلی همچون بقایای گیاهی و دامی بسیار بیشتر بود این افزایش باید به دلیل افزودن مستقیم روی در خاک توسط لجن فاضلاب باشد، همچنین افزایش اسیدیته خاک ضمن افزودن لجن فاضلاب نیز می‌تواند بر مقدار روی قابل جذب خاک نیز موثر باشد (واثقی و همکاران ۱۳۸۴)

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش مس قابل جذب نیز می‌تواند به همین دلیل باشد چرا که افزایش اسیدیته خاک ضمن کاربرد لجن فاضلاب، سبب کاهش رسوب مس به صورت هیدروکسیدها و کربنات‌های نامحلول و کمپلکس‌های آلی گردید در نتیجه قابلیت جذب آن نیز افزایش یافت. نتایج اثر متقابل بین نوع کود و مدت کوددهی نیز نشان می‌دهد که کاربرد سه سال متوالی تیمار لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار همراه با ٥٠ درصد کود شیمیایی (T5) بیشترین افزایش را در غلظت روی و منگنز ریشه و آهن و مس اندام هوایی کاهو به خود اختصاص داد (شکلهای ۲، ۳، ٤ و ٥)، نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است که اظهار داشتند با افزایش در تعداد دفعات و مقادیر کاربرد لجن فاضلاب غلظت عناصر میکرو در گیاه افزایش یافت (دودی و همکاران ۱۹۷۸ و بزکورت و یریلگاک ۲۰۰۰).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این پژوهش با کاربرد لجن فاضلاب چه به صورت جداگانه و چه به صورت تلفیقی با کودهای N-P-K غلظت برخی عناصر میکرو قابل جذب خاک (روی، مس و منگنز) و نیز فراهمی آنها برای گیاه کاهو در مقایسه با تیمار شاهد و کود شیمیایی بطور معنی‌داری افزایش یافت که این افزایش متناسب با افزایش در مقدار لجن کاربردی بود. بالاترین میزان عناصر میکرو در خاک و نیز اندام‌های گیاهی کاهو متعلق به لجن فاضلاب ٤٠ تن در هکتار بصورت جداگانه و تلفیق شده با ٥٠ درصد کود شیمیایی بوده است. همچنین با توجه به اثرات تجمعی لجن فاضلاب، کاربرد سه سال متوالی آن بیشترین میزان عناصر میکرو در خاک و بافت‌های گیاهی کاهو را به خود اختصاص داد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد کاربرد لجن فاضلاب در خاک در رفع کمبود برخی عناصر میکرو از جمله آهن، روی، مس و منگنز می‌تواند مؤثر باشد. اگرچه، با کاربرد لجن فاضلاب در مزارع، عناصر غذایی کافی برای رشد گیاه فراهم و هزینه اقتصادی دفع کاهش می‌یابد، با این وجود، یک ارزیابی دقیق از خصوصیات خاک و لجن فاضلاب، و نیز گونه‌های گیاه کشت شده، قبل از کاربرد لجن فاضلاب در خاک نیاز می باشد. همچنین تحقیقات گسترده‌تری برای استاندارد نمودن روش و مقادیر مناسبی از کاربرد این اصلاح کننده آلی باید صورت بگیرد.

منابع مورد استفاده

افیونی م، رضایی نژاد ی و خیام باشی ب، ۱۳۷۷. اثر لجن بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله اسفناج و کاهو. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۲: ۱۹- ۲۹.

بوستانی ح ر و رونقی ع ا، ۱۳۹۱. مقایسه اثر کاربرد لجن فاضلاب و کود شیمیایی بر زیست فراهمی برخی عناصر غذایی در سه بافت آهکی پس از برداشت اسفناج (*Spinacia oleracea* L.). مجله علوم فنون گلخانه‌ای، ۳(۱۱):۳۳-٤۱.

خیامباشی ب، ۱۳۷٦. اثر استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود در آلایش و انباشت عناصر سنگین در خاک و گیاه. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

عرفان منش م، ۱۳۷٦. اثر تیمارهای لجن فاضلاب بر برخی خصوصیات خاک و جذب و تراکم عناصر سنگین به وسیله اسفناج و گوجه فرنگی. پایان نامه، دانشگاه صنعتی اصفهان.

نظری م ع، شریعتمداری ح، افیونی م، مبلی م و رحیلی ش، ۱۳۸۵. اثر کاربرد پساب و لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو و ذرت. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۳: ۹۷-۱۱۰.

Archive of SID

www.SID.ir

هودجی م، عابدی م ج، افیونی م و موسوی س ف، ۱۳۸۰. تأثیر مصرف لجن فاضلاب و کادمیوم بر غلظت کادمیوم در شاهی، کاهو و اسفناج. مجله علوم کشاورزی، ۵۷ -۷۲.

واثقی س، شریعتمداری ح، افیونی م و مبلی م، ۱۳۸۰. اثر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در گیاهان کاهو و اسفناج در خاک‌های با pH متفاوت. مجله علوم و فنون باغبانی ایران، ۲: ۱۲۵-۱۴۲.

واثقی س، شریعتمداری ح، افیونی م و مبلی م، ۱۳۸٤. بررسی اثر کمپوست لجن فاضلاب بر غلظت برخی عناصر و خصوصیات شیمیایی خاک. مجله آب و فاضلاب. ٦: ۱۵-۲۲.

Afyuni M, Schulin R and Rezaeinejad Y, 2006. Extractability and plant uptake of Cu, Zn, Pb and Cd from a sludge - amended Haplargid in central Iran. Arid Land Research Management, 20(1): 29 - 41.

Antoniadis V and Alloway BJ, 2002. The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni, and Zn in sewage sludge amended soils. Environmental Pollution, 117: 515–521.

Behbahaninia A, Mirbagheri SA, Khorasani N, Nouri J and Javid AH, 2009. Heavy metal contamination of municipal effluent in soil and plants. Journal of Food, Agriculture and Environment, 7(3&4) : 851-856.

Bozkurt MA and Yarilgac T, 2003. The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry condition. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27:285-292.

Castro E, Manas P and De las Heras J, 2009. A comparision of the applications of different waste products to a lettuce crop: Effects on plant and soil properties. Scientia Horticulturae, 123:148-155.

Chang AC, Hyun H and page AL, 1997. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: plateau or time bomb?. Journal of Environmental Quality, 26: 11-19.

Chang AC, Page AL, Warneke GE and Johanson GB, 1982. Effect of sludge application on the Cd, pb, Zn levels of selected vegetable plants. Hilgardi, 50 (7): 1-14.

Dowdy RH, Larson WE, Titrud JM and Latterell JJ, 1978. Growth and metal uptake of snap beans groeth on sewage sludge amended soil. A four year study. Journal of Environmental Quality, 7: 252-257.

Dvorak P, Tlustos P, Szakova J, Cerny J and Balik J. 2003. Distribution of soil fraction of Zinc and its uptake by potato, maize, wheat and barley after soil amendment by sludge and inorganic Zn salt. Plant Soil Environment, 49: 203-212.

Elliott LF and Stevenson FJ, 1977. Soil for management of organic wastes and waste water. ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wisconsin. USA.

Hernandez T, Moreno JI and Costa F, 1991. Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. Soil Science and Plant Nutrition, 37: 201-210.

Lindsay WL and Norvell WA, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal, 42: 421-428.

Mcdonagh J, Fand B, Toomson V, Limpinuntana K and Giller E, 1995. Grain lequmes and green manures as pre-rice crops in North Thailands. II. Residue decomposition. Plant and Soil, 177: 127-136.

Morera MT, Echeverria J and Gorrido J, 2002. Bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge. Canadaian Journal of Soil Science, 82:433-438.

Nyamangara J and Mzezezewa J, 1999. Effect of long term swadge sludge application on Zn, Ni and Pb levels in clay loam soil under pasture grass in Zimbabwa. Agriculture Ecosystems and Environment, 73: 199-204.

Skousen J and Clinger C, 1991. Sewage sludge land application program in west Virginia. Journal of Soil and Water Conservation, 48 (2): 145-151.

Archive of SID

www.SID.ir

Sloan JJ, Dowdy RH, Dolan MS and Linden DR, 1997. Logan term effects of biosolids applications on heavy metal bioavailability in agricultural soils. Journal of Environmental Quality, 26: 966-974.

Sommers LE, 1977. Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizers. Journal of Environmental Quality, 6(6): 225-231.

Stacey S, Merrington G, McLaughlin MJ, 2001. The effect of aging on the availability of cadmium and zinc in soil. European Journal of Soil Science, 52: 313.

Tejada M and Gonzalez JL, 2006. The relationships between erodibility and erosion in a soil treated with two organic amendments. Soil and Tillage Research, 91: 186–198.

Wong MH, Cheung YH and Cheung CL, 1983. The effects of ammonia and ethylene oxide in animal manure and sewage sludge on seed germination and root elongation of *Brassica parachinensis*, Environmental Pollution, 30: 109-123.

Wei YJ and Liu Y, 2005. Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. Chemosphere, 59: 1257-1265.

Westerman RL. (Ed.), 1990. Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America, No. 3, Madison, Wisconsin, Usa.

Yadav RL, Dwivedi BS and Pande PS, 2000. Rice–wheat cropping system: assessment of sustainability under green manuring and chemical fertilizer inputs. Field Crops Research, 65: 15–30.

Yadvinder S, Ladha BS, Khind JK, Gupta CS, Meelu RK and Pasuquin OP, 2004. Long-term effects of organic inputs on yield and soil fertility in rice–wheat rotation. Soil Science Society of America Journal, 68: 845– 853.

Zubillaga MS and Lavado RS, 2002. Heavy metal content in lettuce plants grown in biosolids compost. Compost Science and Utilization, 10 (4): 363-367.

Archive of SID

www.SID.ir